



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

**ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL
RIESGO**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN
ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO**

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICO-ESTRUCTURAL ANTE UNA
AMENAZA SÍSMICA DEL EDIFICIO CENI, DE LA UEB UBICADO EN EL SECTOR LOS
TRIGALES, GUARANDA, PERÍODO NOVIEMBRE 2022 – FEBRERO 2023**

AUTORES:

MARIUXI ALEXANDRA REA ANALUIZA

BELEN ESTEFANIA TAMAMI LLACHUMA

TUTOR:

ARQ. CÉSAR PAZMIÑO

GUARANDA-ECUADOR

2022-2023

TEMA

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICO-ESTRUCTURAL ANTE UNA AMENAZA SÍSMICA DEL EDIFICIO CENI, DE LA UEB UBICADO EN EL SECTOR LOS TRIGALES, GUARANDA, PERIODO NOVIEMBRE 2022 – FEBRERO 2023.

CERTIFICADO DEL TUTOR

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR

Guaranda, 04 de mayo de 2023

El suscrito Arq. César Pazmiño, Director de Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICO-ESTRUCTURAL ANTE UNA AMENAZA SÍSMICA DEL EDIFICIO CENI, DE LA UEB UBICADO EN EL SECTOR LOS TRIGALES, GUARANDA, PERÍODO NOVIEMBRE 2022 - FEBRERO 2023”; realizado por las señoritas: **Mariuxi Alexandra Rea Analuiza** y **Belen Estefania Tamami Llachuma** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad, facultando a los interesados dar al presente documento el uso legal que estimen conveniente.



ARQ. CÉSAR PAZMIÑO

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE PRE GRADO



DERECHOS DE AUTOR

Nosotras **REA ANALUIZA MARIUXI ALEXANDRA** y **TAMAMI LLACHUMA BELEN ESTEFANIA** portadoras de la Cédula de Identidad No. **025030035-7** y No. **025017880-3** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICO-ESTRUCTURAL ANTE UNA AMENAZA SÍSMICA DEL EDIFICIO CENI, DE LA UEB UBICADO EN EL SECTOR LOS TRIGALES, GUARANDA, PERÍODO NOVIEMBRE 2022 - FEBRERO 2023**, modalidad Tesis, de conformidad con el Art. 114 del **CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS CREATIVIDAD E INNOVACIÓN**, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Mariuxi Alexandra Rea Analuiza

Belen Estefania Tamami Llachuma



FIRMA



FIRMA

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a Dios por permitirme seguir adelante, dándome salud, fuerza y voluntad para alcanzar una meta más en mi vida. A mis padres: Nelly y Gerardo por ser los pilares fundamentales en mi vida, por enseñarme valores y brindarme los recursos necesarios, fueron ellos mi motor, mi mayor fuerza de inspiración para culminar la carrera, muchos de estos logros se los debo a ellos entre los que se incluye este, gracias padres por compartir esta montaña rusa llena de emociones llamada vida Universitaria y así poder celebrar mis alegrías junto a ellos.

A mi ángel del cielo mi abuela y a mis 3 hermanos por haber sido quienes me han dado el apoyo para que esta meta se haya cumplido.

A mi compañera de tesis Belen, por su amistad y formar parte de los momentos cruciales en la Universidad.

Mariuxi Alexandra Rea Analuiza

Este proyecto de investigación está dedicado:

A Dios quien ha sido mi guía celestial durante mi proceso de formación y me ha regalado la vida para continuar con mis sueños.

A mis padres César y Martha quienes con su amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño, gracias por inculcar en mi la perseverancia, el esfuerzo y valentía para no temer ante las adversidades que se presentan en el camino.

A mi hija Angélica quien ha sido el pilar fundamental para no rendirme durante el proceso y quien con su cariño ha inspirado en mi la grandeza de lucha y poder ser un ejemplo para ella

A mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en mis metas.

Belen Estefania Tamami Llachuma

AGRADECIMIENTO

Estoy agradecida de haber sido estudiante de la Universidad Estatal de Bolívar, aquella institución que me enseñó cada pasó académico, ético y moral para llegar a ser una profesional de éxito.

A mis docentes quienes me compartieron sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional, quiero agradecer de manera especial a mi Tutor el Arq. César Pazmiño por aceptarme para realizar esta tesis, por ser mi guía y aporte no solo en el desarrollo del proyecto de investigación sino durante mi proceso académico. Le agradezco también al Ing. Gino Noboa por su paciencia y disponibilidad de haberme brindado su enseñanza y amplio conocimiento sobre el uso del programa CYPECAD en este proceso de titulación.

Estoy eternamente agradecida con cada una de las personas que formaron parte de mis estudios, por creer en mí, motivándome a seguir adelante. Este es el comienzo de un extenso camino hacia el éxito de la mano de Dios.

Mariuxi Alexandra Rea Analuiza

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que conforman la Universidad Estatal de Bolívar por permitirme convertirme en un profesional, gracias a cada docente que formo parte durante todo el proceso académico.

Mis agradecimientos están dedicado a mi familia, al Arq. César Pazmiño quien nos ha guiado en el camino de la enseñanza, ha sido nuestro principal apoyo para poder culminar nuestro proceso de tesis y de igual manera agradecerle al Ing. Gino Noboa quien con su conocimiento y paciencia a sabido guiarnos, ayudarnos durante el proceso de ejecución del modelamiento del programa CYPECAD, lo cual se ha convertido en todo un reto de aprendizaje para nosotras.

Belen Estefania Tamami Llachuma

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	I
CERTIFICADO DEL TUTOR.....	II
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Formulación del Problema	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. Justificación de la Investigación	6
1.5. Limitaciones	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de la Investigación	8
2.1.1. Antecedentes Históricos.....	8
2.1.2. Antecedentes Referenciales.....	17

2.1.3. Localización y Descripción del Lugar de Estudio	19
2.2. Bases Teóricas	21
2.2.1. Vulnerabilidad	21
2.2.1.1. Evaluación de la Vulnerabilidad	21
2.2.2. Vulnerabilidad Física	23
2.2.3. Vulnerabilidad Sísmica	23
2.2.3.1. Tipos de Vulnerabilidad Sísmica	23
2.2.3.4. Vulnerabilidad Sísmica en edificaciones	24
2.2.4. Vulnerabilidad Estructural	26
2.2.4.1. Factores que influyen en la Vulnerabilidad Estructural	28
2.2.4.2. Daños Estructurales	30
2.2.5. Sismo	31
2.2.5.1. Tipos de Sismo	33
2.2.5.2. Fallas Geológicas	33
2.2.5.3. Sismos producidos por Volcanes	34
2.2.5.4. Efectos de los Sismos en las Estructuras	34
2.2.5.5. Riesgo Sísmico	35
2.2.5.6. Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC)	35
2.2.6. Amenaza Sísmica	36
2.2.6.1. Zonificación Sísmica y Factor Zona Z	36
2.2.6.2. Sismicidad Histórica en el Ecuador	37
2.2.7. Métodos para Evaluar la Vulnerabilidad Estructural	39
2.2.7.1. FEMA 154	40
2.2.7.2. CYPECAD	51
2.3. Marco Legal	56

2.4. Definición de Términos.....	59
2.5. Sistemas de Hipótesis.....	62
2.6. Sistema de Variables	63
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	65
3.1. Nivel de Investigación.....	65
3.2. Diseño de Investigación	68
3.3. Población y Muestra.....	69
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	69
3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	70
CAPÍTULO 4: RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS SEGÚN LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	71
4.1 Resultado según el Objetivo 1.....	71
4.2 Resultado según el Objetivo 2.....	97
4.3 Resultado según el Objetivo 3.....	142
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
BIBLIOGRAFÍA.....	147
ANEXOS.....	153

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del Factor de Zona Z .	9
Ilustración 2. Mapa de fallas cuaternarias y pliegues de Ecuador.....	10
Ilustración 3. Esquema Tectónico de la Depresión de Guaranda. Imagen extraída de la Microzonificación Sísmica de la Zona Urbana del cantón Guaranda.....	11
Ilustración 4. Ubicación del edificio CENI.....	19
Ilustración 5. a) Teoría del rebote elástico. b) Ondas de cuerpo: longitudinales (ondas P) y transversales (ondas S).....	32
Ilustración 6. Centro de rigidez no coincide con centro de masa.....	53
Ilustración 7. Centro de rigidez semejante con centro de masa	54
Ilustración 8. Torsión debido a no coincidencia de centro de rigidez y centro de masa.....	54
Ilustración 9. Irregularidad Torsional.....	55
Ilustración 10. Plano Estructural de la planta baja del CENI.....	71
Ilustración 11. Plano Arquitectónico de la Planta alta del CENI	72
Ilustración 12. Gráfica de la cuadrícula de la Planta Baja.....	81
Ilustración 13. Gráfica de la cuadrícula de la Planta Alta.....	83
Ilustración 14. Gráfica de la cuadrícula de las Losa Entrepiso y Losa Superior.....	84
Ilustración 15. Gráfica de la cuadrícula de las Vigas Entrepiso.....	86
Ilustración 16. Gráfica de la cuadrícula de las Vigas Superiores	88
Ilustración 17. Gráfica de la cuadrícula de la Escalera	89
Ilustración 18. Muestra de la nomenclatura en el Plano Arquitectónico.....	90
Ilustración 19. Plano Estructural del Entrepiso del edificio CENI.....	91
Ilustración 20. Plano Estructural de la Losa cubierta del edificio CENI	92
Ilustración 21. Distribución Arquitectónica del CENI.....	98
Ilustración 22. Esquema en planta del edificio.....	99
Ilustración 23. Edificio CENI.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de análisis de la vulnerabilidad sísmica de una edificación	25
Figura 2. Esquema de la Vulnerabilidad estructural.....	28
Figura 3. Factores que influyen en la Vulnerabilidad estructural.....	28
Figura 4. Cuadrícula para la prueba del esclerómetro	75
Figura 5. Datos obtenidos del rebote de los Pilares de la Planta Baja.....	79
Figura 6. Datos obtenidos del rebote de los Pilares de la Planta Alta	81
Figura 7. Datos obtenidos del rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior.....	83
Figura 8. Datos obtenidos del rebote de las Vigas Entrepiso	85
Figura 9. Datos obtenidos del rebote de las Vigas Superiores.....	86
Figura 10. Datos obtenidos del rebote de la Escalera	88
Figura 11. Vista Frontal del Edificio CENI.....	102
Figura 12. Ventada para la entrada de los datos generales del CYPECAD.....	103
Figura 13. Normativa para el cálculo de la acción sísmica	104
Figura 14. Espectro de diseño en el programa.....	105
Figura 15. Introducción de las plantas	106
Figura 16. Ingreso de cargas muertas y vivas por planta en el CYPECAD	107
Figura 17. Colocación de la dimensión de los pilares	107
Figura 18. Muestra del ingreso de los pilares introducidos en el programa	108
Figura 19. Añadir las Vigas correspondientes	109
Figura 20. Muestra de la introducción de las vigas en el programa	109
Figura 21. Signo de interrogación en color amarillo de la Losa ingresada	110
Figura 22. Introducción de la Losa a en el programa	111
Figura 23. Colocación de paños en la Losa	112
Figura 24. Introducción de la Escalera en el programa	113
Figura 25. Definición de los Escalones	113
Figura 26. Vista 3D del edificio.....	114
Figura 27. Comprobación de la geometría de todos los grupos.....	114
Figura 28. Cálculo de la Estructura en el programa.	115
Figura 29. Espectro de diseño del programa en X,Y.....	117
Figura 30. Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta.....	120

Figura 31. Primer modo de vibración en X	127
Figura 32. Segundo modo de vibración en Y	127
Figura 33. Cubierta del edificio	128
Figura 34. Datos Generales para ingresar al CYPE 3D	130
Figura 35. Normativa para el cálculo de la acción sísmica en el CYPE 3D.....	131
Figura 36. Hipótesis adicionales de las cargas	132
Figura 37. Creación de perfiles C en el CYPE 3D	133
Figura 38. Creación de perfiles L en el CYPE 3D.....	134
Figura 39. Creación de perfiles G en el CYPE 3D	135
Figura 40. Vinculación exterior de los puntos fijos.....	136
Figura 41. Creación de los puntos fijos en el CYPE 3D.....	136
Figura 42. Vinculación exterior de los puntos móviles	137
Figura 43. Creación de los puntos móviles en el CYPE 3D	137
Figura 44. Ventana para introducir paños.....	138
Figura 45. Introducción de paños en la cubierta.....	138
Figura 46. Comprobación de los elementos en la cubierta	139
Figura 47. Ventana para calcular la estructura metálica	140
Figura 48. Cálculo de la estructura metálica.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Litología.....	14
Tabla 2. Clasificación de suelos, ubicación y características	15
Tabla 3. Coordenadas del edificio CENI	19
Tabla 4. Valores del Factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	37
Tabla 5. Tipología del sistema estructural implementado para la evaluación	43
Tabla 6. Puntaje básico de cada sistema estructural	44
Tabla 7. Modificadores	45
Tabla 8. Variable Independiente	63
Tabla 9. Variable Dependiente.....	64
Tabla 10. Equipo utilizado del Esclerómetro.....	76
Tabla 11. Resultado del Rebote de los Pilares de la Planta Baja	80
Tabla 12. Resultado del Rebote de los Pilares de la Planta Alta	82
Tabla 13. Resultado del Rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior	84
Tabla 14. Resultado del Rebote de las Vigas Entrepiso	85
Tabla 15. Resultado del Rebote de las Vigas Superiores.....	87
Tabla 16. Resultado del Rebote de la Escalera	89
Tabla 17. Elementos Estructurales evaluados con el Esclerómetro.....	93
Tabla 18. Datos Generales del edificio	97
Tabla 19. Puntaje Final del FEMA 154	100
Tabla 20. Análisis de Observaciones del FEMA 154	101
Tabla 21. Grado de Vulnerabilidad sísmica del edificio CENI	101
Tabla 22. Parámetros para definir el espectro de diseño.....	105
Tabla 23. Resultados de los modos de vibración, periodo y porcentaje de participación de masa	116
Tabla 24. Rango de periodo según los modos estudiados en X1	118
Tabla 25. Rango de periodo según los modos estudiados en Y1	118
Tabla 26. Centro de masas, centro de rigidez y excentricidades de cada planta	119
Tabla 27. Cortante dinámico CQC en X.....	120
Tabla 28. Cortante dinámico CQC en Y	121
Tabla 29. Peso Sísmico	122

Tabla 30. Valores del coeficiente que depende del tipo de edificio para el cálculo del período de vibración	124
Tabla 31. Periodo de Vibración (T)	124
Tabla 32. Valores de la deriva máxima.....	125
Tabla 33. Desplome local máximo de los pilares	125
Tabla 34. Desplome local máximo de los pilares	126
Tabla 35. Introducción de cargas en el CYPE 3D	132
Tabla 36. Propuesta de Medidas de Reducción de Riesgos ante una Amenaza Sísmica.....	142

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Afectaciones en el sistema estructural de Bahía de Caráquez de la provincia de Manabí	153
Anexo 2. Fisuras y daños por el terremoto del pasado 16 de Abril del 2016 en la Catedral de Guaranda.....	154
Anexo 3. Fachada del edificio donde funciona el Distrito de Educación del cantón Bolivarense de Chillanes, que es uno de los 80 edificios afectados en esa población	155
Anexo 4. Esclerómetro	156
Anexo 5. Piedra Abrasiva	156
Anexo 6. Formulario del Esclerómetro	157
Anexo 7. Formulario aplicado del Esclerómetro	158
Anexo 8. Preparación del elemento estructural para tener una superficie lisa con la piedra afiladora	159
Anexo 9. Trazado de la cuadrícula para realizar el Ensayo del Esclerómetro	159
Anexo 10. Trazado de la cuadrícula en los Pilares con el Esclerómetro	160
Anexo 11. Toma de muestras del rebote de los Pilares con el Esclerómetro	160
Anexo 12. Trazado de la cuadrícula para realizar la evaluación de los Pilares de la planta baja con el Esclerómetro	161
Anexo 13. Toma de muestras del rebote de los Pilares de la planta baja con el Esclerómetro ..	161
Anexo 14. Trazado de la cuadrícula de los Pilares de la planta alta con el Esclerómetro.....	162
Anexo 15. Toma de muestras del rebote de los Pilares de la planta alta con el Esclerómetro...	162
Anexo 16. Trazado de la cuadrícula de la Losa Entrepiso y Losa Superior con el Esclerómetro	163
Anexo 17. Toma de muestras del rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior con el Esclerómetro	163
Anexo 18. Trazado de la cuadrícula de las Vigas Entrepiso con el Esclerómetro	164
Anexo 19. Toma de muestras del rebote de las Vigas con el Esclerómetro	164
Anexo 20. Trazado de la cuadrícula de las Vigas Superiores con el Esclerómetro.....	165
Anexo 21. Toma de muestras del rebote de las Vigas Superiores con el Esclerómetro.....	165
Anexo 22. Trazado de la cuadrícula de las Escalera con el Esclerómetro	166
Anexo 23. Toma de muestras del rebote de las Escalera con el Esclerómetro.....	166

Anexo 24. Valor del rebote obtenido de las muestras del Esclerómetro	167
Anexo 25. Gráfica de la cuadrícula que se encuentra en el Esclerómetro.....	167
Anexo 26. Medición de la altura de los plantas del edificio CENI	168
Anexo 27. Formulario del método FEMA 154.....	169
Anexo 28. Inspección para realizar la evaluación visual del método FEMA 154.....	170
Anexo 29. Recolección de los datos generales y tipología del sistema estructural.....	170
Anexo 30. Presencia de humedad en la infraestructura del CENI.....	171
Anexo 31. Elaboración del Modelamiento en el programa CYPECAD	171
Anexo 32. Programa CYPECAD, versión 2017.....	172
Anexo 33. Reporte de la Justificación de la acción sísmica	173
Anexo 34. Reporte de la Distorsión de Pilares	174

RESUMEN

El Ecuador está ubicado en una zona sísmica activa, es por eso que algunos sismos producidos en el país evidencian algunos problemas relacionados directamente al diseño sismorresistente de las estructuras. El objetivo de esta investigación es evaluar la vulnerabilidad físico-estructural ante una amenaza sísmica del edificio CENI, de la UEB con el uso de herramientas tecnológicas. La investigación en primera instancia pretende determinar los efectos de las condiciones actuales de los elementos de la edificación y aplicar las herramientas técnicas para verificar el comportamiento de la estructura y contribuir a la institución, disminuyendo los riesgos ante estos eventos sísmicos. La metodología de la investigación consiste en un estudio de tipo transversal, descriptiva y no experimental, empleando la utilización del Esclerómetro para la medición de los elementos estructurales, el método FEMA 154 para la inspección y evaluación visual, el software CYPECAD para modelar y obtener un análisis de la vulnerabilidad. Los resultados obtenidos; del FEMA 154 evidencia un grado de vulnerabilidad Alta, en base a los parámetros de las irregularidades en planta y elevación, así como también el tipo de suelo en el que se encuentra el edificio, en el programa CYPECAD, según los reportes la estructura tiene torsión porque los valores de los dos primeros modos de 0.9007 y 0.932 están cercanos a 1 y además el periodo de vibración no cumple con el requerimiento establecido en la NEC 2014. Adicionalmente con el CYPE 3D se logró modelar la cubierta metálica obteniendo un valor de resistencia que afecta a las cerchas y correas.

Palabras clave: amenaza sísmica, cypecad, fema 154, vulnerabilidad física, vulnerabilidad estructural.

ABSTRACT

Ecuador is located in an active seismic zone, that is why some earthquakes produced in the country show some problems directly related to the seismic-resistant design of structures. The objective of this research is to evaluate the physical-structural vulnerability to a seismic hazard of the CENI building of the UEB with the use of technological tools. The first instance research aims to determine the effects of the current conditions of the elements of the building and apply technical tools to verify the behavior of the structure and contribute to the institution, reducing the risks of these seismic events. The research methodology consists of a cross-sectional, descriptive and non-experimental study, using the Sclerometer to measure the structural elements, the FEMA 154 method for visual inspection and evaluation, and the CYPECAD software to model and obtain a vulnerability analysis. The results obtained; from the FEMA 154 evidences a High vulnerability degree, based on the parameters of irregularities in plan and elevation, as well as the type of soil in which the building is located, in the CYPECAD program, according to the reports the structure has torsion because the values of the first two modes of 0.9007 and 0.932 are close to 1 and also the vibration period does not meet the requirement established in the NEC 2014. Additionally, CYPE 3D was used to model the metal deck obtaining a resistance value that affects some trusses and purlins.

Key words: *seismic hazard, cypecad, fema 154, physical vulnerability, structural vulnerability.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, los movimientos bruscos de la tierra que son generados por terremotos y/o sismos han impactado áreas principalmente vulnerables, destruyéndolas social y económicamente. Todas estas consecuencias han permitido identificar el rol fundamental que juega el diseño estructural de los edificios a la hora de salvaguardar la integridad de las personas, siendo necesario tomar conciencia ante los daños que sufren las estructuras (Salazar et al., 2022). En el Ecuador uno de los eventos naturales que han ocurrido con mayor frecuencia y que causan impacto en la población son los movimientos sísmicos. El país se encuentra dentro de una zona tectónica activa, como expresan (Lara et al., 2018): “entre el límite de la Placa Oceánica de Nazca y Placa Continental Sudamericana”, además debido a su ubicación geográfica y al fallo constructivo, las infraestructuras están propensas a sufrir daños físicos.

Debido a los antecedentes sísmicos registrados en el Ecuador, durante la última década, Ecuador vivió un sismo de magnitud de 7.8 grados, el 16 de abril del 2016, siendo el epicentro Pedernales en la provincia de Manabí, generando diversas consecuencias: sociales, económicas, políticas y ambientales, con cientos de damnificados y edificios colapsados por falta de un diseño sismo-resistente, posterior a este el 06 de septiembre del 2018 se registró un sismo de 6,5 grados de magnitud que tuvo como epicentro en el cantón Cumandá perteneciente a la provincia de Chimborazo, afectando además las viviendas del cantón Chillanes y posteriormente genero problemas a nivel nacional y en la provincia de Bolívar. Estos referentes nos dan a conocer que en la mayoría de los casos muchas de las edificaciones modernas y antiguas son sísmicamente vulnerables.

El Centro de Eventos Nacionales e Internacionales (CENI), fue construido en base a los códigos de la (Norma Ecuatoriana de Construcción 2010). En la actualidad se encuentra vigente la (NEC, 2014), que pretende dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, persiguiendo a su vez, proteger al cuidado y fomentar un desarrollo urbano sostenible. Principalmente en nuestro país y en la ciudad de Guaranda no son netamente cumplidas al momento de ser construidas, esto se pudo evidenciar en los sucesos recientes de los sismos ocurridos. Por lo antes mencionado la vulnerabilidad en las edificaciones es un tema de importancia debido a la amenaza sísmica que está presente, por lo cual se desarrolló esta propuesta investigativa con el interés de evaluar los riesgos estructurales y a la vez se espera

que el edificio no sufra muchos daños, no colapse y siga siendo funcional ante eventos sísmicos que puedan suceder.

Posteriormente, la aplicación de este estudio de vulnerabilidad estructural se adoptará al método propuesto por (Hernández & Castro, 2011): “Federal Emergency Management Agency por sus siglas en inglés (FEMA), conocido como FEMA 154”, la cual consistirá en evaluar visualmente los aspectos más importantes para el diagnóstico de la vulnerabilidad del edificio. Además de verificar mediante el instrumento (esclerómetro), la cual (Romero et al., 2021, p. 29) ha concluido que “calcula el índice de rebote, relaciona la dureza superficial del hormigón con su resistencia”. Finalmente, después de haber realizado las respectivas visitas de campo y la aplicación del formulario e instrumento, se logrará obtener el levantamiento estructural del edificio y realizar el modelamiento en el software CYPECAD con el fin de generar información del comportamiento de los elementos estructurales en un evento sísmico.

Con los resultados obtenidos en esta investigación se generará medidas necesarias para que las autoridades competentes de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB) pongan en práctica las acciones para reducir los factores de riesgo que están asociados a las edificaciones ante un evento de fenómeno natural y así lograr promover a tener mejores construcciones en el futuro.

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En nuestro planeta algunos países se ven amenazados por la actividad sísmica, la cual causa afectaciones graves a la población y especialmente a la infraestructura. La ocurrencia de estos eventos es preocupante debido a la frecuencia con la que se repiten los sismos especialmente en los países que se encuentran expuestos. Debido a estas experiencias han motivado al desarrollo primordial de técnicas para la cuantificación del peligro sísmico.

Según (Martínez & Angulo, 2016) “el peligro sísmico en Ecuador está regido principalmente por dos tipos de fuentes sísmicas: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales)”. La presencia de placas tectónicas ha creado la formación de la geomorfología, el Ecuador atraviesa la cordillera de los andes que se sitúa sobre una región tectónica activa. Al estar rodeados de varios volcanes y la presencia de fallas geológicas se puede relacionar que los volcanes en cierta parte generan los sismos debido a la presión que permite a la tierra movimientos para liberar todo el magma acumulado.

(Orellana et al., 2022), señalan que “nuestro país se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico”, el cual debido a la liberación de energía de las fuentes sísmicas pueden generar pérdidas tanto humanas, económicas, ambientales y materiales. La provincia Bolívar es una zona de alto riesgo sísmico que se encuentra ubicado en el área de influencia de diversas fallas geológicas, tal es el caso de la ciudad de Guaranda que se la considera según la NEC 2014 como una zona IV de peligro sísmico muy alto.

En el Levantamiento Geológico de la Depresión de Guaranda, realizado por Luis Escorza se menciona que la ciudad se encuentra asentada en la denominada zona de “Depresión Guaranda”, la misma que está limitada por tres fallas geológicas; desde la más antigua se tiene las siguientes: la primera es la Falla del río Salinas (RS), que es una extensión de la Falla de la Hoya Chimbo, que tiene un rumbo norte sur, y esta falla a su vez puede ser considerada un ramal de la Falla Regional Puná-Pallatanga-Riobamba; la segunda es la Falla del río Guaranda (RG) o Falla Illangama-Guaranda que se localiza paralela a la Cordillera de Chimbo y paralela al flanco oeste de la Cordillera Occidental; la tercera Falla la de Negroyacu (NG), según consta en el esquema tectónico de la Depresión de Guaranda (Caspi et al., 2021). Geomorfológicamente está sobre un terreno conformado por laderas de materiales poco consolidadas, es decir por rellenos

compactados y sobre todo con un mal drenaje superficial que induce gradientes elevados de infiltración en el flujo subterráneo lo que la hace una zona que reaccionaría desfavorablemente ante una amenaza.

La ocurrencia de un sismo ya sea de baja o de gran magnitud tiene diversos efectos negativos en las infraestructuras, ya sea estructural y no estructural, para poder identificar todos estos efectos se debe realizar una evaluación físico-estructural en los sistemas edificados con la que se podrá detectar todo tipo de inexactitudes que posee la estructura e identificar las posibles medidas de corrección debido a diferentes amenazas ya sea de origen natural y antrópico.

El edificio (CENI), está implantado sobre un terreno de relleno con suelo natural, según antecedentes históricos en este sector existía la presencia de cochas (lagunas de agua), por lo que es muy susceptible a sufrir procesos de licuefacción ilógicamente podría darse una posible afectación al sistema estructural edificado que es motivo de nuestra investigación. Con los antecedentes de los factores expuestos anteriormente es necesario realizar una evaluación de la vulnerabilidad físico-estructural ante una amenaza sísmica en una de las infraestructuras de la UEB, que es de gran importancia para esta institución.

1.2. Formulación del Problema

¿Con que herramientas técnicas se debe realizar la evaluación de la vulnerabilidad físico-estructural ante una amenaza sísmica del edificio CENI, de la UEB?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la vulnerabilidad físico-estructural ante una amenaza sísmica del edificio CENI, de la UEB con el uso de herramientas tecnológicas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones actuales de los elementos físicos estructurales del edificio CENI.
- Aplicar las herramientas técnicas de evaluación estructural al sistema edificio como la matriz FEMA 154 y el programa CYPECAD.
- Proponer medidas de reducción de riesgos ante una amenaza sísmica para el edificio del CENI a partir de los datos obtenidos de la investigación.

1.4. Justificación de la Investigación

La evaluación de la vulnerabilidad físico-estructural nace por la necesidad de conocer la capacidad que tiene el edificio para soportar una amenaza sísmica, siendo importante evaluar las condiciones actuales de los elementos físicos-estructurales siendo una clave para la reducción de riesgos. Con los antecedentes sísmicos existentes en nuestro país y consecuentemente en la ciudad de Guaranda se presencia diferentes afectaciones de estos sismos, por lo cual se considera importante realizar una investigación y análisis estructural del edificio CENI.

La vulnerabilidad físico-estructural frente a la amenaza sísmica es considerada de importancia debido al impacto de esta amenaza sobre la edificación, puede ocasionar daños materiales, económicos, inclusive pérdidas humanas. En Guaranda en los últimos años debido a los sismos registrados, se ha podido constatar daños significativos en algunas edificaciones debido a diversos factores; fallas geológicas, su localización geográfica, materiales de construcción y sobre el tipo de suelo que se encuentra asentado provocando que la comunidad universitaria se encuentre expuesta a la vulnerabilidad física.

La presente investigación prevé un estudio de los sistemas edificados que servirá de base o referencia para otros sistemas análogos; donde se determinara si la construcción del modelo del edificio CENI podrá garantizar la seguridad y operatividad del mismo durante una época de crisis, para ser más específicos, en caso de que la ciudad de Guaranda sea golpeada por eventos sísmicos de alta magnitud y de ser el caso que el edificio se encuentre en su total capacidad de funcionalidad esto en cuanto a las técnicas sofisticadas que se aplicaran para su correcto funcionamiento.

El desarrollo de esta investigación impulsará la aplicación de herramientas tecnológicas, como en el programa CYPECAD, se puede llevar a cabo un análisis del comportamiento estructural. Así como también será base fundamental para otros estudios previos de modelamientos estructurales para que los estudiantes puedan ejecutar acciones que mejoren los elementos constructivos. Facilitando alternativas que requieran un estudio más detallado sobre la susceptibilidad en que la estructura pueda sufrir daños en un movimiento sísmico

La investigación en este sentido se centra en la realización de un estudio técnico del comportamiento estructural del edificio para dar a conocer el estado actual con el uso de la metodología FEMA 154 y la utilización del Software CYPECAD como uno de los programas más actualizados, que será de ayuda para generar medidas de prevención de colapso estructural ante

sismos y sean tomados en cuenta como factor crítico de priorización de intervenciones. Con este proyecto se contribuirá a la concientización de la vulnerabilidad al que está expuesta la edificación y de esta manera las autoridades de la institución gestionen los recursos necesarios que estén dentro de sus respectivas competencias, para seguir conservando la infraestructura.

1.5. Limitaciones

En este proyecto de investigación se han presentado limitaciones que se han generado durante el desarrollo de esta investigación las cuales se las describirán a continuación:

- Escasa información en la web sobre estudios y revistas acerca del tema de vulnerabilidad estructural y la utilización del programa.
- Carencia de estudios análogos en cuanto a la vulnerabilidad estructural en instituciones públicas de la ciudad.
- La licencia y aplicación del programa a nivel local no es muy conocido.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Históricos

(Castro & Campos, 2018), señalan que “un sismo es el efecto de una perturbación que ocurre ya sea en la superficie o en el interior de la Tierra, al lugar donde se origina la perturbación se le conoce como fuente sísmica”. Los problemas de los sismos se pueden originar ya sea por un movimiento telúrico, fricción y deformación de las placas tectónicas.

El Ecuador, al ser calificado como un país multiamenazas, está expuesta a sufrir consecuencias de eventos sísmicos, por lo cual se hace necesario la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica que permiten conocer la situación actual de las edificaciones existentes con el fin de ubicarlas en un nivel de vulnerabilidad y proponer planes de reforzamiento para aquellas estructuras que lo requieren y de este modo, alcanzar un comportamiento aceptable ante un evento sísmico (Cunalata & Caiza, 2022).

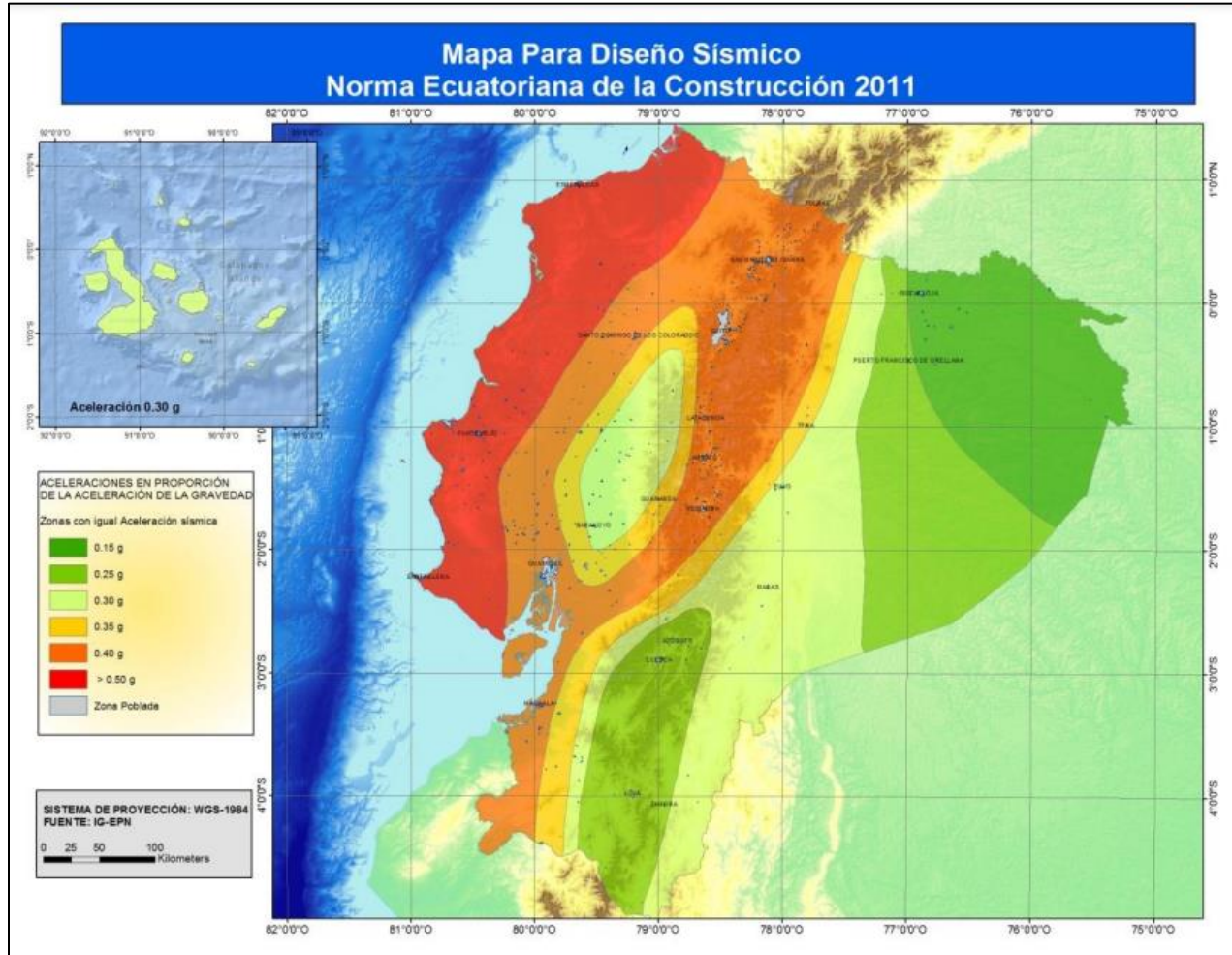
La mayoría del territorio del Ecuador se encuentra ubicada en una zona de alto peligro sísmico, como se evidencia en la NEC-SE-DS. La vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones que tienen un alto grado de exposición por estar en su mayoría situadas en ciudades con alta peligrosidad sísmica como Quito, Guayaquil y todas las ciudades costeras, de aquellas construidas antes de la promulgación de los códigos de la construcción o de aquellas que no han sido diseñadas apropiadamente que a lo largo de su vida han sido reformadas, ampliadas o que han sufrido un cambio en el tipo de uso, distinto al contemplado diseño. El riesgo sísmico es alto y debe ser considerado en la toma de decisiones (NEC, 2014).

Un caso crítico es el de las edificaciones llamadas esenciales o de ocupación especial, que no pueden cesar sus actividades luego de un sismo, sobre todo cuando el desastre natural ha causado el colapso de otras edificaciones, con heridos, muertos y refugiados. Entre estas edificaciones se hospitales, muchos de los centros educativos, edificaciones de bomberos y otras instituciones de socorro, destacamentos militares y de policía, gobierno, etc (NEC, 2014).

Una mejor estimación del riesgo sísmico es fundamental para minimizar la pérdida de vida, daño a la propiedad, el trastorno social y económico debido a los sismos. Una presentación relevante y transparente del riesgo sísmico provee la base para mejores códigos de construcción,

planes de respuesta emergente, protección de la infraestructura crítica planeamiento del uso de suelo para el desarrollo sostenible y estrategias para la contratación de seguros (NEC, 2014).

Ilustración 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del Factor de Zona Z

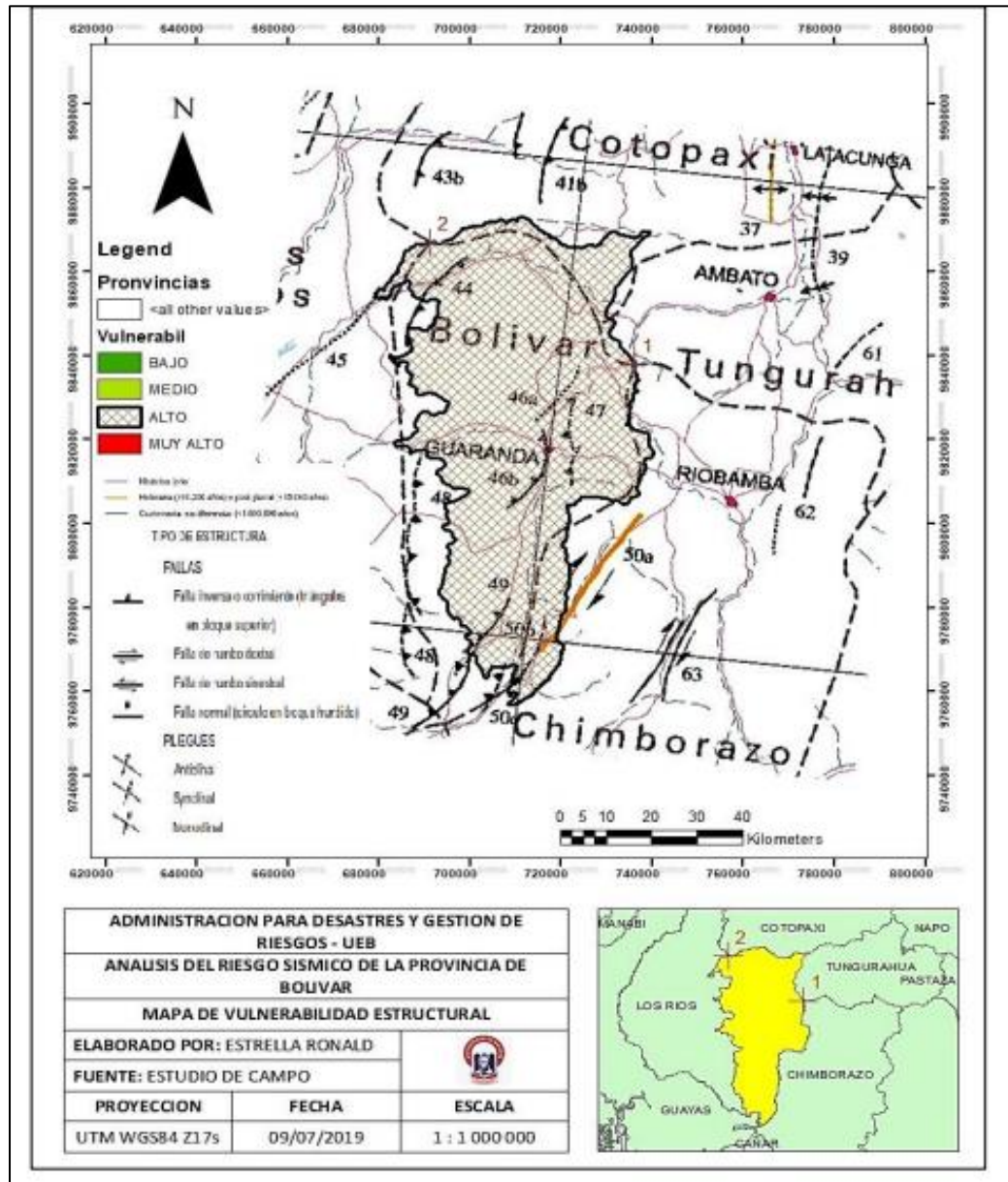


Fuente: (NEC, 2014)

En la NEC-2014 se establece seis zonas sísmicas en el Ecuador, donde la provincia Bolívar se encuentra entre las zonas sísmicas IV y V. Como se puede observar el mapa de la "Ilustración 1". La ciudad de Guaranda se encuentra ubicada en la zona IV de peligro sísmico, esto hace que sea más susceptible ante la ocurrencia de un sismo.

La provincia Bolívar está rodeada por 14 fallas geológicas tanto inversas como normales, las mismas que nos permite realizar el estudio sobre el análisis de riesgos sísmicos y obtener el grado de vulnerabilidad de cada cantón del mismo, en la "Ilustración 2", que se muestra a continuación se describen las fallas geológicas con incidencia en la provincia (Castro et al., 2019).

Ilustración 2. Mapa de fallas cuaternarias y pliegues de Ecuador

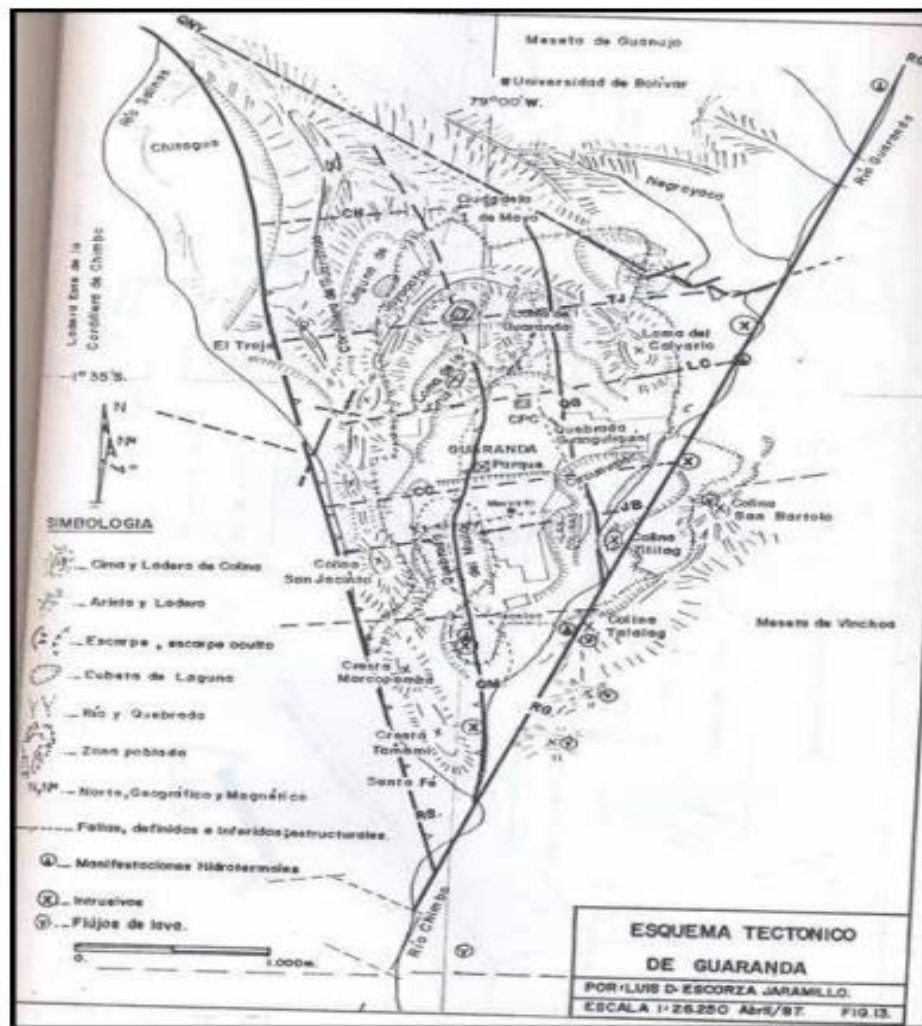


Fuente: (Castro et al., 2019)

Escorza nos menciona que la Ciudad de Guaranda, está asentada en la denominada zona de “Depresión de Guaranda”. Debido al proceso de subducción de Nazca y Sudamericana; Escorza, también plantea que “principalmente todo el valle del río Chimbo es una posible saturación o una depresión del Oligoceno Superior, esto producto de una tectónica comprensiva; pero en la Depresión de Guaranda es específicamente producto de un evento tectónico del Neógeno, es decir de las últimas fases del levantamiento de los Andes. Además sostiene que esta

depresión es un bloque tectónico acuñado, los esfuerzos horizontales vinieron desde el este, al levantarse el Macizo de Coshuna; la falla del rio Guaranda se generó en este evento tectónico. Al acumularse esfuerzos compresionales el bloque acuñado fue tectónico; formándose bloques, unos se levantaron y otros se hundieron, este fenómeno le dio de depresión y la presencia de colinas en Guaranda (Caspi et al., 2021).

Ilustración 3. Esquema Tectónico de la Depresión de Guaranda. Imagen extraída de la Microzonificación Sísmica de la Zona Urbana del cantón Guaranda



Fuente: (Portuguez & Mena, 2012, como se citó en Caspi et al., 2021)

Amenaza Sísmica en Guaranda

Guaranda se encuentra en una alta amenaza sísmica, la cual ha generado afectaciones en las diferentes parroquias: Ángel Polibio Chávez, Gabriel Ignacio Veintimilla, Guanujo, Salinas, San Simón, Santa Fe, Simiatug, Julio Moreno, de las cuales las causas de esta amenaza fueron la Falla de Pallatanga, las Fallas Locales y ocasionado en la zona de subducción (Placa de Nazca y Continental). Además existe una amenaza a la infraestructura, esto en cuanto a la ubicación, por lo que se la considera una zona alta de riesgo sísmico y edificaciones que no cumplen con las normas sismo-resistentes (PDOT, 2020).

Para la evaluación estructural ante la amenaza sísmica se han tomado en consideración dos hechos históricos que han causado diferentes consecuencias en el país, de las cuales se puede mencionar lo siguiente:

16 de abril del 2016

El 16 de abril de 2016 ocurrió en Ecuador un sismo de magnitud 7,8 en la escala de Richter (Mw), cuyo epicentro se ubicó en la costa de Pedernales, a 20 Km de profundidad. Las ciudades de Pedernales, Portoviejo, Manta y Bahía de Caráquez de la provincia de Manabí fueron las más afectadas, con aceleraciones medidas desde 1.407g aceleración pico del terreno (PGA) (E) (Pedernales) hasta 0,38g aceleración pico del terreno (PGA) (Portoviejo) (Castañeda & Bravo, 2017).

Varios edificios colapsaron a cientos de kilómetros del epicentro, el sismo convirtió a estas ciudades, a un precio indeseable e invaluable para cualquier sociedad. Así, algunas edificaciones, que no colapsaron por fracciones de aceleración, muestran zonas de confinamiento que concentraron fallos de corte en los extremos de las columnas (Castañeda & Bravo, 2017).

Antes del terremoto, en Bahía de Caráquez hubo 75 edificaciones que fluctuaron entre los 6 y 10 pisos; 20 de ellos se localizaban en la punta norte de la ciudad. Actualmente se encuentran deshabitadas debido a las grietas en la mampostería y otros daños estructurales producidos con ella. Entre los principales daños más comunes en el terremoto fueron el colapso parcial de pisos superiores, daños en las columnas por piso blando, agrietamientos en columnas esquineras por torsión en planta, daños por columnas corta, fallo en el nudo viga- columna corta, daños en paredes

exteriores debido a golpeo, falla de punzonamiento en losas planas, grietas y fisuras en paredes de mampostería, colapso de elementos no estructurales en balcones y fachada (Campos et al., 2021).

Además en la ciudad de Guaranda se presencié que el edificio de “La Guitarra” donde está el museo del Taita Carnaval resultó afectado en una parte de su infraestructura y se quebraron sus ventanales. También se evidenció daños en el Puesto de Auxilio Inmediato de la Plaza Roja y también se produjo una fisura en las torres de la Iglesia Catedral y daño estructural en la cúpula.

06 de septiembre del 2018

El 6 de septiembre del 2018 se registró un sismo de magnitud 6.2 Mw. Su epicentro fue localizado a 6 km de Cumandá provincia de Chimborazo a unos 90 km de profundidad. El sismo está relacionado con una fractura en la Placa de Nazca considerándose una ruptura de carácter normal, se identificó varias ciudades cercanas al epicentro con daños estructurales. Los cantones más afectados fueron: “Chillanes, Cumandá y Pallatanga”, con intensidad VI, con una clase de vulnerabilidad BC (bloque no reforzado sin diseño sismo resistente) y un grado de daño 3-4 (grietas largas y extensas en todos los muros, colapso parcial o total de mampostería).

Las pérdidas causadas en aquel terremoto están directamente relacionado al efecto de sitio que aumentó la velocidad de las ondas sísmicas por el tipo de suelo que posee el cantón Chillanes y por la vulnerabilidad física de sus construcciones, la cual consiste en mampostería de bloques sin diseño sismo resistente; que fueron y son construidas sin normas o códigos de construcción.

Después del sismo se realizó las labores de limpieza de escombros en varias calles de Guaranda. En la Iglesia La Catedral se desprendió un cerramiento de tierra y parte del revestimiento de una de las dos torres. Varias casas también resultaron afectadas con fisuras e incluso se suspendieron las clases debido a las evaluaciones que se realizaban en las instituciones educativas.

Geología de Guaranda

Según el (PDOT, 2020), se han encontrado las siguientes formaciones geológicas con sus características litológicas con su tipo de permeabilidad y las hectáreas en el cantón Guaranda:

Tabla 1. Litología

FORMACION GEOLOGICA	LITOLOGIA	TIPO DE PERMEABILIDAD	Ha	PORCENTAJE
Volcánicos Runayacu	Tobas, Flujos de Lava	Fisuración	1177	1%
Volcánicos Pisayambo	Andesita, Aglomerado, Flujos de lava, Toba, Andesita, Aglomerado, Piroclásticos		44569	28%
Volcánicos Guaranda	Tobas, Andesitas		16118	10%
Volcánicos del Chimborazo	Tobas		2578	2%
Unidad Macuchi	Andesita, Lava indiferenciada, Lava de Almohadilla, Brechas, Volcaniclasticas gruesas, Andesita, Arenisca volcánica, Limolita volcánica, Limonita		82886	52%
Formación Zapotillo- G. Alamor	Conglomerado, Arenisca, Lutita, Limolita, Grauvaca		761	0%
Formación Yungilla	Lulita, Chert, Conglomerado, Caliza, Grauvaca y Conglomerado, Andesita		11425	7%

Fuente: (PDOT, 2020)

El cantón Guaranda; acorde a lo descrito anteriormente, la mayor parte de su territorio se encuentra denominado por la formación geológica de la unidad de Macuchi, con una superficie de 82886 ha, lo que ocupa el 52% del todo el cantón, ubicándose principalmente en el occidente,

comprendiendo las parroquias de: San Luis, Facundo Vela, Simiatug, Salinas, parte occidental de la cabecera cantonal, pequeña proporción de Julio Moreno y San Simón (PDOT, 2020).

Tipo de suelo

El cantón Guaranda, de la superficie total intervenida, predominan ampliamente suelos de orden de los entisoles, con una superficie de 14374, 724 ha (5%), seguidos de los inceptisoles con 172004, 495 ha, este es el grupo que ocupa más espacio en el cantón con un porcentaje de 60%, seguido de los inceptisoles+alfisoles que ocupan 12293,135 ha (4%), luego inceptisoles+entisoles con 73880, 645 ha (26%) y también se encuentran los molisoles con 1546, 49 ha (5%) (PDOT, 2020).

Tabla 2. Clasificación de suelos, ubicación y características

SECTORES	ALTITUD (msnm)	SUELOS CLASIFICACION	CARACTERISTICAS
San Lorenzo, San Simón, Santa Fe, Julio Moreno, Guaranda, Salinas, San Luis de Pambil	1.760	Entisol	Se han formado principalmente en las planicies de inundación, derrames y detalles de ríos y arroyos por sedimentos depositados recientemente por las aguas. Son suelos de pluviales textura variable limosos o arcillosos profundos pedregosos, franco arenosos de zonas secas.
San Luis de Pambil, Facundo Vela, Simiatug, Salinas, Guaranda, San Simón, San Lorenzo	2.620	Inceptisol	Incluye determinados suelos de las regiones subhúmedas y húmedas características por su tierra amarillenta, franca y arenosa con retención de agua. Su composición de arcillas y arena.
Facundo Vela, Simiatug, Salinas, Guaranda, Julio	3.520	Inceptisoles Entisoles	Se caracterizan por presentar un horizonte sub superficial de enriquecimiento secundario de arcillas, desarrolladas en condiciones de acidez o de alcalinidad

Moreno, Santa Fe, San Luis de Pambil			sódica y asociado con una horizonte superficial claro, generalmente pobre en materia orgánica o de poco espesor, son suelo pardo rojizos-arcilla arenosos-medianos o pocos profundos-algo rocosos.
Julio Moreno, Santa Fe, zona baja de Guaranda, Simiatug, San Lorenzo, San Simón	4.4040	Molisoles	Básicamente son suelos negros o pardos ricos en materia orgánica de pastizales, praderas; de textura uniforme, franco arenosos y arcillosos.
Julio Moreno, Guaranda, Salinas, San Luis de Pambil	1000	Inceptisol Alfisol	Suelos de ambiente relativamente húmedo, con un horizonte de acumulación de arcillas y no de saturados. Son suelos pluviales textura variable -limosos o arcillosos profundos-pedregosos. Son pegajosos, plásticos en estado húmedo y poseen muchos nutrientes y materia orgánica.

Fuente: (PDOT, 2020)

El suelo que mayor ocupa en el territorio es el de orden Inceptisol con propiedades físicas y químicas muy variables, como: suelos desde drenados a bien drenados, texturas de arenosas a arcillosas, pH de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, con saturación de bases mayor o menos a 60% (PDOT, 2020).

2.1.2. Antecedentes Referenciales

Para la presente investigación se tomaron en cuentas las siguientes investigaciones:

A nivel internacional (Guzmán & Torres, 2022), realizaron un trabajo de tesis titulada: “Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de un edificio de cinco niveles utilizando SAP2000 y CYPECAD en Cusco, Perú-2022”, este estudio de grado tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica de un edificio de concreto armado de cinco niveles de uso familiar utilizando el software SAP2000 y CYPECAD, el tipo de investigación es aplicada con un diseño no experimental y un nivel descriptivo, la muestra representa la edificación de concreto armado de cinco pisos de uso familiar en la provincia de Cusco, los instrumentos utilizados en esta investigación son una ficha técnica para la recolección de datos, a fin de dar uso siguiente de estas observaciones a los softwares SAP2000 y CYPECAD para el análisis de la estructura y vulnerabilidad sísmica. Los resultados muestran desplazamientos máximo (deriva) en el piso 5, en el eje X con 0.00453 cm y en la dirección Y de 0.00503 cm, donde muestra que el edificio es frágil y está expuesto a un daño sísmico severo. El resultado principal de las edificaciones de 5 niveles de concreto armado, cumplen con los requerimientos mínimos establecidos por las normas estructurales y son capaces de soportar los sismos ocasionales presentando deformaciones permanentes en los elementos estructurales.

A nivel nacional (Romero & López, 2021), en su artículo científico denominado: “Modelación de la mampostería en el comportamiento de un edificio de hormigón armado”, el objetivo de esta investigación fue desarrollar de forma sintética un análisis sismo resistente de un edificio de hormigón armado mediante el uso del software CYPECAD, este trabajo de investigación se basa en dos modelos teóricos, el primero considerando únicamente los elementos resistentes, el otro con la interacción de la mampostería no estructural con la edificación, donde se consideró para el estudio un edificio de 13, 60 m de altura ubicado en la parroquia Quitumbe Cantón Quito, provincia de Pichincha. De los resultados obtenidos se tiene que; el cortante en el nivel de piso blando se incrementa en promedio un 21.5% según las direcciones X,Y. Lo que indica un factor amplificante que debe ser considerado en el diseño de la edificación con solo elementos resistentes. Se concluyó que la mampostería no estructural con interacción es específica para cada caso, sin embargo, en todas las situaciones durante un sismo, aporta rigidez a la estructura,

modificando la distribución y magnitud de los esfuerzos provocados por la acción sísmica, pudiendo así generar efectos indeseados.

A nivel local (Romero et al., 2021), en su artículo científico sobre la “Vulnerabilidad sísmica del edificio Ciencias de la Salud y del Ser Humano de la UEB-2019”, se realizó con la finalidad de analizar la vulnerabilidad antes sismos del edificio, el objetivo de esta investigación fue determinar y ponderar las características actuales de la edificación, se realizó una investigación de campo aplicando una ficha para la evaluación sísmica y sobre todo la verificación del nivel de vulnerabilidad física, en donde se utilizó el esclerómetro el cual aporta información respecto a la resistencia de la infraestructura. Además en esta investigación se utilizó la observación directa y se aplicó una ficha de la matriz de la Metodología del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Como resultados de la investigación se determinó que la estructura se encuentra en un nivel de vulnerabilidad media con un puntaje de 36,6 el cual este puntaje sugiere que la edificación tiene un desempeño estructural aceptable y puede resistir un evento de menor grado, no obstante debe ser de seguimiento su comportamiento estructural. En los elementos estructurales como pilares, vigas, gradas y losas, se identificaron que especialmente dos elementos tienen una vulnerabilidad media en la primera planta correspondiendo a los pilares y losas; las vigas presentaron en la segunda planta una vulnerabilidad alta y en las gradas una vulnerabilidad baja. Como conclusión se dice que el edificio tiene un desempeño aceptable y puede resistir un evento de magnitud de menor intensidad, no obstante se sugiere el seguimiento del comportamiento estructural de la edificación.

Nuestra investigación se diferencia del tema antes mencionado a nivel local, por la aplicación de la metodología FEMA 154, la cual nos ayudara a determinar cuál es el nivel de vulnerabilidad de la edificación en estudio, además también se utilizará el software CYPECAD con el propósito de verificar el comportamiento de la estructura, tomando en consideración de que no existen diferente estudios que se relacionen con metodologías esenciales para la evaluación de la vulnerabilidad asociada a una amenaza sísmica.

2.1.3. Localización y Descripción del Lugar de Estudio

Ubicación

El edificio del CENI se encuentra ubicado en las calles Jaime Arregui y Av. Guayaquil, en el Campus Primero de Mayo, Sector de los Trigales, con las siguientes coordenadas:

Tabla 3. Coordenadas del edificio CENI

Coordenadas (WGS 84 Zona 17 S)	
Zona	17 M
Este	721983.00
Norte	9825101.00

Fuente: Google Earth

Ilustración 4. Ubicación del edificio CENI



Fuente: ArGisc 10.5

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Descripción de la edificación

El sistema edificio fue inaugurado en mayo del 2010, su diseño fue realizado para que funcionen los Gremios de la UEB, esto es oficinas para la Asociación de profesores, trabajadores y estudiantes, pero dada los requerimientos institucionales las autoridades decidieron darle otro uso, por lo que cambia el nombre a “Centro de Eventos Nacionales e Internacionales” (CENI), esta edificación se desplaza en un área de construcción de 766,70 m². Ubicado en el Campus de la UEB en la Ciudadela Primero de Mayo sector Los Trigales, es una edificación que brinda servicio para actividades académicas, seminarios, talleres, cursos y reuniones en general.

El edificio está conformado de dos plantas: la planta baja se accede a través de un hall de ingreso en la que se distribuye hacia el auditorio con capacidad para 200 personas, adicionalmente cuenta con una oficina de la Unidad de Cultura con 10 trabajadores, batería de servicios higiénicos, en la segunda planta consta de un salón de exposiciones de artes temporales,.

Las características de la edificación son:

1. Edificación moderna tipo minimalista que está desarrollado en dos plantas
2. La estructura en general del CENI es de hormigón armado
3. La Cimentación consta de zapatas y plintos aislados
4. Las Columnas y vigas de hormigón armado
5. Los Contrapisos de hormigón simple y recubiertos de porcelanato
6. La segunda planta consta de losas de entresijos recubierta de porcelanato
7. La cubierta del auditorio es de cerchas metálicas recubierta con placas metálicas de master mil, con cielo raso gypsum
8. Escalera de hormigón armado
9. La mampostería exterior e interior es de ladrillo tipo mimbrón, enlucidos tipos liso

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Vulnerabilidad

Es un factor de riesgo que la persona, objeto u elemento tiende a sufrir daños económicos, políticas, psicológicas ante una amenaza. El concepto de vulnerabilidad ha sido explorado desde campos de conocimiento muy diversos, como la antropología, la sociología, la ecología política, las geociencias y la ingeniería. Sin embargo, podemos mencionar algunos conceptos relacionados con la vulnerabilidad:

- Desde el punto de vista de (Rivero et al., 2017), la vulnerabilidad es definida como “la situación en la que se encuentra la población, características o atributos existentes en la misma, que le permiten o le imposibilitan enfrentar un imprevisto fenómeno natural”.
- (Giménez et al., 2020), plantean a la vulnerabilidad como “el límite en el que sobrepasa el grado de reserva o el nivel de capacidad de respuesta previsto disponible ante una amenaza sísmica conocida”.
- Como plantea (Caicedo et al., 1994), la vulnerabilidad significa “el grado de pérdida de un elemento en riesgo o de un conjunto de tales elementos, resultante de la ocurrencia de u fenómeno natural de una magnitud dada”.
- La vulnerabilidad es una característica intrínseca de las estructuras, dependiendo de la forma como hayan sido diseñadas pero independiente de la peligrosidad del sitio donde está vinculada. Se puede afirmar que cada tipo de estructura tiene su propia función de vulnerabilidad y que el método para la determinación de dicha función varía en la misma forma en la que el comportamiento estructural del elemento en riesgo sea distinto (Caicedo et al., 1994).
- Como señala (Vielma, 2014), “el concepto de vulnerabilidad no solo puede utilizarse para describir aspectos estructurales, sino también para describir aspectos no estructurales, funcionales, operativos o sociales, entre otros”.

2.2.1.1. Evaluación de la Vulnerabilidad

Es aquella que nos permite identificar vulnerabilidades que existe en el sistema edificio con la ayuda de herramientas tecnológicas para ser tratada inmediatamente reduciendo el riesgo ante la exposición a una amenaza. Desde el punto de vista de (Sibaja et al., 2016), la evaluación

de la vulnerabilidad consiste en determinar cuál es el grado de daño esperable en un edificio para cada nivel del movimiento sísmico del terreno.

El análisis de vulnerabilidad se realiza a través de funciones de vulnerabilidad o fragilidad, que relacionan probabilísticamente una media de intensidad sísmica con una medida de daño en la edificación. En muchos casos las funciones de vulnerabilidad también incorporan las consecuencias del daño en términos de pérdidas humanas y materiales (NEC, 2014).

Un estudio de vulnerabilidad requiere que se defina su naturaleza y alcance, lo cual está condicionado por varios factores, tales como: el tipo de daño que se puede evaluar, el nivel de amenaza existente en la zona, la información disponible sobre las estructuras y los datos relacionados con los daños observados durante sismos que han afectado al zona de interés. Una vez definidos estos factores, el objetivo de los estudios de vulnerabilidad es determinar el daño esperado en una estructura, en un grupo de estructuras o en toda una zona urbana, suponiendo que llegue a ocurrir un sismo de determinadas características. Conocido el daño esperado, se buscan soluciones para reducirlo y lograr disminuir en gran medida las pérdidas que pudiese ocasionar un futuro terremoto (Vielma, 2014).

Es posible observar mecanismos propuestos para evaluar las condiciones de vulnerabilidad ante desastres ocasionados por sismos, las cuales tienen que ver con la instrumentación de estrategias de prevención, incluyendo políticas, estándares, participación de los sectores sociales, inversión en la transformación de las condiciones de la población misma o por otro lado, las formas de abordar las circunstancias post desastre con el propósito de recuperar un nivel de estabilidad (Ortiz et al., 2018).

En esta investigación se evalúa la vulnerabilidad mediante la realización de un formulario que permite diagnosticar aspectos estructurales como vigas, muros, cimientos, tipología estructural, irregularidad en planta y altura, estructura y las dimensiones de los diferentes elementos estructurales, dicha información se obtendrá a partir del levantamiento en terreno de la distribución de los sistemas estructurales y al final se podrá contar con un modelamiento a través del software CYPECAD para su respectivo análisis.

2.2.2 Vulnerabilidad Física

Hace referencia a todo tipo de material que es utilizado para su respectiva construcción y de acuerdo a las características de la amenaza se lo considera vulnerabilidad física.

La vulnerabilidad física es la propensión de un sistema a sufrir daños debido a su interacción con procesos externos e internos, potencialmente peligrosos. Es una propiedad relativa de los sistemas, lo que significa que el grado de vulnerabilidad depende del tipo de amenaza a la que este expuesta el sistema. En este sentido, un sistema puede ser más vulnerable a un fenómeno que a otro (Vielma, 2014).

2.2.3. Vulnerabilidad Sísmica

Puede definirse de manera cualitativa la predisposición de una categoría de elementos en riesgo a sufrir efectos adversos causado por terremotos potenciales, a partir de esto se puede plantear instrumentos operativos de evaluaciones útiles para diversos fines, como el desarrollo de escenarios de riesgo sísmico del terremoto o de estrategias de mitigación de riesgos (Vielma, 2014).

La vulnerabilidad sísmica afecta a las estructuras de concreto armado y más si estas se encuentran ubicadas en zonas con alto riesgo de peligro sísmico. Es importante conocer la vulnerabilidad sísmica de una estructura, pues representa uno de los factores del riesgo sísmico, conjuntamente con su zona sísmica (Giménez et al., 2020).

2.2.3.1. Tipos de Vulnerabilidad Sísmica

- **Vulnerabilidad Estructural:** La vulnerabilidad estructural se produce cuando los edificios se construyen mediante proyectos y materiales que son insuficientes para resistir a las tensiones extremas, por ejemplo; fuertes vientos, presiones hidrostáticas, o sacudidas sísmicas (Vielma, 2014).
- **Vulnerabilidad No Estructural:** Incluye los elementos arquitectónicos instalaciones y equipos de la edificación que están unidos a las partes estructurales que cumplen funciones básicas y terminan de conformar los ambientes de las edificaciones (Aguilar & Rivera, 2019).

El término no estructural se refiere a aquellos componentes de un edificio que están unidos a las partes estructurales (tabiques, ventanas, puertas, cerramientos, cielos rasos, etc.) que cumplen funciones esenciales en el edificio (plomería, calefacción, aire

acondicionado, conexiones eléctricas, etc.) o que simplemente están dentro de las edificaciones (equipos médicos equipos mecánicos muebles, etc.) (OPS, 2000).

Como señala la (OPS, 2000), los elementos no estructurales se pueden clasificar en las siguientes tres categorías:

- Los elementos arquitectónicos incluyen componentes como muros exteriores no - portantes, paredes divisorias, sistemas de tabiques interiores, ventanas, cielos rasos, sistema de alumbrados, etc.
- Los equipos y mobiliarios incluyen elementos como equipo médico, equipo industrial mecánico, muebles de oficinas, recipientes de medicamentos, etc.
- Las instalaciones básicas incluyen los sistemas de abastecimiento de servicio tales como electricidad, agua, comunicaciones internas y externas, etc.

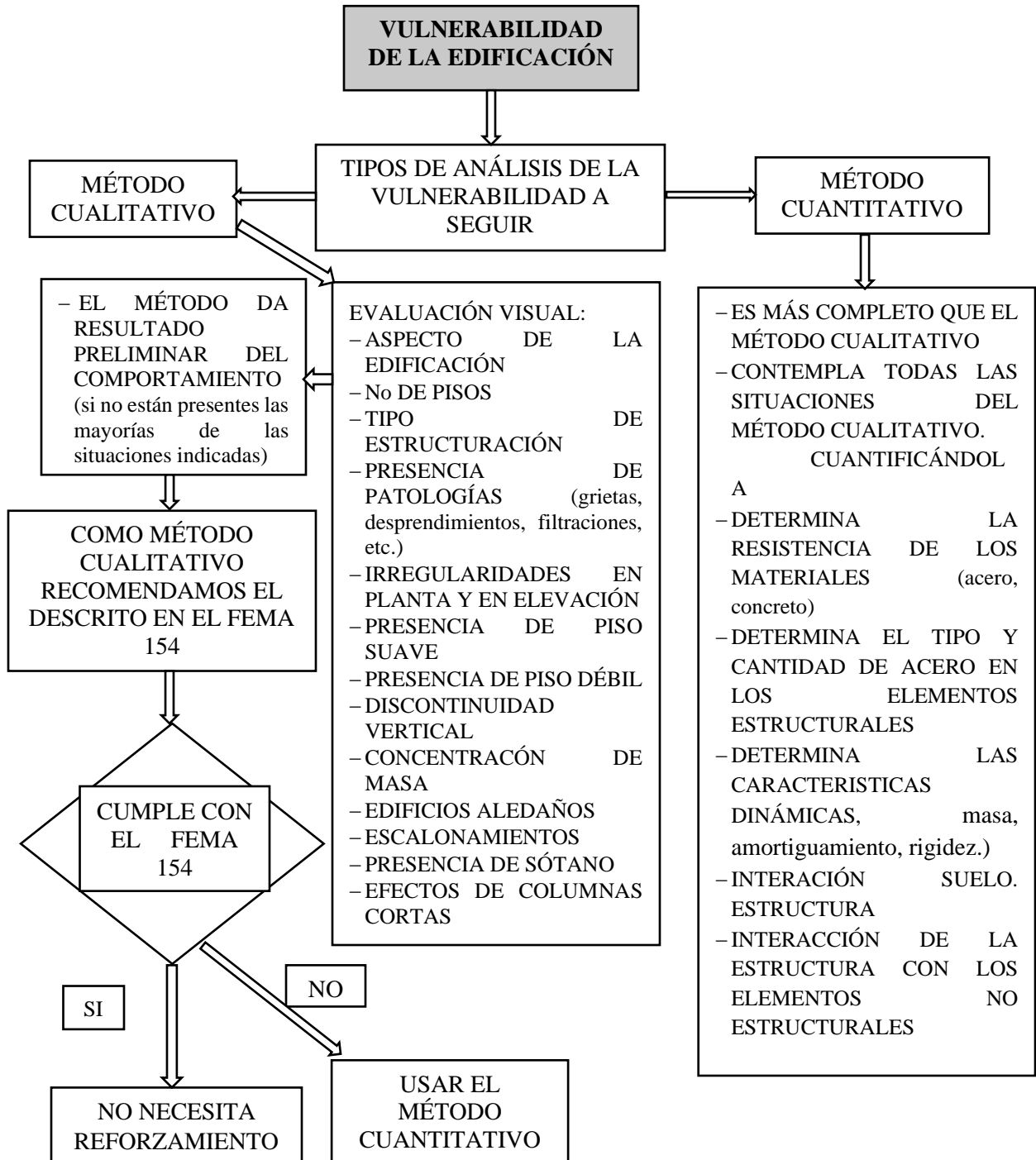
2.2.3.4. Vulnerabilidad Sísmica en edificaciones

La vulnerabilidad sísmica de un conjunto de edificios es la susceptibilidad a sufrir daños por sacudidas sísmicas y por tanto cuantifica su capacidad resistente frente a las acciones sísmicas. La vulnerabilidad es una característica intrínseca del edificio que depende de sus características de diseño, materiales y construcción (Sibaja et al., 2016).

En principio, la vulnerabilidad sísmica de edificios dentro de un área urbana puede evaluarse a partir del análisis mediante modelos numéricos del daño sísmico de las estructuras y de la inspección de edificios existentes. Es aquí donde se hace necesario distinguir entre la *vulnerabilidad observada*; que significa la vulnerabilidad que ha sido obtenida entre la vulnerabilidad de la inspección de los daños posteriormente a un terremoto y del análisis estadístico de los mismos para algún tipo definido de la estructura y la *vulnerabilidad calculada*; que es la vulnerabilidad que ha sido obtenida a partir de un análisis mediante un modelo estructural y cuyos resultados han sido expresados en términos probabilísticos (Vielma, 2014).

Para la realización de un análisis sismo-resistente a una edificación de hormigón armado existente, hay que hacer un análisis de vulnerabilidad sísmica, para determinar si se debe reforzar la edificación para que tenga un comportamiento adecuado frente a un evento sísmico (Hernández & Castro, 2011). Como se muestra a continuación:

Figura 1. Matriz de análisis de la vulnerabilidad sísmica de una edificación



Fuente: (Hernández & Castro, 2011, p.258)

El método FEMA 154, es un método cualitativo, el cual para la determinación de si se reforzara la edificación, esto se lo hace a través de un índice, el cual consiste en que si el resultado de la evaluación es menor o igual que dos (≤ 2) hay que hacer un método más detallado, pero si el índice de la metodología es mayor o igual que dos (≥ 2), no necesita un reforzamiento, por lo que el índice 2 significa que la edificación tiene una probabilidad de 1 a 100 de que colapse (Hernández & Castro, 2011).

Procedimiento para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural:

1. Diagnostico preliminar del estado técnico general de las edificaciones

- Inspección técnica visual de las edificaciones con el propósito de identificar su tipología constructiva.
- Caracterización de los elementos estructurales y no estructurales que conforman cada edificación así como determinar su estado técnico, identificando la existencia de lesiones y patologías, evidencias de daños provocados por sismos u otros fenómenos naturales o antrópicos ocurridos en el área o la región.
- Identificar aspectos que puedan influir en el nivel de vulnerabilidad sísmica estructural. Se incluye un levantamiento arquitectónico preliminar (Cuza et al., 2014).

2. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural en función de los siguientes aspectos:

- Realización de mediciones instrumentales de suelo, en el sitio de emplazamiento de las edificaciones, para determinar su período de vibración fundamental.
- Realización de mediciones instrumentales en las edificaciones para determinar las características dinámicas de las estructuras, especificando el período fundamental de vibración y su incidencia en el nivel de vulnerabilidad sísmica estructural.
- Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural de la edificación, para lo cual se aplica se debe aplicar un método de análisis en función de la información técnica (Cuza et al., 2014).

2.2.4. Vulnerabilidad Estructural

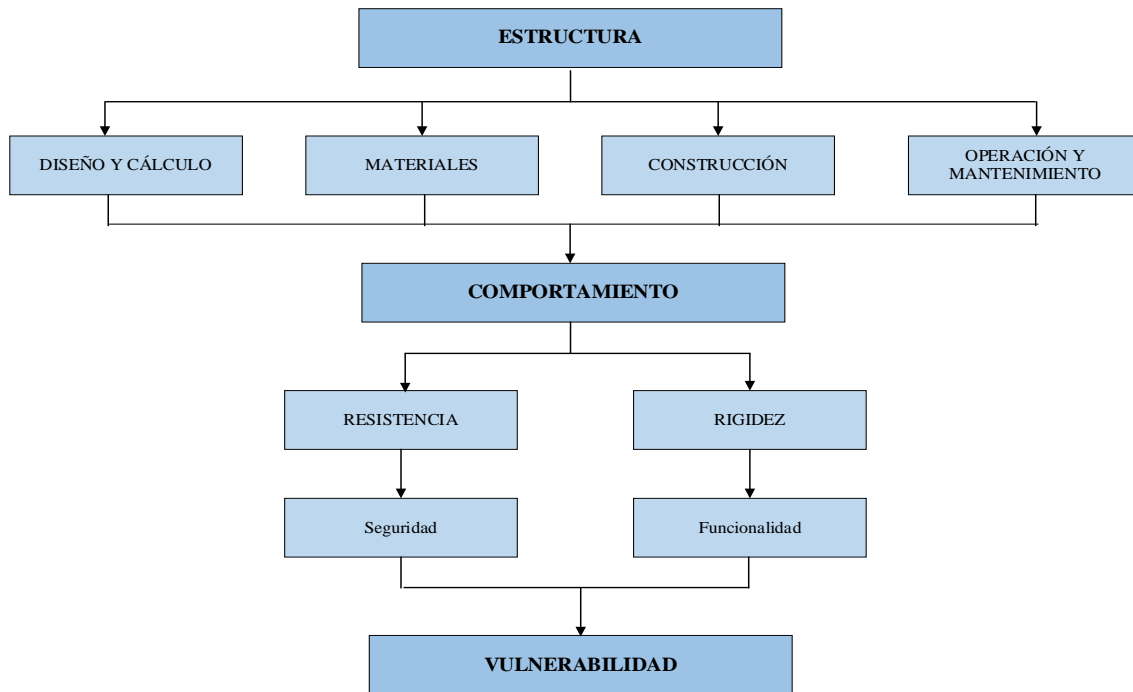
Como señala (Blanco, 2012), “la vulnerabilidad de las estructuras depende de los posibles daños que puedan sufrir sus elementos estructurales más importantes ante un sismo, lo cual repercute en el comportamiento de todo el sistema”.

La vulnerabilidad estructural, se produce cuando edificios se construyen mediante proyectos y materiales que son insuficientes para resistir a las tensiones extremas (por ejemplo, fuertes vientos, presiones o sacudidas sísmicas y como los fenómenos sísmicos están aún fuera del alcance de la predicción, se requiere avances en el campo de la ingeniería sísmica incluso modificaciones en las normas de proyectos sismo-resistente (Vielma, 2014).

Lamentablemente, en muchos países las normas para el diseño sismo resistente no son aplicadas en construcciones informales, lo cual repercute en elevar la vulnerabilidad de las estructuras. Al estudiar el comportamiento de edificaciones luego de un evento sísmico, se puede afirmar que cuando se toman en cuenta las normas de diseño sismo resistente, la construcción es debidamente supervisada y el sismo de diseño representa la amenaza sísmica que en los casos en los cuales no se cumplen los requerimientos mínimos indispensables para tal fin (Blanco, 2012).

Los parámetros que definen la vulnerabilidad de una estructura se muestran en la “Figura 2”. El comportamiento estructural ante una sollicitación de tipo natural o antrópica cualquiera, está sujeto a las condiciones bajo las cuales fue idealizada y concebida la estructura (diseño y cálculo), cuyo nivel de significancia dependerá en fuerte medida de la eficacia y cumplimiento de las especificaciones de los materiales, del sistema de calidad y el nivel de seguimiento en los procesos constructivos de la respectiva correspondencia en el nivel y tipo de ocupación y de la forma de mantenimiento y conservación de la estructura. Este comportamiento, expresado en términos de resiliencia y rigidez, determina el grado de seguridad estructural y el grado de funcionalidad. Estos parámetros determinan la vulnerabilidad de la estructura estudiada (Moreno & Delgadillo, 2005).

Figura 2. Esquema de la Vulnerabilidad estructural

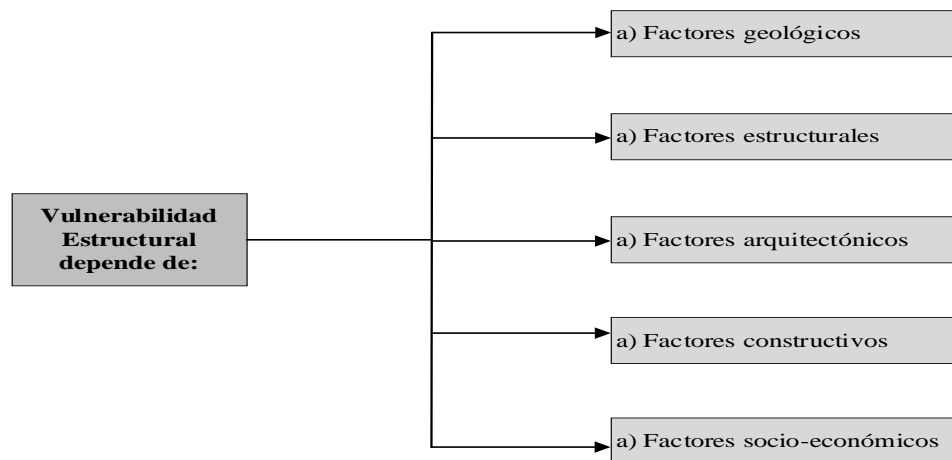


Fuente: (Moreno & Delgadillo, 2005)

2.2.4.1. Factores que influyen en la Vulnerabilidad Estructural

Según (Alonso, 2014), los daños suelen ser causados por una combinación de variables asociadas comúnmente a los factores, como se muestran a continuación:

Figura 3. Factores que influyen en la Vulnerabilidad estructural



Fuente: (Alonso, 2014)

Los diferentes factores que inciden en la vulnerabilidad son las siguientes:

- **Factores Geológicos:** Estos factores son los que apoyan al incremento de la vulnerabilidad estructural como: la sismicidad de la zona, distancia a la fuente sísmica, magnitud del terremoto, características geotécnicas locales, interacción suelo-estructura, asentamientos del terreno y la licuefacción del suelo (Alonso, 2014).
- **Factores Estructurales:** Son los predominan en la vulnerabilidad de la edificación tale como la tipología de la estructura, tipo de material (acero, concreto armado, madera, mampostería), deficiencia en la estimación de las cargas, deficiencia en el análisis y diseño estructural, problemas torsionales, geometría irregular de la planta y normas utilizadas (edad de la edificación) (Alonso, 2014).
- **Factores Arquitectónicas:** Estos factores son los que influyen en el aumento de la vulnerabilidad de la estructura las cuales se asocian con la configuración geométrica irregular en la planta y en el alzado de la edificación, ordenanzas (retiros, alturas, porcentaje de construcción, etc), distribución asimétrica o impropia de elementos de fachada, utilización indiscriminada de materiales inflamables, uso excesivo de espacios abiertos y la ubicación asimétrica del núcleo de escaleras y de ascensores (Alonso, 2014).
- **Factores Constructivos:** Son factores comunes o influyentes en la construcción o en su proceso de diseño, como por ejemplo: el encofrado deficiente, mala calidad de los materiales, protección deficiente contra el fuego, incompatibilidad de los materiales utilizados, falta de inspección eficiente, mano de obra defectuosa, uniones defectuosas de elementos prefabricados, defectos del vaciado y del curado del concreto, refuerzo inadecuado en las conexiones o juntas de los elementos de concreto armado (Alonso, 2014).
- **Factores Socio-económicos:** El cambio del uso previsto en la edificación original, utilización de materiales no aptos para resistir sismos, falta de información y de sistema de alerta rápida, educación en la población, viviendas de bajos recursos no apropiadas para zonas sísmicas y faltas de planes de contingencias durante desastres, son factores que intervienen modernamente en la vulnerabilidad de la edificación (Alonso, 2014).

2.2.4.2. Daños Estructurales

Desde el punto de vista de (Romero et al., 2021), el daño a las edificaciones puede ser causado por fenómenos naturales, por la acción humana al darle un uso impropio a estas, así como también por una incorrecta construcción.

La presencia del daño en edificaciones después de un terremoto, indica la necesidad de metodologías fiables para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones existentes, teniendo en cuenta la intervención compleja entre elementos estructurales, para obtener un análisis más preciso de la respuesta dinámica de la construcción en su totalidad (Pérez et al., 2013).

La evaluación de los daños sísmicos en edificaciones está influenciada por incertidumbres en cada paso del proceso de evaluación, las tendencias más recientes en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica es aplicada por métodos mecánicos simplificados basados en el desempeño y que involucra especialmente en el espectro de la capacidad (Pérez et al., 2013).

Según (Carrasco & García, 2020), los daños más comunes en las estructuras de concreto se pueden encontrar:

- Fisuras, grietas y/o fracturas producto de efectos de cortante y flexión
- Deterioro de materiales por agentes ambientales (Humedad, salitre, fuego, etc)
- Pérdida de recubrimiento
- Aplastamiento del concreto
- Exposición y/o corrosión del acero de refuerzo
- Carbonatación
- Pandeo local del acero de refuerzo longitudinal
- El daño inducido por el paso inadecuado de instalaciones
- Flechas o deformaciones excesivas de trabes, losas y voladizos
- Efectos de punzonamiento en losas planas y aligeradas
- Efectos de cortante por columna corta

Daños en Edificios

Desde el punto de vista de (Sánchez, 199), la intensidad macro sísmica indica el grado de daños para cada tipo de construcción en función de la intensidad del movimiento del suelo. La escala de intensidad MSK (que es utilizada en Europa), hace la siguiente clasificación de daños:

- **Daños Ligeros:** Fisuras en los revestimientos, caída de pequeños trozos de revestimiento.
- **Daños Moderados:** Fisuras en los muros, caída de grandes trozos de revestimiento, caída de tejas, caída de pretilas, grietas en las chimeneas, e incluso derrumbamientos parciales en las mismas.
- **Daños Graves:** Grietas en muros, caída de chimeneas de fábrica o de otros elementos exteriores.
- **Destrucción:** Brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial, pérdida del enlace entre distintas partes de la construcción, destrucción de tabiques y muros de cerramiento.
- **Colapso:** Ruina completa de construcción.

(Sánchez, 1994), argumenta que “los daños más fuertes provocados por los terremotos en las edificaciones dependen de los componentes estructurales y de los componentes no estructurales de la obra para un mismo lugar”.

En todos los diseños estructurales de las edificaciones se debe considerar primordialmente los efectos del lugar ante cualquier amenaza, sea natural o antrópica, así como de las condiciones geológicas en donde se vaya a edificar, con la finalidad de reducir los daños provocados por los diversos tipos de peligros a los cuales se encuentren expuestos y de esta manera poder salvaguardar la vida de las personas que hacen uso de los mismos (Gaibor et al., 2022).

2.2.5. Sismo

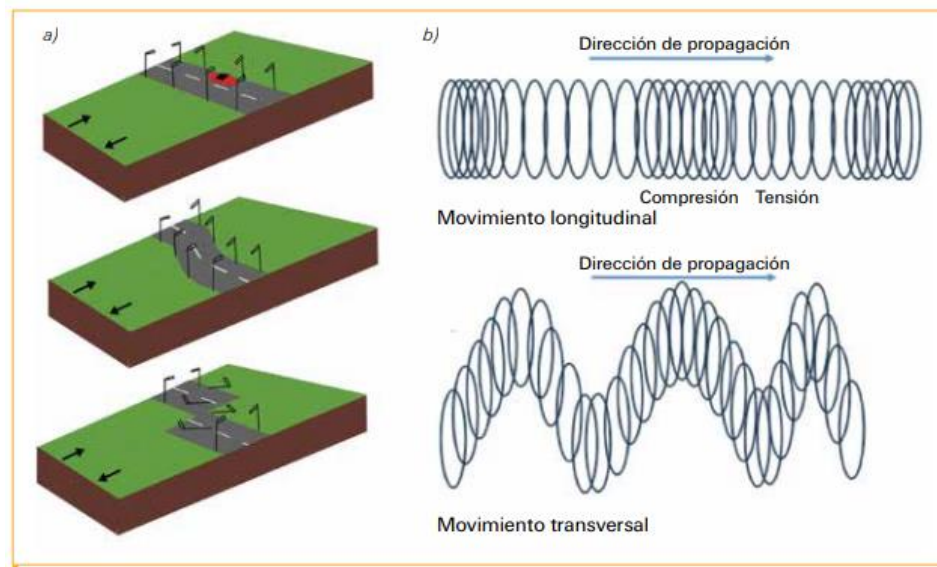
Como expresa (Jiménez et al., 2013), “los sismos equivalen al rompimiento repentino de las rocas en el interior de la Tierra. Esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno”.

La teoría de la tectónica de placas ayuda a comprender el porqué del movimiento relativo entre ellos; también, como esas grandes deformaciones y fuerzas de fricción se originan en las fronteras de la corteza. Esto provoca que el material del que están constituidas las placas finalmente se fracture y provoque, en la mayoría de los casos, desplazamientos súbitos o perturbaciones, lo

cual constituye la antesala de lo que la superficie terrestre se conoce como un sismo (Castro & Campos, 2018).

El movimiento relativo entre las placas tectónicas origina que grandes esfuerzos se concentran principalmente sus límites y se deforme el medio. Esto funciona como grandes resortes que van a acumulando energía potencial a lo que en sismología se llama “energía sísmica”. Se acumulará tanta como el límite elástico del medio lo permita, hasta que se rompa, se fracture o se disloque, es decir, se desplace súbitamente y origine un sismo. Este proceso elástico y dinámico fue estudiado en 1906 por el geofísico estadounidense Harry F, Reid, después del sismo de San Francisco. Sus observaciones en esta zona donde se encuentra la falla de San Andrés, le permitieron proponer formalmente la teoría del rebote elástico (Castro & Campos, 2018).

Ilustración 5. a) Teoría del rebote elástico. b) Ondas de cuerpo: longitudinales (ondas P) y transversales (ondas S)



Fuente: (Castro & Campos, 2018)

Los temblores se originan por movimientos, fricción y deformación de las placas tectónicas. El primero provee energía, el último almacena y la fricción es un precursor importante en el proceso. Dado que el sismo es el efecto de una perturbación que ocurre ya sea en la superficie o en el interior de la Tierra, al lugar donde se origina la perturbación se le conoce como fuente sísmica foco o hipocentro (Castro & Campos, 2018).

Un sismo son ondas que se propagan por el medio terrestre y provocan dicha vibración. En los sólidos pueden transmitirse dos tipos de onda. El primero es conocido como onda compresional, porque consiste en la transmisión de compresiones y tensiones; también se les conoce como longitudinales, debido a que las compresiones y tensiones se dan a lo largo de la trayectoria de la onda. El segundo tipo son las ondas de cizallamiento o transversales, precisamente porque las partículas del medio se mueven de manera perpendicular a la trayectoria. La “Ilustración 5”, muestra la propagación de estas ondas en un medio elástico. Las ondas compresionales viajan más rápido que las transversales, de tal forma que a cualquier sitio llegaran en este orden, por lo que se les denomina ondas P y S (ondas primarias y secundarias)(Castro & Campos, 2018).

2.2.5.1. Tipos de Sismo

- **Interplaca:** Se generan en las zonas de contacto de las zonas tectónicas, tiene una alta magnitud, un foco poco profundo y liberan gran cantidad de energía. Alejados de los centros de población.
- **Intraplaca:** Se originan de las placas tectónicas, en las fallas locales. Tienen magnitudes pequeñas o moderadas y son cercanos a los centros de población.
- **Volcánicos:** Son consecuencia de la actividad propia de los volcanes, generalmente son de baja magnitud y se limitan al aparato volcánico.
- **Provocados por el ser humano:** Originados por explosiones o por colapso de galerías en explosiones mineras.

Para la medición de un sismo se utilizan dos tipos de escala:

- **Richter:** La cual mide la energía liberada durante un sismo, mediante el uso de sismógrafos y la escala de la intensidad.
- **Mercalli:** Mide la magnitud del sismo según los efectos ocasionados en la zona donde ocurrió el sismo (Jiménez et al., 2013).

2.2.5.2. Fallas Geológicas

Desde el punto de vista de (Gätgens, 2013), una falla se define como una “factura o zonas de fracturas cercanamente espaciadas a lo largo de las cuales las rocas de un lado han sido sometidas a un desplazamiento respecto a las rocas del otro lado”.

Ecuador se encuentra dentro de un particular movimiento tectónico. Un sector del territorio forma parte de la microplaca denominada “Bloque Andino” la cual pertenece a la placa sudamericana. Esta microplaca, se encuentra en una interacción entre las placas de nazca, cocos y caribe. El movimiento en esta zona se ha medido en un intervalo aproximado de 50-60 mm/año, mientras que para la placa continental, el movimiento se encuentra entre 2 y 5 mm/año. Por otra parte, la región sur del ecuador, se encuentra en interacción entre la placa sudamericana y la placa de Nazca. Esta dinámica de placas ha producido que en el ecuador se presentan tres diferentes inclinaciones de la subducción de la placa de nazca en la placa continental (Martínez & Angulo, 2016).

Este comportamiento dinámico de la región ha generado un sistema de fallas denominado sistema Mayor Dextral, mismo que presenta una mayor concentración de fallas y pliegues en la región de la sierra ecuatoriana. Este sistema de fallas en conjunto con la subducción presentada en la costa del país, representan las principales fuentes generadoras de sismos (Martínez & Angulo, 2016).

2.2.5.3.Sismos producidos por Volcanes

Según la teoría de la tectónica de placas la corteza terrestre y el manto superior, están divididos en 6 o 7 placas mayores, rígidas y delgadas que se mueven una con respecto a la otra. El calor y las corrientes de convección que se producen en el interior de la tierra, hacen que dichas placas se encuentren en constantes movimientos diferenciales. Dichos movimientos se manifiestan a través de las dorsales y de las fosas o trincheras. La actividad de los cinturones sísmicos, es uno de los resultados de dichos movimientos diferenciales, así como la actividad volcánica presente en ciertas partes de dicho cinturón. La sismicidad, el movimiento diferencial entre las placas, la actividad volcánica y las grandes formas topográficas, están íntimamente relacionadas, especialmente en los dominios de subducción o fosa (Espinoza, 1992).

2.2.5.4.Efectos de los Sismos en las Estructuras

Los efectos que generan los eventos sísmicos en las edificaciones, son variados y dependen de diversos factores entre los que se pueden mencionar: la edificación (material, estructura, antigüedad, etc), el sismo (origen, tipo, intensidad, etc) y el terreno sobre el cual esta cimentada la edificación. Es sabido que, dependiendo de la localización de la fuente sísmica y de las características del suelo, entre otros factores, las frecuencias con las que se transmiten los diferentes

trenes de ondas sísmicas pueden generar movimientos de la masa de suelo que causan devastación a grupos específicos de estructuras (Carrasco & García, 2020).

2.2.5.5. Riesgo Sísmico

Como expresa (Castro et al., 2019), el riesgo sísmico es la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso natural, asociado a las pérdidas humanas y materiales, que se establece mediante la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad.

Desde el punto de vista de la (NEC, 2014), el riesgo sísmico resulta de la combinación de 3 factores:

- Peligro sísmico
- Nivel de exposición
- Vulnerabilidad al daño de edificaciones

El Ecuador al ser conocido como un país está expuesto a un peligro sísmico permanente, que involucra la exposición a ciertos eventos que pueden traer consigo la pérdida humanas, pérdidas materiales y económicos por lo tanto es necesario tomar medidas que permitan reducir los efectos negativos de un evento sísmico, entre ellos, efectuar estudios que permitan determinar el comportamiento probable de una estructura ante dicho eventos, para de esta manera poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. El Ecuador ha pasado por varios eventos sísmicos que ocasionar diferentes niveles de afectación, muchos de ellos han sido de gran intensidad y han causado daños estructurales y víctimas fatales (Cunalata & Caiza, 2022).

El peligro sísmico puede expresarse en términos del espectro de respuesta. Los eventos identificados que están asociados con altas frecuencias pueden ser empeladas como escenarios para evaluar estructuras ingenieriles e infraestructura nueva y existente. Las características de los escenarios también pueden ser considerados para seleccionar registros del movimiento del terreno que se necesitan para analizar estructuras y verificar el diseño sísmico (Estrada et al., 2014).

2.2.5.6. Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC)

La caracterización de las estructuras en el Ecuador, en función del peligro sísmico al que se encuentra expuesto el país y la región por su ubicación, resulta de suma importancia para poder identificar los posibles daños que se esperan que se presenten en las edificaciones, en el supuesto caso de que se encuentren expuestas ante la arremetida de un sismo de características superiores

al considerado al momento del diseño. Razón por la cual, la Norma Ecuatoriana de Construcción, establece diferentes niveles de seguridad donde se indica como sismo de diseño el nivel de seguridad de vida, entendiéndose que se debe proteger la vida de quienes se encuentren en las edificaciones ante un terremoto de 475 años de periodo de retorno y de igual forma, impedir el colapso total ante un sismo de gran magnitud de 2500 años de periodo de retorno (Páez et al., 2018).

Las normas NEC se adaptan a las características, así como también al lugar y al tiempo en que se van generando las tecnologías, como bien es el caso entre las normas NEC 2014 y 2015; la normas NEC 2014 aborda todos los requerimientos y metodologías necesarias que deberán ser aplicados netamente al diseño sismo resistente en los edificios y además se complementan con las normas extranjeras más reconocidas, en el caso de las normas NEC 2015 habla de todos los requisito que se utiliza en la parte funcional de un edificio que incluye las disposiciones para la utilización del cableado e instalación de equipos eléctricos así como también se le considera el procedimiento de cómo implementar los conductos y los cables.

2.2.6. Amenaza Sísmica

La amenaza sísmica es denominada la estimación o el potencial de que ocurran sismos dañinos en un área geográfica. Dentro de ella se toman en cuenta los sismos que pueden ocurrir en el epicentro o en zonas aledañas. Esta presenta vibraciones de mediciones que dependen de la persona que la realice, se puede medir bien sea desde la evaluación de que la zona sea activa sísmicamente, hasta por la forma como se presenta en las normas de diseño sismo-resistente (Jiménez et al., 2013).

2.2.6.1. Zonificación Sísmica y Factor Zona Z

Para los edificios de uso normal se usa el valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del Factor de Zona Z, de acuerdo al mapa que se muestra en la “Ilustración 1” (NEC, 2014).

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0,50

g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI (NEC, 2014).

Tabla 4. Valores del Factor Z en función de la zona sísmica adoptada

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

Fuente: (NEC, 2014)

Para facilitar la determinación del valor Z en la poblaciones ecuatorianas se incluye un listado, donde nos muestra que la ciudad de Guaranda presenta un valor del Factor Z de 0.35 en la “Tabla 4”, es decir una amenaza sísmica Alta (NEC, 2014).

2.2.6.2.Sismicidad Histórica en el Ecuador

Si se toma en cuenta los temblores de pequeña magnitud y los que no son sentidos por las personas y son detectados únicamente por los sismógrafos, el número de sismos que se registran en nuestro territorio puede sumar varios miles por año. Las sismicidad son diferente de acuerdo a las características geológicas y tectónicas de cada región, las mismas que dependen de varios factores, como la estructura y composición del suelo. Como resultado de las diferentes condiciones sísmicas de cada región, también la amenaza sísmica potencial difiere entre estas regiones (Rivadeneira et al., 2007).

Nuestro país se encuentra en una zona de subducción entre la Placa oceánica de Nazca y la Placa Continental Sudamericana, además de estar atravesado por el cinturón de Fuego del Pacífico el cual se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo lo que produce una intensa actividad sísmica. A través del tiempo se han registrado sismos cuyo impacto ha sido notorio, tanto por los daños causados por la pérdida de vidas. Desde 1541 hasta 1998, en un periodo de 458 años se han registrado 37 sismos con intensidad igual o mayor a VIII en la escala de Mercalli, grado a partir del cual los sismos se consideran destructivos (Palma et al., 2021).

El Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que en los últimos años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras, con la muerte de más de miles de personas, escenarios

sísmicos probables muestran la necesidad urgente por emprender programas para la mitigación del riesgo sísmico. La mayoría del territorio Ecuatoriano se encuentra ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, la vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones que tienen un alto grado de exposición por estar en su mayoría situadas en lugares con alta peligrosidad sísmica, de aquellas construidas antes de la promulgación de los códigos de la construcción o de aquellas que no han sido diseñadas apropiadamente y que a lo largo de su vida han sido reformadas, ampliadas o que han sufrido un cambio en el tipo de uso (Caspi et al., 2021).

En el Ecuador se han registrado cientos de sismos de baja intensidad que no han causado daños de importancia; grandes daños tanto a la población como en las infraestructuras y en el peor de los casos han ocasionado la destrucción total del sitio en el que se ha detectado dicho terremoto (Quiroz, 2016, como se citó en Caspi et al., 2021).

Algunos terremotos que destruyeron ciudades en el Ecuador:

- **El 31 de agosto de 1587:** En San Antonio de Pichincha y pueblos vecinos con gran destrucción dejando 160 muertos y muchos heridos. Provocando también grandes y profundas grietas por las que brotó agua negra con muy mal olor exponiendo aún más a las personas sobrevivientes; desbordamientos e inundaciones en el lago San Pablo. Las crónicas dicen que el sismo duro como media hora, esto producto de replicas inmediatas que iban disminuyendo al pasar los días (Caspi et al., 2021).
- **El 29 de agosto de 1674:** Registrado en la Hoya Chimbo el cual provocó la destrucción del cantón Chimbo y 8 pueblos circundantes. La mayor destrucción ocurrió en el centro del cantón dejó pocos sobrevivientes. A pesar de la magnitud, la zona macrosísmica fue bastante restringida, debido a grandes deslizamientos en montes y laderas, abriendo grandes grietas en el terreno y represando el río (Caspi et al., 2021).
- **El 4 de febrero de 1797:** Este fue uno de los terremotos más destructivos, de mayor magnitud en la historia Ecuatoriana que terminó destruyendo toda la villa de Riobamba. Destruyó totalmente el antiguo Riobamba, razón por la cual se trasladó de sitio y se asentó donde actualmente se encuentra. Causó graves daños en ciudades pueblos y caseríos que actualmente son las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y parte de Bolívar y Pichincha, las ondas sísmicas (sacudones) duraron aproximadamente 4 minutos provocando grandes caídas de suelo y montes, por esta razón quedaron totalmente

sepultados 3 barrios pertenecientes a Riobamba. Además se abrieron grietas anchas y profundas de impresionante longitud. Un ejemplo es el Valle de Patate, se dice que las grietas fueron tan grandes que se perdieron muchas haciendas. El paisaje cambió totalmente debido al terremoto puesto que se destruyeron montes, hubo levantamientos y hundimientos del terreno y los ríos cambiaron su curso. Se estima que este evento dejó de entre 12.833 a 31.000 muertos y que la cifra iba aumentando según se iba realizando los rescates y otros murieron debido a diferentes causas. Como es obvio, el impacto y pérdidas tanto social (personas), económico, infraestructura fue incalculable. Provocó movimientos de masas en taludes y carreteras. Personas cercanas aseguraban que el volcán Sangay, un mes desde el temblor “desapareció el eterno y candente penacho”. Y en Quito el día 24 fue sorprendido por una lluvia de cenizas sin que se haya podido determinar su procedencia (Caspi et al., 2021).

- **El 23 de septiembre de 1911:** Se produjo un violento sismo que causó caos en varios cantones de la provincia de Chimborazo, el cual provoca la afectación del 90% de edificios y casas ya sea de mayor o menor cuantía (Caspi et al., 2021).
- **El 6 de marzo de 1987:** Se presentó en la provincia de Napo un gran terremoto con efectos severos que provocó daños en ciudades, poblaciones y provincias cercanas. Destrucción de varios tramos de oleoductos Trans-Ecuatoriano que obligó a la suspensión que el bombeo del petróleo por varios meses, con serios de efectos en la economía nacional (Taringa, 2011, como se citó en Caspi et al., 2021).
- **16 de abril del 2016:** A las 18h58 del 16 de Abril de 2016 tuvo lugar un terremoto de intensidad de 7.8°, con epicentro en Cojimés y Pedernales, el mismo que provoca la destrucción de infraestructura; estructural, no estructural y funcional además de cientos de vidas humanas dejando a un Pedernales destrozado, se estima que este desastre superó 2.200 millones en dólares (Toulkeredis, 2018, como se citó en Caspi et al., 2021).

2.2.7. Métodos para Evaluar la Vulnerabilidad Estructural

Existen métodos cualitativos y cuantitativos que son esenciales para determinar la vulnerabilidad estructural. Los métodos cualitativos se desarrollan a través de las descripciones de las características generales del edificio. Los métodos cuantitativos permiten conocer las probabilidades de los daños y procedimientos de análisis en términos numéricos. Cabe destacar que cada método debe realizarse en función de los objetivos planteados.

2.2.7.1. FEMA 154

De acuerdo con el (MIDUVI, 2016) la evaluación visual de peligro sísmico para edificaciones, está basada en FEMA 154, el cual fue desarrollado para que profesionales evalúen construcciones existentes y las clasifiquen en tres categorías:

1. Edificios con baja vulnerabilidad en cuanto a daños y seguridad de los ocupantes frente a un sismo
2. Los que presentan vulnerabilidad media, que estarían dentro de los parámetros aceptables
3. Los que tienen vulnerabilidad alta, las cuales necesitan un estudio más detallado, realizado por un ingeniero experto en el diseño estructural.

El objetivo principal de esta evaluación es identificar las edificaciones más vulnerables frente a eventos sísmicos. El resultado de esto también podrá servir para: implementar programas de mitigación de riesgos para un región delimitada, inventario de edificaciones según su uso, etc (MIDUVI, 2016).

Recopilación de Datos (Formulario)

Como señala el (MIDUVI, 2016), la inspección, la recolección de datos y el proceso de decisión se lleva a cabo en la visita de campo mediante el formulario que se utiliza para realizar la evaluación en la que se registra lo siguiente:

1. Datos de la edificación

Dirección: Es importante localizar de la manera más exacta posible a la edificación en estudio. Por lo menos se indica, la Calle principal y calle secundaria. Si es posible se tomará: número de la edificación, coordenadas (longitud y latitud) y código postal del sector.

Nombre de la edificación: Es muy común en el país que edificios tengan un nombre el cual ira registrado en este campo. En construcciones pequeñas como viviendas, que no tienen un nombre definido, se colocara el nombre del dueño de la edificación si se lo conoce o simplemente este campo no se llenara.

Sitio de Referencia: Si es posible y existe algún sitio que sea representativo del sector o que la mayoría de personas conozcan (parques, iglesias, estadios, hospitales, farmacias, etc.) se

registra en el formulario. Este sitio de referencia podría ayudar a localizar la edificación con facilidad.

Tipo de uso: Por lo general, el uso que se da a una edificación no tiene relación directa con la probabilidad de sufrir daños estructurales frente a un sismo, pero es importante determinar su uso u ocupación a la hora de dar prioridades para un posible programa de mitigación de riesgos. Existirán edificaciones con más de un tipo de uso, las cuales serán registradas en esta parte del formulario, escribiendo primero el uso principal de esta (MIDUVI, 2016).

Se presenta nuevos tipos de uso, fáciles de reconocer, que se da en una edificación:

- **Asamblea:** Son lugares públicos de reunión, donde se reúnan personas en una sola habitación, por ejemplo: teatros, auditorios, centros comunitarios, iglesias, salas de espectáculo.
- **Comercial:** Este tipo de uso se refiere a: Empresas de cualquier tipo que no entren en otras categorías, instituciones financieras, restaurantes, centros comerciales, edificios de estacionamiento.
- **Servicios de Emergencia:** Este tipo de uso hace referencia a las edificaciones que presentan sus servicios ante un evento sísmico, por ejemplo: Estaciones de policía, bomberos, hospitales, casas de salud, centros de comunicaciones.
- **Gobierno:** Este tipo comprende todas las edificaciones estatales, que no sean consideradas como servicios de emergencia.
- **Histórico:** Este tipo de edificaciones son las consideradas patrimoniales.
- **Industrial:** Se incluye todo tipo de industria, como fábricas, plantas de ensamblaje, grandes almacenes, bodegas y la industria pesada.
- **Oficina:** Este tipo de uso incluye a los típicos edificios de oficina, casas de oficina y sitios de gestiones.
- **Residencial:** Se refiere a; edificios residenciales, casa, hoteles, moteles, hostales, conjuntos residenciales, hogares para ancianos y discapacitados.
- **Educativo:** Se refiere a todas las instituciones educativas, públicas y privadas; escuelas, colegios, institutos, universidades (MIDUVI, 2016).

Fecha de evaluación: Se indicará la fecha en la que se visitó la edificación (año-mes-día).

Año de construcción: Este parámetro es muy importante, ya que la edad del edificio está ligada directamente a las prácticas de diseño y construcción, y afectará o favorecerá en los resultados finales. Por lo general esta información se lo puede encontrar en los trabajos de planificación, pero si no es así, se lo debe obtener en la visita de campo. Se debe tener cuidado con la interpretación de este parámetro, ya que la edificación pudo haber sido diseñada mucho antes de la fecha de construcción o pudo haber tenido remodelaciones. Si por algún motivo, el año de construcción no se puede obtener, se hará una estimación, basándose en el estilo, tipo de construcción y uso de la edificación. Eso se expondrá en la parte inferior del formulario (Observaciones) (MIDUVI, 2016).

Año de Remodelación: Es importante tomar en cuenta el año en el que una edificación sufrió modificaciones, aumento etc., de su diseño original. Eso podría influenciar en las prácticas constructivas que presenta dicha remodelación. Esto se lo mencionara en la parte inferior del formulario (Observaciones) (MIDUVI, 2016).

Área Construida: Es de toda la edificación y no solo de un piso, si la evaluación se estaría realizando a un edificio. Si se dispone de planos se obtendrá fácilmente este parámetro. Si no se tiene planos se deberá tomar medidas de la edificación en la vista de campo. Las unidades en las que se registrará el área construida serán de metros cuadrados (m^2) (MIDUVI, 2016).

Número de Pisos: El número de pisos puede ser un buen indicador de la altura de la edificación. La gravedad y cantidad de daño de una estructura, frente a un sismo, se relaciona con su altura y más si esta cimentada sobre un suelo tipo C, D, E o F que presenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2016).

2. Datos del profesional

De acuerdo con el (MIDUVI, 2016), en esta parte constara el nombre completo del profesional, su cedula de identidad.

3. Esquema estructural en planta y elevación en la edificación

En el esquema en planta se deberá indicar la ubicación, lo más exacta posible del ducto o ductos de gradas y ascensores (este último en caso de edificios). Estos esquemas serán de gran ayuda ya que se podrá determinar posibles irregularidades, al realizar es esquema, el evaluador podrá identificar muchos aspectos que tenga la construcción(MIDUVI, 2016).

4. Fotografía

Como plantea el (MIDUVI, 2016), la fotografía será de la parte frontal de la edificación (acceso principal), procurando que en esta se la pueda observar en su totalidad.

5. Identificación del sistema estructural

Esta evaluación visual rápida de vulnerabilidad frente a un evento sísmico, supone que el profesional a cargo será capaz de determinar el sistema estructural de la edificación en estudio. Los subsuelos, en el caso de edificios son los mejores sitios para recolectar un sistema estructural (MIDUVI, 2016).

Los tipos de estructuras que se presentan en la mayoría del territorio ecuatoriano se los ha dividido en 13 grupos para este sistema de evaluación y se los presenta a continuación con sus respectivos códigos:

Tabla 5. Tipología del sistema estructural implementado para la evaluación

TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL					
Madera	W1	Pórtico Hormigón Armado	C1	Pórtico Acero Laminado	S1
Mampostería sin refuerzo	URM	Pórtico H. Armado con muros estructurales	C2	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2
Mampostería reforzada	RM	Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	C3	Pórtico Acero Doblado en frío	S3
				Pórtico Acero Laminado con muros estructurales de hormigón armado	S4
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	MX	H. Armado prefabricado	PC	Pórtico Acero con paredes mampostería	S5

Fuente: (MIDUVI, 2016)

Para cada uno de estos 13 tipos de construcción, se ha calculado un índice de peligro estructural (puntaje básico) que refleja la probabilidad de daño y pérdida de una edificación, basándose en el FEMA 154 y se lo puede observar a continuación:

Tabla 6. Puntaje básico de cada sistema estructural

PUNTAJES BASICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL.											
Tipología del sistema estructural	W1	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
Puntaje Básico	4.4	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2

Fuente: (MIDUVI, 2016)

A continuación se detallará los 13 sistemas estructurales para evaluar la vulnerabilidad de una estructura frente a un sismo:

Madera (WI): Cuando todos los elementos estructurales: vigas, columnas, bastidores, celosías, armaduras son de madera natural o laminada. Estas estructuras son de 1 o dos pisos máximo y de peso ligero. La falla más común de estas estructuras se da en las uniones de elementos estructurales.

Mampostería sin refuerzo (URM): Muros de paredes portantes de ladrillo, bloque, adobe, bahareque sin refuerzo de varillas de acero.

Mampostería reforzada (RM): Muros de paredes portantes de bloque o ladrillo con varillas de acero de refuerzo horizontal y vertical.

Mixta acero hormigón o mixta madera hormigón (MX): Combinación de elementos estructurales, vigas y columnas de diferentes materiales.

Pórticos de hormigón armado (CI): Elementos estructurales vigas y columnas de hormigón armado.

Pórticos de hormigón armado con muros estructurales (C2): Elementos estructurales vigas, columnas y muros estructurales de hormigón armado a todo lo alto de la edificación.

Pórticos de hormigón armado como mampostería confinada sin refuerzo (C3): Elementos estructurales, vigas y columnas de hormigón armado y muros cortantes de mampostería sin varillas de acero.

Hormigón armado prefabricado (PC): Paneles portantes de hormigón armado prefabricado o elementos estructurales vigas y columnas de hormigón armado, prefabricadas y ensambladas en obra. Las conexiones mal diseñadas en este sistema pueden fallar.

Pórtico de acero laminado (SI): Elementos vigas y columnas conformadas por perfiles estructurales laminados en caliente o secciones armadas de placas laminadas en caliente. Las fallas más comunes frente a un sismo se producen en sus conexiones.

Pórtico de acero laminado con diagonales (S2): Pórtico de ser laminado en caliente y diagonales rigidizadores a todo lo alto de la edificación.

Pórtico de acero doblado en frío (S3): Elementos vigas y columnas conformadas por secciones de acero de lámina delgada doblada en frío.

Partico de acero laminado con muros estructurales de hormigón armado (S4): Pórticos de acero laminado en caliente con muros estructurales de hormigón armado a todo lo alto de la edificación. Las cargas laterales son resistidas por los muros que por lo general, se ubican en el cajón de ascensores y gradas.

Pórticos de acero con paredes de mampostería (S5): Pórticos de acero laminado en caliente con paredes divisoras de mampostería de bloque de hormigón (MIDUVI, 2016).

6. Modificadores

Se llama modificadores a los principales factores que afecten significativamente el rendimiento de la edificación estudio. Cada uno de estos modificadores tienen un valor y dependen del tipo de estructura. Si un modificador no aplica un determinado tipo de sistema estructural, el valor se representa con N/A que indica no aplicable (MIDUVI, 2016).

Tabla 7. Modificadores

PUNTAJES BASICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL.											
Tipología del sistema estructural	W1	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
Puntaje Básico	4.4	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN											
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4

Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	N/A	0.8	0.8
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN											
Irregularidad vertical	2.5 ⁻	-1.5	-1.5	-1	-1	-1	-1	-1.5	-1.5	-1	-1
Irregularidad en planta	0.5 ⁻	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
CÓDIGO DE LA CONSTRUCCIÓN											
Pre-código (construido antes de 1977) o auto construcción	0	-1.2	-1.2	-1	-0.2	-0.8	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2
Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1
TIPO DE SUELO											
Tipo de suelo C- Suelo rígido	0	0.4 ⁻	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Tipo de suelo D- Suelo denso	0	0.6 ⁻	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4
Tipo de suelo E- Suelo suave	0	1.2 ⁻	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8

Fuente: (MIDUVI, 2016)

A continuación se presentan las descripciones de cada uno de los modificadores que se usará en la evaluación de vulnerabilidad sísmica.

Altura de la edificación:

- **Baja altura (menor a 4 pisos):** No se considera que las edificaciones de 1 a 3 pisos generen grandes riesgos frente a un sismo leve. Es por eso que el valor es cero en todos los tipos de sistema estructural
- **Media altura (4 a 7 pisos):** Si la edificación tiene de 4 a 7 pisos se considera de media altura. Se marcará con un círculo el valor de ese modificador.
- **Gran altura (mayor a 7 pisos):** Si la edificación tiene 8 pisos o más se considera de gran altura. Se marcará con un círculo al valor de ese modificador (MIDUVI, 2016).

Irregularidad de la Edificación:

a. Irregularidad vertical

A continuación se presenta irregularidades en elevación que se deben marcar en el formulario:

Irregularidad geométrica: La edificación es irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, excepto en el caso de los altillos de un solo piso ($a > 1.3 b$).

Irregularidad por ubicación: Si la edificación se encuentra en una colina empinada, tal que a lo largo de la pendiente exista al menos un piso de altura.

Piso débil: Sin la rigidez de un piso es drásticamente menor que la mayoría de los demás pisos. Disminución en mampostería portante o muro de estructurales.

Columna corta o larga: Si la edificación presenta columnas cortas o demasiado largas (comúnmente en mazzanines).

Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas: La estructura de la edificación es irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales y estos desplazamientos son más grandes que la dimensión horizontal del elemento.

Distribución de masa: La estructura de la edificación es irregular cuando la masa de cualquier piso es menor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.

Piso flexible: La estructura de la edificación es irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menos que el 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

Adiciones: La estructura de la edificación o irregular cuando existen adiciones, fuera del diseño original, de un piso más (MIDUVI, 2016).

b. Irregularidad en planta:

A continuación se presentan irregularidades en planta que se deben marcar en el formulario:

Forma: La estructura de la edificación irregular cuando su configuración en planta presenta las formas L, T, I, U, E o forma de cruz, sin juntas de construcción.

Discontinuidades en el sistema de piso: Estructura de la edificación es irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, causadas por aberturas, entrantes o vuelcos con áreas mayores del 50% del área total del piso.

Ejes estructurales no paralelas: La estructura de la edificación es irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.

Torsional: La estructura de la edificación es irregular cuando presenta buena resistencia lateral en una dirección pero en la otra no o si existe rigidez excéntrica en planta o cuando su centro de rigidez no coincide con su centro de masa.

Adiciones: La estructura de la edificación es irregular cuando existen adiciones, fuera del sitio del diseño original, sin su respectiva junta de construcción (MIDUVI, 2016).

c. Código de la Construcción:

El primer código de construcción ecuatoriano que describa un proceso de destinación de fuerzas laterales y requisitos de diseño sísmico, se estableció en 1977, después de la publicación del Código Americano UBC (1974) por sus siglas en inglés “Uniform Building Code”. Años más tarde, después de colapsos y daños en las edificaciones, sufridos a causa del terremoto de magnitud 7.1 ocurrido en Bahía de Caráquez, en la costa norte de Ecuador, se introdujo en el año 2001, el primer mapa de zonificación sísmica de Ecuador en el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC-2001), después de aplicar los primeros sismológicos adecuados y conocimientos de ingeniería sísmica disponibles en ese momento en todo el mundo. La versión del código del año 2001 incluye una serie de requisitos de diseño y modelado, similares del código americano UBC 1997. Por lo tanto, 2001 podría ser considerado como año de referencia del diseño sísmico Ecuador (MIDUVI, 2016).

En la actualidad, se encuentra aprobada la nueva Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015, la cual se considera como un código mejorado con respecto al diseño sismo-resistente de las estructuras. Por lo tanto es razonable considerar que los edificios que fueron construidos antes de 1977 tendrán una resistencia sísmica inaceptable. Por el contrario, todos los edificios construidos después de 2001, se podrían considerar que tienen un diseño sismo-resistente adecuado (MIDUVI, 2016).

Pre código (construido antes de 1977) o auto construcción: Se utilizará este modificador cuando una edificación haya sido construida antes de 1977 (primer código ecuatoriano), o cuando la edificación muestra señales que se la construyó sin un profesional a cargo.

Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001): Se utilizará ese modificadora cuando una edificación haya sido construida entre los años de 1977 y 2001.

Post código moderno (construido a partir del 2001): Se utilizará este modificador cuando una edificación haya sido construida después del 2001, año de referencia del diseño sismo en Ecuador (MIDUVI, 2016).

d. Tipo de suelo

El modificador tipo de suelo del formulario presenta tres tipos de suelos para calificar a una estructura (C, D y E), a pesar que las NEC 2015 especifica 6 tipos de suelo. Las edificaciones cimentadas en suelos tipo A y B, no se consideran que puedan ser afectadas significativamente frente a un sismo (MIDUVI, 2016).

Como se puede observar, no hay ningún modificador para el tipo de suelo F, ya que las edificaciones cimentadas en este tipo de suelo, no puede ser evaluadas eficazmente por este procedimiento de evaluación visual. Se requerirá de un ingeniero geotécnico para verificar este tipo de suelo F y un ingeniero con experiencia en evaluación de construcciones mediante este proceso. Por ejemplo, si la estructura está construida sobre un tipo de suelo E, según los mapas de caracterización de suelos y tiene pilotos como cimentación, se puede calificar en formulario de evaluación como un suelo tipo D (MIDUVI, 2016).

A continuación se mencionan las características de cada tipo de suelo que se presenta como modificador en el formulario y que se encuentran establecido en la NEC 2015:

Tipo de suelo C: Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, con velocidad de onda cortante de suelo entre 360 y 760 m/s $V_s \geq 180$ m/s) o con suelos que cumplan con cualquiera de estos dos criterios: número medio de golpes del ensayo de penetración estándar mayor o igual a 50 ($N \geq 50$) y la resistencia del corte no drenado será mayor o igual a 100 kilopascales (kPa) ($S_u \geq 100$) (MIDUVI, 2016).

Tipo de suelo D: Perfiles de suelos rígidos, con velocidad de onda cortante de suelo mayores o iguales que 180 m/s pero menores a 360 m/s ($360 \text{ m/s} \geq V_s \geq 180 \text{ m/s}$) o con suelos que cumplan con cualquier de estas dos condiciones: número medio de golpes del ensayo de penetración estándar mayores o iguales a 15 pero menos que 50 ($50 > N \geq 15$) y la resistencia del corte no drenado sea mayor igual a 50 (kPa) pero menor a 100 (kPa) ($100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$) (MIDUVI, 2016).

Tipo de suelo E: Perfiles con velocidad de onda cortante solo menores 180 m/s ($V_s < 180 \text{ m/s}$) o prefieres que contienen un espesor total H mayor a 3 metros de arcillas blandas con: índice de plasticidad mayor a 20 ($IP > 20$), contenido de agua mayor o igual al ($w \geq 40\%$) y resistencia al corte no drenada menor a 50 (kPa) ($S_u < 50 \text{ kPa}$) (MIDUVI, 2016).

7. Puntaje final, S y grado de vulnerabilidad sísmica

El puntaje estructural final, S, para una edificación, se determina mediante la suma y/o resta de los valores de los modificadores antes explicados. Una vez obtenido el puntaje final S, el evaluador deberá marcar con una X o visto el grado de vulnerabilidad de la estructura. Si S es mayor a 2.5 se considera que la estructura tiene una vulnerabilidad baja, si el resultado S esta entre 2 y 2.5 se considera una edificación de vulnerabilidad media y si el puntaje final S es menor a 2, entonces será una estructura de alta vulnerabilidad y requerirá una evaluación especial, realizado por un ingeniero experto en diseño estructural. Fundamentalmente, el puntaje S, es una estimación o probabilidad de que la edificación colapsará si se produce un evento sísmico. Esta estimación se basa en los modificadores antes mencionados y en la habilidad del profesional a cargo de la evaluación para tomar los datos correctos; por lo tanto es una calificación de vulnerabilidad frente a eventos sísmicos aproximada (MIDUVI, 2016).

Por ejemplo, un puntaje $S=2$ implica que hay una probabilidad de 1 en 1, en 100 de que la edificación se derrumbe. Además, como se indicó anteriormente, si por algún motivo, no se puede determinar la tipología de la estructura, y el acceso a la edificación es imposible, el evaluador deberá eliminar aquellos sistemas estructurales que sean imposibles para la estructura en estudio y calificar las posibles opciones que quedan. El resultado final S, que se considere será el de menor valor y se marcara el grado de vulnerabilidad de la estructura (MIDUVI, 2016).

8. Observaciones

En esta última parte del formulario es para registrar observaciones que el evaluador desee hacer con respecto a la construcción, uso, condición, circunstancias inusuales que presente la edificación algún detalle importante que se crea necesario mencionar. Este procedimiento de evaluación visual es una detección preliminar de muchas fases que puede tener el identificar a los edificios que son vulnerables frente a un sismo. Las edificaciones identificadas como vulnerables mediante este proceso de evaluación, deberán ser analizadas con mayor detalle por un ingeniero especialista en diseño sísmico. Además de identificar potencialmente de las edificaciones sísmicamente vulnerables, los resultados de este proceso de evaluación también podrán servir para otros fines como: diseño de programas de mitigación de riesgos sísmicos para un barrio, ciudad etc., inventarios de edificaciones para posibles rehabilitaciones, planes de emergencia durante y después de un evento sísmico (MIDUVI, 2016).

En base a la inspección detallada de todo el formulario que se realizó, se logrará obtener información sobre la capacidad del edificio y la necesidad de una rehabilitación.

2.2.7.2. CYPECAD

CYPECAD es un software que fue creado en España en la década de los 80s por las empresas Cype Ingenieros S.A, para realizar el cálculo y dimensionamiento de estructuras de hormigón armado, viviendas, edificios y proyectos de obra civil que pueden ser sometidos a acciones horizontales y verticales de cargas. Este programa permite al ingeniero calculista un análisis Bi y tridimensional de la estructura, el dimensionamiento de todos sus elementos estructurales incluida la cimentación, el armado de acero de refuerzo de cada uno de ellos y por último la generación de los planos estructurales de la obra de forma muy detallada junto con su respectiva memoria de cálculo; ambos en formato de uso convencional (Palma et al., 2021).

Para analizar en el programa CYPECAD se debe considerar propiedades que por defecto viene incluido en el software como el peso del propio material, módulo de elasticidad del hormigón, módulo de elasticidad del acero, carga muerta y viva que son obtenidas al momento de considerar una longitud; todas estas características se completa acorde a la edificación de estudio que vayamos a realizar y las dimensiones que tenga sus elementos estructurales, posterior se lleva a un análisis y se verifica la resistencia que mantiene la estructura y los punto que hay que mejorar en la infraestructura.

Comportamiento Estructural

Para evaluar el estado global de un edificio desde el punto de vista de su comportamiento sísmico se tiene en cuenta tres aspectos que tiene que ver con la seguridad de edificio: los elementos estructurales, los elementos no estructurales y las condiciones del suelo. Otro aspecto que se tiene en cuenta son las condiciones preexistentes, relacionados con la calidad de los materiales de construcción, las irregularidades horizontales y verticales del edificio y su configuración estructural, ya que estas son características imprescindibles para decidir sobre la reparabilidad del edificio (Carreño et al., 2011).

Cargas de la edificación

Las cargas de la edificación son aquellas que afectan directamente a las edificaciones cuando se presenta un evento sísmico. De acuerdo con la (NEC, 2014), constituye un marco general para el calculista y diseñador de las estructuras. Las cargas a considerar en el cálculo y diseño de todo tipo de estructuras son las siguientes:

- Cargas permanentes (cargas muertas)
- Cargas variables (cargas vivas)
- Cargas accidentales (cargas sísmicas)

Las construcciones deben diseñarse para resistir las combinaciones de todas estas cargas. Las cargas permanentes o cargas muertas están constituidas por los pesos de todos los pesos de los elementos estructurales tales como: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente en la estructura (NEC, 2014).

Según la (NEC, 2014), la carga viva o también llamada sobrecarga de uso, que se utiliza en el cálculo depende de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales y otras.

La carga sísmica se transmiten a través del suelo y depende de las acciones que un sismo puede provocar sobre las estructuras, por ende deben ser soportadas por este evento sísmico.

Desplazamiento

El desplazamiento es un índice máximo de desplazamiento lateral que influye durante el sismo y a su vez se calcula usando un análisis elástico lineal, estático o dinámico, considerando

los efectos de secciones fisuradas, los efectos de torsión, los efectos de las fuerzas verticales que actúan sobre el desplazamiento lateral y los factores de modificación para calcular la respuesta inelástica esperada (Poston & Rabbat, 2011).

Una vez ingresado todos los datos generales de la edificación (columna, planta, losa, cimentación) se procede a realizar el análisis de desplazamiento a través de los ejes X, Y, Z en todas las plantas existentes.

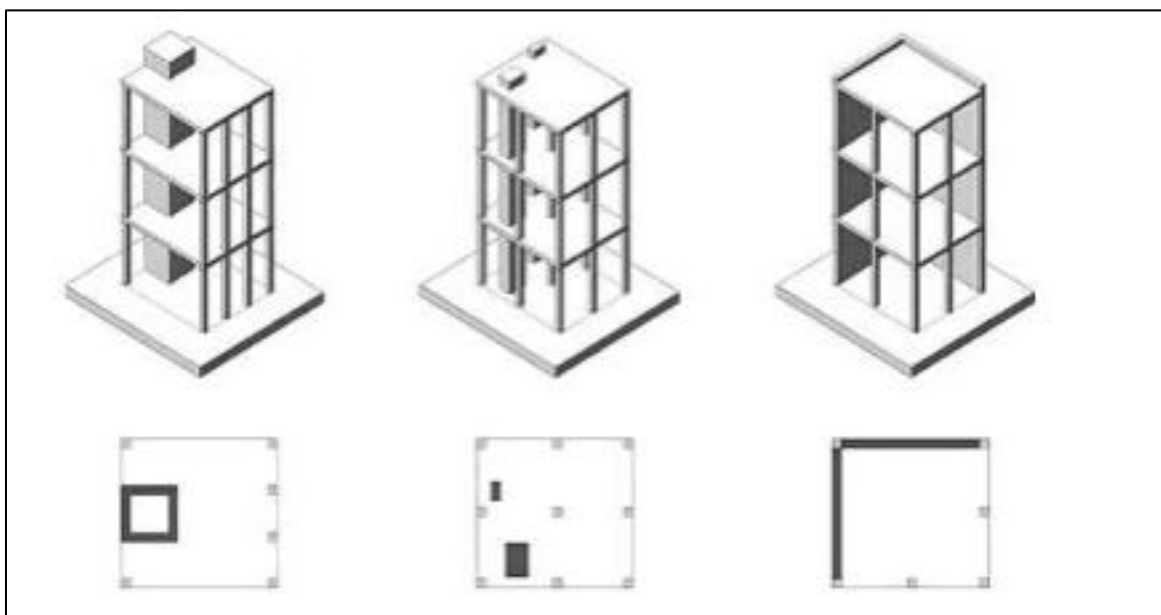
Periodo de vibración

El valor del periodo fundamental de vibración de las edificaciones varía según el tipo de suelo en que se apoya. un edificio cimentado sobre roca o suelo duro se comportará como un voladizo perfectamente asentado en la base y tendrá su menor periodo de vibración pero cuando el suelo es blando se deforma con las vibraciones el conjunto suelo-edificio se torna más flexible y el periodo se incrementa y deforma la base del asentamiento (Domínguez Caicedo, 2014).

Torsión

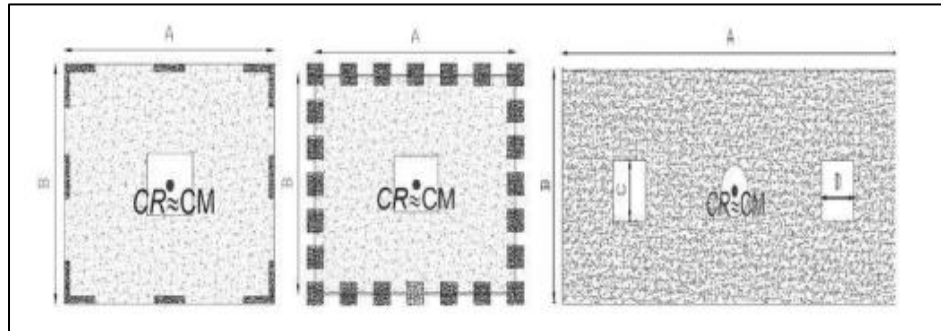
Desde la posición del (MIDUVI, 2016), es importante que un sistema estructural, su centro de rigidez sea semejante al centro de masa, lo cual pocas veces se cumple como se puede observar en las siguientes ilustraciones:

Ilustración 6. Centro de rigidez no coincide con centro de masa



Fuente: (MIDUVI, 2016)

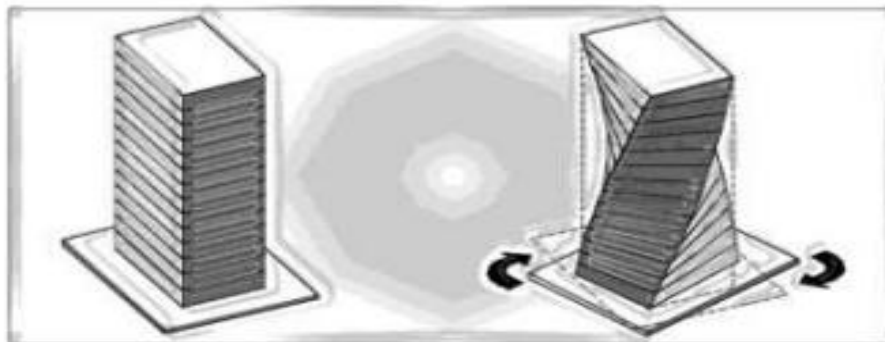
Ilustración 7. Centro de rigidez semejante con centro de masa



Fuente: (MIDUVI, 2016)

Como plantea el (MIDUVI, 2016), si existe un inconveniente se puede generar problemas de torsión en un edificio, como se muestra a continuación:

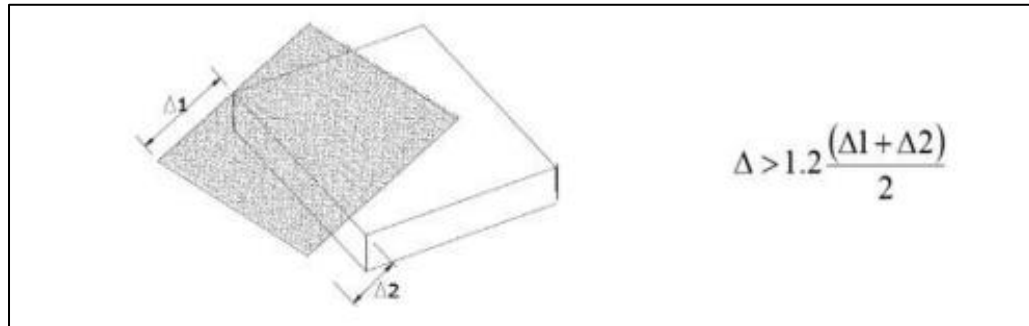
Ilustración 8. Torsión debido a no coincidencia de centro de rigidez y centro de masa



Fuente: (MIDUVI, 2016)

Se puede considerar que una excentricidad entre el centro de rigidez y el centro de masa es alta cuando sobrepase el 10% de la dimensión en planta que se está estudiando. Además la NEC-SE-DS especifica que hay irregularidad por torsión cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada, incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1.2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia como se explica a continuación en la “Ilustración 9” (MIDUVI, 2016).

Ilustración 9. Irregularidad Torsional



Fuente: (MIDUVI, 2016)

Modos de vibración

Para considerar los modos de vibración se realiza un análisis de cálculo que proporciona dos modos correspondientes, para cada modo de respuesta se consideró; los esfuerzos, desplazamientos y distorsiones de las columnas, mediante esta combinación se obtiene la respuesta para una hipótesis sísmica (sismo X, sismo Y) de tal forma que se tiene en cuenta las siguientes hipótesis dinámicas:

- Sismo X (Modo 1)
- Sismo X (Modo 2)
- Sismo Y (Modo 1)
- Sismo Y (Modo 2)

En los resultados de la acción sísmica se considera mínimo dos estados para el cálculo del diseño estructural.

2.3. Marco Legal

Nuestra investigación está amparada bajo los siguientes instrumentos de leyes: Constitución de la República del Ecuador, Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). Cada una de las leyes mencionadas contiene artículos que se aplican en el campo para la realización de este proyecto de investigación.

Constitución de la República del Ecuador

Art. 389.- El estado protegerá a las personas, colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico, mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten el territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.

7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 390.- Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicara la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean suficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindaran el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC)

Art. 1.- Aprobación y Oficialización.- Por el presente Acuerdo el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda aprueba y oficializa el contenido de las normas NEC-SE-CG Cargas (no sísmicas), NEC-SE-DS Cargas sísmicas y diseño sismo resistente, NEC-SE-RE Rehabilitación sísmica de estructuras, NEC-SE-GM Geotecnia y diseño de cimentaciones, NEC-SE-HM Estructuras de hormigón armado, Y, NEC-SE-MP Estructuras de mampostería estructural, relacionadas con la seguridad estructural de las edificaciones, las cuales integran la norma ecuatoriana de Construcción NEC, y se dispone su difusión y promoción. La ejecución de las acciones pertinentes para el cumplimiento de este Acuerdo se delegan a la Subsecretaria de Hábitat y Asentamientos Humanos, en coordinación con los órganos de la Función Ejecutiva y otras relacionadas (MIDUVI, 2014).

Art. 2.- Contenido.- el contenido detallado y pormenorizado de las normas que se oficializan. Relacionadas con la seguridad estructural y el cálculo y el dimensionamiento para el diseño sismo resistente de las edificaciones, se integrarán a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC:

1. **NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas):** Contempla los factores no sísmicos que deben aplicarse para el cálculo estructural de las edificaciones, así como propiedades físicas y mecánicas de los materiales a tener en consideración en el comportamiento estructural
2. **NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente:** Contiene los requerimientos técnicos y las metodologías que deben ser aplicadas para el diseño sismo-resistente de las edificaciones, estableciéndose como un conjunto de especificaciones básicas y mínimas

adecuadas para el cálculo y el dimensionamiento de las edificaciones que se encuentran sujetas a los efectos de sismos o terremotos en algún momento de su vida útil.

3. **NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras:** Se vincula con las normas NEC-SE-DS para la rehabilitación sísmica de edificios existentes (evaluación y diseño de sistemas para mejorar estructuras), así como establece los lineamientos para la evaluación del riesgo sísmico en edificios, incluyendo parámetros para inspección y evaluación rápida de estructuras con la valoración probabilística de las pérdidas materiales para una gestión efectiva del riesgo sísmico.
4. **NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentación:** Contempla criterios básicos a utilizarse en los estudios geotécnicos para edificaciones, basándose en la investigación del subsuelo, geomorfología del sitio y características estructurales de la edificación; provee recomendaciones geotécnicas de diseño para cimentaciones futuras, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes
5. **NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado:** Contempla el análisis de los elementos estructurales de hormigón armado (pórticos especiales y/o muros estructurales) para edificaciones, en cumplimiento con las especificaciones técnicas de normativa nacional e internacional. Establece una clasificación para las estructuras de hormigón armado en función del mecanismo dúctil esperado en tablas y cuadros de aplicación al momento del diseño.
6. **NEC-SE-MP: Estructuras de Mampostería Estructural:** Contempla criterios y requisitos mínimos para el diseño y la construcción de estructuras de mampostería estructural en estrecha correlación con el resto de los capítulos contemplados en el NEC, para lograr un comportamiento apropiado bajo condiciones de carga vertical permanente o transitoria, bajo condiciones de fuerza laterales de viento o sismo y bajo estados ocasionales de fuerzas atípicas (MIDUVI, 2014).

2.4. Definición de Términos

Vulnerabilidad: Es cuando un objeto o persona se encuentra expuesta ante una amenaza y tiene poca capacidad de protección frente a un riesgo, así como también se le considera la incapacidad de reponerse después de ocurrido un desastre.

Amenaza: Son aquellos elementos que se encuentra en el medio afectando a las personas u objetos y deshabilitan las actividades cotidianas que se realizan en el entorno ya sea de forma natural o acción del hombre.

Amenaza Sísmica: se le considera a la probabilidad de ocurrencia de sismo en un sitio determinado y durante un tiempo prolongado. Este factor hace que la población sea más vulnerable a varios daños físicos, estructurales, económicos, políticos.

Reducción de Riesgos: Es un proceso que permite modificar eliminar o reducir el riesgo ante un factor de amenaza y vulnerabilidad. Se busca métodos para evitar todos los daños existentes que han sido generados por un evento sísmico u otro tipo de amenaza.

Sismos: Es un movimiento producido en la tierra por la traslación de placas tectónicas existentes en territorio donde libera una energía que se acumula a lo largo del tiempo produciendo daños en el punto sucedido y en los alrededores.

Trenes de ondas sísmicas: Son movimientos que se produce en la corteza terrestre producida por la energía liberada de las ondas S y P produciendo daños en toda la trayectoria de la corteza.

Esclerómetro: Es un instrumento que sirve para medir la resistencia a presión del hormigón y a su vez realiza controles de la calidad del hormigón del edificio permitiendo verificar la uniformidad del concreto utilizado.

Estructura: Conjuntos de elementos que están a la disposición y distribución de un sistema que ayuda al funcionamiento del mismo sistema, considerando como una armadura a la vez dando la rigidez y fuerza que necesita el sistema para mantener un edificio.

Edificio: Es una construcción destinada a dar varios servicios como: vivienda, escuelas, albergues, hospitales, templo, teatro, etc. Fabricada con materiales que sean resistentes para el desarrollo de las actividades humanas

Sistema estructural: Es un modelo físico que sirve como el conjunto de aquellos elementos resistentes que transmiten las cargas de la edificación a los apoyos, para garantizar el equilibrio y la estabilidad sin sufrir ninguna deformación.

Hormigón armado: Es un bloque reforzado en su interior por una armadura de barras de hierro o acero, utilizado para que la estructuras resistan a los esfuerzo de tracción.

Losas: Es una placa de hormigón apoyada sobre el terreno la cual reparte las cargas del edificio sobre la superficie de apoyo, cumple con la función de separación entre uno o varios pisos consecutivos. Se le conoce como el nombre de losa o losa de entrepiso.

Plintos: Es un elemento cuadrangular sobre el cual se asienta la base de una columna arquitectónica.

Zapatas: Es un tipo de cimentación que ayuda al soporte de la estructura de un edificio situado bajo los pilares.

Cadenas: Son refuerzos de concreto armado colocado en la parte superior del cimiento. Tiene por objeto repartir el peso de la construcción evitando cuarteaduras en los muros cuando hay hundimientos en la cimentación

Contrapiso: Es una capa de hormigón que se utiliza como mediador entre el terreno natural

Escaleras: Es una estructura que se diseña en un edificio destinada al servicio de subir y bajar los pisos y realizar una conexión de comunicación de dos superficies.

Cerchas metálicas: Es un sistema triangulado de elementos estructurales rectas interconectados donde se proporciona el soporte para techos, pisos y cargas internas.

Cielo raso: Es un elemento que se utiliza en la construcción para adecuar espacios interiores se usa para cubrir instalaciones eléctricas, sanitarias, etc.

Gypsum: Es un elemento de construcción que se compone de un núcleo de yeso con aditivos y un papel de celulosa resistente que brinda fortaleza y protección en el decorado de paredes y tumbados

Cimentación: Parte de los elementos estructurales cuya función es transmitir sus cargas o los elementos apoyados en ella al suelo

Columnas: Son soportes verticales que ayudan a sostener el peso de la estructura

Vigas: Son elementos estructurales de forma horizontal se extienden a lo largo apoyándose en los pilares, su principal función es soportar cargas transversales.

Mampostería: Es una técnica de construcción dependiendo del edificio se une los bloques o ladrillos en forma de un muro para resistir las cargas vivas y muertas a través de una mezcla homogénea entre el cemento y la arena.

2.5. Sistemas de Hipótesis

Variable Independiente:

Vulnerabilidad físico-estructural del edificio

Variable Dependiente:

Amenaza Sísmica

2.6. Sistema de Variables

Operacionalización de la Variable Independiente

Tabla 8. Variable Independiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica
Amenaza Sísmica	Se considera como la probabilidad de ocurrencia de un movimiento telúrico que incide en un colapso o peligro.	Conformación de los elementos estructurales de la edificación	Levantamiento arquitectónico del sistema edificio	Obtención de datos espaciales	Planos Arquitectónicos
			Evaluación de los elementos estructurales con el esclerómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de la resistencia del hormigón de los elementos estructurales (pilares, losas, entresijos, vigas y escalera). • Determinación del nivel de afectación física por los sismos 	Informe de datos sobre las condiciones de la vulnerabilidad de los elementos estructurales

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Operacionalización de la Variable Dependiente

Tabla 9. Variable Dependiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica
Vulnerabilidad físico-estructural del edificio	Es un factor de riesgo que hace susceptible a los elementos estructurales del edificio a ser afectados a causa de las fuerzas ocasionadas por un movimiento sísmico.	Vulnerabilidad estructural	FEMA 154	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación de la edificación • Tipo de estructura • Altura de la edificación • Irregularidad de la edificación • Código de la construcción • Tipo de suelo 	Formulario de acuerdo a los parámetros del FEMA 154
		Comportamiento estructural ante un sismo	Software CYPECAD	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas de la edificación • Desplazamiento • Periodo de vibración • Torsión • Modos de vibración 	Modelación de la estructura mediante el Software CYPECAD

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel de Investigación

La presente investigación se centra en un estudio de tipo transversal, descriptiva y no experimental:

Investigación Transversal: Como afirma (Vega et al., 2021), esta investigación permite el cálculo directo de una variable sobre una condición determinante para su respectivo análisis. Esta investigación se relaciona directamente entre el estudio de observación y el estudio estadístico. Este proyecto se hace mediante el método FEMA y el software CYPECAD que estudian a la variable del movimiento sísmico como método observacional estadístico y analítico.

Investigación Descriptiva: Como plantea (Alban et al., 2020), tiene como objetivo principal describir las características de un fenómeno utilizando varios métodos que permita establecer la estructura y el comportamiento del objeto de estudio. En esta investigación principalmente nos centramos en analizar todas las características del sistema edificio CENI (año de construcción, tipo de suelo, tipo de construcción, material de construcción, entre otros).

Investigación no Experimental: Es de carácter no experimental porque no se manipula, ni relaciona ninguna variable solo se observa los datos registrados, pero se realiza un modelamiento virtual.

Además para el desarrollo de la propuesta metodológica se realizó las siguientes investigaciones que son de interés para la recolección de la información tales como:

Investigación Bibliográfica Documental: La investigación en primera instancia es bibliográfica, la cual nos ayudara a revisar y analizar la información de fuentes oficiales sobre estudios en artículos científicos y libros digitales relacionados a la vulnerabilidad físico-estructural ante una amenaza sísmica a nivel internacional, nacional y local.

Investigación de Campo: Esta investigación implica la observación en el lugar de los hechos para recolectar y registrar sistemáticamente los datos que son necesarios referente al problema de estudio, para ello se utilizará un formulario para determinar la vulnerabilidad del

sistema estructural y un programa con el propósito de verificar cual es el comportamiento del edificio.

Métodos

Para esta investigación se procedió a analizar 3 métodos esenciales, como:

Método Científico: nos permitió trabajar en forma sistemática, racional y crítica recopilando toda la información extraída de libros, artículos científicos sobre el sistema edificio, además con la ayuda de este método se podrá introducir datos estadísticos que se analizarán en el software CYPECAD.

Método Analítico: porque se realizará un análisis de los resultados del trabajo de campo para observar las causas y los efectos. En este método se especifica detalladamente cada proceso que se lleva a cabo en el modelamiento del edificio para luego analizarlos.

Método Sintético: porque se sintetizarán los datos estadísticos obtenidos de forma objetiva, la cual nos permitió observar si el edificio es apto para su funcionamiento o si necesita algún tipo de mejoramiento en cuanto a su sistema estructural.

La evaluación de la vulnerabilidad se realizará mediante dos métodos que permiten determinar la susceptibilidad de las edificaciones mediante características físicas y estadísticas frente a una amenaza de origen natural como los sismos. Por esta razón se combinan el enfoque cualitativo y cuantitativo:

Cualitativo: Mediante este método se procederá a definir, identificar y analizar las variables sobre el desarrollo de las características del comportamiento de los elementos estructurales y su perspectiva ante eventos adversos.

En el formulario del FEMA 154 tiene como objetivo la inspección de todas las características de la edificación que son indispensables para la evaluación de la vulnerabilidad ante una amenaza sísmica tales como:

- Tipo de estructura
- Ocupación de la edificación
- Altura de la edificación
- Irregularidad de la edificación

- Código de la construcción
- Tipo de suelo

Una vez detallada las características del edificio se analiza el parámetro que tenga mayor vulnerabilidad a colapsar ante un evento sísmico.

Cuantitativo: Este método permite la recopilación de datos estadísticos para analizar, investigar y comprobar el nivel de vulnerabilidad que se encuentra expuesta el edificio. Para ello se ha considerado la siguientes herramientas:

1. Ensayo del Esclerómetro

El ensayo permite realizar un análisis de la resistencia del hormigón mediante un valor promedio de 210 kg/cm^2 , en aquella época que se construyó, estableciendo los parámetros de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). Por ende los resultados que se evidenciarán en este ensayo se introducirán en el programa, para determinar el estado en que se encuentra la edificación ante una amenaza sísmica.

2. FEMA 154

El FEMA 154 analiza un puntaje que consiste en una ponderación de un índice de 2, si el resultado de la evaluación es menor o igual que dos (≤ 2) se le considera un bajo puntaje por lo hay que hacer un análisis más detallado, pero si el índice es mayor o igual que dos (≥ 2), se le considera un puntaje alto (por encima del límite de puntaje) el edificio no necesita un reforzamiento porque tiene una adecuada resistencia sísmica. Después de haber tenido esta ponderación se considera tres grados de vulnerabilidad:

- Edificios con baja vulnerabilidad sísmica
- Edificios con media vulnerabilidad sísmica
- Edificios con alta vulnerabilidad sísmica

Estos grados de vulnerabilidad se los hace mediante un criterio, si es menor que 2 se le considera vulnerabilidad baja, si se encuentra en un término medio de un valor de 2 al 2,5 es vulnerabilidad media y por último si se encuentra mayor que 2,5 es una vulnerabilidad alta. Por medio de la inspección realizada mediante el formulario se tiene un puntaje final sobre la capacidad de la edificación y la necesidad de realizar una rehabilitación.

3. Software CYPECAD

El programa CYPECAD nos permitió el modelamiento y la simulación del comportamiento sísmico de un edificio, al mismo tiempo este programa realiza un cálculo de una edificación de hormigón armado. En nuestra investigación trataremos cada uno de los pasos que se procede a realizar en el programa CYPECAD que será realizado de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC 2014). El edificio CENI consta de dos pisos: el primer piso diseñado para eventos de sesión solemne y el segundo piso existe oficinas que aborda temas culturales. Comprende un área total de $741,68 m^2$; en donde la planta alta tiene una área de $591,63 m^2$ y la plan baja con una área de $150,05 m^2$.

Para realizar el modelamiento del edificio primero se procede a evaluar la resistencia del hormigón, viga, columnas, mediante el instrumento esclerómetro. Para analizar esta fase primero se identifica la:

- Estimación de carga muerta
- Estimación de carga viva
- Estimación de carga sísmica

La aplicación de esta metodología generara un avance tecnológico para otros estudios del análisis del sistema estructural de un edificio, estableciendo características y parámetros calificativos que permiten determinar la vulnerabilidad y por consiguiente los resultados obtenidos de los mismos se podrán implementar medidas para la reducción de los riesgos de dicho edificio.

3.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación constituye la guía práctica esencial para la buena consecución de una investigación, los elementos integrantes del diseño conforman un todo unificado, con relaciones de interconexión que facilitan al investigador el desarrollo adecuado del tema que se va a tratar (Montes et al., 2016).

El diseño de esta investigación se basa desde diversas perspectivas las cuales son: el diseño de investigación descriptiva la cual permite el uso de datos de manera real, precisa y sistemática sobre los daños y la toma de resistencia del sistema estructural necesarios para la determinación de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y además el enfoque del diseño de investigación es no experimental porque no se manipularan las variables, sino más bien lo que se hace es observar

las condiciones en las que se encuentra dicha edificación. Del mismo modo se recopilarán datos in situ en el lugar de estudio que se va a evaluar.

3.3. Población y Muestra

La población que se considera para este proyecto de investigación es el edificio CENI que se encuentra ubicado en la ciudad de Guaranda en el Sector de Los Trigales, se trata de un edificio que es apto para la evaluación que se va a desarrollar, por tal motivo la muestra son los componentes estructurales constituido por pilares, losas, entrepisos, vigas y escalera. El edificio CENI está destinado para el uso de actividades académicas, seminarios, talleres, cursos y reuniones en general.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el levantamiento de información se procedió a utilizar diferentes herramientas e instrumentos las cuales se describen a continuación:

- Levantamiento de información para la medición de los elementos estructurales (Esclerómetro).
- Observación directa para conocer el estado actual del edificio sobre la vulnerabilidad sísmica mediante el Formulario FEMA 154.
- Determinación del comportamiento y modelamiento estructural del edificio mediante el Software CYPECAD y CYPE 3D.

Recursos

- Programa de ArcGIS
- Esclerómetro
- GPS
- Excel
- Computadoras
- AUTOCAD
- Libreta de apuntes
- Software de modelamiento

3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se describen a continuación para dar cumplimiento a los objetivos planeados:

- Para elaborar el Objetivo 1: **“Determinar las condiciones actuales de los elementos físicos estructurales del edificio CENI”**, en primer lugar se realizó un levantamiento arquitectónico del sistema edificio, después se procedió mediante la observación directa y la investigación de campo la identificación del sistema estructural para la medición de las condiciones de los elementos estructurales utilizando el instrumento (esclerómetro).
- Para elaborar el Objetivo 2: **“Aplicar las herramientas técnicas de evaluación al sistema edificio como la matriz FEMA 154 y el programa CYPECAD”**, en este objetivo se utilizó la investigación descriptiva y no experimental, además se estableció el enfoque de dos métodos cualitativo y cuantitativo que abordaron los daños y evalúan la capacidad sísmica las cuales consisten en abordar la evaluación de la vulnerabilidad físico-estructural, es decir para ello se utilizó la recolección de datos mediante el uso del formulario del método FEMA 154 que consistió en el desarrollo de una inspección para identificar y clasificar los edificios que son principalmente peligrosos sísmicamente y por último se procedió a introducir los datos para el modelamiento estructural en el programa CYPECAD, para determinar el comportamiento sísmico del edificio CENI.
- Para elaborar el Objetivo 3: **“Proponer medidas de reducción de riesgos ante una amenaza sísmica para el edificio del CENI a partir de los datos obtenidos de la investigación”**, mediante este objetivo se podrá definir las medidas que son necesarias para reducir los riesgos del edificio ante un sismo en función del método analítico y los resultados obtenidos de la vulnerabilidad.

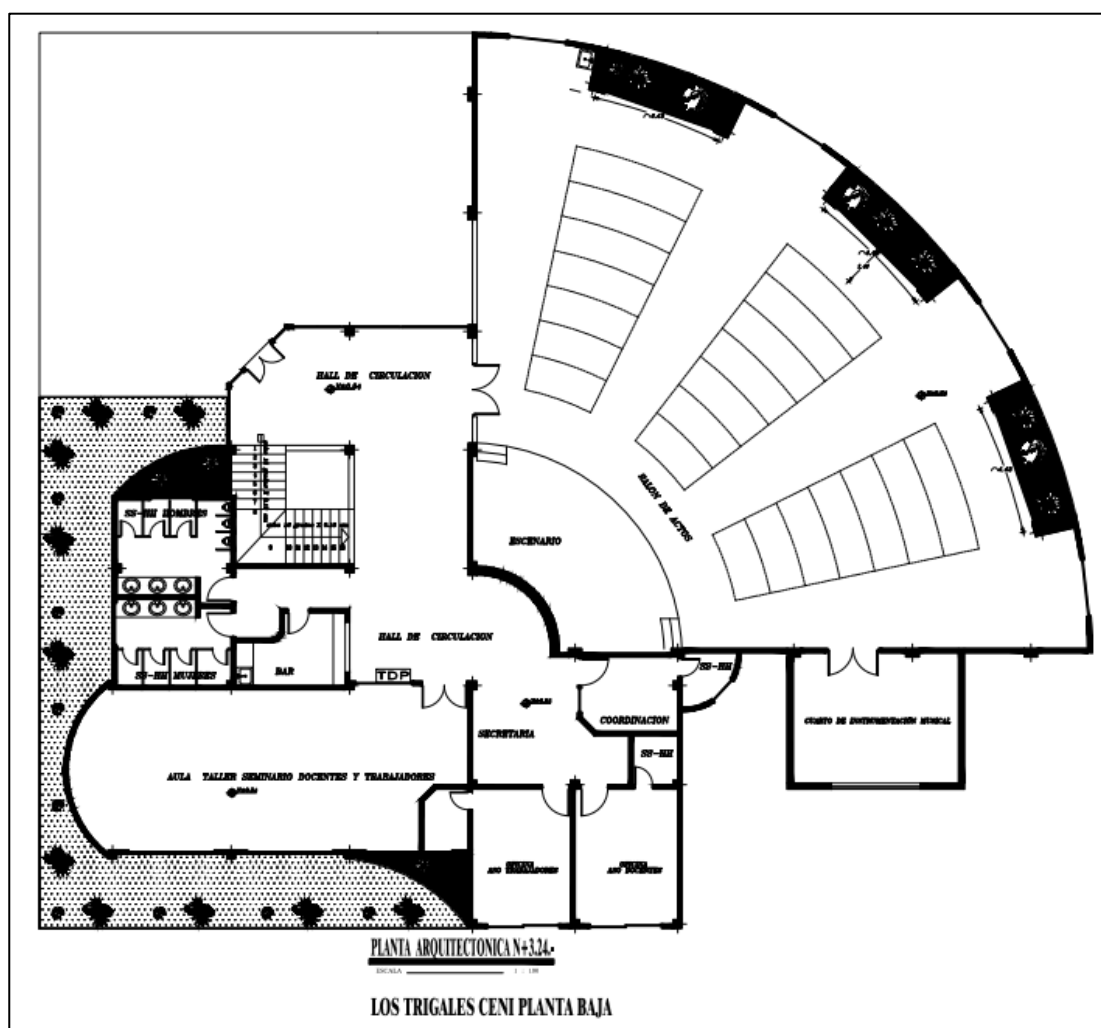
CAPÍTULO 4: RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS SEGÚN LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

4.1 Resultado según el Objetivo 1

“Determinar las condiciones actuales de los elementos físicos estructurales del edificio CENI”

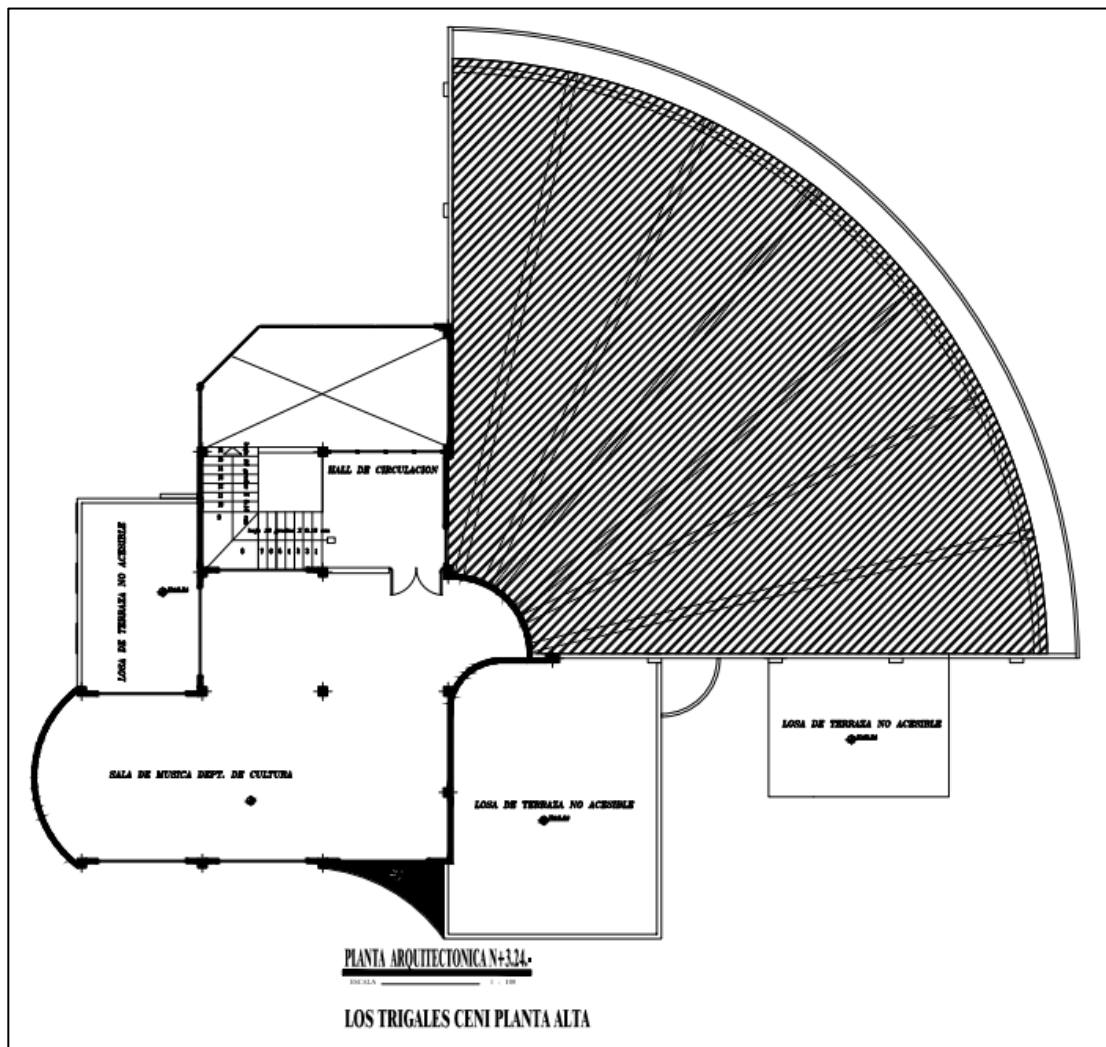
Para determinar los elementos estructurales se hace un levantamiento de los planos arquitectónicos del sistema edificio CENI, con el fin de conocer la ubicación de los elementos estructurales que se van a evaluar y su distribución espacial.

Ilustración 10. Plano Arquitectónico de la planta baja del CENI



Elaborado por: Arq. Cesar Pazmiño, Tamami B & Rea M, 2023

Ilustración 11. Plano Arquitectónico de la Planta alta del CENI



Elaborado por: Arq. Cesar Pazmiño, Tamami B & Rea M, 2023

A continuación se realizó la investigación de campo donde se levantó toda la información para verificar los elementos estructurales en cuanto a la calidad del hormigón.

*Informe de datos del esclerómetro sobre las condiciones de la vulnerabilidad de los
elementos estructurales*

Introducción

La amenaza sísmica es uno de los factores más importantes en el diseño y construcción de los elementos estructurales que conforman un edificio, siendo esto una preocupación en construir infraestructuras que tengan una mayor capacidad de resistencia para soportar estos movimientos telúricos, que puedan causar daños a la población. En la actualidad usamos el instrumento esclerómetro o conocido como martillo de rebote Schmidth, que se la define como un ensayo no destructivo la cual consiste en medir la dureza del concreto a través de las lecturas del número de rebote establecido. Podemos mencionar que en la UEB se realizó una investigación del edificio de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano en donde mediante el uso del esclerómetro pudieron verificar la resistencia de la infraestructura y de esta manera determinar la vulnerabilidad sísmica.

Se realizó la visita en campo para determinar las condiciones actuales de los elementos estructurales, en las cuales se pudo obtener la toma de medidas para la resistencia de la compresión del concreto con el fin de evaluar cuál es la calidad del mismo.

A través del ensayo del esclerómetro se tomó lecturas válidas para demostrar los valores aproximados de la resistencia del hormigón de cada elemento estructural: pilares, losas, entrepisos, vigas y escalera; con el fin de verificar si la resistencia es la óptima para garantizar la seguridad. En el caso de las muestras analizadas se consideró realizar 16 lecturas de acuerdo a la revisión bibliográfica, para la medición de los elementos estructurales se tomó en cuenta que para el cálculo del índice de rebote se sacó una media de los valores, donde hemos considerado eliminar 3 valores mayores y 3 menores para obtener 10 lecturas en base a las técnicas estadísticas (mediana), pero tomando en consideración que durante el procedimiento aplicado con el instrumento existieron factores que influyeron a la hora de tomar los datos como el tipo de cemento, forma y textura de la superficie, capas diferentes de hormigón y teniendo en cuenta un margen de error y confiabilidad.

Objetivo

Determinar la resistencia del hormigón de cada elemento estructural del edificio CENI.

Zona de estudio

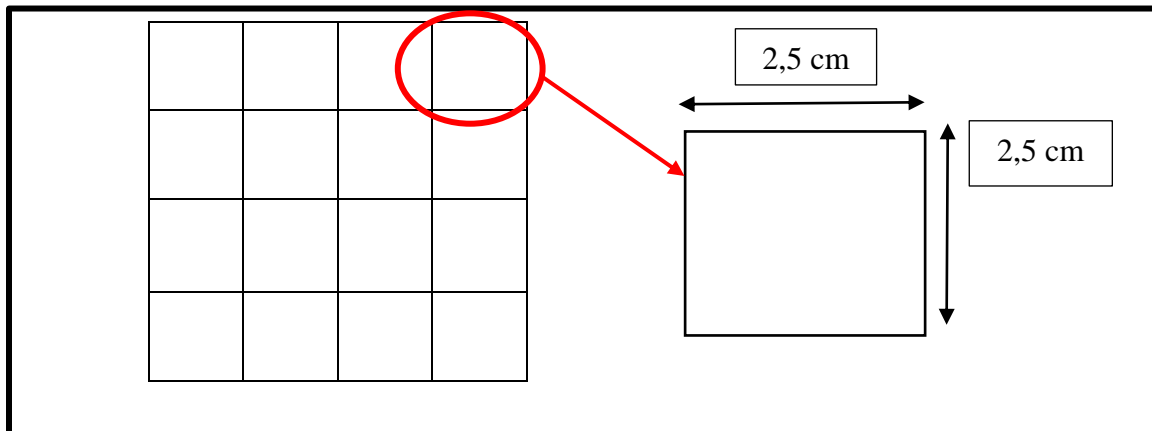
Se deben evitar zonas que presenten exfoliaciones, textura rugosa o de alta porosidad. Para la selección del elemento estructural se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) La resistencia del hormigón
- b) Tipo de superficie
- c) Tipo de hormigón
- d) Humedad de la superficie
- e) Carbonatación
- f) Movimiento del hormigón bajo ensayo
- g) Dirección de ensayo

Procedimiento

- Se elaboró un formato para la lectura de las mediciones de cada elemento estructural del edificio. (Ver Anexo 6)
- Preparación de la superficie mediante la piedra abrasiva.
- Se consideró una superficie lisa para realizar la lectura de la resistencia del esclerómetro.
- Se consideró realizar 16 lecturas de prueba del rebote, con una “distancia de 2,5 cm entre prueba” según la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3121, 2016), para ello se utilizó el flexómetro.
- Se realizó la Prueba de martillo de rebote con el fin de anotar los datos en cada rebote.
- Se dibujó una cuadrícula cuyas líneas se separaron a una distancia de 2,5 cm tomando en cuenta las intersecciones de los puntos donde se impactará el equipo, como se muestra en la “Figura 4”:

Figura 4. Cuadrícula para la prueba del esclerómetro



Fuente: Ensayo de Esclerometría

- Una vez obtenido los datos, se procedió a sacar la mediana y la media para obtener el valor final del promedio de rebote.

Materiales

- Esclerómetro
- Flexómetro
- Piedra abrasiva
- Ficha de apuntes
- Cámara fotográfica

Ensayo del Esclerómetro

Para llevar a cabo el ensayo del esclerómetro el día 21 de febrero del 2023 a las 10:00 am se procedió a realizar una visita para poder verificar el estado en que se encontraban los elementos estructurales a evaluar y por ende llevar a cabo la medición de manera correcta.

El día 23 de febrero del 2023 se realizó el procedimiento antes mencionado, donde se dibujó la cuadrícula y se utilizó el martillo de rebote para obtener los datos de las lecturas. Una vez obtenidos los datos con el equipo del esclerómetro se procedió a determinar la información de los elementos estructurales, mediante una cuadrícula que se detallan en los resultados del ensayo, tomando en consideración la eliminación de valores altos y bajos, luego se procede a realizar un promedio para obtener el valor referencial de cada elemento estructural y así poder tener el valor

promedio de acuerdo al valor de la resistencia del hormigón de 210 kg/cm^2 de acuerdo la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC).

El equipo utilizado en este ensayo tiene las siguientes características:

Tabla 10. Equipo utilizado del Esclerómetro

Equipo utilizado	PROCEQ
Nº de serie	172536

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Cálculo

Para considerar los resultados del índice del rebote se realizó el procedimiento de estadística (mediana), para determinar la posición y descartar las lecturas. También se utilizó la media para determinar el promedio de los valores restantes que son válidos. Se tomó como ejemplo los valores obtenidos del pilar 7-D de la planta alta como se muestra en la “Figura 6”, para ello se debe seguir los siguientes puntos:

1. Los datos obtenidos se ordenan de menor a mayor:

16	17	18	19	20	20	20	20	22	22	23	23	23	27	28	28
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

2. Una vez ordenado se toma en cuenta lo siguiente:

- Cuando **n** es impar, la mediana es el valor que ocupa la posición utilizando la siguiente formula $\frac{n+1}{2}$
- Cuando **n** es par, la mediana es la aritmética de la observación y se utiliza la siguiente formula $\frac{n}{2}+1$

Son 16 lecturas del rebote, por lo tanto la **n** es un número (par), es decir para determinar la posición hemos remplazado en la fórmula:

$$\tilde{X} = \frac{n}{2} + 1$$

$$\tilde{X} = \frac{16}{2} + 1$$

$$\tilde{X} = 9$$

16	17	18	19	20	20	20	20	22	22	23	23	23	27	28	28
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

3. La Norma Técnica Ecuatoriana, establece que las lecturas difieren de la mediana en \pm seis unidades:

Se toma el valor de la posición que sería el valor de 22 y se realiza la siguiente operación:

$$22 - 6 = 16$$

$$22 + 6 = 28$$

Los valores obtenidos están en el rango de 16-28.

4. Se eliminan los 3 valores que estén más bajos y 3 que estén más altos dentro del rango obtenido en la operación:

16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

Los valores menores que se elimina son el 16, 17,18 y en los valores mayores el 28, 27, pero en este caso se repiten dos veces el valor de rebote de 28.

5. **Se toman las 10 lecturas válidas.**
6. **Se determina el valor aproximado de dicho hormigón.**

Resultados del Ensayo

Una vez tomadas las muestras con la ayuda del esclerómetro se procesó la información en el Excel mediante cuadros teniendo en cuenta el lugar de cada valor correspondiente, luego se realizó la sumatoria de los 10 valores válidos para obtener el promedio (media), después se dividió ese valor para el total de los valores válidos y obtener el promedio final del rebote.

Después de haber determinado el promedio del rebote nos dirigimos a la cuadrícula del esclerómetro (ver Anexo 25) y procedemos a realizar una intersección en el punto de corte de la cuadrícula, tomando en consideración la posición del esclerómetro y así determinar el valor final en N/mm^2 , porterior a eso este valor se multiplica por 10 para transformar en kg/cm^2 que sería el valor final de la resistencia de comprensión. A continuación se muestran los resultados:

1. Pilares

Para la muestra de este elemento estructural se toma en consideración la planta baja y alta, para de esta manera obtener el promedio del rebote de cada pilar como se muestra en la “Figura 5”.

Planta Baja

En esta planta se han obtenido los datos mediante el procedimiento del índice de rebote, para ello se evaluó los 31 pilares de la planta baja, determinando los siguientes datos:

Figura 5. Datos obtenidos del rebote de los Pilares de la Planta Baja

<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4-B</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>23</td><td>21</td><td>27</td></tr> <tr><td>24</td><td>21</td><td>22</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>20</td><td>21</td><td>24</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>22</td><td>22</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">217</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">21,7</td></tr> </tbody> </table>	4-B				22	23	21	27	24	21	22	21	22	20	21	24	19	20	22	22	Promedio	217			Rebote				Promedio	21,7			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4-C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>26</td><td>28</td><td>24</td><td>28</td></tr> <tr><td>21</td><td>26</td><td>26</td><td>16</td></tr> <tr><td>24</td><td>26</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>24</td><td>24</td><td>16</td><td>32</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">243</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">24,3</td></tr> </tbody> </table>	4-C				26	28	24	28	21	26	26	16	24	26	22	20	24	24	16	32	Promedio	243			Rebote				Promedio	24,3			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>32</td><td>24</td><td>32</td></tr> <tr><td>27</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>26</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>30</td><td>25</td><td>21</td><td>20</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">265</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">26,5</td></tr> </tbody> </table>	5-C				22	32	24	32	27	28	28	28	29	26	25	25	30	25	21	20	Promedio	265			Rebote				Promedio	26,5		
4-B																																																																																																		
22	23	21	27																																																																																															
24	21	22	21																																																																																															
22	20	21	24																																																																																															
19	20	22	22																																																																																															
Promedio	217																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	21,7																																																																																																	
4-C																																																																																																		
26	28	24	28																																																																																															
21	26	26	16																																																																																															
24	26	22	20																																																																																															
24	24	16	32																																																																																															
Promedio	243																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	24,3																																																																																																	
5-C																																																																																																		
22	32	24	32																																																																																															
27	28	28	28																																																																																															
29	26	25	25																																																																																															
30	25	21	20																																																																																															
Promedio	265																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	26,5																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-B</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>27</td><td>20</td><td>22</td><td>26</td></tr> <tr><td>24</td><td>24</td><td>23</td><td>27</td></tr> <tr><td>20</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td></tr> <tr><td>26</td><td>28</td><td>26</td><td>26</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">240</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3">24</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3"></td></tr> </tbody> </table>	5-B				27	20	22	26	24	24	23	27	20	22	21	20	26	28	26	26	Promedio	240			Rebote	24			Promedio				<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-A</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>30</td><td>27</td><td>22</td><td>24</td></tr> <tr><td>28</td><td>35</td><td>23</td><td>30</td></tr> <tr><td>28</td><td>32</td><td>32</td><td>28</td></tr> <tr><td>21</td><td>28</td><td>18</td><td>30</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">276</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">27,6</td></tr> </tbody> </table>	5-A				30	27	22	24	28	35	23	30	28	32	32	28	21	28	18	30	Promedio	276			Rebote				Promedio	27,6			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">1-2; F-G</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>24</td><td>12</td><td>14</td></tr> <tr><td>16</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>23</td><td>16</td><td>22</td><td>14</td></tr> <tr><td>24</td><td>22</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">186</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">18,6</td></tr> </tbody> </table>	1-2; F-G				20	24	12	14	16	18	18	18	23	16	22	14	24	22	18	18	Promedio	186			Rebote				Promedio	18,6		
5-B																																																																																																		
27	20	22	26																																																																																															
24	24	23	27																																																																																															
20	22	21	20																																																																																															
26	28	26	26																																																																																															
Promedio	240																																																																																																	
Rebote	24																																																																																																	
Promedio																																																																																																		
5-A																																																																																																		
30	27	22	24																																																																																															
28	35	23	30																																																																																															
28	32	32	28																																																																																															
21	28	18	30																																																																																															
Promedio	276																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	27,6																																																																																																	
1-2; F-G																																																																																																		
20	24	12	14																																																																																															
16	18	18	18																																																																																															
23	16	22	14																																																																																															
24	22	18	18																																																																																															
Promedio	186																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	18,6																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">1-2; G-H</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>28</td><td>16</td><td>14</td><td>16</td></tr> <tr><td>16</td><td>18</td><td>24</td><td>20</td></tr> <tr><td>14</td><td>20</td><td>14</td><td>18</td></tr> <tr><td>21</td><td>19</td><td>20</td><td>18</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">181</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">18,1</td></tr> </tbody> </table>	1-2; G-H				28	16	14	16	16	18	24	20	14	20	14	18	21	19	20	18	Promedio	181			Rebote				Promedio	18,1			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">2-3; H-I</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>28</td><td>22</td><td>24</td><td>23</td></tr> <tr><td>24</td><td>22</td><td>22</td><td>23</td></tr> <tr><td>20</td><td>21</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>28</td><td>22</td><td>24</td><td>24</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">228</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,8</td></tr> </tbody> </table>	2-3; H-I				28	22	24	23	24	22	22	23	20	21	20	20	28	22	24	24	Promedio	228			Rebote				Promedio	22,8			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4; H-I</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>18</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>18</td><td>18</td><td>20</td><td>16</td></tr> <tr><td>14</td><td>18</td><td>20</td><td>19</td></tr> <tr><td>18</td><td>16</td><td>16</td><td>19</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">176</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">17,6</td></tr> </tbody> </table>	4; H-I				20	18	14	14	18	18	20	16	14	18	20	19	18	16	16	19	Promedio	176			Rebote				Promedio	17,6		
1-2; G-H																																																																																																		
28	16	14	16																																																																																															
16	18	24	20																																																																																															
14	20	14	18																																																																																															
21	19	20	18																																																																																															
Promedio	181																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	18,1																																																																																																	
2-3; H-I																																																																																																		
28	22	24	23																																																																																															
24	22	22	23																																																																																															
20	21	20	20																																																																																															
28	22	24	24																																																																																															
Promedio	228																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,8																																																																																																	
4; H-I																																																																																																		
20	18	14	14																																																																																															
18	18	20	16																																																																																															
14	18	20	19																																																																																															
18	16	16	19																																																																																															
Promedio	176																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	17,6																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-I</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>18</td><td>24</td><td>27</td><td>26</td></tr> <tr><td>30</td><td>28</td><td>26</td><td>22</td></tr> <tr><td>20</td><td>28</td><td>20</td><td>24</td></tr> <tr><td>26</td><td>22</td><td>21</td><td>26</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">244</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">24,4</td></tr> </tbody> </table>	5-I				18	24	27	26	30	28	26	22	20	28	20	24	26	22	21	26	Promedio	244			Rebote				Promedio	24,4			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-6; I</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>29</td><td>22</td><td>22</td></tr> <tr><td>20</td><td>26</td><td>28</td><td>24</td></tr> <tr><td>24</td><td>24</td><td>26</td><td>18</td></tr> <tr><td>24</td><td>22</td><td>24</td><td>31</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">238</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">23,8</td></tr> </tbody> </table>	5-6; I				20	29	22	22	20	26	28	24	24	24	26	18	24	22	24	31	Promedio	238			Rebote				Promedio	23,8			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">3-6; H</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>20</td><td>28</td><td>22</td></tr> <tr><td>18</td><td>18</td><td>14</td><td>20</td></tr> <tr><td>14</td><td>20</td><td>18</td><td>21</td></tr> <tr><td>16</td><td>20</td><td>25</td><td>20</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">195</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">19,5</td></tr> </tbody> </table>	3-6; H				20	20	28	22	18	18	14	20	14	20	18	21	16	20	25	20	Promedio	195			Rebote				Promedio	19,5		
5-I																																																																																																		
18	24	27	26																																																																																															
30	28	26	22																																																																																															
20	28	20	24																																																																																															
26	22	21	26																																																																																															
Promedio	244																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	24,4																																																																																																	
5-6; I																																																																																																		
20	29	22	22																																																																																															
20	26	28	24																																																																																															
24	24	26	18																																																																																															
24	22	24	31																																																																																															
Promedio	238																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	23,8																																																																																																	
3-6; H																																																																																																		
20	20	28	22																																																																																															
18	18	14	20																																																																																															
14	20	18	21																																																																																															
16	20	25	20																																																																																															
Promedio	195																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	19,5																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">3-6; G</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>30</td><td>25</td><td>21</td><td>26</td></tr> <tr><td>21</td><td>26</td><td>20</td><td>26</td></tr> <tr><td>22</td><td>28</td><td>24</td><td>26</td></tr> <tr><td>22</td><td>28</td><td>21</td><td>28</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">253</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">25,3</td></tr> </tbody> </table>	3-6; G				30	25	21	26	21	26	20	26	22	28	24	26	22	28	21	28	Promedio	253			Rebote				Promedio	25,3			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>23</td><td>22</td><td>22</td></tr> <tr><td>25</td><td>18</td><td>19</td><td>19</td></tr> <tr><td>19</td><td>19</td><td>22</td><td>36</td></tr> <tr><td>27</td><td>27</td><td>20</td><td>30</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">224</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,4</td></tr> </tbody> </table>	4-D				25	23	22	22	25	18	19	19	19	19	22	36	27	27	20	30	Promedio	224			Rebote				Promedio	22,4			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-6; D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>33</td><td>28</td><td>33</td></tr> <tr><td>30</td><td>34</td><td>35</td><td>33</td></tr> <tr><td>27</td><td>30</td><td>31</td><td>30</td></tr> <tr><td>27</td><td>32</td><td>31</td><td>30</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">308</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">30,8</td></tr> </tbody> </table>	5-6; D				22	33	28	33	30	34	35	33	27	30	31	30	27	32	31	30	Promedio	308			Rebote				Promedio	30,8		
3-6; G																																																																																																		
30	25	21	26																																																																																															
21	26	20	26																																																																																															
22	28	24	26																																																																																															
22	28	21	28																																																																																															
Promedio	253																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	25,3																																																																																																	
4-D																																																																																																		
25	23	22	22																																																																																															
25	18	19	19																																																																																															
19	19	22	36																																																																																															
27	27	20	30																																																																																															
Promedio	224																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,4																																																																																																	
5-6; D																																																																																																		
22	33	28	33																																																																																															
30	34	35	33																																																																																															
27	30	31	30																																																																																															
27	32	31	30																																																																																															
Promedio	308																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	30,8																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">6-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>24</td><td>22</td><td>26</td><td>22</td></tr> <tr><td>20</td><td>18</td><td>21</td><td>23</td></tr> <tr><td>22</td><td>22</td><td>20</td><td>22</td></tr> <tr><td>24</td><td>22</td><td>32</td><td>26</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">224</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,4</td></tr> </tbody> </table>	6-D				24	22	26	22	20	18	21	23	22	22	20	22	24	22	32	26	Promedio	224			Rebote				Promedio	22,4			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">7-A</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>25</td><td>28</td><td>20</td></tr> <tr><td>20</td><td>24</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>24</td><td>22</td><td>13</td><td>20</td></tr> <tr><td>23</td><td>25</td><td>30</td><td>22</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">222</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,2</td></tr> </tbody> </table>	7-A				22	25	28	20	20	24	17	18	24	22	13	20	23	25	30	22	Promedio	222			Rebote				Promedio	22,2			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">1-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>25</td><td>28</td><td>33</td></tr> <tr><td>21</td><td>25</td><td>23</td><td>26</td></tr> <tr><td>20</td><td>14</td><td>30</td><td>32</td></tr> <tr><td>24</td><td>26</td><td>22</td><td>23</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">244</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">24,4</td></tr> </tbody> </table>	1-D				22	25	28	33	21	25	23	26	20	14	30	32	24	26	22	23	Promedio	244			Rebote				Promedio	24,4		
6-D																																																																																																		
24	22	26	22																																																																																															
20	18	21	23																																																																																															
22	22	20	22																																																																																															
24	22	32	26																																																																																															
Promedio	224																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,4																																																																																																	
7-A																																																																																																		
22	25	28	20																																																																																															
20	24	17	18																																																																																															
24	22	13	20																																																																																															
23	25	30	22																																																																																															
Promedio	222																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,2																																																																																																	
1-D																																																																																																		
22	25	28	33																																																																																															
21	25	23	26																																																																																															
20	14	30	32																																																																																															
24	26	22	23																																																																																															
Promedio	244																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	24,4																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">1; D-E</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>24</td><td>26</td><td>25</td><td>27</td></tr> <tr><td>18</td><td>28</td><td>23</td><td>32</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>20</td><td>30</td></tr> <tr><td>23</td><td>20</td><td>19</td><td>28</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">239</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">23,9</td></tr> </tbody> </table>	1; D-E				24	26	25	27	18	28	23	32	21	22	20	30	23	20	19	28	Promedio	239			Rebote				Promedio	23,9			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-6; F</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>20</td><td>28</td><td>23</td></tr> <tr><td>23</td><td>17</td><td>27</td><td>24</td></tr> <tr><td>22</td><td>22</td><td>29</td><td>16</td></tr> <tr><td>27</td><td>23</td><td>24</td><td>18</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">230</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">23</td></tr> </tbody> </table>	5-6; F				22	20	28	23	23	17	27	24	22	22	29	16	27	23	24	18	Promedio	230			Rebote				Promedio	23			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-6; E</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>28</td><td>29</td><td>27</td><td>30</td></tr> <tr><td>22</td><td>32</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>19</td><td>18</td><td>20</td><td>26</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td><td>23</td><td>28</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">243</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">24,3</td></tr> </tbody> </table>	5-6; E				28	29	27	30	22	32	24	25	19	18	20	26	20	17	23	28	Promedio	243			Rebote				Promedio	24,3		
1; D-E																																																																																																		
24	26	25	27																																																																																															
18	28	23	32																																																																																															
21	22	20	30																																																																																															
23	20	19	28																																																																																															
Promedio	239																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	23,9																																																																																																	
5-6; F																																																																																																		
22	20	28	23																																																																																															
23	17	27	24																																																																																															
22	22	29	16																																																																																															
27	23	24	18																																																																																															
Promedio	230																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	23																																																																																																	
5-6; E																																																																																																		
28	29	27	30																																																																																															
22	32	24	25																																																																																															
19	18	20	26																																																																																															
20	17	23	28																																																																																															
Promedio	243																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	24,3																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">6-A</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>30</td><td>23</td><td>25</td><td>23</td></tr> <tr><td>26</td><td>24</td><td>22</td><td>19</td></tr> <tr><td>17</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>29</td><td>28</td><td>20</td><td>18</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">226</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,6</td></tr> </tbody> </table>	6-A				30	23	25	23	26	24	22	19	17	20	21	22	29	28	20	18	Promedio	226			Rebote				Promedio	22,6			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">6-B</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>25</td></tr> <tr><td>23</td><td>28</td><td>30</td><td>33</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>20</td><td>19</td></tr> <tr><td>19</td><td>23</td><td>24</td><td>23</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">231</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">23,1</td></tr> </tbody> </table>	6-B				18	20	22	25	23	28	30	33	25	26	20	19	19	23	24	23	Promedio	231			Rebote				Promedio	23,1			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">6-C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>19</td><td>22</td><td>25</td><td>32</td></tr> <tr><td>30</td><td>18</td><td>15</td><td>23</td></tr> <tr><td>23</td><td>28</td><td>32</td><td>20</td></tr> <tr><td>20</td><td>23</td><td>25</td><td>20</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">229</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,9</td></tr> </tbody> </table>	6-C				19	22	25	32	30	18	15	23	23	28	32	20	20	23	25	20	Promedio	229			Rebote				Promedio	22,9		
6-A																																																																																																		
30	23	25	23																																																																																															
26	24	22	19																																																																																															
17	20	21	22																																																																																															
29	28	20	18																																																																																															
Promedio	226																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,6																																																																																																	
6-B																																																																																																		
18	20	22	25																																																																																															
23	28	30	33																																																																																															
25	26	20	19																																																																																															
19	23	24	23																																																																																															
Promedio	231																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	23,1																																																																																																	
6-C																																																																																																		
19	22	25	32																																																																																															
30	18	15	23																																																																																															
23	28	32	20																																																																																															
20	23	25	20																																																																																															
Promedio	229																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,9																																																																																																	

6-F				6-7: F				6-7: E			
23	22	21	20	28	23	22	25	23	22	25	30
25	19	24	22	20	22	28	30	22	28	30	32
29	28	18	23	19	27	23	19	27	26	25	18
27	39	28	18	24	25	22	21	20	17	22	20
Promedio	213			Promedio	234			Promedio	240		
Rebote				Rebote				Rebote	24		
Promedio	21,3			Promedio	23,4			Promedio	24		
6-7: D				7-8: D				7-8: E			
23	22	32	25	24	22	28	30	25	23	30	19
23	16	19	23	23	24	22	18	18	20	20	18
22	24	28	27	22	27	30	23	22	27	23	28
21	20	22	20	20	25	18	20	24	25	22	23
Promedio	225			Promedio	235			Promedio	227		
Rebote				Rebote				Rebote	22,7		
Promedio	22,5			Promedio	23,5			Promedio	22,7		
7-8: F											
25	23	27	15								
27	32	28	18								
22	21	18	20								
22	20	23	22								
Promedio	225										
Rebote											
Promedio	22,5										

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: Excel

Una vez obtenidos todos los datos se hace una sumatoria de todas las muestras para obtener el valor del promedio de rebote de los pilares y después verificar en la gráfica el valor final de la resistencia de compresión.

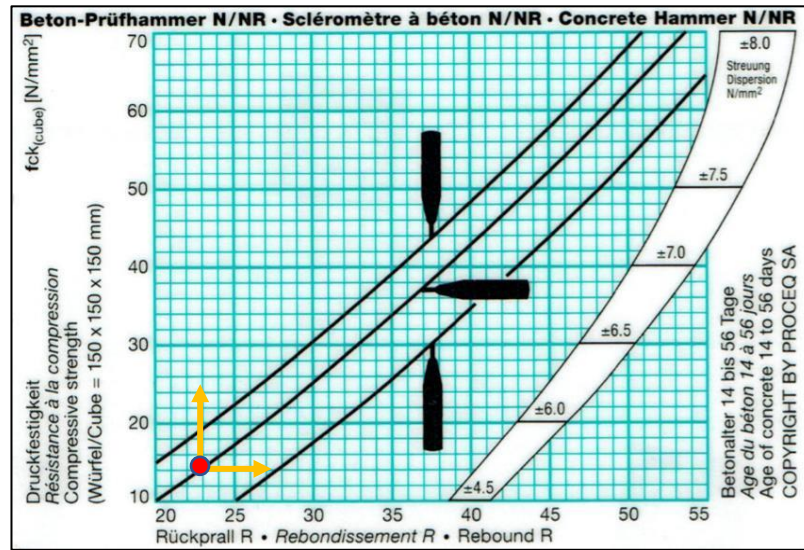
Tabla 11. Resultado del Rebote de los Pilares de la Planta Baja

Rebote Promedio	23,10
Resistencia de compresión (kg/cm^2)	214

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Una vez determinada el valor final procedemos a realizar una intersección en el punto de corte de la cuadrícula que se encuentra en el esclerómetro, tomando en consideración la posición del esclerómetro. Dando como resultado de la resistencia de la compresión de la planta baja de **214 kg/cm^2** .

Ilustración 12. Gráfica de la cuadrícula de la Planta Baja



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Planta Alta

En la siguiente planta se tomó la muestra de los 19 pilares existentes. Para lo cual los datos del rebote se analizaron en la siguiente figura:

Figura 6. Datos obtenidos del rebote de los Pilares de la Planta Alta

<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">2-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>30</td><td>30</td><td>27</td><td>20</td></tr> <tr><td>16</td><td>22</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>38</td><td>22</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>14</td><td>20</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">215</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">21,5</td></tr> </tbody> </table>	2-D				30	30	27	20	16	22	22	20	38	22	22	20	19	20	14	20	Promedio	215			Rebote				Promedio	21,5			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">3-C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>31</td><td>24</td><td>27</td><td>27</td></tr> <tr><td>32</td><td>27</td><td>33</td><td>23</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>29</td><td>26</td></tr> <tr><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>20</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">271</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">27,1</td></tr> </tbody> </table>	3-C				31	24	27	27	32	27	33	23	25	26	29	26	26	28	30	20	Promedio	271			Rebote				Promedio	27,1			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">3-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>18</td><td>22</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td><td>20</td><td>15</td></tr> <tr><td>14</td><td>22</td><td>16</td><td>16</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>18</td><td>23</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">191</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">19,1</td></tr> </tbody> </table>	3-D				18	22	19	20	20	17	20	15	14	22	16	16	21	22	18	23	Promedio	191			Rebote				Promedio	19,1		
2-D																																																																																																		
30	30	27	20																																																																																															
16	22	22	20																																																																																															
38	22	22	20																																																																																															
19	20	14	20																																																																																															
Promedio	215																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	21,5																																																																																																	
3-C																																																																																																		
31	24	27	27																																																																																															
32	27	33	23																																																																																															
25	26	29	26																																																																																															
26	28	30	20																																																																																															
Promedio	271																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	27,1																																																																																																	
3-D																																																																																																		
18	22	19	20																																																																																															
20	17	20	15																																																																																															
14	22	16	16																																																																																															
21	22	18	23																																																																																															
Promedio	191																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	19,1																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4-B</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>20</td><td>27</td><td>26</td></tr> <tr><td>22</td><td>26</td><td>25</td><td>28</td></tr> <tr><td>24</td><td>22</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>28</td><td>32</td><td>24</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">240</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">24</td></tr> </tbody> </table>	4-B				22	20	27	26	22	26	25	28	24	22	22	20	21	28	32	24	Promedio	240			Rebote				Promedio	24			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">3-B-C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>21</td><td>24</td><td>27</td><td>27</td></tr> <tr><td>30</td><td>30</td><td>32</td><td>26</td></tr> <tr><td>32</td><td>32</td><td>30</td><td>28</td></tr> <tr><td>32</td><td>31</td><td>22</td><td>30</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">283</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">28,3</td></tr> </tbody> </table>	3-B-C				21	24	27	27	30	30	32	26	32	32	30	28	32	31	22	30	Promedio	283			Rebote				Promedio	28,3			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">5-C-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>30</td><td>24</td><td>36</td><td>32</td></tr> <tr><td>28</td><td>22</td><td>26</td><td>18</td></tr> <tr><td>22</td><td>21</td><td>16</td><td>23</td></tr> <tr><td>30</td><td>20</td><td>16</td><td>22</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">238</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">23,8</td></tr> </tbody> </table>	5-C-D				30	24	36	32	28	22	26	18	22	21	16	23	30	20	16	22	Promedio	238			Rebote				Promedio	23,8		
4-B																																																																																																		
22	20	27	26																																																																																															
22	26	25	28																																																																																															
24	22	22	20																																																																																															
21	28	32	24																																																																																															
Promedio	240																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	24																																																																																																	
3-B-C																																																																																																		
21	24	27	27																																																																																															
30	30	32	26																																																																																															
32	32	30	28																																																																																															
32	31	22	30																																																																																															
Promedio	283																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	28,3																																																																																																	
5-C-D																																																																																																		
30	24	36	32																																																																																															
28	22	26	18																																																																																															
22	21	16	23																																																																																															
30	20	16	22																																																																																															
Promedio	238																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	23,8																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4-C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>28</td></tr> <tr><td>27</td><td>20</td><td>24</td><td>26</td></tr> <tr><td>26</td><td>22</td><td>21</td><td>19</td></tr> <tr><td>24</td><td>20</td><td>18</td><td>22</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">228</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">22,8</td></tr> </tbody> </table>	4-C				22	23	24	28	27	20	24	26	26	22	21	19	24	20	18	22	Promedio	228			Rebote				Promedio	22,8			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">4-D</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>18</td><td>16</td><td>20</td><td>24</td></tr> <tr><td>20</td><td>18</td><td>21</td><td>24</td></tr> <tr><td>16</td><td>23</td><td>20</td><td>19</td></tr> <tr><td>16</td><td>18</td><td>19</td><td>21</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">194</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">19,4</td></tr> </tbody> </table>	4-D				18	16	20	24	20	18	21	24	16	23	20	19	16	18	19	21	Promedio	194			Rebote				Promedio	19,4			<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">7-B</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>22</td><td>26</td><td>20</td></tr> <tr><td>22</td><td>16</td><td>24</td><td>22</td></tr> <tr><td>28</td><td>26</td><td>30</td><td>26</td></tr> <tr><td>26</td><td>26</td><td>28</td><td>24</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">244</td></tr> <tr><td>Rebote</td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td colspan="3">24,4</td></tr> </tbody> </table>	7-B				20	22	26	20	22	16	24	22	28	26	30	26	26	26	28	24	Promedio	244			Rebote				Promedio	24,4		
4-C																																																																																																		
22	23	24	28																																																																																															
27	20	24	26																																																																																															
26	22	21	19																																																																																															
24	20	18	22																																																																																															
Promedio	228																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	22,8																																																																																																	
4-D																																																																																																		
18	16	20	24																																																																																															
20	18	21	24																																																																																															
16	23	20	19																																																																																															
16	18	19	21																																																																																															
Promedio	194																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	19,4																																																																																																	
7-B																																																																																																		
20	22	26	20																																																																																															
22	16	24	22																																																																																															
28	26	30	26																																																																																															
26	26	28	24																																																																																															
Promedio	244																																																																																																	
Rebote																																																																																																		
Promedio	24,4																																																																																																	

7-C				5-D				5-C			
14	20	18	14	22	27	29	22	25	22	28	32
16	20	21	22	27	17	23	30	27	24	17	18
16	28	18	24	24	18	25	32	32	30	16	20
24	18	14	22	18	30	27	23	25	28	20	22
Promedio	191			Promedio	249			Promedio	241		
Rebote	19,1			Rebote	24,9			Rebote	24,1		
Promedio				Promedio				Promedio			
5-B				5-A				6-A			
20	29	27	25	25	30	32	27	20	18	23	28
21	32	30	18	18	20	22	23	28	19	24	20
22	29	24	15	18	17	20	25	27	18	23	20
20	17	19	20	30	29	24	25	22	23	29	30
Promedio	223			Promedio	240			Promedio	230		
Rebote	22,3			Rebote	24			Rebote	23		
Promedio				Promedio				Promedio			
6-B				6-C				6-D			
29	22	26	32	24	27	32	23	32	22	25	30
18	20	24	18	20	19	18	39	20	22	18	20
19	22	21	23	22	32	17	28	17	20	19	32
27	28	32	20	20	22	20	18	12	23	17	22
Promedio	233			Promedio	225			Promedio	211		
Rebote	23,3			Rebote	22,5			Rebote	21,1		
Promedio				Promedio				Promedio			
7-D											
22	20	17	22								
23	23	22	23								
29	20	19	28								
20	16	18	27								
Promedio	214										
Rebote	21,4										
Promedio											

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: Excel

Una vez analizados todos los datos de cada pilar de la planta alta, se procedió a sacar la sumatoria de todas las muestras para obtener el valor del promedio de rebote de los pilares y después verificar en la gráfica el valor final para obtener la resistencia de comprensión.

Tabla 12. Resultado del Rebote de los Pilares de la Planta Alta

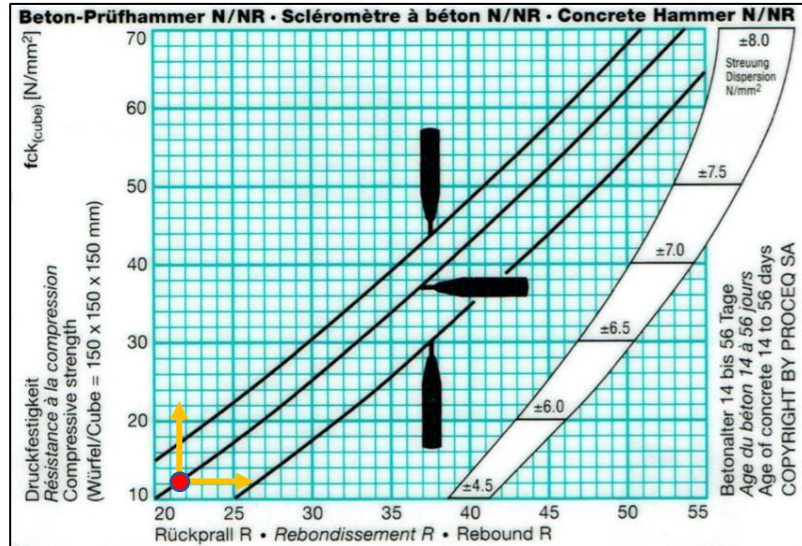
Rebote Promedio	22,95
Resistencia de comprensión (kg/cm²)	212

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Una vez que se obtuvo el promedio del rebote, se procedió a observar en qué dirección del esclerómetro tomamos la medida y trazamos un corte hasta la línea que nos muestre la posición de la toma de las medidas. De la misma manera procedemos a verificar el valor de los pilares de la

planta alta para revisarlo en la gráfica del esclerómetro. Dando como resultado final de la resistencia de compresión de 212 kg/cm^2 .

Ilustración 13. Gráfica de la cuadrícula de la Planta Alta



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

2. Losa Entrepiso y Losa Superior

Para determinar los valores de rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior en el ensayo del esclerómetro se realizó la verificación de los siguientes datos:

Figura 7. Datos obtenidos del rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior

LOSA ENTREPISO				LOSA SUPERIOR			
24	20	22	20	24	24	25	24
22	20	23	23	22	24	30	28
25	18	16	20	22	20	26	25
25	19	28	20	18	20	19	18
Promedio	214			Promedio	230		
Rebote Promedio	21,4			Rebote Promedio	23		

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: Excel

Se evidencia un promedio de 21,4 y 23 entre la Losa Entrepiso y Losa Superior, para después proceder a realizar el promedio del rebote y de esta manera obtener el valor de la resistencia de compresión en la gráfica del esclerómetro.

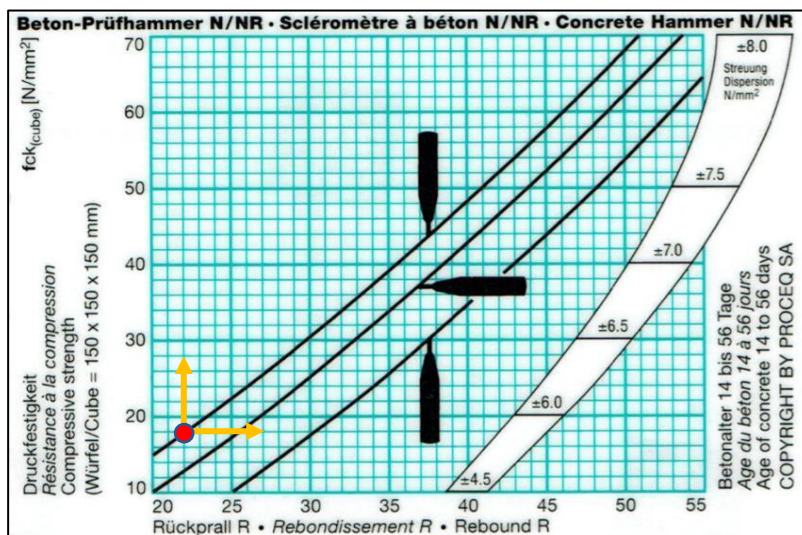
Tabla 13. Resultado del Rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior

Rebote Promedio	22,2
Resistencia de compresión (kg/cm^2)	218

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Luego procedemos a verificar el promedio del rebote en la planimetría tomando en consideración la dirección del esclerómetro, la medida y el corte hasta la línea según nos muestre la posición de la toma de las medidas. El resultado final de las vigas del entrepiso de la resistencia de compresión de **218 kg/cm^2** , como se muestra a continuación:

Ilustración 14. Gráfica de la cuadrícula de las Losa Entrepiso y Losa Superior



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

3. Vigas Entrepiso

Para las Vigas Entrepiso se han obtenido los datos mediante el procedimiento del índice de rebote, para ello se evaluó 9 vigas, determinando los siguientes datos:

Figura 8. Datos obtenidos del rebote de las Vigas Entrepiso

7-6, A				6-5, A				3-1			
22	23	21	27	20	19	21	23	19	14	15	12
24	21	22	21	20	23	21	24	12	14	15	16
22	20	21	24	20	18	22	14	16	16	14	22
19	20	22	22	26	20	17	26	14	14	17	13
Promedio	217			Promedio	209			Promedio	148		
Rebote Promedio	21,7			Rebote Promedio	20,9			Rebote Promedio	14,8		
1-D				2-E				2-F			
22	12	18	18	26	22	26	27	22	20	20	21
22	20	18	16	24	20	24	27	18	18	21	16
17	22	16	19	16	26	22	23	21	16	18	18
16	14	14	18	20	22	22	27	14	14	13	16
Promedio	176			Promedio	237			Promedio	181		
Rebote Promedio	17,6			Rebote Promedio	23,7			Rebote Promedio	18,1		
3-G				3-H				3-H			
22	18	16	20	20	23	24	18	18	16	27	25
16	27	23	29	20	16	14	14	25	22	26	26
22	23	24	28	26	22	23	18	24	21	16	24
16	19	18	20	27	23	23	24	21	21	22	20
Promedio	209			Promedio	215			Promedio	225		
Rebote Promedio	20,9			Rebote Promedio	21,5			Rebote Promedio	22,5		

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: Excel

Se tomó la muestra de las Vigas Entrepiso que se pudieron evidenciar en el área de trabajo, donde se obtuvo el promedio del rebote y se determinó la medida de la resistencia de compresión en la gráfica del Esclerómetro.

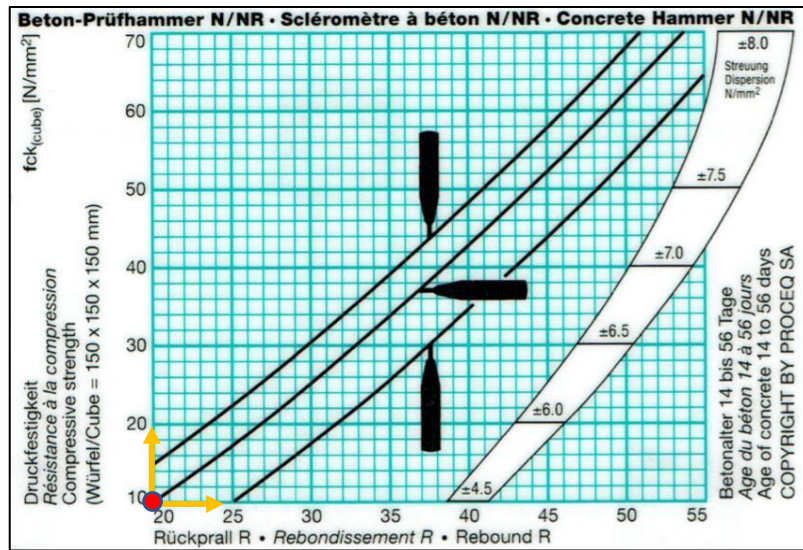
Tabla 14. Resultado del Rebote de las Vigas Entrepiso

Rebote Promedio	20,19
Resistencia de compresión (kg/cm^2)	210

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Después se procedió a verificar el promedio del rebote tomando en cuenta los siguientes aspectos: la dirección del esclerómetro, la medida y el corte hasta la línea que nos muestre la posición para la toma de las medidas. El resultado final de las vigas del entrepiso de la resistencia de compresión es de **210 kg/cm^2** y luego procedemos a verificar en la gráfica de la cuadrícula.

Ilustración 15. Gráfica de la cuadrícula de las Vigas Entrepiso



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

4. Vigas Superiores

El ensayo del Esclerómetro que se realizó para las Vigas Superiores permitió obtener los datos mediante el procedimiento del índice de rebote, para ello se evaluó 10 vigas, determinando los siguientes datos:

Figura 9. Datos obtenidos del rebote de las Vigas Superiores

3; B-D				4-5; B-D				6-7; A-D			
22	23	24	32	20	19	21	25	19	14	15	29
21	21	22	20	20	23	21	24	12	21	21	16
22	28	21	19	15	27	20	14	25	16	22	22
19	25	22	27	17	20	16	19	14	15	29	27
Promedio	224			Promedio	204			Promedio	179		
Rebote	22,4			Rebote	20,4			Rebote	17,9		
Promedio	22,4			Promedio	20,4			Promedio	17,9		
5; D-E				6-7; A				3-7; B			
22	12	18	18	26	22	26	27	22	20	17	23
29	20	27	16	21	20	32	32	18	18	21	32
32	24	16	18	16	26	22	23	27	16	22	18
14	15	12	18	21	29	20	24	13	26	12	21
Promedio	197			Promedio	247			Promedio	203		
Rebote	19,7			Rebote	24,7			Rebote	20,3		
Promedio	19,7			Promedio	24,7			Promedio	20,3		
3-7; C				3-7; D				5-D			
22	25	14	20	20	23	24	18	18	16	27	25
16	27	26	29	21	16	17	14	25	22	30	29
32	23	24	30	32	21	23	18	26	21	17	24
14	18	18	16	29	29	21	23	21	32	24	20
Promedio	224			Promedio	212			Promedio	240		
Rebote	22,4			Rebote	21,2			Rebote	24		
Promedio	22,4			Promedio	21,2			Promedio	24		

5-1			
18	16	27	25
25	22	26	26
24	20	17	24
21	21	22	20
Promedio	224		
Rebote Promedio	22,4		

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: Excel

Una vez que se analizó todos los datos de cada viga superior, se procedió a sacar la sumatoria de todas las muestras para obtener el valor del promedio de rebote y de esta manera verificar en la gráfica para obtener el valor final de la resistencia de compresión.

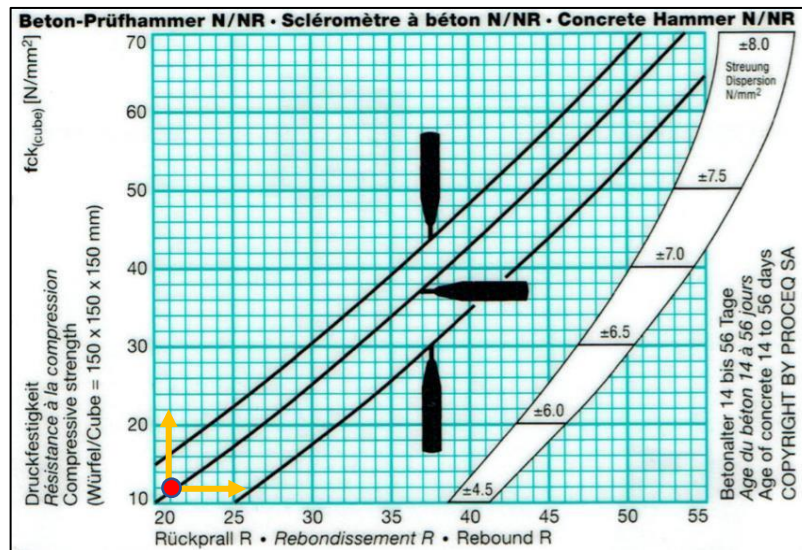
Tabla 15. Resultado del Rebote de las Vigas Superiores

Rebote Promedio	21,54
Resistencia de compresión (kg/cm^2)	212

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Después procedemos a verificar el promedio del rebote en la gráfica de la cuadrícula tomando en consideración la dirección del esclerómetro, la medida y el corte hasta la línea según nos muestre la posición de la toma de las medidas. El resultado final de las Vigas Superiores de la resistencia de compresión es de **212 kg/cm^2** , como se muestra a continuación:

Ilustración 16. Gráfica de la cuadrícula de las Vigas Superiores



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

5. Escalera

Se tomó la muestra de la escalera que se encuentran entre la primera planta y la segunda planta, para determinar los siguientes datos:

Figura 10. Datos obtenidos del rebote de la Escalera

PRIMER PISO				SEGUNDO PISO			
20	14	18	20	22	22	24	12
18	23	22	20	24	22	18	18
24	20	20	19	14	12	20	16
20	20	25	24	22	18	24	20
Promedio	204			Promedio	198		
Rebote Promedio	20,4			Rebote Promedio	19,8		

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: Excel

Se evidencia en la Escalera, un promedio de 20,4 y 18,8 entre la planta baja y alta, para luego proceder a realizar el promedio del rebote y obtener el valor de la resistencia de compresión mediante la gráfica del esclerómetro.

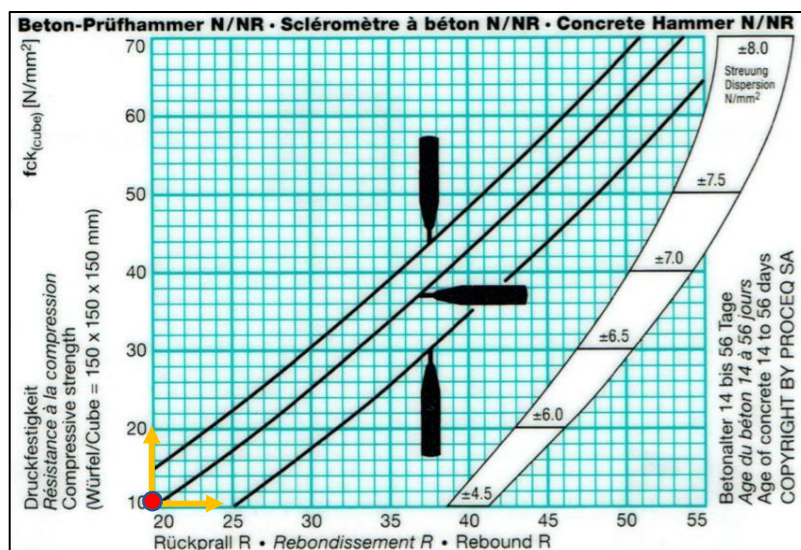
Tabla 16. Resultado del Rebote de la Escalera

Rebote Promedio	20,10
Resistencia de compresión (kg/cm²)	210

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Para la gráfica de la cuadrícula se tomó en cuenta la dirección del esclerómetro, la medida y el corte hasta la línea según la posición para la toma del valor. El resultado del promedio final de las Escaleras es de **212 kg/cm²**, como se muestra podemos en la gráfica.

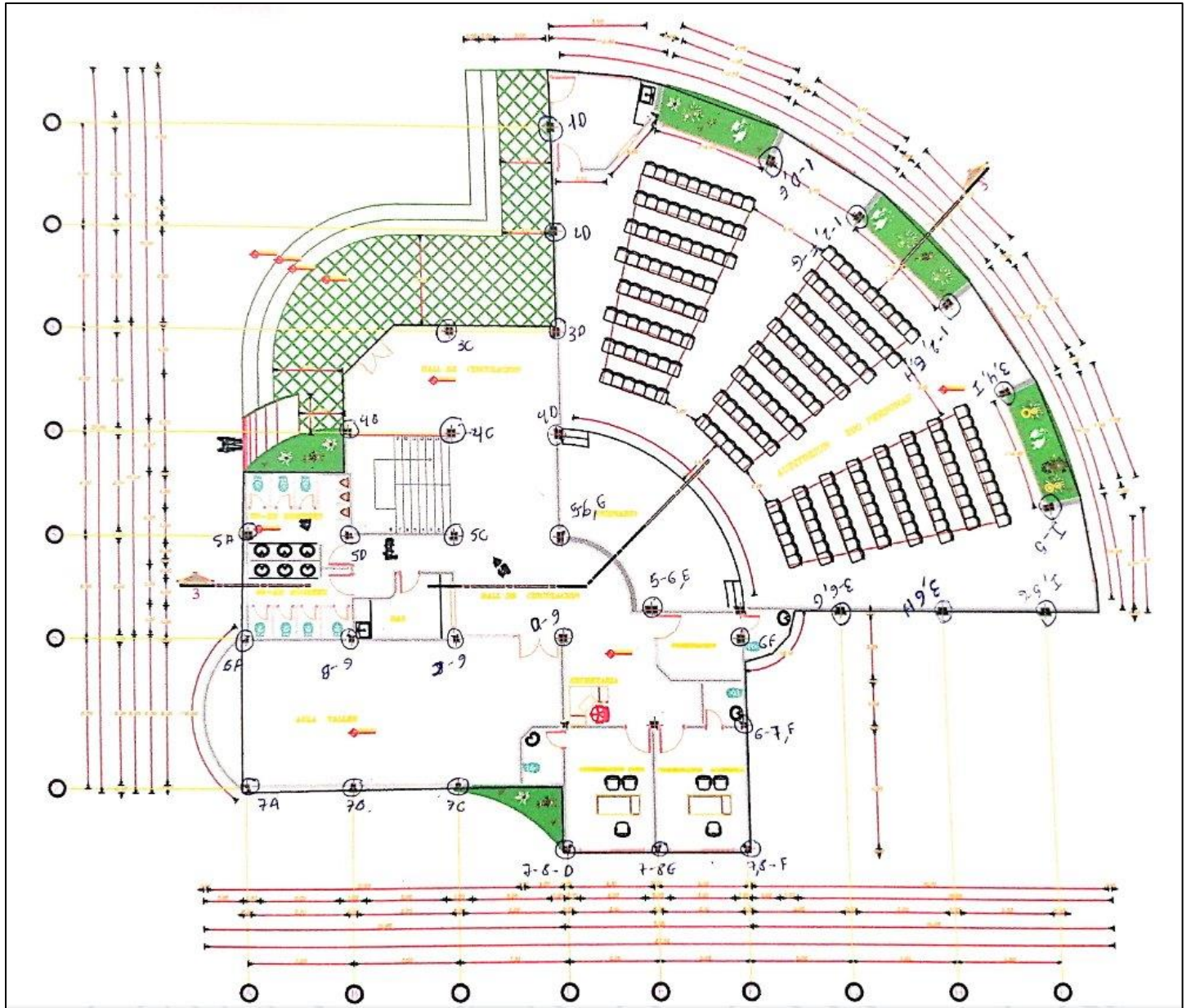
Ilustración 17. Gráfica de la cuadrícula de la Escalera



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Una vez obtenidos todos los datos de rebote se llevó la información a la tabla para conocer el resumen de todos los elementos estructurales evaluados, su ubicación, orientación e identificar la nomenclatura y los resultados del esclerómetro, basándose en el plano arquitectónico y estructural como se muestra a continuación:

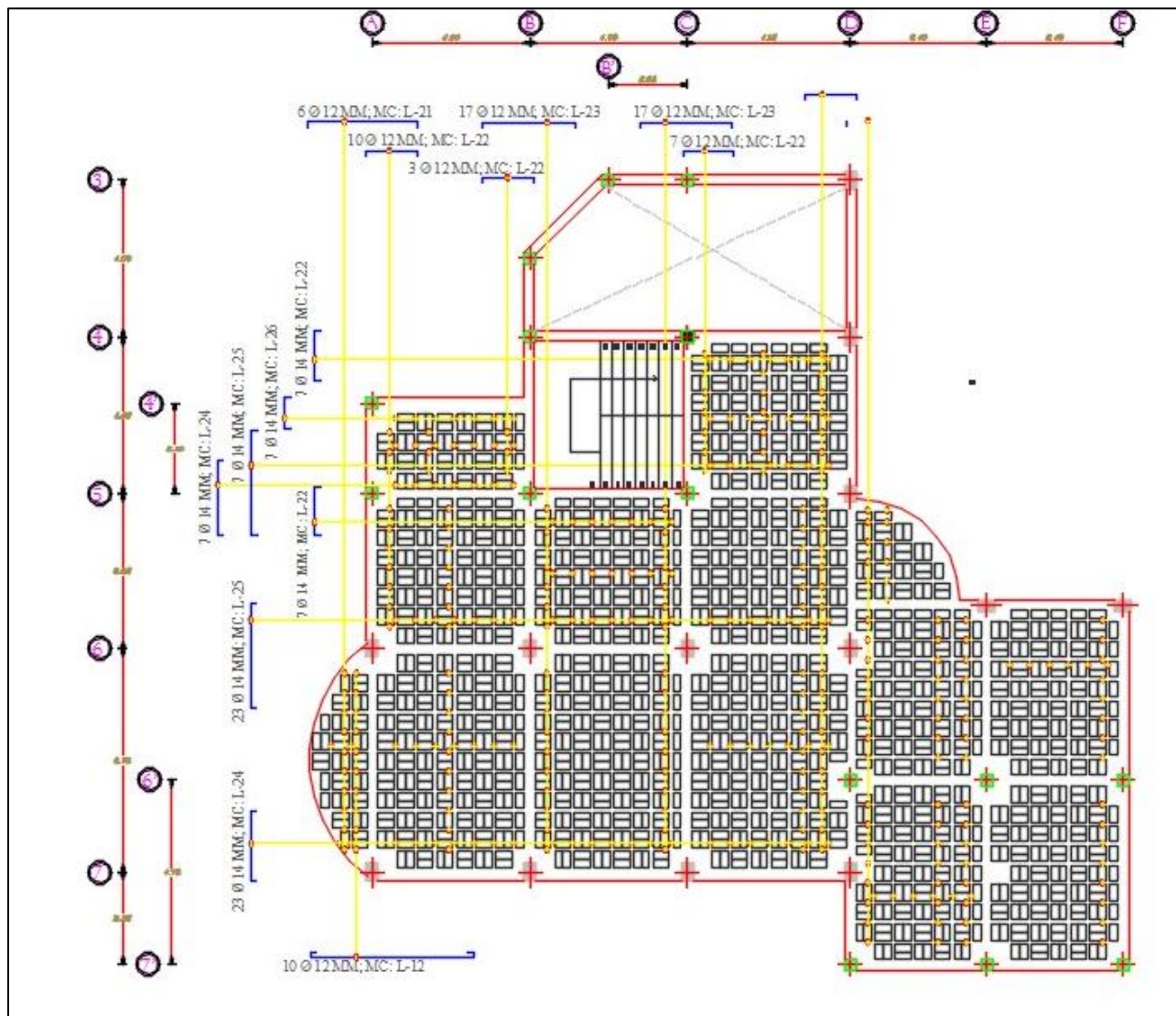
Ilustración 18. Muestra de la nomenclatura en el Plano Arquitectónico



Elaborado por: Arq. Cesar Pazmiño, Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: AUTOCAD versión 2018

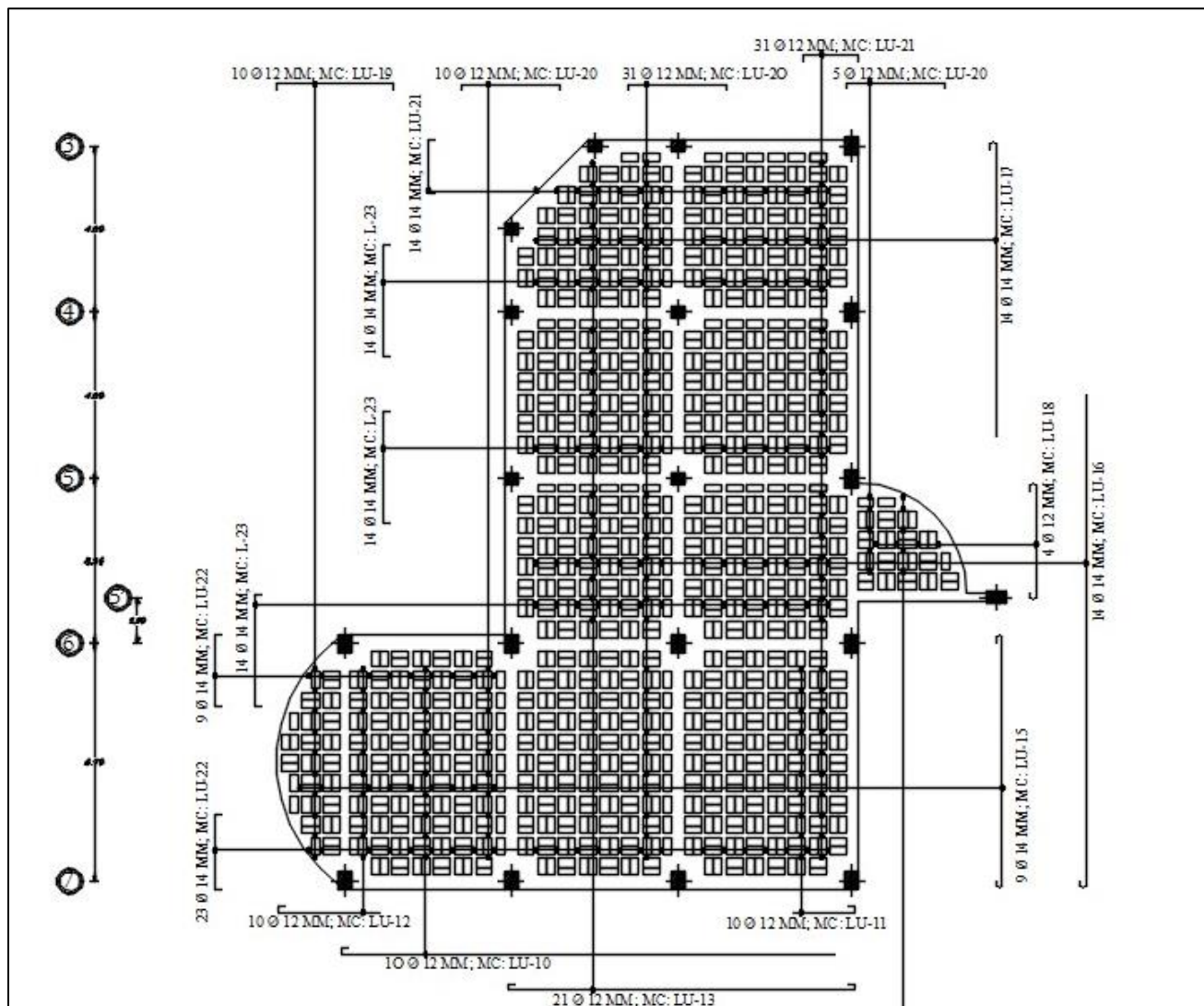
Ilustración 19. Plano Estructural del Entrepiso del edificio CENI



Elaborado por: Arq. Cesar Pazmiño, Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: AUTOCAD versión 2018

Ilustración 20. Plano Estructural de la Losa cubierta del edificio CENI



Elaborado por: Arq. César Pazmiño, Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: AUTOCAD versión 2018

Tabla 17. Elementos Estructurales evaluados con el Esclerómetro

DE LA ESTRUCTURA			DEL ESCLEROMETRO																			
ELEMENTO ESTRUCTURAL	UBICACIÓN	NOMENCLATURA	ORIENTACIÓN	ENSAYO EN CAMPO: 16														RESULTADOS				
				REBOTE														REBOTE PROMEDIO	PROMEDIO (kg/cm ²)	RESISTENCIA DE COMPRESION (kg/cm ²)		
Pilares	PB	4-B	Horizontal	22	23	21	27	24	21	22	21	22	20	21	24	19	20	22	22	21,7	217	214
	PB	4-C	Horizontal	26	28	24	28	21	26	26	16	24	26	22	20	24	24	16	32	24,3	243	
	PB	5-C	Horizontal	22	32	24	32	27	28	28	28	29	26	25	25	30	25	21	20	26,5	265	
	PB	5-B	Horizontal	27	20	22	26	24	24	23	27	20	22	21	20	26	28	26	26	24	240	
	PB	5-A	Horizontal	30	27	22	24	28	35	23	30	28	32	32	28	21	28	18	30	27,6	276	
	PB	1-2; F-G	Horizontal	20	24	12	14	16	18	18	18	23	16	22	14	24	22	18	18	18,6	186	
	PB	1-2; G-H	Horizontal	28	16	14	16	16	18	21	20	14	20	14	18	21	19	20	18	18,1	181	
	PB	2-3; H-I	Horizontal	28	22	24	25	24	22	22	23	20	21	20	20	28	22	24	24	22,8	228	
	PB	4; H-I	Horizontal	20	18	14	14	18	18	20	16	14	18	20	19	18	16	16	19	17,6	176	
	PB	5-I	Horizontal	18	24	27	26	30	28	26	22	20	28	20	24	26	22	21	26	24,4	244	
	PB	5-6; I	Horizontal	20	29	22	22	20	26	28	24	24	24	26	18	24	22	24	31	23,8	238	
	PB	3-6; H	Horizontal	20	20	28	22	18	18	14	20	14	20	18	21	16	20	25	20	19,5	195	
	PB	3-6; G	Horizontal	30	25	21	26	21	26	29	26	22	28	24	26	22	28	21	28	25,3	253	
	PB	4-D	Horizontal	25	23	22	22	25	18	19	19	19	19	22	36	27	27	20	30	22,4	224	
	PB	5-6; D	Horizontal	22	33	28	33	30	34	35	33	27	30	31	30	27	32	31	30	30,8	308	
	PB	6-D	Horizontal	24	22	26	22	20	18	21	23	22	22	20	22	24	22	32	26	22,4	224	
	PB	7-A	Horizontal	22	25	28	20	20	24	17	18	24	22	13	20	23	25	30	22	22,2	222	
	PB	1-D	Horizontal	22	25	28	33	21	25	23	26	20	14	30	32	24	26	22	23	24,4	244	
	PB	1; D-E	Horizontal	24	26	25	27	18	28	23	32	21	22	20	30	23	20	19	28	23,9	239	
	PB	5-6; F	Horizontal	22	20	28	23	23	17	27	24	22	22	29	16	27	23	24	18	23	230	
	PB	5-6; E	Horizontal	28	29	27	30	22	32	24	25	19	18	20	26	20	17	23	28	24,3	243	
	PB	6-A	Horizontal	30	23	25	23	26	24	23	19	17	20	21	22	29	28	20	18	22,6	226	
	PB	6-B	Horizontal	18	20	22	25	23	28	30	32	25	26	20	19	19	23	24	23	23,1	231	
	PB	6-C	Horizontal	19	22	25	32	30	18	15	23	23	28	32	20	20	23	25	20	22,9	229	
	PB	6-F	Horizontal	23	22	21	20	25	19	24	22	29	28	18	23	27	29	28	18	21,3	213	
	PB	6-7; F	Horizontal	28	23	22	25	20	22	28	30	19	27	23	19	24	25	22	21	23,4	234	
	PB	6-7; E	Horizontal	23	22	25	30	22	28	30	32	27	26	25	18	20	17	22	20	24	240	
	PB	6-7; D	Horizontal	23	22	32	25	23	16	19	23	22	24	28	27	21	20	22	20	22,5	225	
	PB	7-8; D	Horizontal	24	22	28	30	23	24	22	18	22	27	30	23	20	25	18	20	23,5	235	
	PB	7-8; E	Horizontal	25	23	30	19	18	20	20	18	22	27	23	28	24	25	22	23	22,7	227	
PB	7-8; F	Horizontal	25	23	27	15	27	32	28	18	22	21	18	20	22	20	23	22	22,5	225		
PA	2-D	Horizontal	30	30	27	20	16	22	22	20	28	22	22	20	19	20	14	20	21,5	215		
PA	3-C	Horizontal	31	24	27	27	32	27	33	23	25	26	29	26	26	28	30	20	27,1	271		
PA	3-D	Horizontal	18	22	19	20	20	17	20	15	14	22	16	16	21	22	18	23	19,1	191		

	PA	4-B	Horizontal	22	20	27	26	22	26	25	28	24	22	22	20	21	28	32	24	24	240	
	PA	3; B-C	Horizontal	21	24	27	27	30	30	32	26	22	32	30	28	32	31	22	30	28,3	283	
	PA	5; C-D	Horizontal	30	24	36	32	28	22	26	18	22	21	16	23	30	20	16	22	23,8	238	
	PA	4-C	Horizontal	22	23	24	28	27	20	24	26	26	22	21	19	24	20	18	22	22,8	228	
	PA	4-D	Horizontal	18	16	20	24	20	18	21	24	16	23	20	19	16	18	18	21	19,4	194	
	PA	7-B	Horizontal	20	22	26	20	22	16	24	22	28	26	30	26	26	26	28	24	24,4	244	
	PA	7-C	Horizontal	14	20	18	14	16	20	21	22	16	28	18	24	24	18	14	22	19,1	191	
	PA	5-D	Horizontal	22	27	29	22	27	17	23	30	24	18	25	32	18	30	27	23	24,9	249	
	PA	5-C	Horizontal	25	22	28	32	27	24	17	18	32	30	16	20	25	28	20	22	24,1	241	
	PA	5-B	Horizontal	20	29	27	25	21	32	30	18	22	29	24	15	20	17	19	20	22,3	223	
	PA	5-A	Horizontal	25	30	32	27	18	20	22	23	18	17	20	25	30	29	24	25	24	240	
	PA	6-A	Horizontal	20	18	23	28	28	19	24	20	27	18	23	20	22	23	29	30	23	230	
	PA	6-B	Horizontal	29	22	26	32	18	20	24	18	19	22	21	23	27	28	32	20	23,3	233	
	PA	6-C	Horizontal	24	27	32	23	20	19	18	29	22	32	17	28	20	22	20	18	22,5	225	
	PA	6-D	Horizontal	32	22	25	30	20	22	18	20	17	20	19	32	12	23	17	22	21,1	211	
	PA	7-D	Horizontal	22	20	17	22	23	23	22	23	28	20	19	28	20	16	18	27	21,4	214	
Losa Entrepiso	PA	N/A	Vertical	24	20	22	20	22	20	23	23	25	18	16	20	25	19	28	20	23	230	
Losa Superior	PB	N/A	Vertical	24	24	25	24	22	24	30	28	22	20	26	25	18	20	19	18	21,4	214	218
Vigas Entrepiso	PA	7-6; A	Horizontal	22	23	21	27	24	21	22	21	22	20	21	24	19	20	22	22	21,7	217	
	PA	6-5; A	Horizontal	20	19	21	23	20	23	21	24	20	18	22	14	26	20	17	26	20,9	209	
	PA	3-I	Horizontal	19	14	15	12	12	14	15	16	16	16	14	22	14	14	17	13	14,8	148	
	PA	1-D	Horizontal	22	12	18	18	22	20	18	16	17	22	16	19	16	14	14	18	17,6	176	
	PA	2-E	Horizontal	26	22	26	27	24	20	24	27	16	26	22	23	20	22	22	27	23,7	237	210
	PA	2-F	Horizontal	22	20	20	21	18	18	21	16	21	16	18	18	14	14	13	16	18,1	181	
	PA	3-G	Horizontal	22	18	16	20	16	27	23	29	22	23	24	28	16	19	18	20	20,9	209	
	PA	3-H	Horizontal	20	23	24	18	20	16	14	14	26	22	23	18	27	25	23	24	21,5	215	
	PA	5-H	Horizontal	18	16	27	25	25	22	26	26	24	21	16	24	21	21	22	20	22,5	225	
Vigas Superiores	PB	3; B-D	Horizontal	22	23	24	32	21	21	22	20	22	28	21	19	19	25	22	27	22,4	224	
	PB	4-5; B-D	Horizontal	20	19	21	25	20	23	21	24	15	27	20	14	17	20	16	19	20,4	204	
	PB	6-7; A-D	Horizontal	19	14	15	29	12	21	21	16	25	16	22	22	14	15	29	27	17,9	179	
	PB	5; D-E	Horizontal	22	12	18	18	29	20	27	16	32	24	16	18	14	15	12	18	19,7	197	
	PB	6-7; A	Horizontal	26	22	26	27	21	20	32	32	16	26	22	23	21	29	20	24	24,7	247	
	PB	3-7; B	Horizontal	22	20	17	23	18	18	21	32	27	16	22	18	13	26	12	21	20,3	203	212
	PB	3-7; C	Horizontal	22	25	14	20	16	27	26	29	32	23	24	30	14	18	18	16	22,4	224	
	PB	3-7; D	Horizontal	20	23	24	18	21	16	17	14	32	21	23	18	29	29	21	23	21,2	212	
	PB	5-D	Horizontal	18	16	27	25	25	22	30	29	26	21	17	24	21	32	24	20	24	240	
Escalera	PB	5-I	Horizontal	18	16	27	25	25	22	26	26	24	20	17	24	21	21	22	20	22,4	223	
	PB	N/A	Horizontal	20	14	18	20	18	23	22	20	24	20	20	19	20	20	25	24	20,4	204	
	PA	N/A	Horizontal	22	22	24	12	24	22	18	18	14	12	20	16	22	18	24	20	19,8	198	210

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Simbología:

PB= Planta Baja

PA= Planta Alta

N/A= No Aplica



Rebotes descartados

Conclusiones

- Los ensayos de Esclerometría permiten conocer la evolución de la resistencia y calidad del concreto, es por eso que los valores obtenidos del índice del rebote muestra que en la mayoría de los elementos estructurales no presentan problemas porque están dentro del rango establecido de **210 kg/cm^2** por la norma NEC, dicho valor demuestra que el edificio se encuentra en buenas condiciones es decir que puede brindar seguridad a las personas.

Recomendaciones

- Se recomienda que para el ensayo del martillo, se toma en consideración que para los valores del rebote se debe tomar 16 puntos mínimos en una distancia de 3 cm de cada elemento estructural.

4.2 Resultado según el Objetivo 2

“Aplicar las herramientas técnicas de evaluación estructural al sistema edificio como la matriz FEMA 154 y el programa CYPECAD”

Para cumplir con este objetivo se realizó la visita de campo y la observación directa para la obtención de la información con la finalidad de evaluar al sistema edificio y realizar el modelamiento en el programa.

FEMA 154

Mediante la metodología FEMA 154 se procedió a realizar una evaluación visual de la estructura de acuerdo a los modificadores establecidos en la misma con el fin de verificar el grado de vulnerabilidad ante un riesgo sísmico. Tomando en cuenta todos estos parámetros se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 18. Datos Generales del edificio

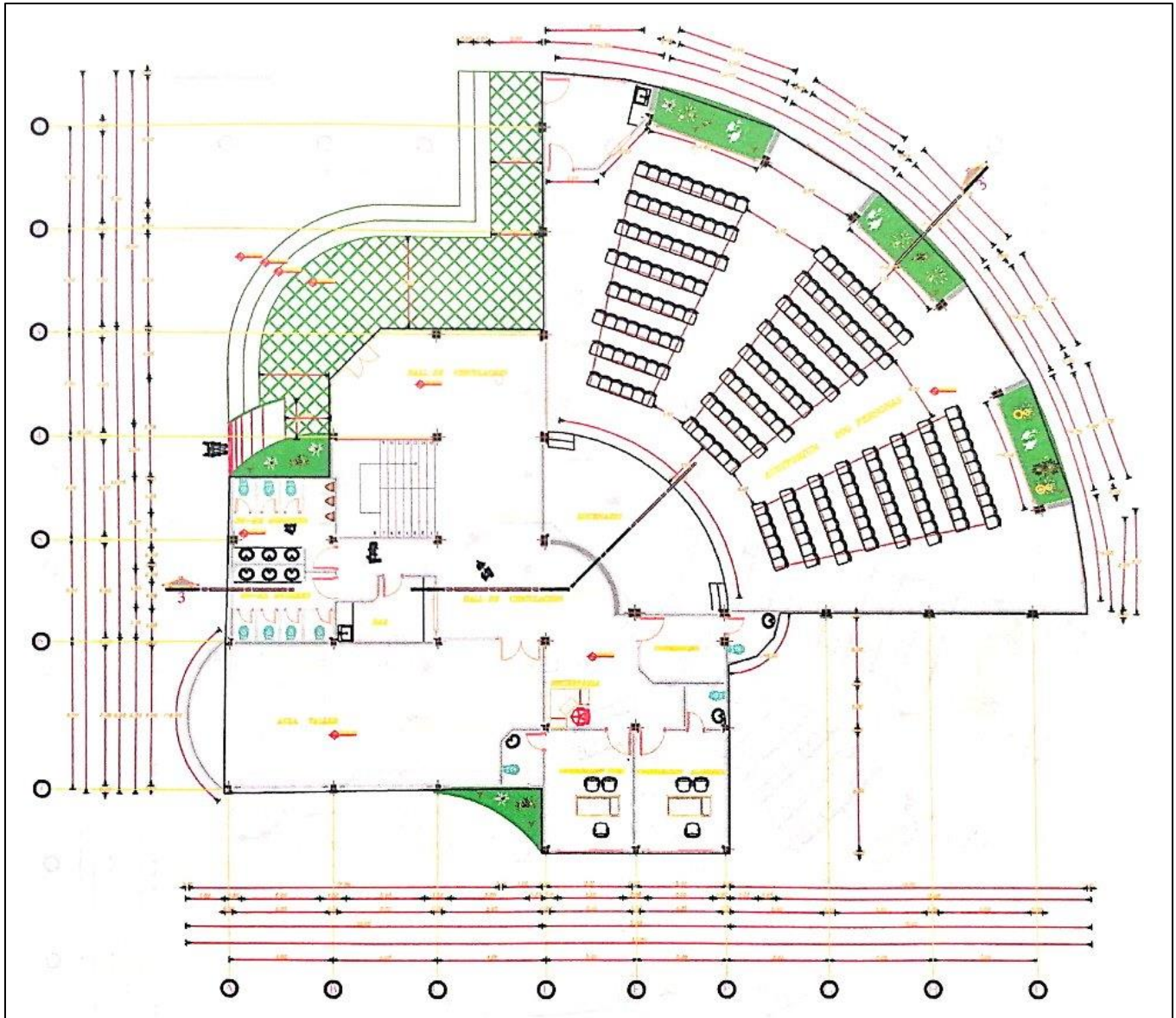
DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN			
Nombre de la Edificación:		Centro de Eventos Nacionales e Internacionales (CENI)	
Dirección:		Jaime Arregui y Av. Guayaquil	
Sitio de referencia:		Frente al Centro de Salud Los Trigales	
Tipo de uso:		Educativo	
Año de construcción:	2008	Fecha de evaluación:	2023-enero-23
Área Construida:	766,7 m ²	Año de remodelación:	-
		Número de pisos:	2 pisos
DATOS DEL PROFESIONAL			
Nombre del evaluador:	Rea Analuiza Mariuxi Alexandra		Tamami Llachuma Belen Estefania
CI:	0250300357		0250178803

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

En la “Tabla 18” se puede observar la especificación de los datos generales de la institución a ser evaluada entre ello se menciona el nombre de la edificación, dirección, sitio de referencia, el tipo de uso de la edificación es educativo, el año de construcción del edificio que data en el año 2008 y está construida en un área total de 766,7 m²; cuenta con dos pisos, además se incluye los datos del profesional que evaluó la edificación.

Dentro del formulario FEMA 154 se indica el esquema estructural y la fotografía del edificio CENI que fue evaluado, como se muestra a continuación:

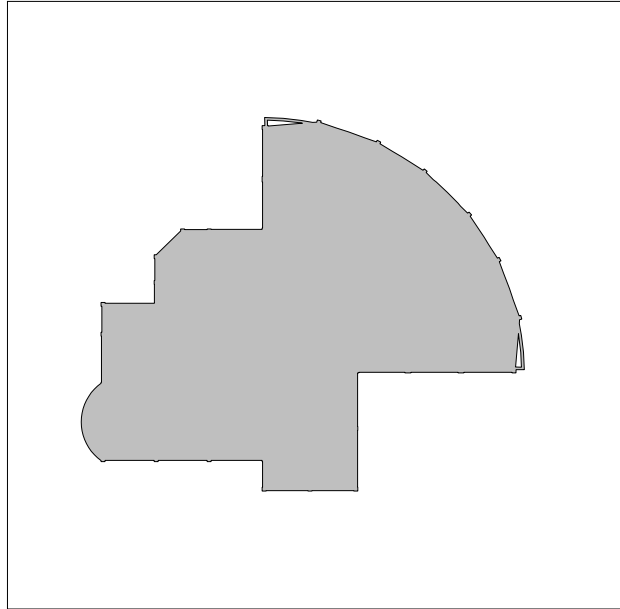
Ilustración 21. Distribución Arquitectónica del CENI



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: AUTOCAD versión 2018

Ilustración 22. Esquema en planta del edificio



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Fuente: cype

Ilustración 23. Edificio CENI



Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Tabla 19. Puntaje Final del FEMA 154

PUNTAJES BASICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL													
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
Puntaje Básico	4.4	1.8	2.8	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN													
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN													
Irregularidad vertical	-2.5	-1	-1	-1.5	-1.5	-1	-1	-1	-1	-1.5	-1.5	-1	-1
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
CÓDIGO DE LA CONSTRUCCIÓN													
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	N/A	2.8	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1
TIPO DE SUELO													
Tipo de suelo C- Suelo rígido	0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Tipo de suelo D- Suelo denso	0	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4
Tipo de suelo E- Suelo suave	0	-0.8	-0.4	-1.2	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8
PUNTAJE FINAL S					1.5								

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

En la siguiente tabla se muestra los resultados que hemos obtenido de cada modificador. El edificio corresponde a un sistema estructural de pórtico hormigón armado (C1), para la evaluación se considera los siguientes modificadores; la altura de la edificación que es de 2 pisos, presenta dos irregularidades tanto en vertical como en planta, el código de construcción de la edificación se considera post código moderno y pertenece a un tipo de suelo C, una vez conseguido todos estos datos se obtiene un puntaje final de **1,5** puntos.

Tabla 20. Análisis de Observaciones del FEMA 154

EVALUACION DETALLADA REQUERIDA		OBSERVACIONES: El edificio CENI tiene dos irregularidades tanto en vertical y en planta. La irregularidad vertical porque no representa una figura geométrica regular y no hay movimiento de formas. La irregularidad en planta porque presenta composición de diversas formas. Además de que en los últimos años no se ha realizado ninguna remodelación al sistema edificio.
SI	X	
NO		

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

En la “Tabla 20”, se puede observar que en base a los modificadores evaluados y el puntaje final obtenido se logra determinar: que el edificio CENI necesita una evaluación más detallada y además se hace un análisis de las observaciones que se verifico durante el levantamiento de información.

Tabla 21. Grado de Vulnerabilidad sísmica del edificio CENI

GRADO DE VULNERABILIDAD SISMICA		
S<2.0	Alta vulnerabilidad	X
2.0>S>2.5	Media vulnerabilidad	
S>2.5	Baja vulnerabilidad	

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

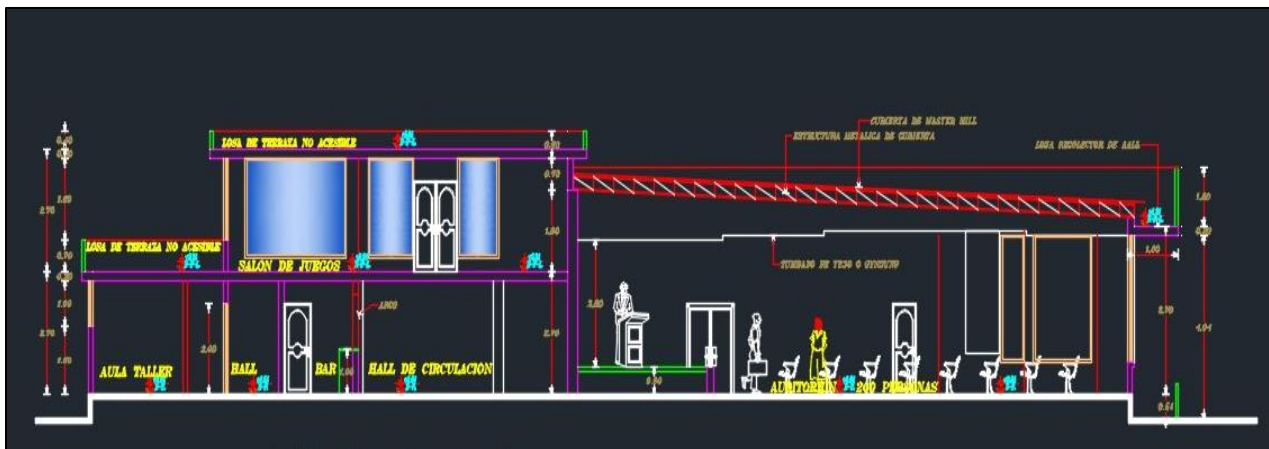
La evaluación que se realizó en el edificio del CENI ha arrojado un resultado en el levantamiento de información de los modificadores establecidos en el formulario FEMA 154 con un índice de **1,5** puntos, lo que resulta un grado de vulnerabilidad **ALTA** como se muestra en la “Tabla 21”, esto se debe a que presenta dos irregularidades y también el edificio está asentado sobre un suelo C es decir sobre un suelo rígido y mejorado según los antecedentes del sector, por ende el edificio necesita un reforzamiento y se le considera que no tiene una adecuada resistencia sísmica.

CYPECAD

Para realizar el procedimiento del comportamiento de la estructura se realizó mediante la utilización del software CYPECAD versión 2017, para introducir los datos de la resistencia del esclerómetro, para modelar el edificio y analizar la vulnerabilidad en el programa mediante los reportes obtenidos, tomando en cuenta los lineamientos planteados en la normativa NEC 2014.

El edificio está localizado en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, consta de dos niveles de 2,70 m cada uno, tomando en consideración un contrapiso de 0,54, lo que da una altura total de 5,94 m, su estructura está constituida de hormigón armado con una cubierta de cerchas metálicas.

Figura 11. Vista Frontal del Edificio CENI



Fuente: AUTOCAD versión 2018

Para realizar el modelamiento de la estructura se debe seguir una serie de pasos como se muestra a continuación:

- Entrada de Datos Generales
- Definición de Plantas
- Introducción de Pilares
- Añadir Vigas
- Agregar Losas
- Introducción de la Escalera
- Cálculo de la Estructura
- Identificación y Corrección de Errores
- Análisis de los Resultados

- Modos de Vibración
- Periodo de Vibración
- Desplazamiento (deriva)
- Torsión

Cada uno de los pasos que se mencionó anteriormente tiene un proceso para ingresar los elementos estructurales tal como se explica a continuación y para ello se considera los planos del AUTOCAD como se muestra en la “Figura 19 y 20”.

1. Entrada de Datos Generales

Para iniciar con el programa CYPECAD, primero se introduce los datos generales, en la primera ventana procedemos a crear un proyecto nuevo, para introducir el nombre de “GREMIOS UEB”. Al mismo tiempo se consideró el tipo de concreto que entrara tanto a los forjados, cimentación, pilares y muros, para introducir los valores de estos datos se obtuvo mediante el ensayo que se realizó con el esclerómetro.

Figura 12. Ventana para la entrada de los datos generales del CYPECAD

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

1.1. Datos generales de sismo introducidos al programa CYPECAD

Figura 13. Normativa para el cálculo de la acción sísmica

The screenshot shows the 'Normativa para el cálculo de la acción sísmica' window. The interface includes a sidebar for selecting a country (Ecuador is selected), a main configuration area, and a bottom bar with buttons for 'Aceptar', 'Sin efectos de 2º orden', 'Espectro de cálculo', and 'Cancelar'.

Normativa para el cálculo de la acción sísmica

CPE INEN 5:2001 NEC-11 **NEC-SE-DS 2014**

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN
Peligro sísmico. Diseño sismo resistente.

Acción sísmica según X Acción sísmica según Y

Método de análisis

Dinámico (modal espectral) Estático (fuerza lateral equivalente)

Definición del espectro

Según norma
 Especificado por el usuario

Parámetros de cálculo		Sistema estructural	
Fracción de sobrecarga de uso	0.00	Coefficiente de reducción (X)	8.00
Factor multiplicador del espectro	1.00	Coefficiente de reducción (Y)	8.00
Estimación del periodo fundamental de la estructura		Coefficiente de regularidad en planta	0.90
<input checked="" type="radio"/> Según norma		Coefficiente de regularidad en elevación	0.90
<input type="radio"/> Especificado por el usuario		Geometría en altura <input type="radio"/> Regular <input checked="" type="radio"/> Irregular	

Altura del edificio

Tipología estructural (X) I II **III** IV

Tipología estructural (Y) I II **III** IV

Caracterización del emplazamiento

Zona sísmica I II III **IV** V VI

Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Región sísmica Costa (excepto Esmeraldas)
 Oriente

Aplicar reducción a todos los modos excepto al modo fundamental

Tipo de suelo

A B **C** D E

Perfiles de suelos muy densos o roca blanda ($760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$)

Importancia de la obra

Edificaciones esenciales y/o peligrosas **Estructuras de ocupación especial** Otras estructuras

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.

Acceptar Sin efectos de 2º orden Espectro de cálculo Cancelar

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

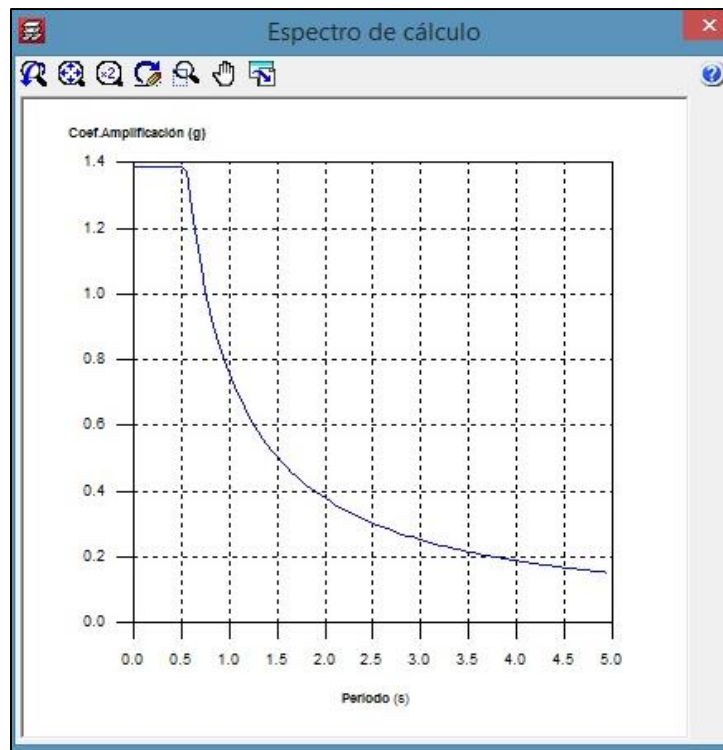
Se tomó como referencia para este proyecto las normas establecidas en la NEC 2014 para el cálculo de la acción sísmica.

Tabla 22. Parámetros para definir el espectro de diseño

Descripción	Parámetro
Norma	NEC-SE-DS (2014)
Método de análisis	Dinámico modal espectral acción sísmica en X/Y
Pórticos espaciales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales regulizadoras	III
Zona sísmica	IV
Tipo de suelo	C-suelos muy densos
Coefficiente de irregularidad en planta	0,90
Coefficiente de irregularidad en elevación	0,90
Altura del edificio	5,94
Edificio CENI	Estructuras de ocupación especial

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 14. Espectro de diseño en el programa

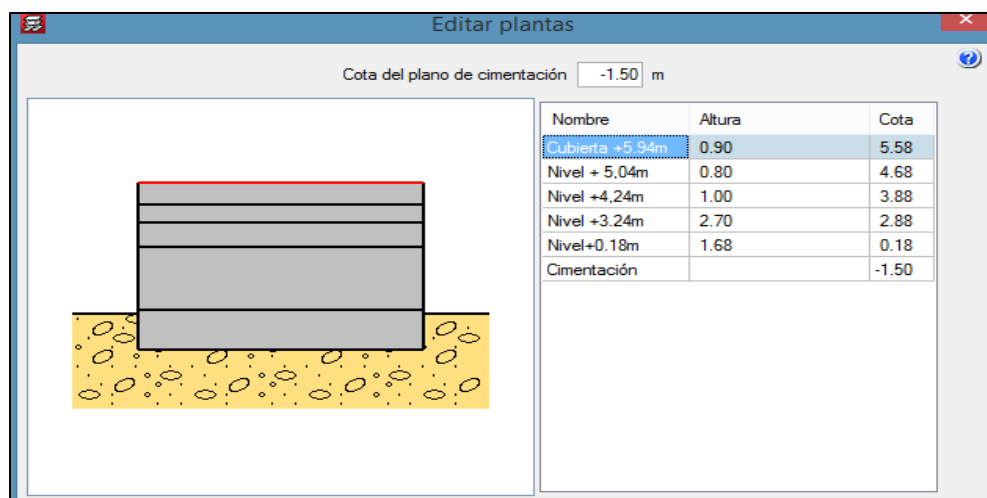


Fuente: cype

2. Definición de Plantas

En este paso se introduce al programa la cantidad de plantas que tiene el edificio en estudio y sus respectivas; alturas, cargas muertas y vivas. Para ello antes de ingresar las cargas a cada piso de la estructura, se diseña primero la altura que tiene el edificio y por ende el número de pisos, luego se nos abre la ventana de introducir plantas, además se incorpora los niveles de altura que esté presente en la cubierta y sus respectiva altura en metros, así mismo se incluye 1.50 m de profundidad al subsuelo.

Figura 15. Introducción de las plantas

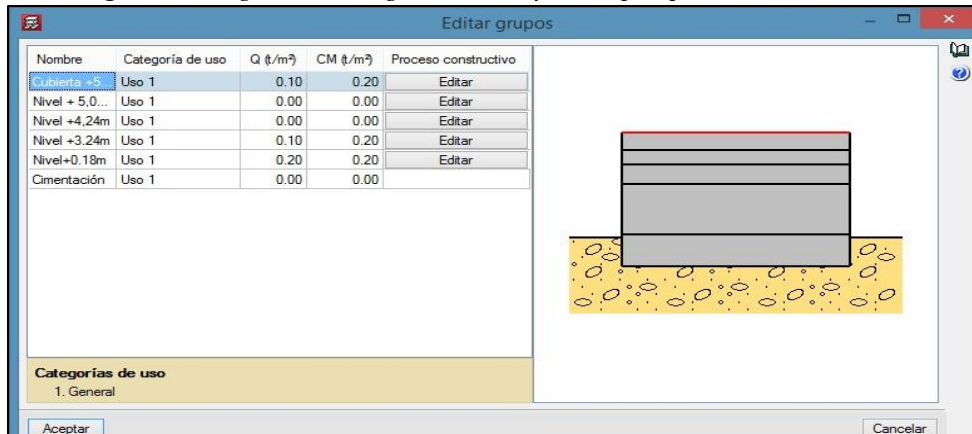


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Luego de haber añadido la altura, en la opción de editar grupos se introducen las cargas que actúan sobre una estructura como nos señala la (NEC 2014): las cargas muertas (hace referencia a todos los elementos que puede generar una inercia ante un evento sísmico; mampostería, cielo raso, etc) y cargas vivas (es una carga superficial que según la norma nos dice que el valor mínimo de vivienda es de 0.20), que fueron obtenidas del análisis de cargas del programa.

Figura 16. Ingreso de cargas muertas y vivas por planta en el CYPECAD



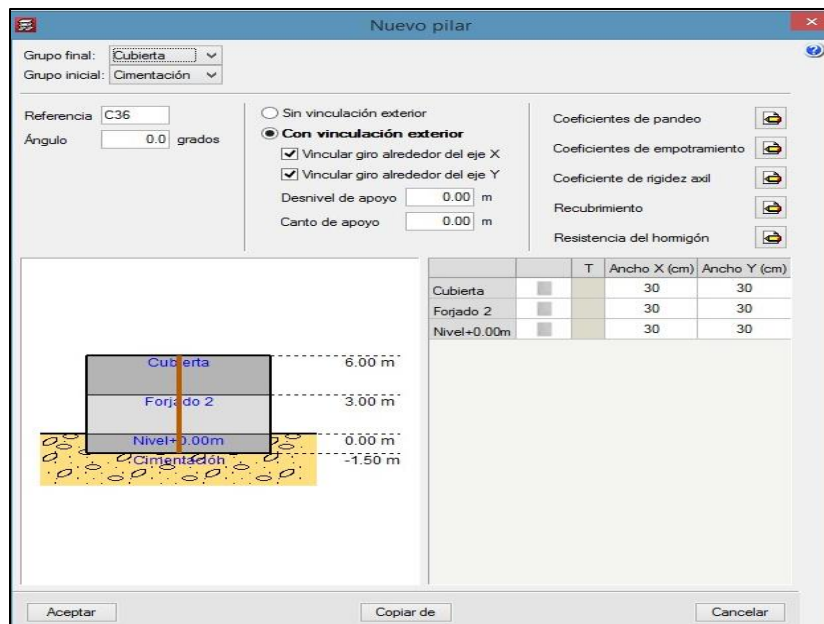
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

3. Introducción de Pilares

Los pilares son barras verticales entre cada planta, por otra parte la longitud de estas barras son la altura o distancia de otros elementos de la planta tanto inicial y final. En la pestaña columna ubicada en la parte inferior se ingresa al menú pilares, añadimos los pilares sobre la plantilla importada de AUTOCAD, se añade cada una de las columnas con sus respectivas medidas de ancho y altura e igualmente seleccionamos el tipo de inclinación en caso de ser necesarios.

Figura 17. Colocación de la dimensión de los pilares

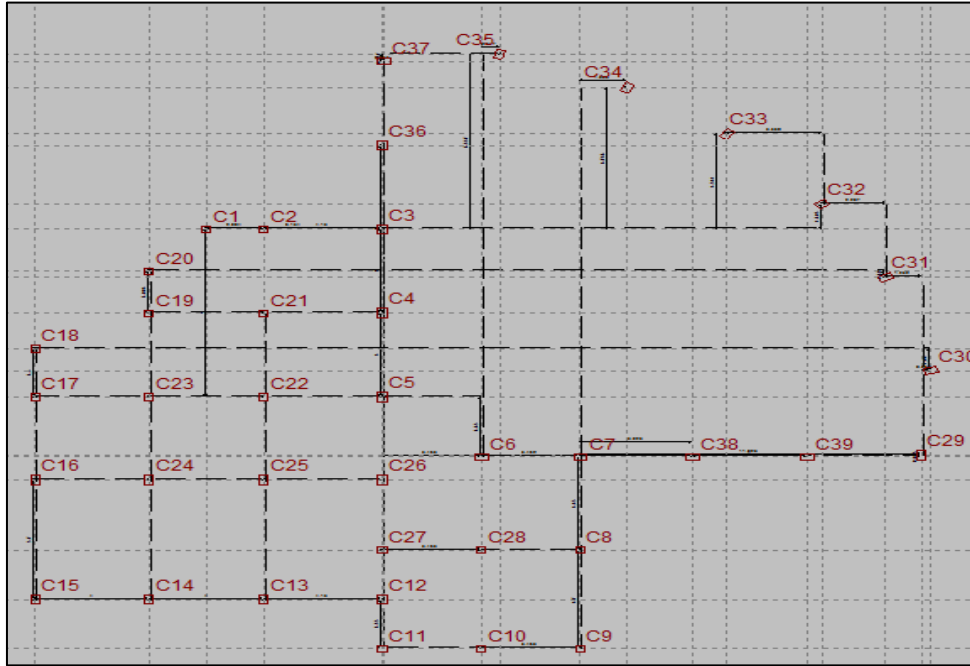


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Después de ingresar todos los pilares, observamos que cada columna es generada de acuerdo al orden introducido, como se muestra a continuación:

Figura 18. Muestra del ingreso de los pilares introducidos en el programa



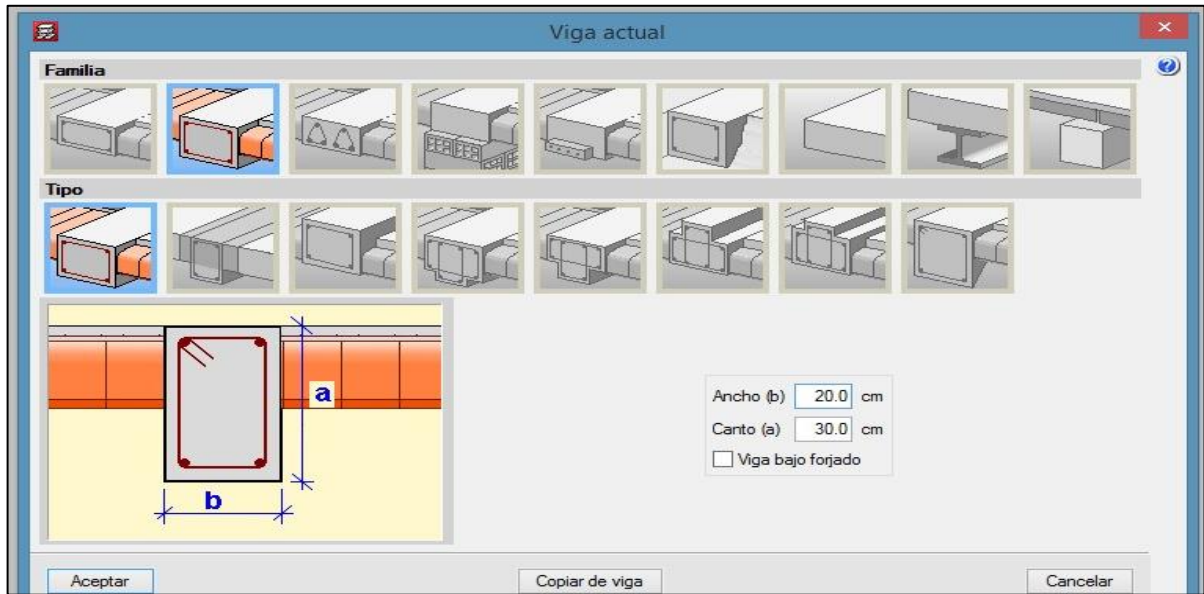
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

4. Añadir Vigas

Las vigas son los nudos en la intersección de pilares o muros, es decir los punto de corte otros elementos de forjado o más bien de otras vigas. Para introducir las vigas seleccionamos el menú viga - entrar viga, en la ventana que aparece seleccionamos el tipo de viga del edificio y las medidas de cada viga. De igual manera para el tipo de viga se seleccionó las vigas descolgadas rectangular, para el dimensionamiento se consideró de 20x30 cm y de 25x 40 cm, luego se pasará a dibujar las vigas en el programa.

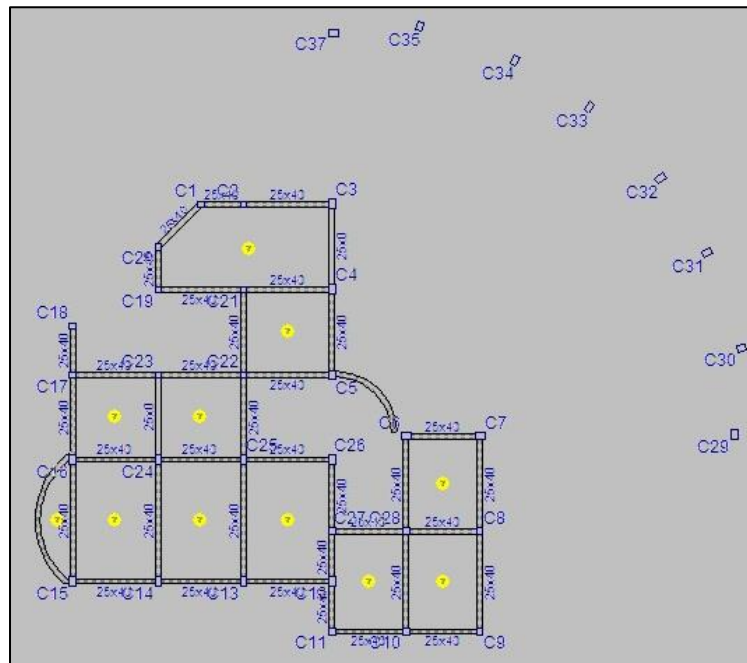
Figura 19. Añadir las Vigas correspondientes



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 20. Muestra de la introducción de las vigas en el programa



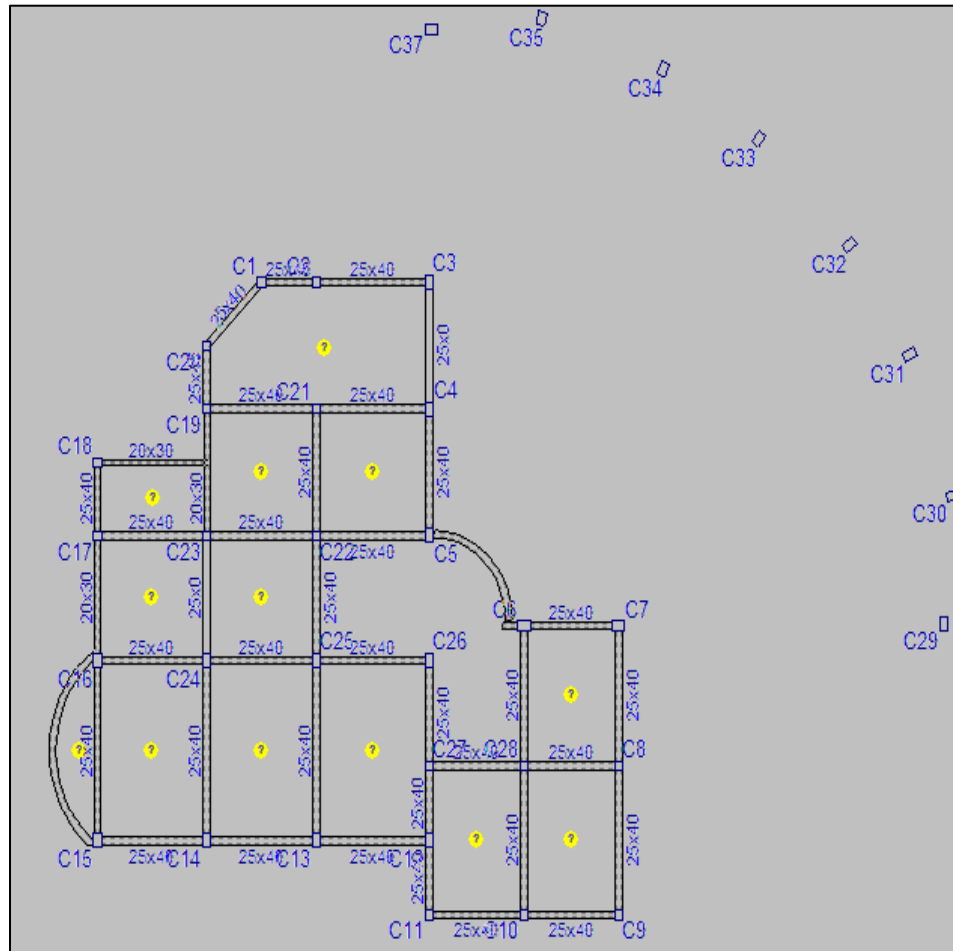
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

5. Agregar Losas

Una vez finalizado la introducción de columnas, vigas y losas se puede observar en la “Figura 22”, que existe una interrogación en color amarillo que indica que no se ha puesto paños o huecos.

Figura 21. Signo de interrogación en color amarillo de la Losa ingresada

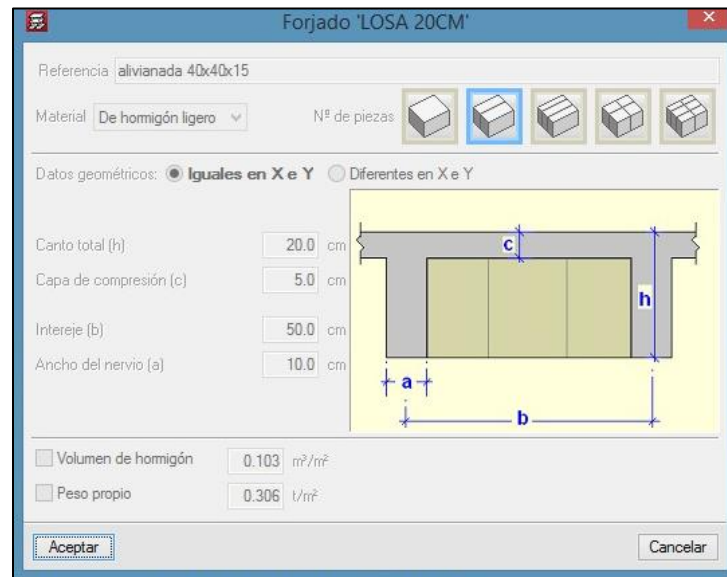
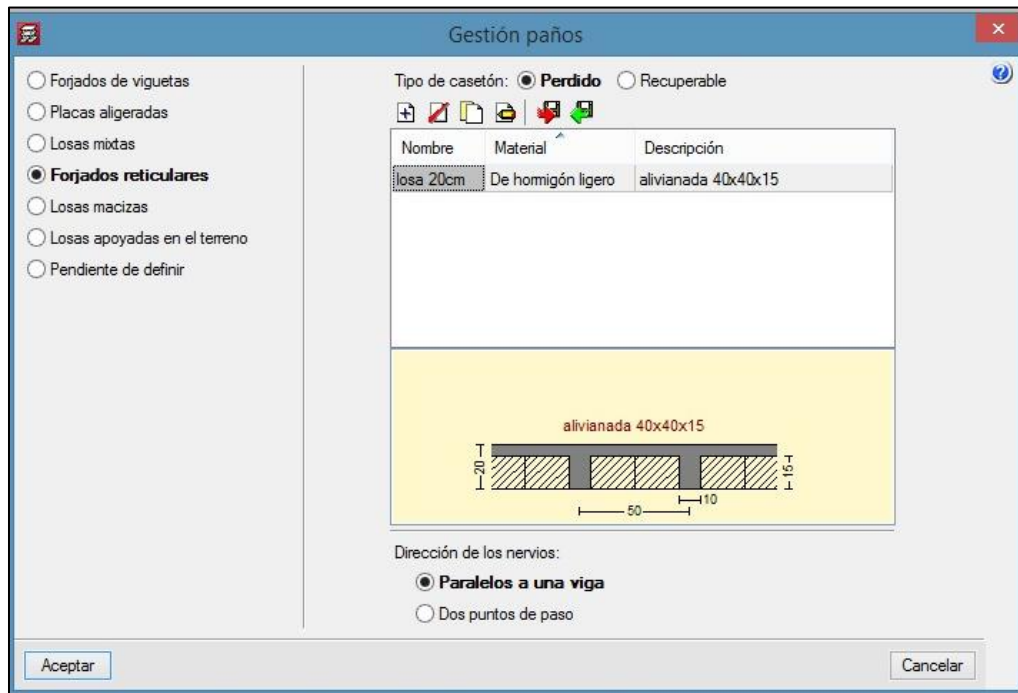


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Dentro de este paso se procedió añadir Forjados reticulares donde se considera la discretización de paños en esta losa. Por ello creamos la Losa seleccionada para introducir en el programa y añadir huecos en los pisos correspondientes con un espesor o canto de 20 cm.

Figura 22. Introducción de la Losa a en el programa

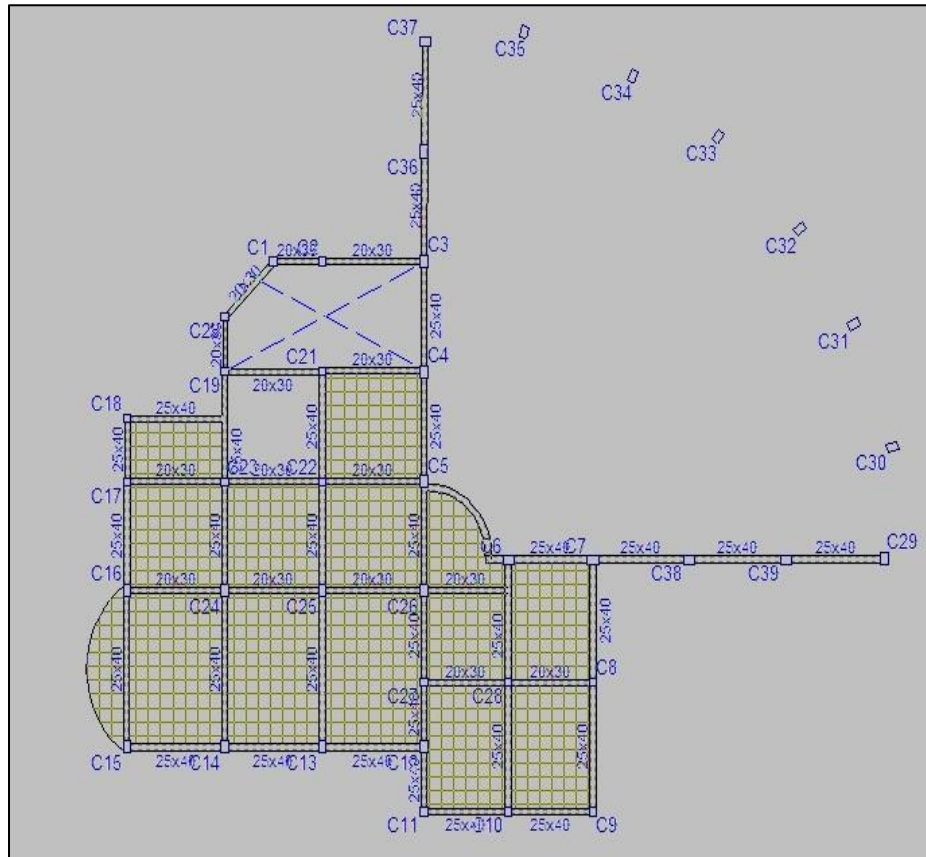


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Luego se procede a insertar la losa y definido la zona de hueco. Después nos dirigimos al menú paños para definir las partes que se debe poner los huecos en la estructura.

Figura 23. Colocación de paños en la Losa



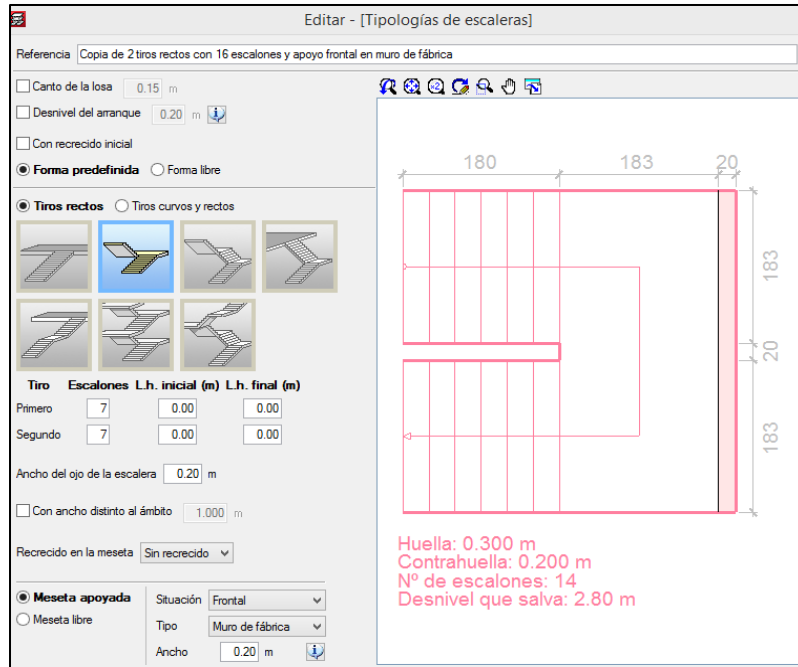
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

6. Introducción de la Escalera

Es una estructura formada por una serie de peldaños por dos soportes paralelos que sirve para subir y bajar, estableciendo comunicación entre un piso de un edificio. Se procede a dibujar la estructura eligiendo el tipo de escalera (tramo de 2 tiros rectos con 16 escalones), para ello se consideró 7 escalones en la planta baja consecutivamente de 7 escalones dirigida a la segunda planta.

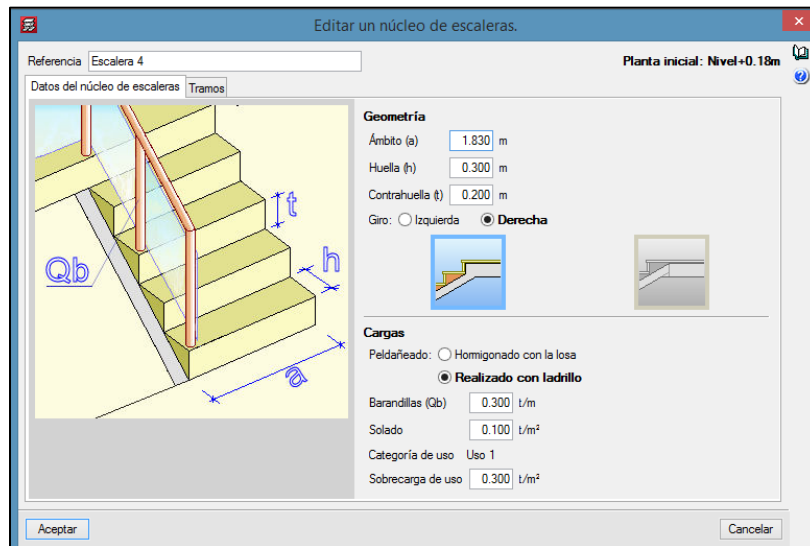
Figura 24. Introducción de la Escalera en el programa



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 25. Definición de los Escalones

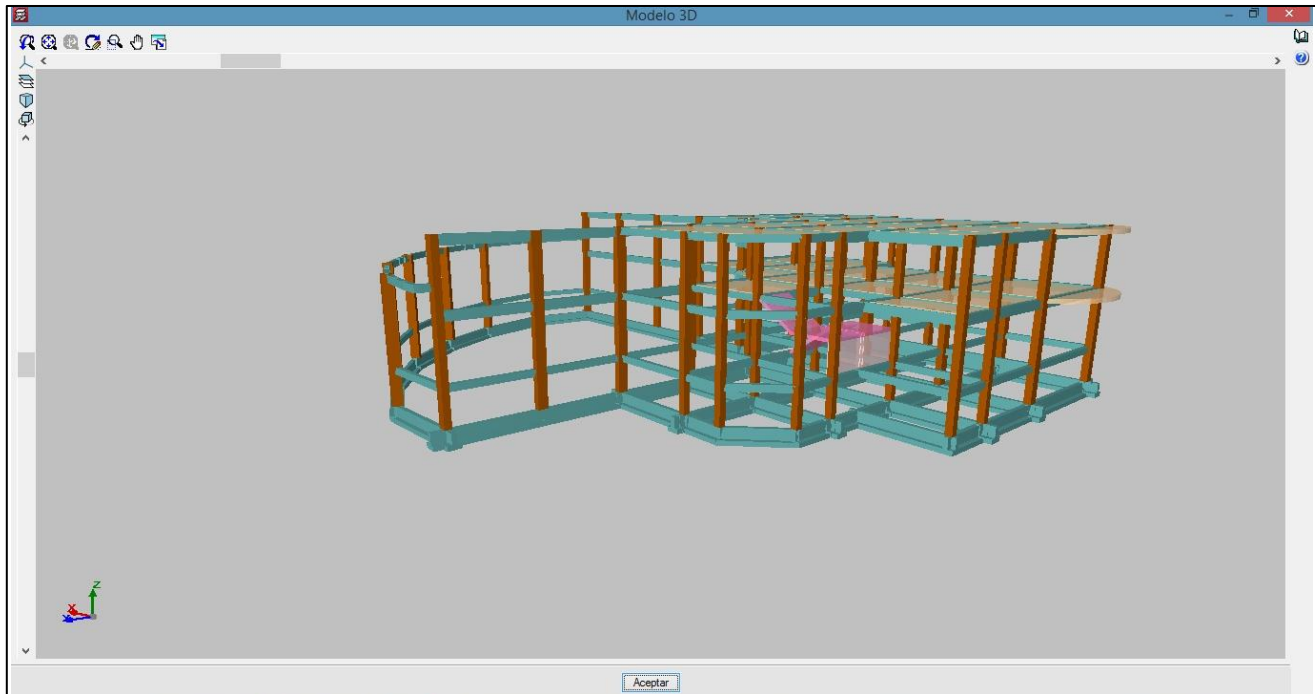


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Luego de haber introducido todos los elementos estructurales a ser evaluados, procedemos a visualizar en un modelo de tri dimensional toda la estructura, esto se hace mediante la opción Vista 3D, como se muestra a continuación:

Figura 26. Vista 3D del edificio



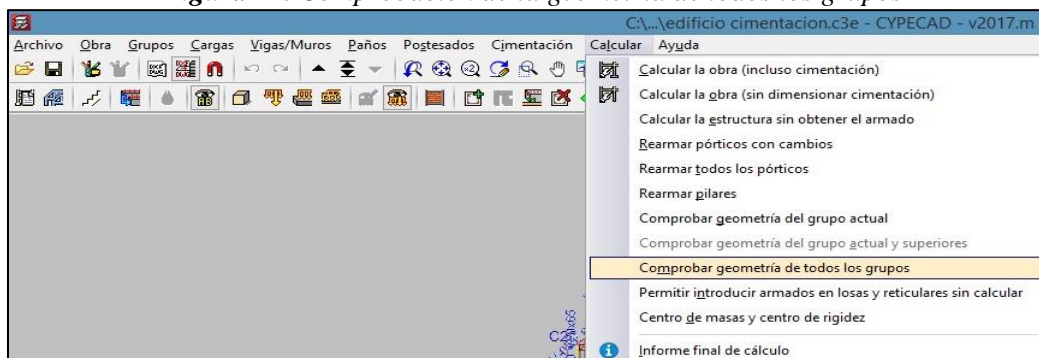
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

7. Identificación y Corrección de Errores

Dentro de este paso se realiza la comprobación de la geometría de los elementos estructurales ingresados para ver si no existe errores y posteriormente rectificarlos si es necesario.

Figura 27. Comprobación de la geometría de todos los grupos



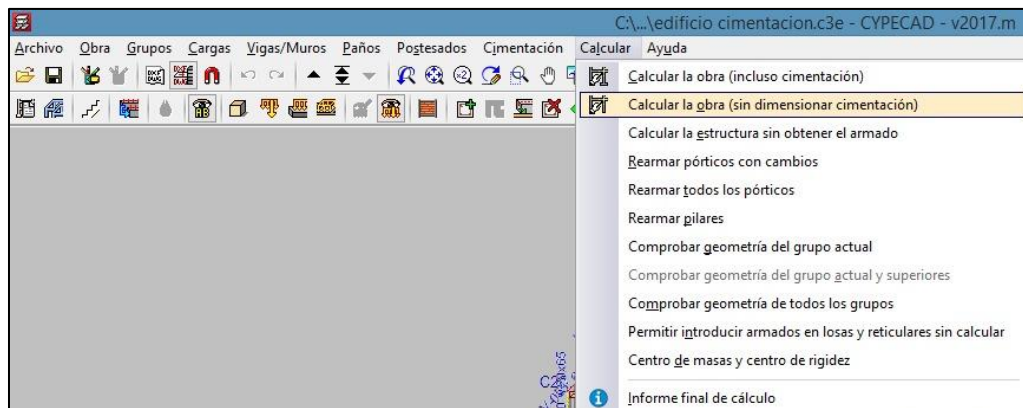
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

8. Cálculo de la Estructura

Una vez finalizado la introducción de elementos estructurales y revisado la estructura, propiedades mecánicas en el programa procedemos a realizar el cálculo estructural para su respectivo análisis, para esto seleccionamos el menú calcular, la obra puede ser calculada con cimentación o sin ella.

Figura 28. Cálculo de la Estructura en el programa.



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

9. Análisis de los Resultados

Después de haber finalizado todo el proceso para demostrar el modelamiento en el programa se obtiene un reporte sobre la Justificación de la acción sísmica (Ver Anexo 35) y Distorsión de pilares (Ver Anexo 36).

10. Modos de Vibración

Como plantea la NEC 2014, sección 6.2.2 literal e, se debe considerar los siguientes lineamientos para el análisis del número de modos:

- Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios periodos de vibración integrados en las curvas de peligro sísmico.

- Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos al 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.

Los valores que nos generó el programa fueron de 6 modos tal como se muestra en la “Tabla 23”, de tal forma que para los resultados de los modos de vibración se tomó en consideración los primeros modos.

Tabla 23. Resultados de los modos de vibración, periodo y porcentaje de participación de masa

Modo	T	L_x	L_y	L_{gz}	M_x	M_y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.446	0.434	0.0209	0.9007	83.52 %	0.19 %	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 10.5767 mm	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 10.5767 mm
Modo 2	0.406	0.0359	0.3608	0.932	0.79 %	80.32 %	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= .76321 mm	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 8.76321 mm
Modo 3	0.348	0.0197	0.0329	0.9993	2.28 %	6.34 %	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 6.44322 mm	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 6.44322 mm
Modo 4	0.187	0.0804	0.1554	0.9846	0.01 %	0.03 %	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 1.86379 mm	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 1.86379 mm
Modo 5	0.117	0.4164	0.0377	0.9084	5.49 %	0.04 %	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 0.73266 mm	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 0.73266 mm
Modo 6	0.104	0.0895	0.4638	0.8814	0.22 %	5.78 %	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 0.57971 mm	R= 6.48 A= 2.101 m/s ² D= 0.57971 mm
Total					92.31 %	92.7 %		

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Las columnas 3 y 4 de la “Tabla 23”, nos muestra el porcentaje de masa participativa que se obtuvo por cada dirección en base al análisis, las cuales son $M_x= 92.31\%$; $M_y= 92.7\%$, estos resultados están cumpliendo con el valor establecido del 90% como mínimo, según la NEC 2014.

Leyenda

T: Periodo de vibración en segundos

L_x, L_y : Coeficiente de participación normalizados en cada dirección del análisis

L_{gz} : Coeficiente de participación normalizado correspondiente al grado de libertad rotacional

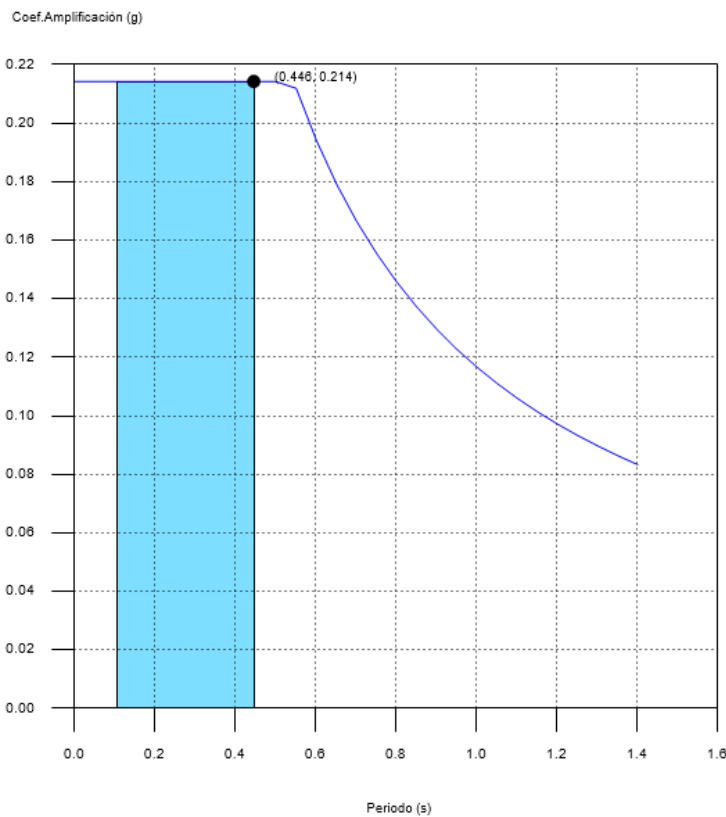
M_x, M_y : Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis

R: Relación entre la aceleración de cálculo usando la ductilidad asignada a la estructura y la aceleración de cálculo obtenida sin ductilidad

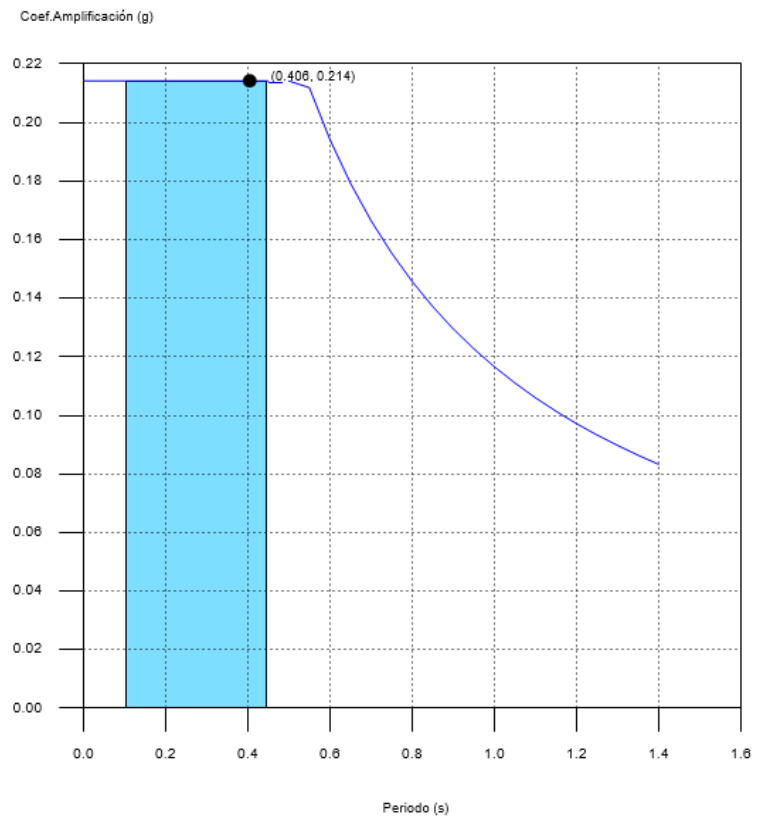
Representación de los periodos modales

Figura 29. Espectro de diseño del programa en X,Y

Espectro de diseño según X



Espectro de diseño según Y



Fuente: cype

El programa nos menciona que se representa el rango de periodos abarcado por los modos estudiados, con indicación de los modos en los que se desplaza más del 30% de la masa:

Tabla 24. Rango de periodo según los modos estudiados en X1

Hipótesis Sismo X1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 1	0.446	0.214

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Tabla 25. Rango de periodo según los modos estudiados en Y1

Hipótesis Sismo Y1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 1	0.446	0.214

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Como se puede observar en la “Tabla 24”, el (Modo 1 se desplaza en X) y en la Tabla 25”, (el Modo 2 se desplaza en Y).

Centro de masa, centro de rigidez y excentricidades de cada planta

Teniendo en cuenta a la norma NEC 2014, en el literal 6.3.6 nos dice que la masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero se desplaza de una distancia igual al 5% de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración, con el fin de considerar los posibles efectos de la torsión accidental, tanto para las estructuras regulares como de las estructuras irregulares. El efecto del desplazamiento debe incluir en los resultados la distribución del cortante de piso y también los momentos torsionales.

Los datos obtenidos en el programa sobre la posición de centro de masas, centro de rigidez y excentricidad en planta son los siguientes:

Tabla 26. Centro de masas, centro de rigidez y excentricidades de cada planta

Planta	c.d.m. (m)	c.d.r. (m)	e_x (m)	e_y (m)
Cubierta +5.94m	(-2,84, -2.93)	(0.71, 0.72)	-3.55	-3.65
Nivel +5.04m	(1.37, -0.98)	(0.00, 0.00)	1.37	-0.98
Nivel +4.24m	(12.26, 9.42)	(11.71, 8.86)	0.54	0.56
Nivel +3.24m	(-2.53, -3.67)	(3.78, 3.31)	-6.31	-6.98
Nivel +0.18m	(0.58, 0.08)	(0.76, 0.68)	-0.18	-0.60

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Leyenda

c.d.m.: Coordenadas del centro de masas de la planta (X,Y)

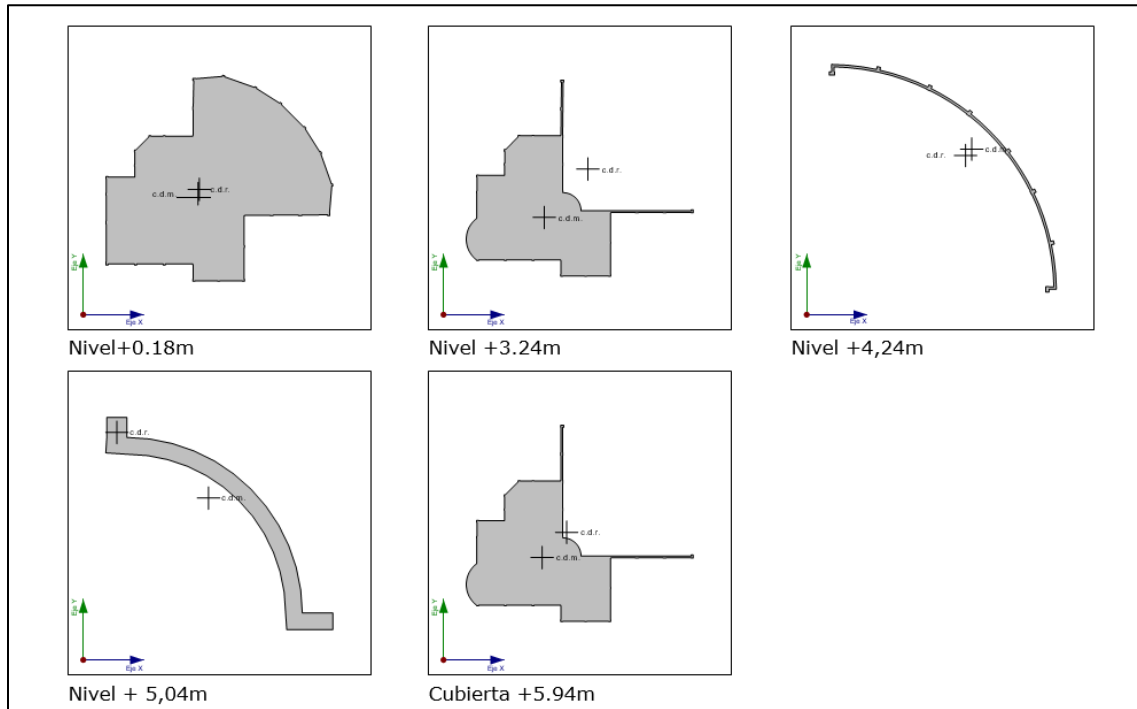
c.d.r.: Coordenadas del centro de rigidez de la planta (X,Y)

e_x : Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (X)

e_y : Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (Y)

Como se puede observar en la “Tabla 26”, la mayoría de excentricidades cumplen con los límites establecidos en la norma antes mencionada.

Figura 30. Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Como se puede observar en la “Figura 30”, cuando el centro de masa está más alejado del centro de rigidez se produce la torsión, este es el caso del nivel +3.24, nivel +4.24, nivel +5.4 y el nivel de la cubierta que es de +5.04.

Corrección por cortante basal

- **Cortante dinámico CQC**

El cortante basal dinámico (V_d), por dirección e hipótesis sísmica, se obtiene mediante la combinación cuadrática (CQC) de los cortantes en la base por hipótesis modal.

Tabla 27. Cortante dinámico CQC en X

Hipótesis sísmica (X)	Hipótesis modal	V_x (t)	$V_{d,x}$ (t)
Sismo X1	Modo 1	76.6604	77.5632
	Modo 2	0.7297	

	Modo 3	2.0968	
	Modo 4	0.0072	
	Modo 5	5.0434	
	Modo 6	0.1976	

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Tabla 28. Cortante dinámico CQC en Y

Hipótesis sísmica (Y)	Hipótesis modal	V_Y (t)	$V_{d,Y}$ (t)
Sismo Y1	Modo 1	0.1769	76.0447
	Modo 2	73.8128	
	Modo 3	5.8273	
	Modo 4	0.0267	
	Modo 5	0.0413	
	Modo 6	5.3125	

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Leyenda

$V_{d,X}$: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica

$V_{d,Y}$: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica

- **Cortante Basal Elástico**

El cortante sísmico en la base de la estructura se determina para cada uno de las direcciones de análisis:

$V_{S,x}$: Cortante sísmico en la base (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2)

$V_{S,x}$: 91.4928 t

$$V_{S,x} = S_{d,x} (T_a) \cdot W$$

$S_{d,x}(T_a)$: Aceleración espectral horizontal de diseño (X) $S_{d,x}(T_a): 0.214 g$

$T_{a,x}$: Periodo fundamental aproximado (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) $T_{a,x}: 0.26 s$

$$T_a = 0.055 \cdot h^{0.9}$$

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

h: Altura del edificio **h**: 5.58 m

$V_{s,y}$: Cortante sísmico en la base (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) $V_{s,y}: 91.4928 t$

$$V_{s,y} = S_{d,y}(T_a) \cdot W$$

$S_{d,y}(T_a)$: Aceleración espectral horizontal de diseño (Y) $S_{d,y}(T_a): 0.214 g$

$T_{a,y}$: Periodo fundamental aproximado (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) $T_{a,y}: 0.26 s$

$$T_a = 0.055 \cdot h^{0.9}$$

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

h: Altura del edificio **h**: 5.58 m

W: Peso sísmico total de la estructura **W**: 427.1629 t

El peso sísmico total de la estructura es la suma de los pesos sísmicos de todas las plantas.

$$W = \sum_{i=1}^n w_i$$

w_i : Peso sísmico total de la planta "i"

Suma de la totalidad de la carga permanente de la fracción de la sobrecarga de uso considerada en el cálculo de la acción sísmica.

Tabla 29. Peso Sísmico

Planta	w_i (t)
Cubierta +5.94m	178.3598

Nivel +5.04m	1.6120
Nivel +4.24m	9.3545
Nivel +3.24m	171.4168
Nivel +0.18m	66.4198
$W = \sum w_i$	427.1629

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

11. Periodo de Vibración

De acuerdo con la NEC 2014 sección 6.3.3, sobre el periodo de vibración de la estructura considera lo siguiente:

Determinación del periodo de vibración T_a

El periodo de vibración aproximado de la estructura T_a , para cada dirección principal, será estimado a partir de unos del método que se explica a continuación:

El valor de T_a obtenido al utilizar estos métodos es una estimación inicial razonable del período estructural que permite el cálculo de las fuerzas sísmicas sobre la estructura y realizar su dimensionamiento.

a. Método 1

Para estructuras de edificación, el valor de T_a puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

Ecuación 1

$$T_a = Ct^{h_n^\alpha}$$

Donde:

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

T_a : Periodo de vibración

Ct : Coeficiente que depende del tipo de edificio

Para realizar el cálculo de periodo de vibración se toma en consideración los datos de la “Tabla 30”, como se muestra a continuación:

Tabla 30. Valores del coeficiente que depende del tipo de edificio para el cálculo del período de vibración

Tipo de Estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores	0.047	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.049	0.75

Fuente: (NEC, 2014)

Como se puede observar en la columna 2 de la “Tabla 25”, los datos del periodo fundamental de vibración de la estructura en las direcciones principales del análisis, las cuales son 0.446 y 0.406, este resultado no cumple con el rango establecido según la NEC-SE-DS (2014), luego se procede a reemplazar en la ecuación 1, dando como resultado 0.23, como se muestra a continuación:

$$T_a = 0.047(5,94)^{0.9}$$

$$T_a = 0.23$$

Tabla 31. Periodo de Vibración (T)

Modo	T
Modo 1	0.446

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Como se puede observar en la “Tabla 31” el periodo de vibración en segundos es de 0.446 se compara con el periodo fundamental aproximado de 0.26 de los datos obtenidos del cortante basal elástico, en donde la NEC 2014 menciona que permite que se desplace más del 30%, es

decir que 0.446 no cumple con este requerimiento ya que la estructura es flexible. Lo que se pretende es que no coincida el periodo de vibración del suelo (fenómeno de resonancia) con el periodo de vibración de la estructura.

12. Desplazamiento

Chequeo de derivas y distorsión de pilares

La NEC 2104, manifiesta en la sección 5.1 los límites de las derivas de los pisos, considerando así que la deriva para cualquier piso no excederá los límites establecidos en la “Tabla 32”, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso.

Tabla 32. Valores de la deriva máxima

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

Fuente: (NEC, 2014)

Con respecto a la “Tabla 32”, se seleccionó el valor de 0.02 que corresponde a las estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera, el cual expresado en fracción equivale a 1/50.

Valores máximos de la distorsión de pilares

Tabla 33. Desplome local máximo de los pilares

Desplome local máximo de los pilares (δ/h)				
Planta	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
Cubierta +5.94m	1 / 2334	1 / 2334	1 / 112	1 / 108
Nivel +5.04m	1 / 4000	1 / 4000	1 / 85	1 / 87
Nivel +4.24m	1 / 6000	1 / 5750	1 / 84	1 / 108
Nivel +3.24m	----	----	1 / 78	1 / 88
Nivel +0.18m	----	----	1 / 110	1 / 126
Notas:				

⁽¹⁾ Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Tabla 34. Desplome local máximo de los pilares

Desplome local máximo de los pilares (Δ/H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
----	----	1 / 96	1 / 105
Notas:			
⁽¹⁾ Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad			

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

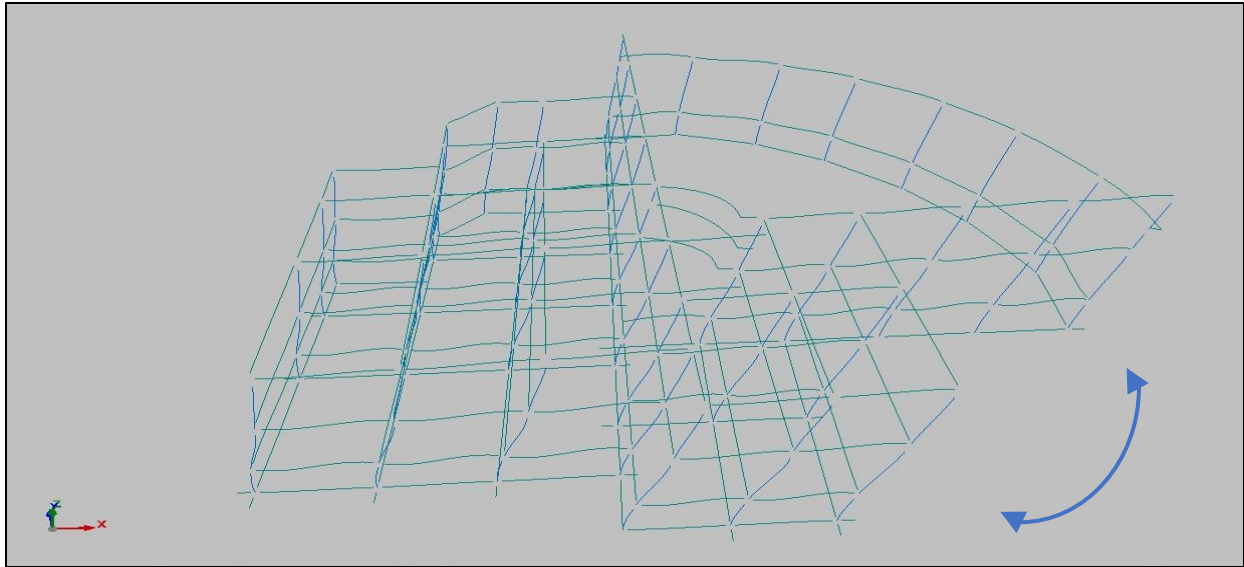
En base a los resultados obtenidos de la deriva el programa nos menciona que los datos están mayorados por la ductilidad, es decir que en las “Tablas 33 y 34” se puede observar que no exceden y si cumplen con la deriva del valor mínimo de 1/50 que están establecidos en la NEC 2014.

13. Torsión

En la “Tabla 23”, se puede observar en la columna 4 de (L_x y L_y) que son coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis son valores que están cercanos a 1.

El Modo 1 y Modo 2 de vibración de la edificio, de la columna 5 en la “Tabla 23”, nos muestra el valor de (L_{gz}), la cual es el coeficiente de participación normalizado que corresponde al grado de libertad rotacional, por lo tanto existe torsión accidental lo que se considera que el edificio es vulnerable según este parámetro obtenido. En el Modo 1 existe torsión de 0.9007 y en el Modo 2 de 0.932 porque está cercano a 1, lo que nos arroja que es torsional.

Figura 31. Primer modo de vibración en X

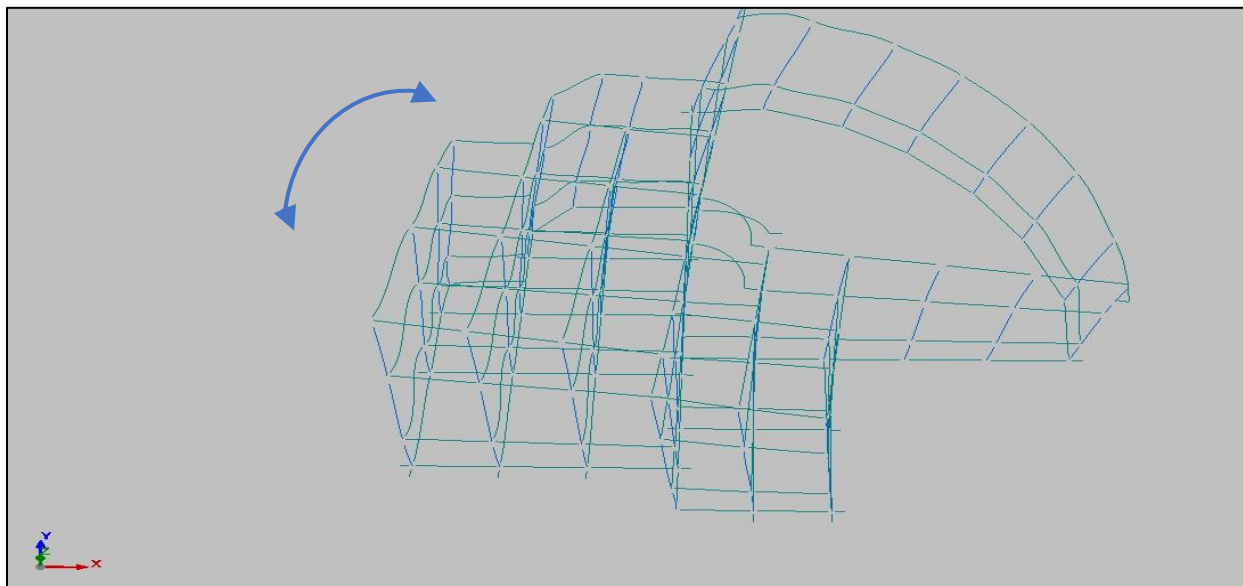


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

El primer modo para el análisis del sismo es: Torsional

Figura 32. Segundo modo de vibración en Y



Fuente: cype

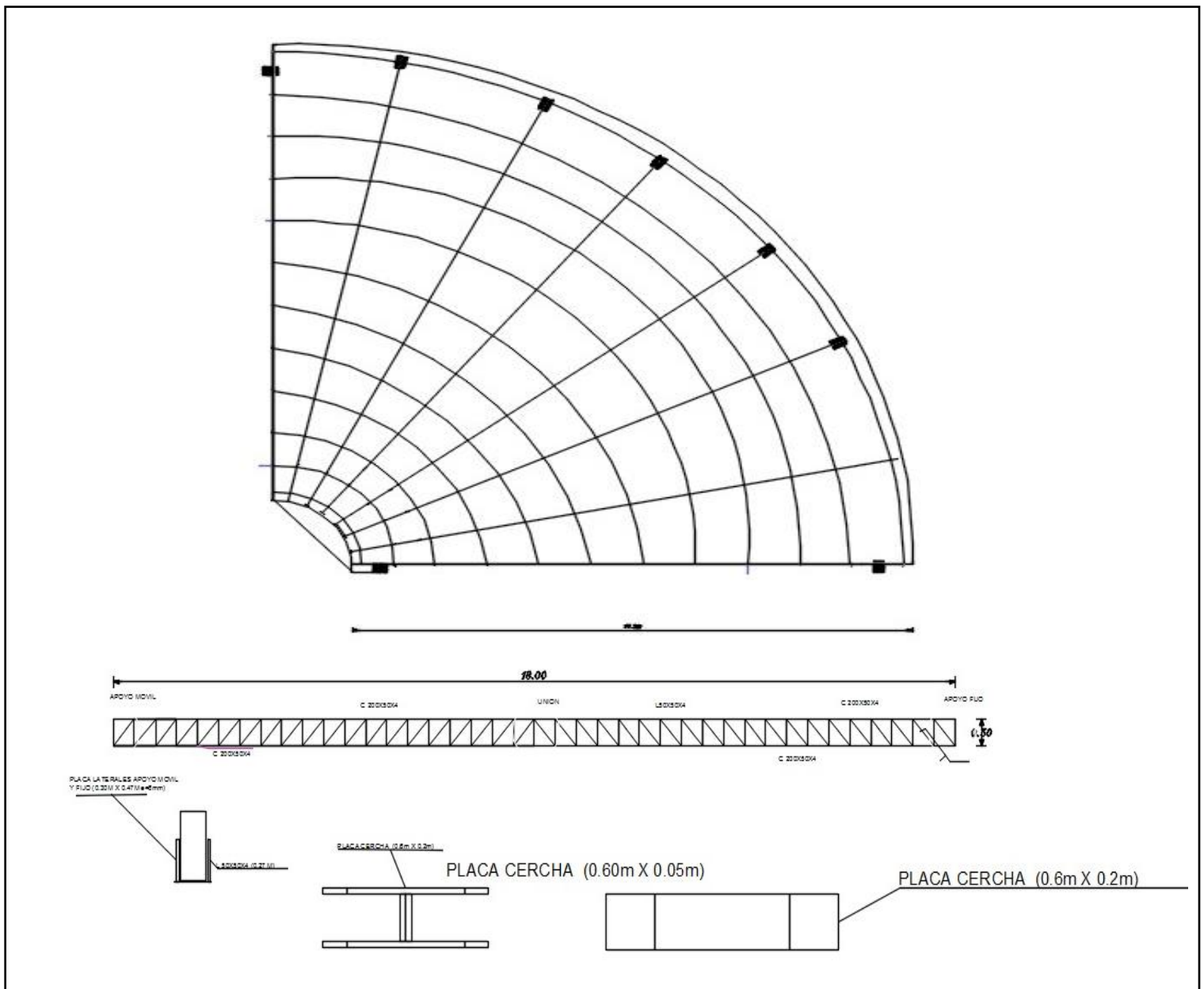
Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

El segundo modo para el análisis del sismo es: Torsional

CYPE 3D

EL CYPE 3D nos permite importar obras con diseño estructurales metálicas como perfiles de acero o aluminio, además realiza el cálculo y diseño de estructuras tridimensionales definidas con elementos tipo barras en el espacio y nudos en la intersección. Se puede calcular, dimensionar y comprobar de forma independiente considerando los nudos de apoyo con vinculación exterior. Lo que se pretende con el programa es determinar la resistencia de las estructuras metálicas.

Figura 33. Cubierta del edificio



Fuente: AUTOCAD versión 2018

Como se puede apreciar en la “Figura 33”, la cubierta del edificio CENI está conformado por cerchas metálicas, es por eso que se utilizó el Software CYPE 3D para lograr modelar la misma. Para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- Asignación de secciones de perfiles
- Apoyos de la cubierta
- Comprobaciones realizadas por el programa
- Datos Generales
- Añadir Perfiles
- Creación de Puntos Fijos
- Introducción de Paños
- Comprobación de los Elementos
- Cálculo de la Estructura Metálica

Luego procedemos a realizar el siguiente procedimiento:

1. Asignación de secciones de perfiles

Se define tres secciones de perfiles para conformar los miembros estructurales de la cubierta. Una vez ingresado todas las medidas de los perfiles que se van a utilizar procedemos a la reproducción geométrica de los elementos según corresponda y diseñamos cada barra.

2. Apoyos de la cubierta

Al ser una obra que ya se encuentra construida sus columnas se utilizaran apoyos fijos y móviles.

3. Comprobaciones realizadas por el programa

El programa comprueba y dimensiona cada una de las barras de las estructuras según los datos generales que se introdujeron permitiendo analizar la resistencia que tiene la cubierta.

4. Datos Generales

En esta ventana escogemos toda la información con la que se va a trabajar en la cubierta por ello seleccionamos primero la norma con la que se trabaja para acero laminados (ACI 318M - 08(USA)).

Figura 34. Datos Generales para ingresar al CYPE 3D

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

De igual manera escogemos las acciones del sismo dinámico ubicando el territorio donde nos encontramos, como es la zona sísmica IV que representa la región de la Sierra acorde a los lineamientos de la NEC 2014.

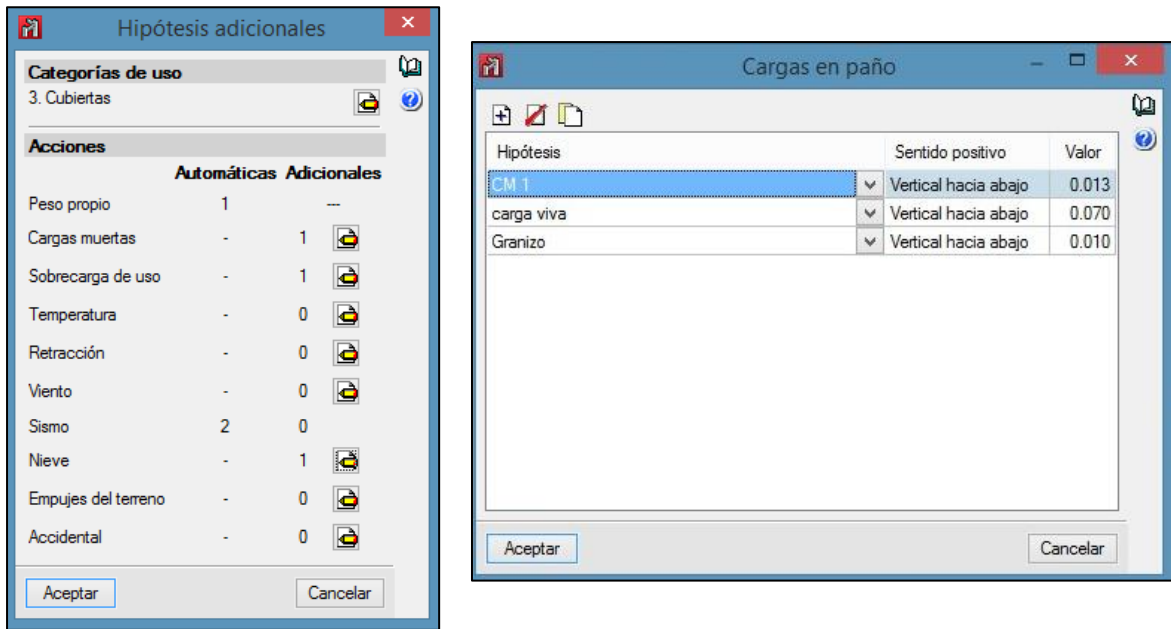
Figura 35. Normativa para el cálculo de la acción sísmica en el CYPE 3D

Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Así mismo agregamos la hipótesis adicionales sobre las cargas que se va a trabajar sobre la cubierta (carga viva, carga muerta, granizo).

Figura 36. Hipótesis adicionales de las cargas



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Los datos de la “Tabla 35”, nos muestran la introducción de las cargas en medidas de toneladas para la cubierta metálica; dentro de la carga viva se consideró el valor de cuánto pesa una persona en este caso de 70 kg que transformando a toneladas nos da 0.070 (este valor hace referencia cuando una sola persona puede subirse a la cubierta para hacer mantenimiento), para la carga muerta revisamos la (NEC 2014) para cargas de cubierta con material Gypsum donde su peso es de $13,44 \text{ kg/cm}^2$ que convertido a toneladas es de 0,013. Para el valor del granizo se toma en cuenta la (NEC 2014) de las cargas no sísmicas, literal (B.4.8.3.1).- Las cargas de granizo (G), deben tener en cuenta las regiones del país con más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar o en lugares de menor altura donde la autoridad municipal o distrital así lo exija. Al igual que el literal (B.4.8.3.2).- En los municipios y distritos donde la carga de granizo deba tener en cuenta su valor de 1.0 kN/m^2 (100 kgf/m^2). Para cubiertas con una inclinación mayor a 15° este valor puede reducirse a 0.5 kN/m^2 (50 kgf/m^2).

Tabla 35. Introducción de cargas en el CYPE 3D

Cargas	Valor
Carga muerta	0.013

Carga viva	0.070
Granizo	0.015

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Definido toda la información procedemos a diseñar la cubierta del edificio según las medidas que tenemos en los planos.

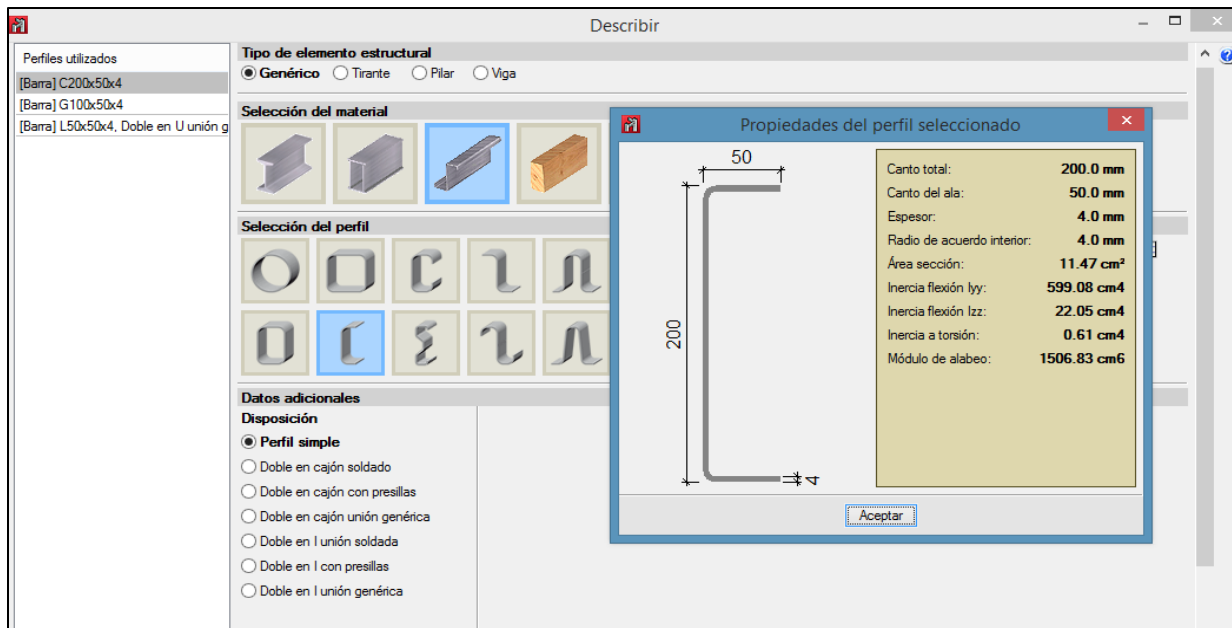
5. Añadir Perfiles

Para la cubierta diseñamos tres tipos de perfiles o barras según lo correspondiente:

- Barra C 200x50x4
- Barra G 100x50x4
- Barra L 50x50x4

Para cada perfil seleccionamos el material del acero, el tipo de perfil, la disposición que corresponde, y cada una de sus medidas correspondientes. El perfil tipo C se extiende en todo el largo que mantiene la cubierta desde la parte inicial hasta reposar en el pilar. Son 8 pilares que se van a diseñar tanto para la parte baja como la parte alta a su vez editamos el ángulo de giro según corresponda.

Figura 37. Creación de perfiles C en el CYPE 3D

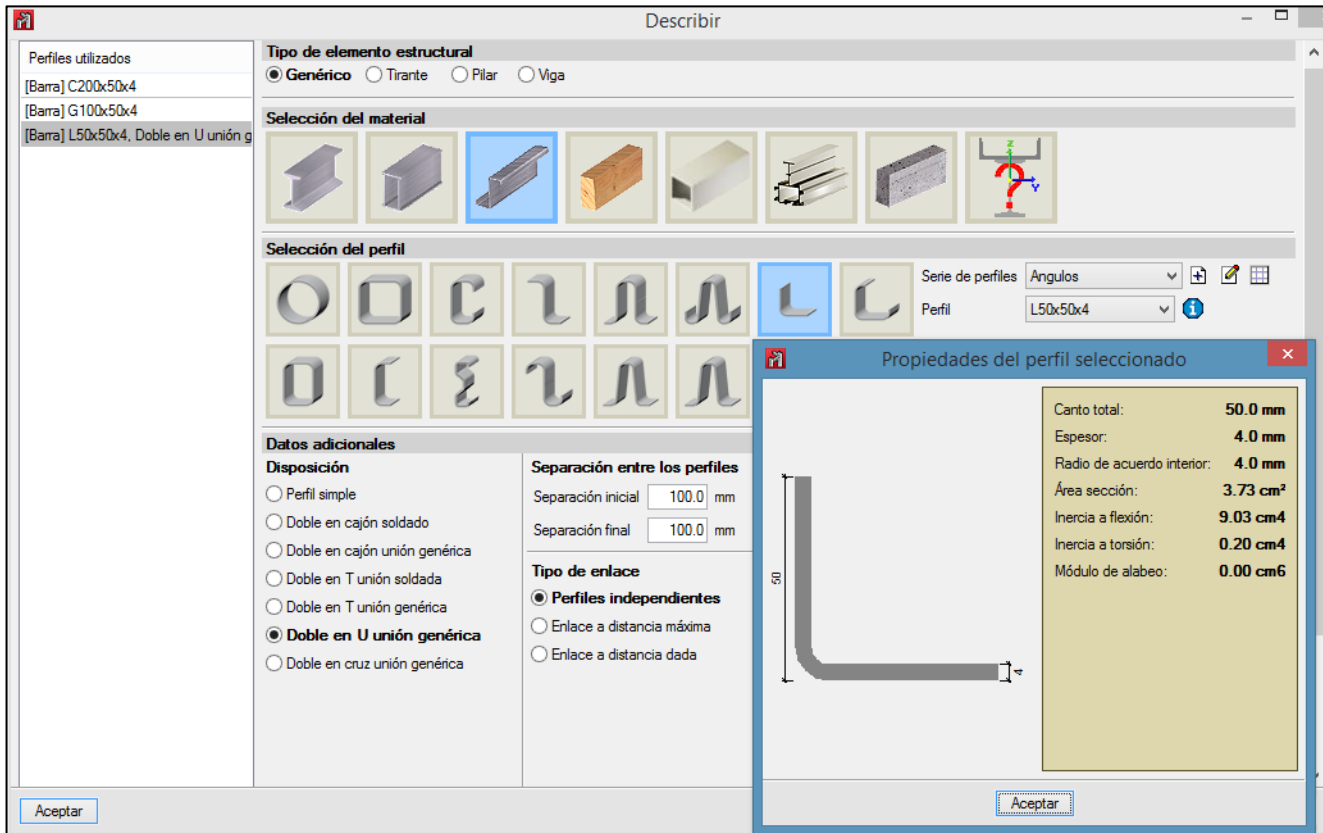


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

El perfil tipo L, va diseñando las formas de las barras con una separación de 0,45 cm, así como también está ubicada la barra de forma inclinada completando su forma de la estructura del perfil.

Figura 38. Creación de perfiles L en el CYPE 3D

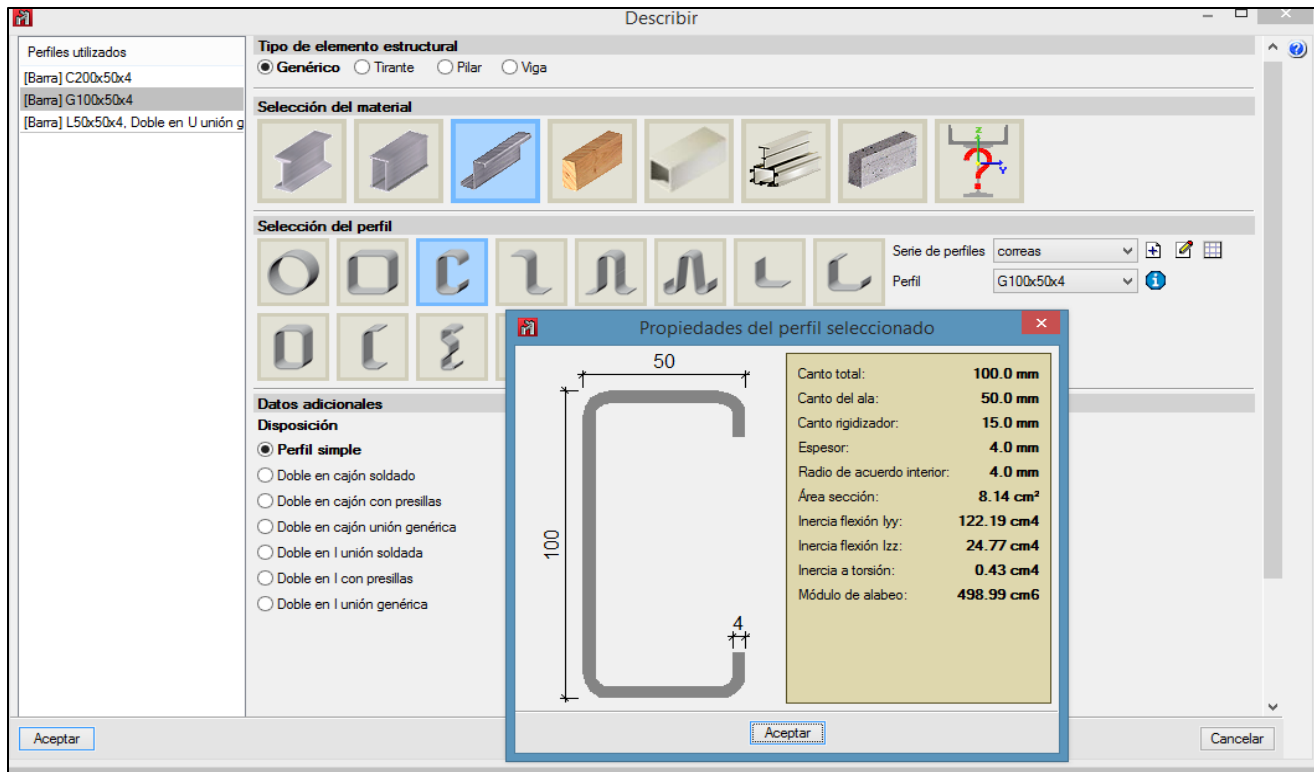


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

El perfil tipo G corresponde a las correas que mantiene la cubierta, se encuentran realizando uniones de un perfil a otro, estas correas están ubicadas a una distancia de 1,60 cm y 1,28 cm según lo indica el plano.

Figura 39. Creación de perfiles G en el CYPE 3D



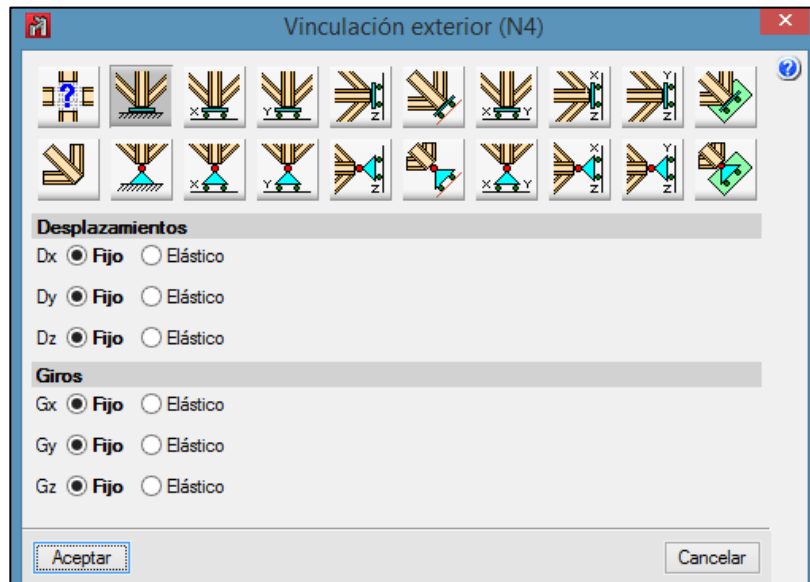
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

6. Creación de Puntos Fijos

Para la vinculación exterior del punto fijo seleccionamos el tipo de empotramiento fijo, tomando en consideración dos aspectos como son los desplazamientos y los giros, después procedemos a crearlos en el programa.

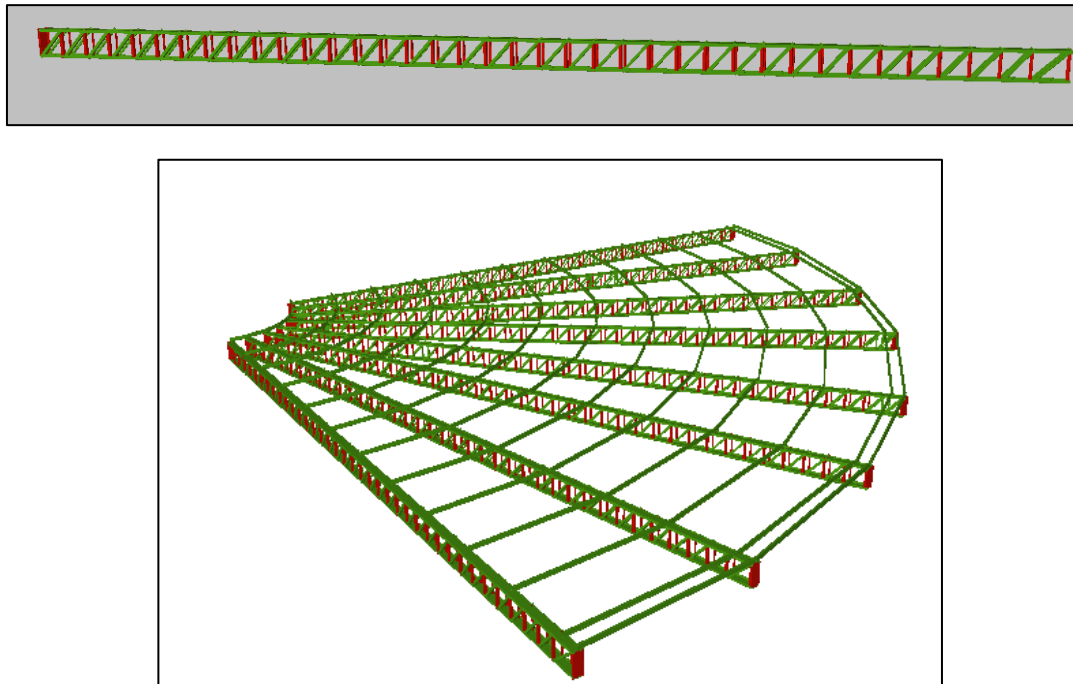
Figura 40. Vinculación exterior de los puntos fijos



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 41. Creación de los puntos fijos en el CYPE 3D

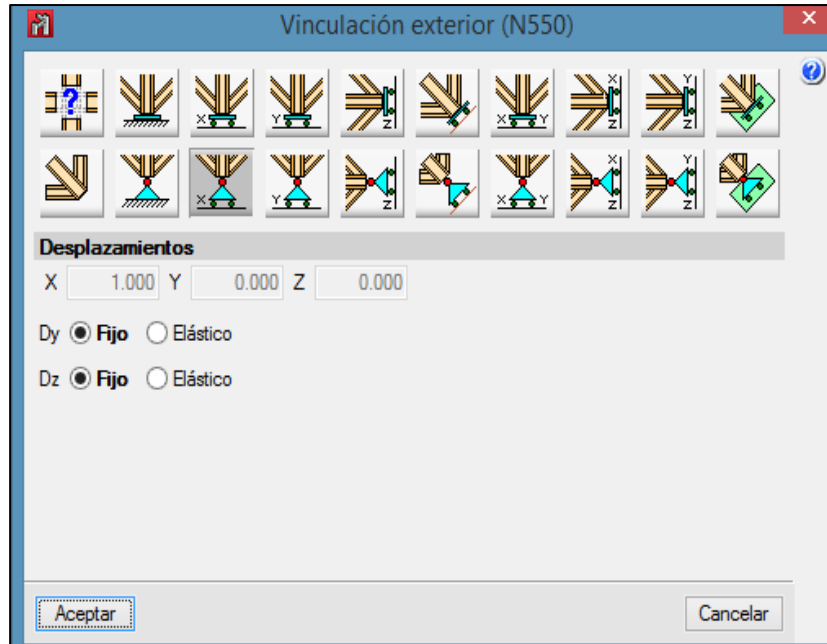


Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Para la vinculación exterior del punto móvil seleccionamos el tipo de desplazamiento libre sobre una recta en la dirección X con giros sin coaccionar.

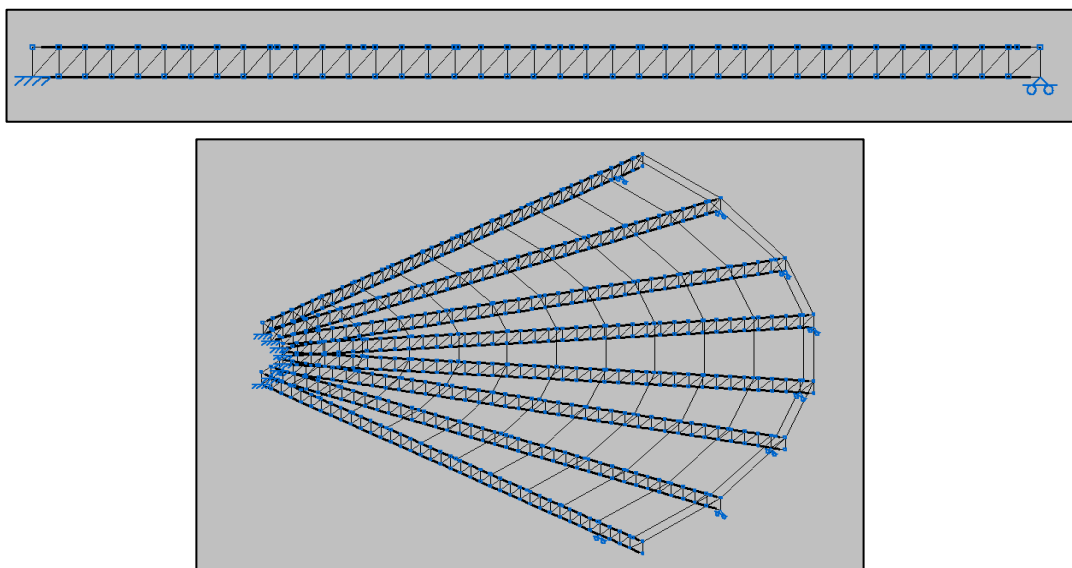
Figura 42. Vinculación exterior de los puntos móviles



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 43. Creación de los puntos móviles en el CYPE 3D



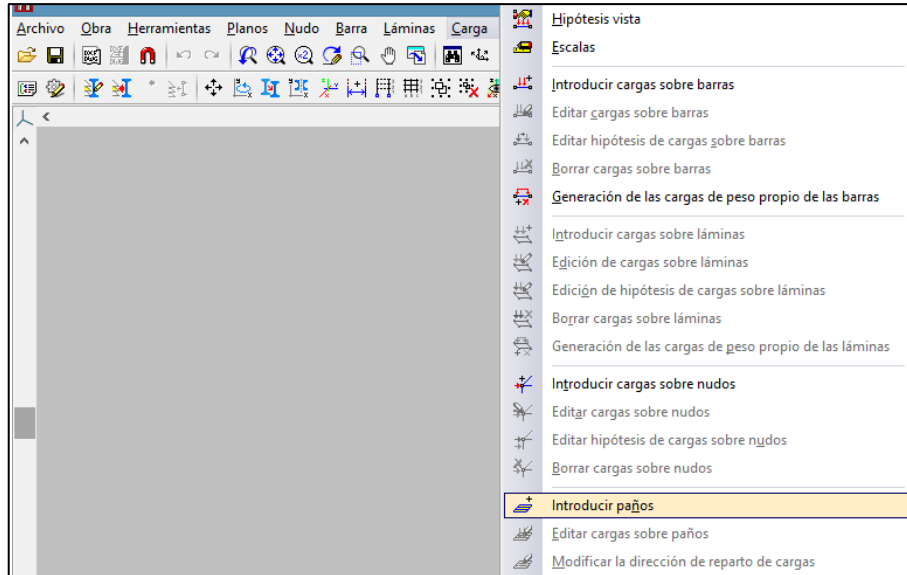
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

7. Introducción de Paños

Mediante la opción de cargas permite introducir paños que se genera mediante un polígono de cuatro puntos, aquí es necesario indicar la dirección del reparto de cargas sobre la superficie.

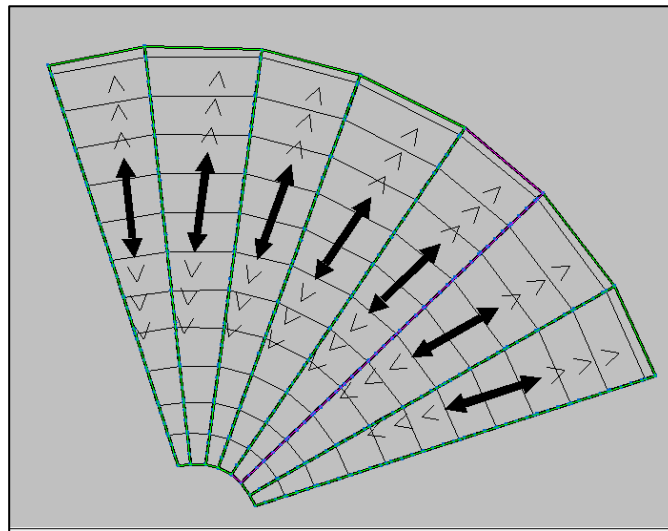
Figura 44. Ventana para introducir paños



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 45. Introducción de paños en la cubierta



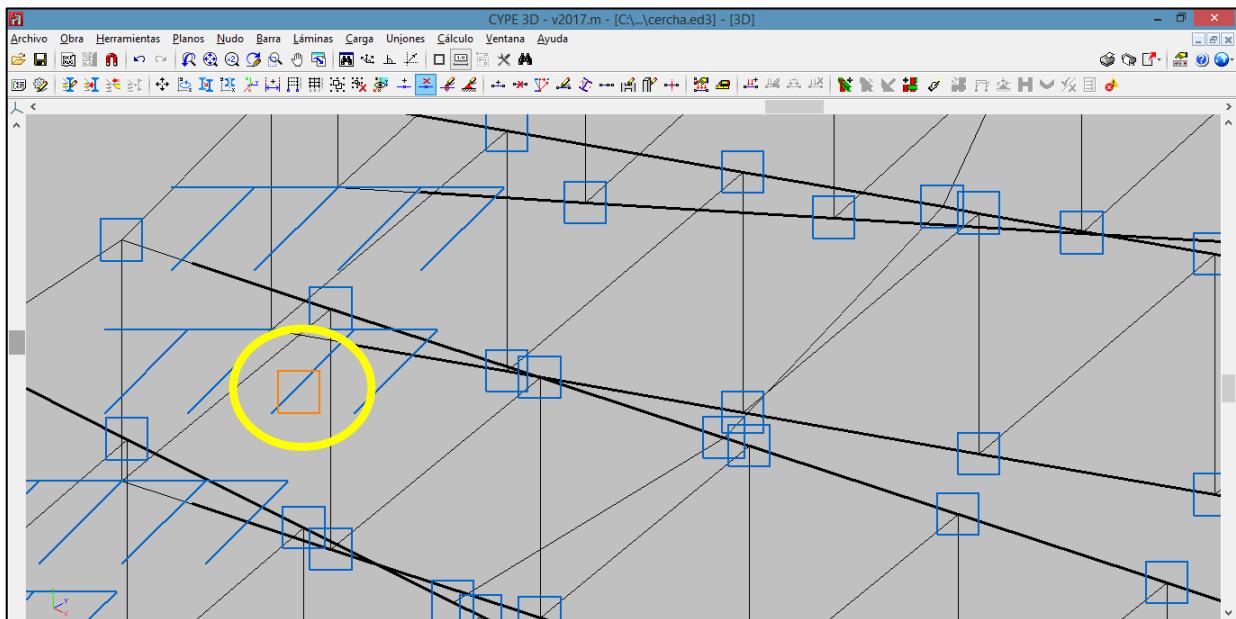
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

8. Comprobación de los Elementos

Ya introducido toda la información de la cubierta metálica procedemos primero a comprobar toda la estructura para ver si tiene algún error o alguna indicación. Una vez obtenido la información se puede observar que existe un color diferente en aquellos que no cumplen para el cálculo, errores como un elemento adicional mal o elementos que están flotando en el diseño.

Figura 46. Comprobación de los elementos en la cubierta



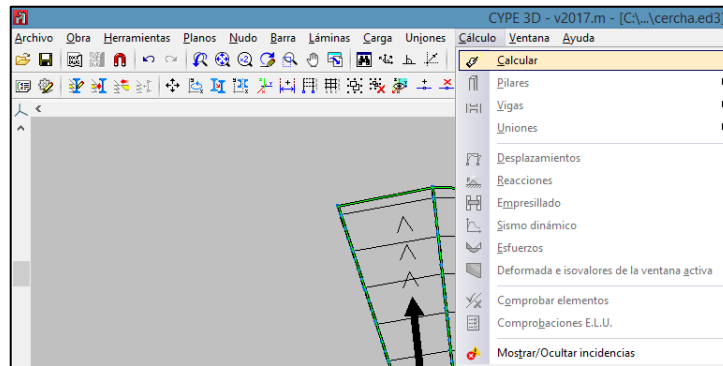
Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

9. Cálculo de la Estructura Metálica

Luego de realizar todos los pasos anteriores y las comprobaciones con sus respectivas correcciones, procedemos a calcular la obra para analizar su resistencia estructural. Caber recalcar que no se consideró en este análisis final la información de la deriva porque no se tiene soportes en columnas y vigas y al mismo tiempo le estamos dando el valor al desplazamiento mediante los apoyos fijos y móviles que se introdujeron, simplemente se analiza la parte metálica porque son estructuras netamente flexibles.

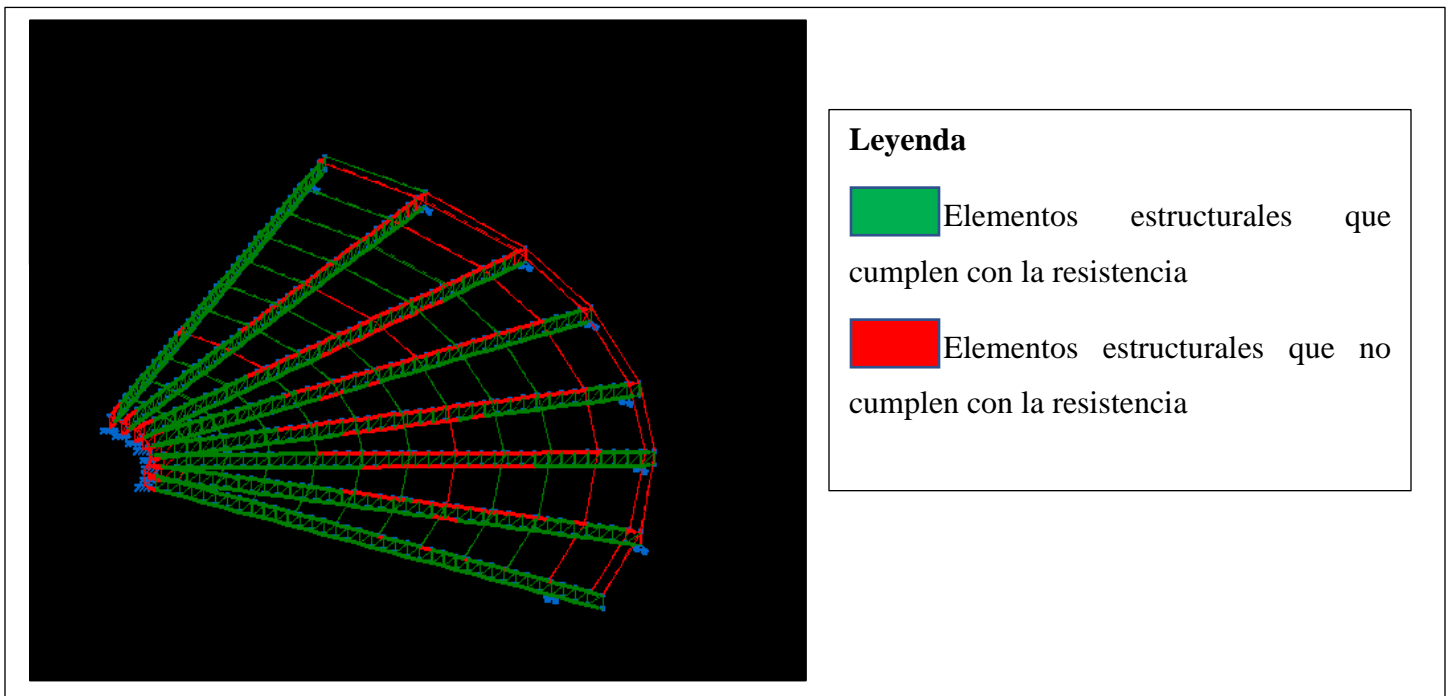
Figura 47. Ventana para calcular la estructura metálica



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Figura 48. Cálculo de la estructura metálica



Fuente: cype

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Se puede evidenciar que el resultado final obtenido de las cerchas metálicas, en algunos elementos estructurales cumplen con los requisitos de la resistencia, mientras que en las vigas (1-

2-3-4-5-6-7) y ciertas correas no cumplen con ese requerimiento y exceden el 100% de la capacidad de resistencia.

4.3 Resultado según el Objetivo 3

“Proponer medidas de reducción de riesgos ante una amenaza sísmica para el edificio del CENI a partir de los datos obtenidos de la investigación”

Tabla 36. Propuesta de Medidas de Reducción de Riesgos ante una Amenaza Sísmica

INSTRUMENTO	RESULTADO	MEDIDA DE REDUCCIÓN
ENSAYO DEL ESCLERÓMETRO	Zona de estudio	Emplear evaluaciones de infraestructuras del ensayo para verificar la resistencia del hormigón.
	Alta vulnerabilidad	Promoción adecuada de los reglamentos y normativas para el diseño y construcción de las edificaciones.
FEMA 154	Tipología de la estructura	Inspeccionar periódicamente los elementos estructurales con un técnico especializado en la materia para identificar los daños de la edificación.
		Realizar un reforzamiento para columnas de concreto.
	Tipo de suelo	Proponer un estudio de mecánica de suelos para revisar que los Niveles Freáticos estén controlados y por ende el agua no suba a los niveles de cimentación para evitar el proceso de licuefacción.
		Sugerir que se realice un Sistema de Drenaje.
CYPECAD	Torsión	Disminuir el comportamiento torsional de la edificación, en base a la evidencia de que el primero y segundo modo de vibración que debe comportarse de manera traslacional, es decir toda la masa de la edificación en lo posible debería moverse ante el sismo en sentido X o en sentido Y preferiblemente en el segundo y primer modo de vibración y de manera conveniente debemos garantizar que el tercer modo de vibración sea torsional;

		para conseguir esto es necesario intervenir estructuralmente la edificación de tal manera que rigidice mucho más la estructura actual y para eso se propone construir paredes en distintos vanos así como otros elementos que consigan este propósito es decir elementos que sean parte de la estructura.
	Resistencia de la cubierta	Mediante los resultados del análisis estructural se ha podido comprobar que ciertas partes de los elementos de las cerchas sobre todo las correas superiores de las cerchas exceden el 100% de su resistencia a los esfuerzos por lo tanto se sugiere reforzar esas partes o elementos que están fallando estructuralmente.
CYPE 3D		Dar mantenimiento regular a la cubierta para que no se genere la corrosión, abrasión y holguras en las uniones.
		Recomendar que las aguas de la lluvia que reposa en la cubierta caigan directamente al sistema de alcantarillado.

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Para determinar las condiciones del estado real de los elementos estructurales del edificio, se utilizó el ensayo del esclerómetro que es un instrumento para obtener 16 lecturas y de esta manera verificar un valor mínimo y máximo en base a los análisis estadísticos de la mediana y media, además con el ensayo se definieron las resistencias de la compresión del hormigón para: los pilares 214 kg/cm^2 , las losas 218 kg/cm^2 , las vigas 210 kg/cm^2 y la escalera 210 kg/cm^2 ; todos estos valores no tienen ningún problema y si cumplen con el rango establecido por la NEC.
- El FEMA 154 es un método de inspección visual que permite la obtención de datos en campo según los parámetros del formulario en donde se determinó que existe dos irregularidades; en planta porque los ejes estructurales no son paralelos o simétricos y en elevación porque su configuración no representa una figura geométrica regular, afectando al desempeño sísmico de la estructura, el valor arrojado por el índice es de 1,5; lo que quiere decir que puede sufrir daños ante un evento sísmico, por lo tanto requiere de un reforzamiento según ese resultado debido a que existe una vulnerabilidad alta. Mediante la utilización de las herramientas técnicas utilizadas para este proyecto de investigación se pudo conocer el comportamiento de la estructura en base a 4 aspectos importantes que el programa determina como; los modos de vibración, periodos de vibración, la deriva y distorsión de columnas, torsión, tomando en consideración los lineamientos que se encuentra en la NEC 2014, además el CYPECAD analiza la acción sísmica; para llegar a un resultado final se siguió una serie de pasos introduciendo los elementos estructurales, cargas muertas y vivas, en donde al obtener el reporte hemos observado que la estructura tiene problemas en la torsión y el periodo de vibración. En los modos de vibración y de las derivas nos detalla resultados favorables en cuanto al comportamiento de la estructura pero existe torsión porque los valores de los dos primeros modos de 0.9007 y 0.932 están cercanos a 1 y en el periodo de vibración no cumple con ese requerimiento de la NEC antes mencionada, por consiguiente el Modo 1 y Modo 2 es torsional. El uso del CYPE 3D permitió modelar la cubierta metálica del edificio aplicando la normativa vigente de la NEC 2014, describiendo los pasos necesarios, ingresando datos de sobrecarga de nieve,

viento y el cálculo la resistencia de los elementos estructurales ingresados mas no de las derivas, teniendo como resultado que la resistencia presenta problemas en las vigas (1-2-3-4-5-6-7) y ciertas correas.

- En la implementación de las medidas de reducción de riesgos se consideró el uso del esclerómetro, además para el FEMA 154 se basó en los aspectos para el fortalecimiento ante la respuesta estructural de la alta vulnerabilidad, tipología estructural, tipo de suelo y en el programa CYPECAD, CYPE 3D con las medidas se podrá contrarrestar los posibles efectos que puede traer un posterior evento sísmico en cuanto a la torsion y problemas de la resistencia en la cubierta en las vigas y ciertas correas.

Recomendaciones

- Para que el ensayo sea fiable se debe seguir de manera técnica los parámetros de las lecturas con la finalidad de obtener exactitud en los resultados.
- Se recomienda que la aplicación del reforzamiento al edificio CENI, deben ser analizadas y evaluadas de forma global.
- Para el uso del software utilizado se recomienda tener un conocimiento eficaz sobre el análisis sísmico y dinámico, para llegar a dar una solución más especializada a los problemas que se presente en ese análisis.
- Se recomienda que las autoridades de la institución pongan en práctica las medidas de reducción propuestas en este proyecto de investigación para que un especialista verifique la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E. J., & Rivera, B. R. (2019). Índice de Vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional de las edificaciones de uso turístico ante Sismos y Tsunamis. *Revista Arquitectura* +, 4(8), 19-36. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v4i8.8857>
- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Alonso, J. L. (2014). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones* (Primera Edición). <https://pe56d.s3.amazonaws.com/p194bfbl2n1obn1gab14591p7d1q42b.pdf>
- Blanco, M. (2012). Criterios fundamentales para el diseño sismo resistente. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, 27(3), 71-84.
- Caicedo, C., Barbat, A. H., Canas, J. A., & Aguiar, R. (1994). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones*.
- Campos, A. V., Vélez, M. C., & Jaramillo, F. M. (2021). Daños y comportamiento estructural de edificación irregular en Bahía de Caráquez-Ecuador debido al sismo del 16 de Abril 2016. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C*, 1-25.
- Carrasco, D. G. R., & García, O. D. (2020). Evaluación integral de la seguridad estructural de edificaciones existentes dañadas por sismos de gran magnitud. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 104, 51-71. <https://doi.org/10.18867/ris.104.565>
- Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2011). Evaluación de la habitabilidad de edificios afectados por sismo utilizando la teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales artificiales. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 27(4), 278-293. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2011.08.006>
- Caspi, K. E. A., Lazoario, E. M. Y., & Aroca, G. B. (2021). Análisis de riesgos ante eventos sísmicos en las edificaciones de la Provincia Santa Fe, cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.24133/rcsd.V4N3.2019.04>

- Castañeda, Á. E., & Bravo, Y. M. (2017). Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entresijos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(3), 157-172. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000300157>
- Castro, A. K. S., Allaica, J. C. M., Veloz, R. B. U., & Rivera, M. M. G. (2019). Aplicación de la metodología STAR para el análisis del riesgo sísmico de la provincia Bolívar – Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(4), 227-249. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i4.968>
- Castro, V. H. E., & Campos, X. P. (2018). ¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden?. *Ciencia*, 69(3), 8-15.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial. (Vol. 449, Número 20). LEXISFINDER. www.lexis.com.ec
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad sísmica en Ecuador. *Revista Politécnica*, 50(1), 55-64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>
- Cuza, I. V., Sánchez, D. C., Álvarez, R. O., & Ferrera, H. (2014). Estudio de vulnerabilidad sísmica estructural de instalaciones hospitalarias: elemento imprescindible en la prevención de desastres. *Salud y Desastres*.
- Domínguez Caicedo, M. (2014). Periodo de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8(2), 1-13.
- Espinoza, J. (1992). Terremotos tsunamigénicos en el Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 7(1), 21-28. <http://hdl.handle.net/1834/2181>
- Estrada, A. P., Martínez, R. P., & Hong, H. (2014). Desagregación del peligro sísmico para algunos sitios seleccionados de México. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 91, 31-53.
- Gaibor, M. de L. D. M., Iijama, M. T. V., & Zabala, C. P. (2022). Vulnerabilidad física estructural de Unidades Educativas ante la amenaza de sismos. *Revista científica Sociedad & Tecnología*, 6(1), 1-16. <https://doi.org/10.51247/st.v6i1.321>

- Gätgens, A. A. (2013). La definición de usos de suelo en las cercanías de fallas geológicas: explicación del protocolo técnico del derecho ejecutivo 32967- Minae, Anexo 3. *Revista Geológica de América Central*, 49, 149-153.
- Giménez, A., Olavarrieta, M. A., Acero, A., Chong, J., Ramones, K., & Reinoza, L. (2020). Estudio de la vulnerabilidad sísmica cualitativa en edificaciones e instituciones escolares de concreto armado del estado Falcón. *Revista Gaceta Técnica*, 21(1), 64-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31162.75209>
- Guzmán, L. Y. M., & Torres, M. P. (2022). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de un edificio de cinco niveles utilizando SAP2000 y CYPECAD en Cusco Perú 2022*. [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97248>
- Hernández, J. D. B., & Castro, S. A. L. (2011). Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado existente. *Ciencia y Sociedad*, 36(2), 256-275. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87019757004>
- Jiménez, D. S. V., Espinosa, E. V. R., & Foliaco, J. E. O. (2013). Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en Arduino. *Ingenierías USBMed*, 4(2), 45-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.21500/20275846.290>
- Lara, M. L., Aguirre, H., & Gallegos, M. (2018). Estructuras aporricadas de Hormigón Armado que colapsaron en el Terremoto del 16 de Abril de 2016 en Tabuga-Ecuador. *Revista Politécnica*, 42(1), 1-10.
- Martínez, P. Q., & Angulo, E. R. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 94, 1-26.
- MIDUVI. (2014). *Acuerdo-Ministerial-No. -0028*. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/2014-08-19_Acuerdo-Ministerial-No.-0028_Expedici%C3%B3n-NEC-SE-CG_DS_RE_GC_HM_MP.pdf
- MIDUVI. (2016). *Guía de diseño 5 Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

- Montes, N. S., Gavilanes, J. V. S., & Vélez, J. M. M. (2016). Elementos esenciales del diseño de la investigación. Sus características. *Dominio de las Ciencias*, 2, 72-85.
- NEC. (2014a). *NEC-SE-DS Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*. Norma Ecuatoriana de Construcción. <http://cici.org.ec/wp-content/uploads/2017/12/NEC-SE-DS.pdf>
- NEC. (2014b). *NEC-SE-DS Peligro sísmico diseño sismo resistente*. Norma Ecuatoriana de Construcción. https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NEC_SE_DS_peligro-sismico.pdf
- NEC. (2014c). *NEC-SE-RE Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Norma Ecuatoriana de Construcción. <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec10.pdf>
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3121. (2016). *Hormigón Endurecido. Determinación del Número de Rebote. Método de Ensayo*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_3121.pdf
- OPS. (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Organización Panamericana de la Salud. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/816>
- Orellana, J. C. M., Balseca, C. L. I., Reyes, P. J. C., & Reinoso, Á. P. M. (2022). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones educativas ecuatorianas evaluadas mediante modelos matemáticos de análisis dinámico. *Ciencias Técnicas y Aplicadas*, 7(4), 2073-2092. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3937>
- Ortiz, R. M., Reséndiz, R. F., Ortiz, C. M. J., Martínez, R. M., Ortiz, C. M., & Bazán, C. A. G. (2018). El sismo del 19 de septiembre. ¿Cómo enfrentamos la crisis en Morelos, México? *Cadernos Metrópole*, 20(42), 325-345. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2018-4202>
- Páez, D., Zabala, J., & Rodríguez, Y. (2018). Piso blando, una falla común en el Terremoto de Pedernales. *Revista Ciencia*, 19(1), 59-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i1.327>
- Páez Moreno, D. F., & Hernández Delgadillo, J. H. (2005). Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones. *Revista Facultad de Ingeniería*, 14(19), 78-87.

- Palma, C. J. R., Gavilanes, P. D. Z., & Baquerizo, E. S. (2021). Utilización del software Cypecad en el diseño sísmo resistente de un edificio de cinco pisos utilizando como material el hormigón armado. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 1-6.
- PDOT. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2025*. Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guaranda. <http://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-2020-2025/>
- Pérez, J. C. V., Barbat, A. H. B., González, R. I. H., Garrido, R. D. U., & Martínez, Y. M. (2013). Un enfoque para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios de concreto armado de baja altura. *Revista Ingeniería*, 23(2), 13-30. <https://doi.org/10.15517/ring.v23i2.8068>
- Poston, R. W., & Rabbat, B. G. (2011). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318S-11)*. American Concrete Institute (aci). <https://mega.nz/file/cJnGIgD#KRt-YtHvp8lKsrkMIUMr3DnUHtlLywpLucmlmcSewTE>
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>
- Rivero, A. C. R., Pacheco, A. D. J. M., García, P. G. C., & Vera, M. N. Z. (2017). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante eventos naturales. Factores socialmente construidos. *Revista Ciencia e Investigación*, 2(6), 22-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol2iss6.2017pp22-28>
- Romero, C., & López, N. (2021). Modelación de la mampostería en el comportamiento de un edificio de hormigón armado. *Impacto Científico*, 16(1), 99-116.
- Romero, E. J. M., Bayas, C. L. G., Camacho, M. R. M., & Flores, G. A. N. (2021). Vulnerabilidad sísmica del edificio Ciencias de la Salud y del Ser Humano. Universidad Estatal de Bolívar-2019. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 27-35. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.141>
- Salazar, K. S. B., Montero, D. G. C., Báez, A. G. H., & Toulkeridis, T. (2022). Case Study of the Application of an Innovative Guide for the Seismic Vulnerability Evaluation of Schools

Located in Sangolquí, Interandean Valley in Ecuador. *Buildings*, 12(9), 1-28.
<https://doi.org/10.3390/buildings12091471>

Sánchez, F. V. (1994). Los Terremotos y sus causas. En *El estudio de los terremotos en Almería* (pp. 89-112).

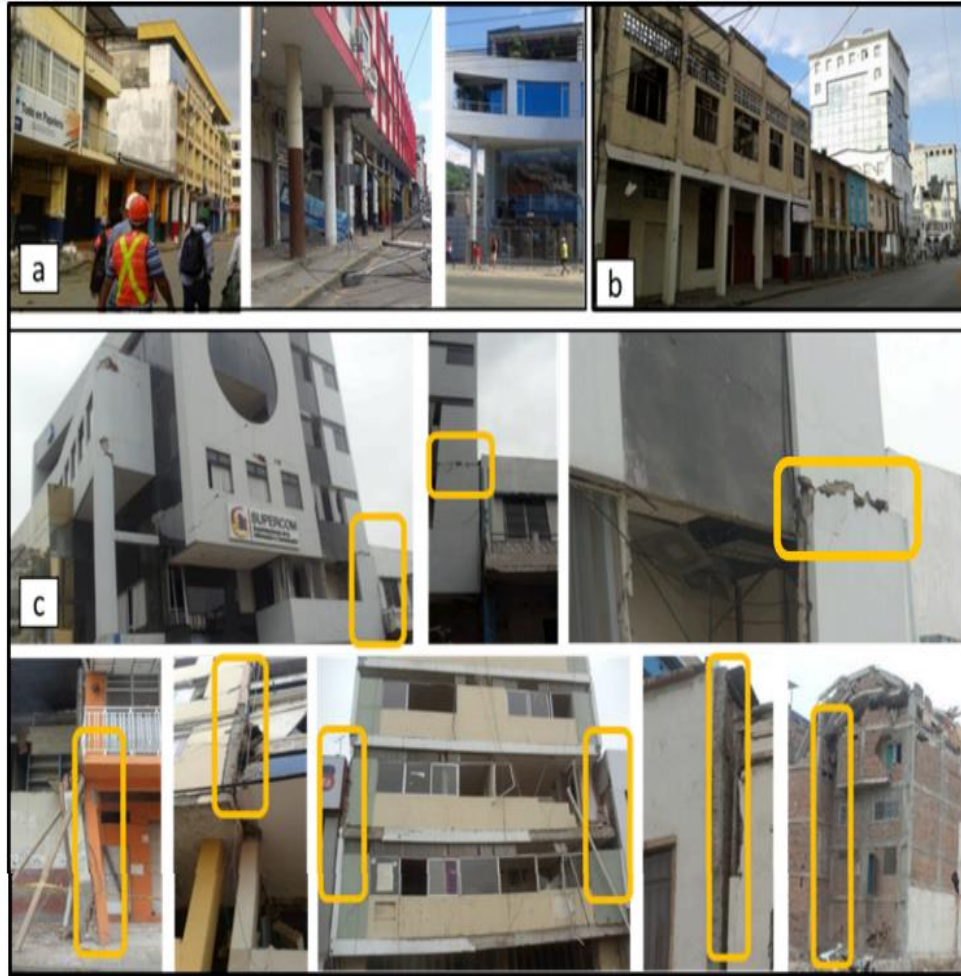
Sibaja, A. R., Sánchez, F. V., & Caballero, C. A. (2016). Estudio de la vulnerabilidad sísmica del centro histórico de Tapachula, Chiapas, con el método del índice de vulnerabilidad. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 15(1), 3-19.

Vega, A. C., Maguiña, J. L., Soto, A., Valdivia, J. L., & López, L. E. C. (2021). Estudios Transversales. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(1), 179-185.
<https://doi.org/10.25176/rfmh.v21i1.3069>

Vielma, J. C. (2014). *Contribuciones a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

ANEXOS

Anexo I. Afectaciones en el sistema estructural de Bahía de Caráquez de la provincia de Manabí



Fuente: (Campos et al., 2021)

Anexo 2. Fisuras y daños por el terremoto del pasado 16 de Abril del 2016 en la Catedral de Guaranda



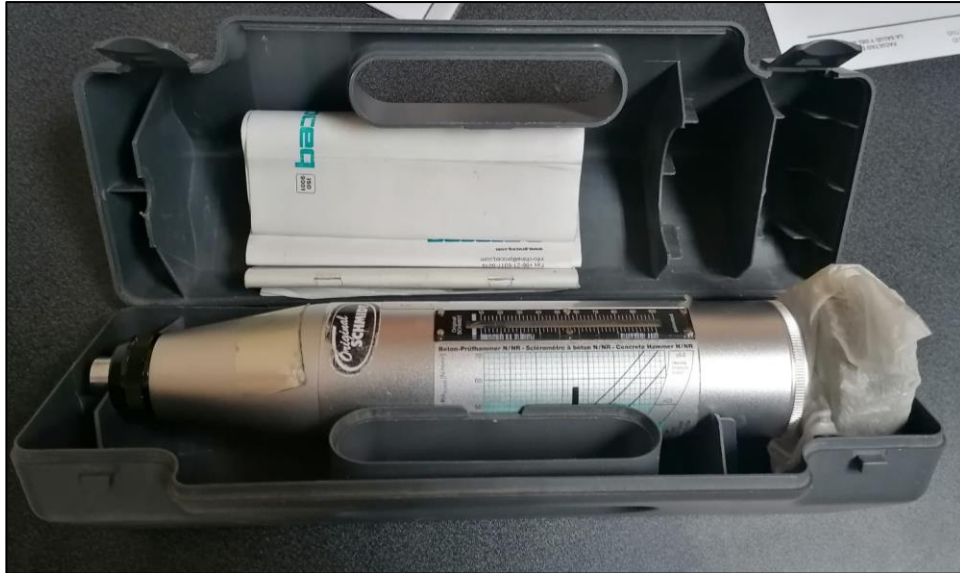
Fuente: El Universo, 2016

Anexo 3. Fachada del edificio donde funciona el Distrito de Educación del cantón Bolivarense de Chillanes, que es uno de los 80 edificios afectados en esa población



Fuente: El Universo, 2018

Anexo 4. Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 5. Piedra Abrasiva



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 6. Formulario del Esclerómetro



CARRERA ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y
GESTIÓN DEL RIESGO

FACULTAD DE
CIENCIAS DE
LA SALUD Y
DEL SER HUMANO

FORMULARIO DEL ESCLERÓMETRO

1. DATOS GENERALES

NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN	
ELEMENTO ESTRUCTURAL A EVALUAR	
FECHA DE LA EVALUACION	
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	
NOMBRE DEL EVALUADOR	

2. DATOS DE REBOTE DEL ESCLERÓMETRO

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
PROMEDIO	

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
PROMEDIO	

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
PROMEDIO	

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
PROMEDIO	

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 7. Formulario aplicado del Esclerómetro

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR CARRERA ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

FORMULARIO DEL ESCLERÓMETRO

1. DATOS GENERALES

NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN	Centro de Eventos Nacionales e Internacionales (CENI)
ELEMENTO ESTRUCTURAL A EVALUAR	Pilares
FECHA DE LA EVALUACION	23 de febrero del 2023
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Partico Hormigon Armado
NOMBRE DEL EVALUADOR	Mariuxi Reg

2. DATOS DE REBOTE DEL ESCLERÓMETRO

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE	Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	22	1	26
2	23	2	28
3	21	3	24
4	27	4	28
5	24	5	21
6	21	6	26
7	22	7	26
8	21	8	16
9	22	9	24
10	20	10	26
11	24	11	22
12	24	12	20
13	19	13	24
14	20	14	24
15	22	15	16
16	22	16	32
PROMEDIO	21,7	PROMEDIO	24,3

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE	Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	22	1	27
2	32	2	20
3	24	3	22
4	32	4	26
5	27	5	24
6	28	6	24
7	28	7	23
8	28	8	27
9	29	9	20
10	26	10	22
11	25	11	21
12	25	12	20
13	30	13	26
14	25	14	28
15	21	15	26
16	20	16	26
PROMEDIO	26,5	PROMEDIO	24

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR CARRERA ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

FORMULARIO DEL ESCLERÓMETRO

1. DATOS GENERALES

NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN	Centro de Eventos Nacionales e Internacionales (CENI)
ELEMENTO ESTRUCTURAL A EVALUAR	Vigas Superiores
FECHA DE LA EVALUACION	23 de febrero del 2023
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Partico Hormigon Armado
NOMBRE DEL EVALUADOR	Belen Tamami

2. DATOS DE REBOTE DEL ESCLERÓMETRO

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE	Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	22	1	20
2	23	2	19
3	21	3	21
4	21	4	23
5	21	5	20
6	21	6	23
7	22	7	21
8	21	8	24
9	22	9	20
10	20	10	18
11	21	11	22
12	24	12	14
13	19	13	26
14	20	14	20
15	22	15	17
16	22	16	26
PROMEDIO	21,7	PROMEDIO	20,9

Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE	Nº DE LECTURA	DATOS DEL REBOTE
1	14	1	22
2	14	2	12
3	15	3	18
4	12	4	18
5	12	5	22
6	14	6	20
7	15	7	18
8	16	8	16
9	16	9	17
10	16	10	22
11	14	11	16
12	22	12	19
13	14	13	16
14	14	14	14
15	17	15	14
16	13	16	10
PROMEDIO	14,8	PROMEDIO	17,6

Elaborado por: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 8. Preparación del elemento estructural para tener una superficie lisa con la piedra afiladora



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 9. Trazado de la cuadrícula para realizar el Ensayo del Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 10. Trazado de la cuadrícula en los Pilares con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 11. Toma de muestras del rebote de los Pilares con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 12. Trazado de la cuadrícula para realizar la evaluación de los Pilares de la planta baja con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 13. Toma de muestras del rebote de los Pilares de la planta baja con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 14. Trazado de la cuadrícula de los Pilares de la planta alta con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 15. Toma de muestras del rebote de los Pilares de la planta alta con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 16. Trazado de la cuadrícula de la Losa Entrepiso y Losa Superior con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 17. Toma de muestras del rebote de la Losa Entrepiso y Losa Superior con el Esclerómetro



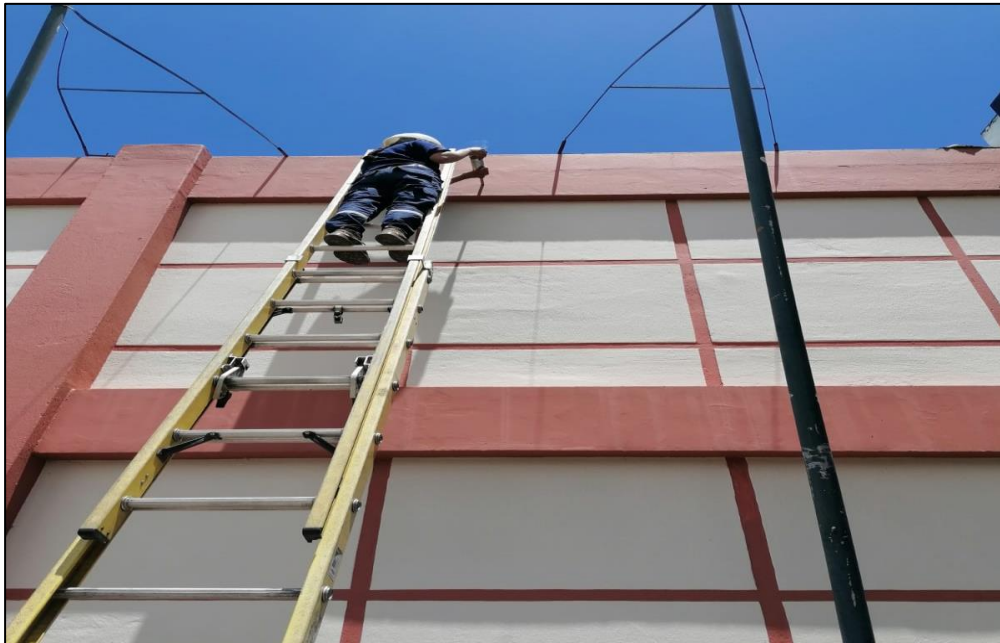
Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 18. Trazado de la cuadrícula de las Vigas Entrepiso con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 19. Toma de muestras del rebote de las Vigas con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 20. Trazado de la cuadrícula de las Vigas Superiores con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 21. Toma de muestras del rebote de las Vigas Superiores con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 22. Trazado de la cuadrícula de las Escalera con el Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 23. Toma de muestras del rebote de las Escalera con el Esclerómetro



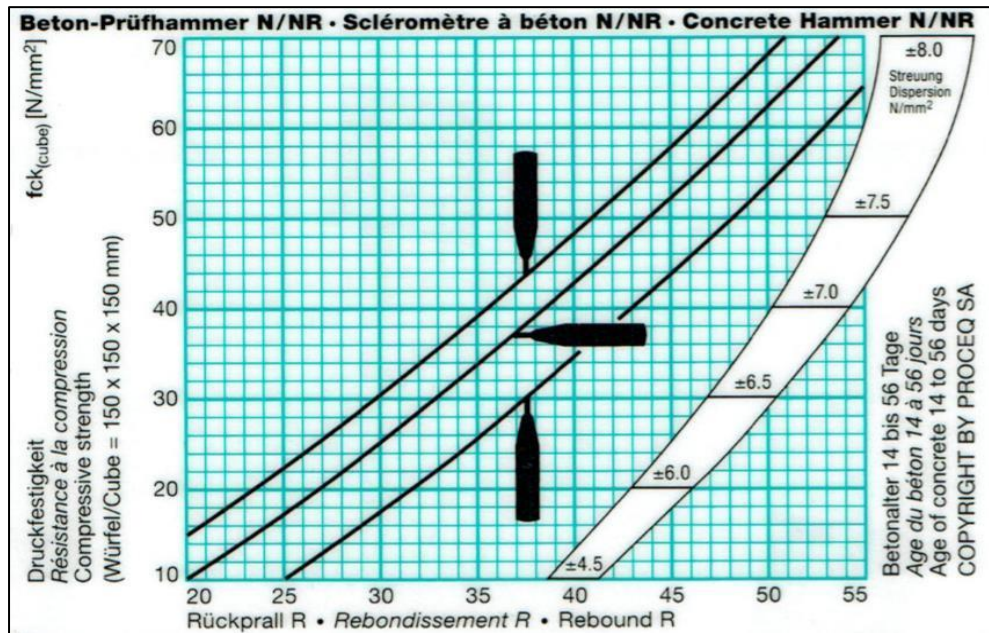
Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 24. Valor del rebote obtenido de las muestras del Esclerómetro



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 25. Gráfica de la cuadrícula que se encuentra en el Esclerómetro



Fuente: Ensayo de Esclerometría

Anexo 26. Medición de la altura de los plantas del edificio CENI



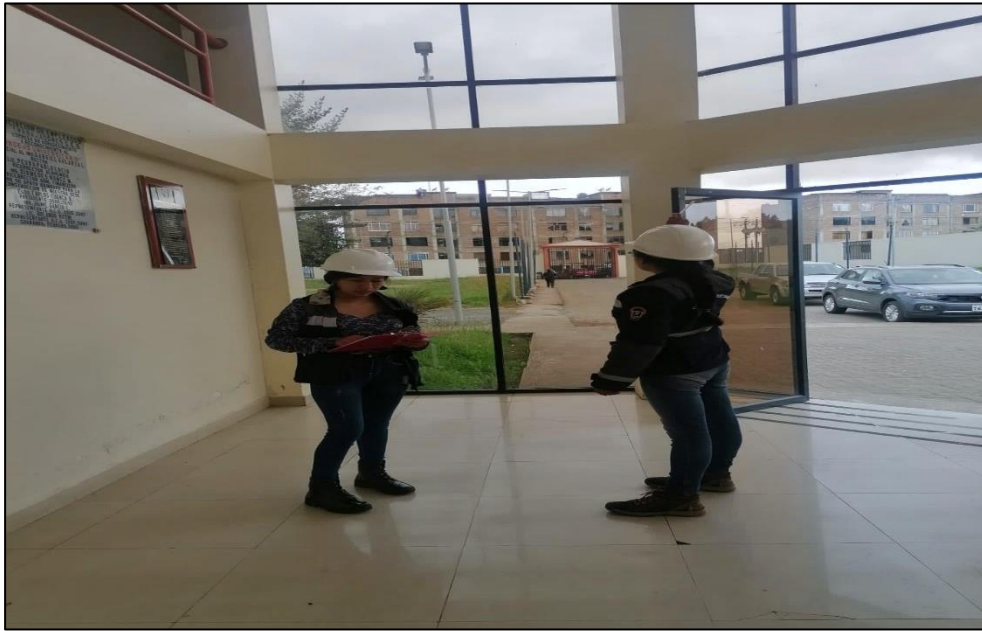
Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 27. Formulario del método FEMA 154

EVALUACION VISUAL DE VULNERABILIDAD SISMICA DE EDIFICACIONES												
Esquema estructural en planta y en elevacion	DATOS GENERALES DE LA EDIFICACION											
	Nombre de la Edificación:											
	Dirección:											
	Sitio de referencia:											
	Tipo de uso:											
	Asamblea						Industrial					
	Comercial						Oficina					
	Servicios de Emergencia						Residencial					
	Gobierno						Educativo					
	Historico											
	Año de construcción:						Fecha de evaluación:					
	Área Construida:						Año de remodelación:					
							Número de pisos:					
	DATOS DEL PROFESIONAL											
	Nombre del evaluador:											
Ci:												
Fotografía												
Numero de personas												
0-10			101-1000			Chimeneas no reforzadas			Parapeto			
11-100			Mas de 1000			Revestimiento			Otros			
TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL												
Madera	W1	Pórtico Hormigón Armado	C1	Pórtico Acero Laminado	S1							
Mampostería sin refuerzo	URM	Pórtico H. Armado con muros	C2	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2							
Mampostería reforzada	RM	Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	C3	Pórtico Acero Doblado en frío	S3							
				Pórtico Acero Laminado con muros estructurales de hormigón armado	S4							
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	MX	H. Armado prefabricado	PC	Pórtico Acero con paredes mampostería	S5							
PUNTAJES BASICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL												
Tipología del sistema estructural	W1	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5	
Puntaje Básico	4.4	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2	
ALTURA DE LA EDIFICACION												
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4	
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	N/A	0.8	0.8	
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACION												
Irregularidad vertical	-2.5	-1.5	-1.5	-1	-1	-1	-1	-1.5	-1.5	-1	-1	
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	
CÓDIGO DE LA CONSTRUCCION												
Pre-código (construido antes de 1977)	0	-1.2	-1.2	-1	-0.2	-0.8	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2	
Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1	
TIPO DE SUELO												
Tipo de suelo C- Suelo rígido	0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	
Tipo de suelo D- Suelo denso	0	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	
Tipo de suelo E- Suelo suave	0	-1.2	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8	
PUNTAJE FINAL S												
EVLUACION DETALLADA REQUERIDA												
OBSERVACIONES												
SI												
NO												

Fuente: Guía de diseño 5 Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la NEC 2015

Anexo 28. Inspección para realizar la evaluación visual del método FEMA 154



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 29. Recolección de los datos generales y tipología del sistema estructural



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 30. Presencia de humedad en la infraestructura del CENI



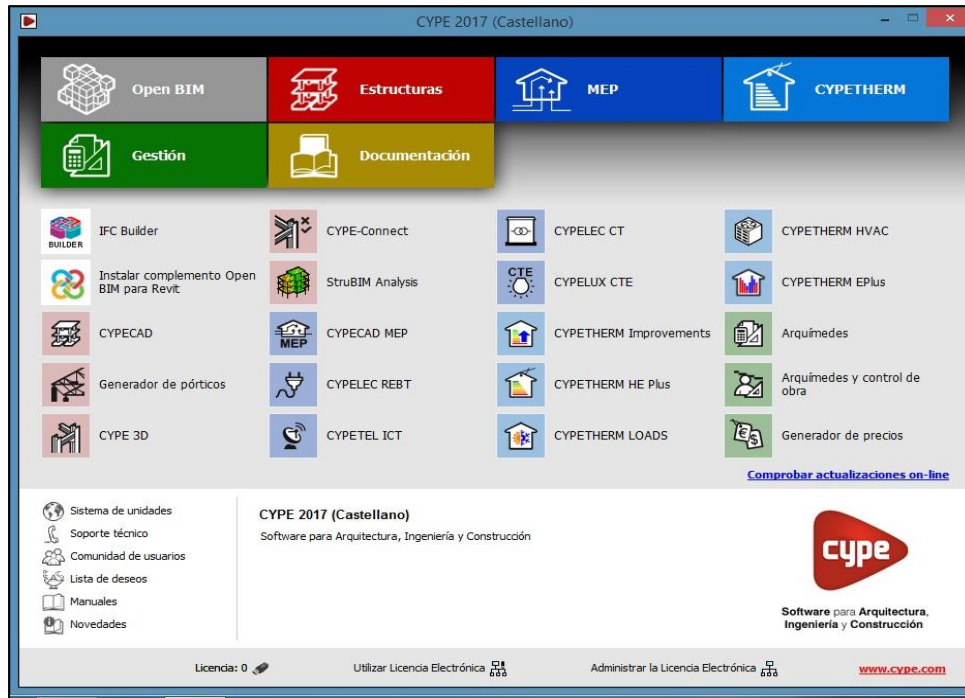
Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 31. Elaboración del Modelamiento en el programa CYPECAD



Fuente: Tamami B & Rea M, 2023

Anexo 32. Programa CYPECAD, versión 2017



Fuente: cype

Anexo 33. Reporte de la Justificación de la acción sísmica



GREMIOS UEB

Justificación de la acción sísmica

Fecha: 28/04/23

1.3.- Coeficientes de participación

Modo	T	L_x	L_y	L_{ω}	M_x	M_y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.446	0.434	0.0209	0.9007	83.52 %	0.19 %	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 10.5767 mm	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 10.5767 mm
Modo 2	0.406	0.0359	0.3608	0.932	0.79 %	80.32 %	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 8.76321 mm	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 8.76321 mm
Modo 3	0.348	0.0197	0.0329	0.9993	2.28 %	6.34 %	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 6.44322 mm	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 6.44322 mm
Modo 4	0.187	0.0804	0.1554	0.9846	0.01 %	0.03 %	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 1.86379 mm	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 1.86379 mm
Modo 5	0.117	0.4164	0.0377	0.9084	5.49 %	0.04 %	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 0.73266 mm	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 0.73266 mm
Modo 6	0.104	0.0895	0.4638	0.8814	0.22 %	5.78 %	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 0.57971 mm	R = 6.48 A = 2.101 m/s ² D = 0.57971 mm
Total					92.31 %	92.7 %		

T: Periodo de vibración en segundos.

L_x , L_y : Coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis.

L_{ω} : Coeficiente de participación normalizado correspondiente al grado de libertad rotacional.

M_x , M_y : Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis.

R: Relación entre la aceleración de cálculo usando la ductilidad asignada a la estructura y la aceleración de cálculo obtenida sin ductilidad.

A: Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad.

D: Coeficiente del modo. Equivale al desplazamiento máximo del grado de libertad dinámico.

Representación de los periodos modales

Anexo 34. Reporte de la Distorsión de Pilares

Distorsiones de pilares

Nombre Obra: edificio cimentacion
GREMIOS UEB

Fecha:28/04/23

- h: Altura del nivel respecto al inmediato inferior
- Distorsión:
 - Absoluta: Diferencia entre los desplazamientos de un nivel y los del inmediatamente inferior
 - Relativa: Relación entre la altura y la distorsión absoluta
- Origen:
 - G: Sólo gravitatorias
 - GV: Gravitatorias + viento
- Nota:
 - Las diferentes normas suelen limitar el valor de la distorsión relativa entre plantas y de la distorsión total (desplome) del edificio.
 - El valor absoluto se utilizará para definir las juntas sísmicas. El valor relativo suele limitarse en función de la altura de la planta 'h'. Se comprueba el valor 'Total' tomando en ese caso como valor de 'h' la altura total.

Situaciones persistentes o transitorias										
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorsión X			Distorsión Y			
				Absoluta (m)	Relativa	Origen	Absoluta (m)	Relativa	Origen	
C1	Cubierta +5.94m	5.43	0.75	0.0000	----	G	0.0001	h / 7500	G	
	Nivel + 5,04m	4.68	0.80	0.0001	h / 8000	G	0.0001	h / 8000	G	
	Nivel +4,24m	3.88	1.15	0.0000	----	G	0.0001	----	G	
	Nivel +3.24m	2.73	2.70	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel+0.18m	0.03	1.53	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Cimentación	-1.50								
	Total		6.93	0.0002	----	G	0.0001	----	G	
C2	Cubierta +5.94m	5.43	0.75	0.0001	h / 7500	G	0.0002	h / 3750	G	
	Nivel + 5,04m	4.68	0.80	0.0000	----	G	0.0001	h / 8000	G	
	Nivel +4,24m	3.88	1.15	0.0000	----	G	0.0002	h / 5750	G	
	Nivel +3.24m	2.73	2.70	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel+0.18m	0.03	1.53	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Cimentación	-1.50								
	Total		6.93	0.0002	----	G	0.0001	----	G	
C3	Cubierta +5.94m	5.38	0.70	0.0001	h / 7000	G	0.0000	----	G	
	Nivel + 5,04m	4.68	0.80	0.0001	h / 8000	G	0.0000	----	G	
	Nivel +4,24m	3.88	1.20	0.0002	h / 6000	G	0.0000	----	G	
	Nivel +3.24m	2.68	2.65	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel+0.18m	0.03	1.53	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Cimentación	-1.50								
	Total		6.88	0.0002	----	G	0.0000	----	G	
C4	Cubierta +5.94m	5.38	0.70	0.0002	h / 3500	G	0.0000	----	G	
	Nivel + 5,04m	4.68	0.80	0.0002	h / 4000	G	0.0000	----	G	
	Nivel +4,24m	3.88	1.20	0.0001	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel +3.24m	2.68	2.65	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel+0.18m	0.03	1.53	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Cimentación	-1.50								
	Total		6.88	0.0001	----	G	0.0000	----	G	
C5	Cubierta +5.94m	5.38	0.90	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel + 5,04m	4.48	0.60	0.0001	h / 6000	G	0.0000	----	G	
	Nivel +4,24m	3.88	1.20	0.0001	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel +3.24m	2.68	2.65	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Nivel+0.18m	0.03	1.53	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
	Cimentación	-1.50								
	Total		6.88	0.0000	----	G	0.0000	----	G	
C6	Cubierta +5.94m	5.38	0.70	0.0000	----	G	0.0001	h / 7000	G	

Página 1

Fuente: cype