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 DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL TEATRO MUNICIPAL "SEGUNDO YÁNEZ VELASCO", ANTE UN MOVIMIENTO SÍSMICO EN EL CANTÓN SAN MIGUEL DE BOLÍVAR, PERÍODO MAYO-AGOSTO 2024

AUTORES:

LARA SALTOS JESSICA MAGALY

VALLE IBARRA JOSELINE JACKELINE

TUTOR:

ARQ. CÉSAR PAZMIÑO

GUARANDA-ECUADOR

2024

TEMA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL TEATRO MUNICIPAL “SEGUNDO YÁNEZ VELASCO”, ANTE UN MOVIMIENTO SÍSMICO EN EL CANTÓN SAN MIGUEL DE BOLÍVAR, PERÍODO MAYO-AGOSTO 2024.

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR

Guaranda, 25 de octubre del 2024

El suscrito Arquitecto César Augusto Pazmiño Zabala, Director del 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 DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL TEATRO MUNICIPAL "SEGUNDO YÁNEZ VELASCO", ANTE UN MOVIMIENTO SÍSMICO EN EL CANTÓN SAN MIGUEL DE BOLÍVAR, PERÍODO MAYO-AGOSTO 2024"; realizado por las señoritas: **Jessica Magaly Lara Saltos y Joseline Jackeline Valle Ibarra** 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.

ARQ. CÉSAR AUGUSTO PAZMIÑO ZABALA

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Lara Saltos Jessica Magaly y Valle Ibarra Joseline Jackeline portadores de la Cédula de Identidad No 1715868616 y 0202515995 en calidad de auto/es y titular/es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación:
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL TEATRO MUNICIPAL "SEGUNDO YÁNEZ VELASCO", ANTE UN MOVIMIENTO SÍSMICO EN EL CANTÓN SAN MIGUEL DE BOLÍVAR, PERÍODO MAYO-AGOSTO 2024, Modalidad presencial, 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 comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservemos 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 finge 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.

Lara Saltos Jessica Magaly
C.I: 1715868616

Valle Ibarra Joseline Jackeline
C.I: 0202515995

DEDICATORIA

A Dios, por darme fuerza, sabiduría durante el proceso académico y culminar esta etapa universitaria.

A mi madre, aunque ya no estés físicamente, tu amor y legado viven en mi corazón. Esta tesis dedico a tu memoria y a la influencia que tuviste en mi vida.

Y a mis hermanos por estar siempre presentes y por el apoyo incondicionalmente que me brindaron en todo momento.

Por último, a mis seres queridos por creer en mí, que si lograría y apoyarme en este camino.

Joseline Jackeline Valle Ibarra

DEDICATORIA

A Dios, por ser guía espiritual en mi camino y darme fuerzas para salir adelante.

A mis amados padres, que con su amor incondicional me apoyaron durante todo el proceso académico permitiéndome crecer y alcanzar mis metas.

A mis hijos, por ser el motor fundamental para culminar mi carrera, y a mis hermanos por estar presentes siempre apoyándome y dándome ánimos para no desistir.

Jessica Magaly Lara Saltos

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar por haberme formado como una futura profesional de éxito.

A mis queridos docentes de la Facultad Ciencias de la Salud y del Ser Humano de la Carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, a mi Tutor de Tesis el Arq. César Pazmiño Zabala, por su orientación y guía para desarrollar el proyecto de Investigación y a los Pares Académicos por su disponibilidad de tiempo por brindarme sus conocimientos fueron ellos quienes me motivaron para culminar esta etapa profesional.

Joseline Jackeline Valle Ibarra

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Gloriosa y Prestigiosa Universidad Estatal de Bolívar por haberme formado académicamente y poder ejercer como profesional de éxito.

A todos los docentes quienes desde un inicio supieron inculcar valores y conocimientos necesarios para prepararme académicamente en la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, y en especial al Arq. César Pazmiño, quien formó parte del proceso de titulación y me guio paso a paso para culminar el proyecto de investigación.

Jessica Magaly Lara Saltos

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA 4

DEDICATORIA 5

AGRADECIMIENTO 6

AGRADECIMIENTO 7

ÍNDICE DE CONTENIDO 8

ÍNDICE DE TABLAS 11

ÍNDICE DE FIGURAS 11

RESUMEN 15

ABSTRACT 16

INTRODUCCIÓN 17

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA 19

1.1. Planteamiento del Problema 19

1.2. Formulación del Problema 21

1.3. Objetivos 22

1.4. Justificación 23

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 26

2.1. Antecedentes de la Investigación 26

2.1.1. Antecedentes Históricos 26

2.1.2. Antecedentes Referenciales 29

2.1.2.1. Internacional 30

2.1.2.2. Nacional 30

2.1.2.3. Local 31

2.1.3. Localización y Descripción del Lugar de Estudio 32

2.2. Bases Teóricas 35

2.2.1. Elementos Estructurales 35

2.2.2. Movimiento Sísmico 36

2.2.3. Riesgo Sísmico 37

2.2.3.1. Sismicidad en el Ecuador 38

2.2.3.2. Zonificación Sísmica en el Ecuador 40

2.2.4. Daños Sísmicos 40

2.2.5. Vulnerabilidad Sísmica 41

2.2.5.1. Patologías Estructurales 42

2.2.6. Comportamiento Sísmico 43

2.2.6.1. Comportamiento Sísmico de las Estructuras de Hormigón 45

2.2.7. Modelamiento de las Edificaciones 46

2.2.7.1. Evaluación del Comportamiento de los Elementos Estructurales 46

2.2.7.2. CYPECAD 47

2.2.7.3. Esclerómetro 54

2.2.8. Inteligencia Artificial aplicado a la Gestión de Riesgos 56

2.3. Marco Legal 57

2.4. Definición de Términos 61

2.5. Sistema de Variables 63

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 66

3.1. Nivel de Investigación 66

3.2. Diseño de la Investigación 68

3.3. Población 68

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 68

3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos 69

CAPÍTULO 4: RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS 71

4.1. Resultado según el Objetivo 1: 71

4.2. Resultado según el Objetivo 2: 92

4.3. Resultado según el Objetivo 3: 144

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 147

Conclusiones 147

Recomendaciones 149

BIBLIOGRAFÍA 151

ANEXOS 158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica 49

Tabla 2. Datos de la resistencia de compresión de la cuadricula del Pilar 1 82

Tabla 3. Datos de la resistencia de compresión de la cuadricula de la Viga 84

Tabla 4. Datos de la resistencia de compresión de la cuadrícula de la Escalera..... 85

Tabla 5. Hoja de cálculo del Esclerómetro 86

Tabla 6. Propiedades del hormigón para el análisis del modelado estructural 94

Tabla 10. Centro de masa, centro de rigidez y excentricidad de cada planta integrada en el teatro..... 118

Tabla 11. Cortante basal dinámico en X 121

Tabla 12. Cortante basal dinámico en Y 122

Tabla 13. Peso sísmico de cada planta 124

Tabl0a 14. Valores del coeficiente para el cálculo del periodo de vibración 126

Tabla 15. Valores del periodo de vibración según los modos 126

Tabla 16. Valores de la deriva máxima de los pisos 127

Tabla 17. Desplome local máximo de los pilares 129

Tabla 18. Desplome total máximo de los pilares 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de intensidad del cantón San Miguel de Bolívar 28

Figura 2. Localización del Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco" 32

Figura 3. Comportamiento de una estructura..... 43

Figura 4. Energía sísmica liberada en Ecuador desde 1900 hasta el 2017 por década 44

Figura 5. Mapa de la zonificación sísmica según el factor Z 48

Figura 6. Modelo simulando las 3 condiciones de suelos diferentes 51

Figura 7. Torsión en un edificio..... 52

Figura 8. El centro de rigidez no coincide con el centro de masa de un edificio 53

Figura 9. Primeros de vibración de un edificio multipiso..... 54

Figura 10. Funcionamiento del martillo de rebote..... 55

Figura 11. Planos arquitectónicos de la fachada lateral izquierda y derecha del teatro ... 71

Figura 12. Fachada de la entrada principal del teatro 72

Figura 13. Fachada frontal del teatro 72

Figura 14. Planta baja del teatro 73

Figura 15. Primera planta del teatro..... 74

Figura 16. Segunda planta alta del teatro..... 75

Figura 17. Planta de la cubierta del teatro..... 76

Figura 18. Dibujo de la cuadrícula para la prueba de martillo..... 79

Figura 19. Gráfica de la cuadricula del esclerómetro 80

Figura 20. Cuadrícula del Pilar 1 82

Figura 21. Cuadrícula de la Viga 1 83

Figura 22. Cuadrícula de la Escalera 1 85

Figura 23. Versión del Software CYPECAD 92

Figura 24. Vista del Teatro en AUTOCAD..... 93

Figura 25. Pestaña de la ventana de datos generales del programa CYPECAD 95

Figura 26. Normativa para el cálculo de la acción sísmica..... 96

Figura 27. Espectro de cálculo en el programa CYPECAD 98

Figura 28. Ingreso de las plantas 99

Figura 29. Definición de las plantas 100

Figura 30. Introducción de las cargas a cada una de las plantas del teatro 101

Figura 31. Ventana para el ingreso de los pilares tomando en consideración las medidas 102

Figura 32. Pilares ingresados en el programa CYPECAD 103

Figura 33. Introducción de las vigas del teatro 104

Figura 34. Ingreso de las vigas descolgadas en cada planta del teatro 105

Figura 35. Ventana para añadir la losa del teatro 106

Figura 36. Ingreso de la losa 107

Figura 37. Colocación de los paños en la losa creada del teatro 108

Figura 38. Iconos para introducir la escalera 109

Figura 39. Definición de la escalera del teatro 110

Figura 40. Vista 3D del teatro 111

Figura 41. Ventana para calcular la obra del teatro y verificación de errores 112

Figura 42. Cálculo de la estructura 113

Figura 43. Espectro de diseño según X y Y 117

Figura 44. Representación de los centros de masa y rigidez de cada planta del teatro . 120

Figura 45. Distorsión de Pilares 128

Figura 46. Primer modo de vibración en X 130

Figura 47. *Tercer modo de vibración en Y* 131

Figura 48. Introducción de los datos generales en la cubierta metálica 132

Figura 49. Icono para introducir un nuevo nudo 133

Figura 50. Ventana para dibujar los perfiles del teatro 134

Figura 51. Icono para introducir las cargas correspondientes en la cubierta 135

Figura 52. *Cargas introducidas en la cubierta del teatro* 136

Figura 53. Correas de la estructura metálica 136

Figura 54. Cerchas metálicas de la cubierta del teatro 137

Figura 55. Ingreso a las Estructuras 3D 138

Figura 56. Icono para ingresar a la estructura metálica 139

Figura 57. Vista 3D de las correas y cerchas metálicas de la cubierta del teatro 140

Figura 58. Icono para la comprobación de los elementos de la cubierta 141

Figura 59. Resistencia de la cubierta del teatro 142

Figura 60. Vista 3D del teatro con la estructura metálica 143

RESUMEN

El comportamiento de las edificaciones durante un evento sísmico afecta a los elementos estructurales, por ello se deben considerar realizar diseños sismorresistentes que cumplan con las actuales normas NEC para evitar daños y colapsos en edificaciones; el objetivo de esta investigación es evaluar el comportamiento de los elementos estructurales expuestos del Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco", ante un movimiento sísmico; la metodología consiste en un estudio no experimental, de campo y bibliográfico documental, además se basa en un enfoque mixto: cualitativo en cuanto al procedimiento del programa CYPECAD y cuantitativo mediante cálculos sobre el índice de la resistencia del hormigón de los elementos estructurales, la población estuvo constituida por todo el sistema estructural del teatro; los resultados arrojados fueron: en el ensayo del esclerómetro los pilares no cumplen con la resistencia establecida en la NEC, en el programa utilizado se modela la estructura y analiza los reportes donde se detallada que los pilares sobrepasan los valores de los requerimientos de la NEC, además existe torsión porque el Modo 1 en X es rotacional y el Modo 3 en Y es traslacional, otro de los resultados más significativos es en la cubierta metálica donde las correas tienen mayores problemas por lo que necesitan una pronta revisión; la conclusión más relevante es que el sistema estructural del teatro es vulnerable a sufrir daños debido a que los pilares y la cubierta no se encuentran en buen estado por la falta de mantenimiento, lo que se necesita es que las autoridades pongan en práctica las medidas construidas con la finalidad de remodelar o rescatar la estructura para beneficio de la ciudadanía sanmigueleña.

Palabras clave

CYPECAD, comportamiento, elementos estructurales, movimiento sísmico, teatro

ABSTRACT

The behavior of the structures during a Seismic event negatively affects the strutural elemets; therefore, more Seismic-resistant designs should be considered to avoid damage nd collapse; the objective of this Research is to evaluate the behavior of the exposed structural elements of the Municipal Theater "Segundo Yanez Velasco", during a Seismic movement; the methodology consists of a non-experimental, field and documentary bibliographic Study, also base don a mixed approach: qualitative in terms of the CYPECAD program procedure and quantitive through calculations on the concrete resistance index of the structural system of the theather: the results obtained were; in the sclerometer test certain pillars don not comply with the resistance established in the NEC, in the program used we have been able to model the structure and analyze the reports where it is detailed that the pillars exceed the requirements of the NEC, in addition the is torsion because Mode 1 in X is traslational and Mode 3 in Yis rotational, another of the most significant results is in the metic roof that purlins have major problems which need a prompt revision; the most relevant conclusion is that structural elements may collapse, due to the fact that its structural elements and the roof are not in good condition, what is needed is that the audithorities to put into practice the measures built in order to remodel or rescue the structure for the Benefit of the citizens of San Miguel.

Keywords

CYPECAD, behavior, structural elements, Seismic movement, theater

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la amenaza sísmica ha generado una suma de problemas que conllevan complejidad por la mecánica de los suelos inestables generando una aceleración sísmica y por ende que el daño sea mayor según su localización, así como también atraviesan por placas tectónicas cercanas lo que hace que sea susceptible a que los efectos sean irreparables. El Ecuador es un país con alta actividad sísmica, la cual ha provocado de forma periódica terremotos con cuantiosas pérdidas humanas y materiales. A pesar de ello, se ha vuelto cada vez más común la construcción de sistemas estructurales de manera informal, sin estudios debidamente analizados que garanticen la resistencia sísmica (Yaguache et al., 2022).

Uno de los daños evidentes es especialmente en las construcciones, durante los últimos movimientos sísmicos ocurridos en el país como el suceso del 16 de abril del 2016, han puesto en manifiesto sobre la poca resistencia en las edificaciones visibles que presentan en sus materiales, la cual resulta una alta vulnerabilidad en cuanto a este fenómeno natural. Cabe mencionar que el comportamiento de las construcciones es el origen principal de generar consecuencias económicas debido al incorrecto funcionamiento de las infraestructuras existentes y la necesidad de intervenir en todas aquellas que han sido diseñadas bajo los parámetros de normas antiguas o que se han construido antes de la creación de un diseño sismorresistente. Por ello es indispensable considerar una evaluación del comportamiento de las construcciones para una buena estabilidad del mismo y salvaguardar la vida de los ocupantes.

Para el estudio se considera el sistema estructural denominado “Segundo Yánez Velasco”, que está ubicada en el cantón San Miguel de Bolívar, por los antecedentes de la edificación no se han realizado ningún mantenimiento respectivo, lo cual sería una de las consecuencias de que ocurra una afectación al teatro, debido a esto data la importancia de

conocer la manera en que esta construcción soporta la presencia de un sismo, determinar su vulnerabilidad y los factores que intervienen mediante un análisis sísmico más detallado.

En esta investigación se implementará una propuesta metodológica basada en la evaluación de los elementos estructurales donde es importante realizar un modelamiento que consta de un análisis probabilístico del comportamiento y el nivel de desempeño ante un movimiento sísmico a futuro mediante el programa CYPECAD y la aplicación de un ensayo de laboratorio para medir el índice de rebote y la resistencia del hormigón. En base a estos resultados obtenidos se tomará en cuenta el uso de la inteligencia artificial (Perplexity) que ayudará a proponer medidas necesarias para el correcto diseño y construcción del Teatro en base al desempeño sísmico para que las autoridades competentes pongan en práctica y que a futuro consideren mejorar la edificación.

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Nuestro planeta es un escenario de riesgos específicamente de los movimientos sísmicos que a lo largo de la historia han provocado una serie de efectos tales como los daños de las infraestructuras, pérdidas económicas y hasta de vidas humanas, un claro ejemplo es el Ecuador que se encuentra dentro de una zona altamente sísmica. (Martínez & Angulo, 2016), señalan que: "está ubicado dentro del Cinturón de Fuego del Pacifico y se considera una zona de subducción por la interacción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana".

Debido al estudio sísmico del país y las consecuencias que cada uno de ellos han dejado en el territorio ecuatoriano, en el campo de la ingeniería se ha visto la necesidad de realizar estudios de vulnerabilidad sísmica y conocer el estado actual de las edificaciones construidas con anterioridad para así poder determinar su comportamiento ante un movimiento telúrico (Cunalata & Caiza, 2022). Uno de los problemas más recurrentes a consecuencia de los movimientos sísmicos se presenta en las edificaciones dependiendo de diversos factores como; el diseño estructural, la antigüedad y la calidad de la construcción, el tipo de suelo en que se encuentra asentado y la intensidad de los sismos.

La provincia Bolívar está situada en la parte centro oeste del Ecuador ubicándose así en una zona sísmica de cuarto grado, que representa alta peligrosidad según el Instituto Geofísico Militar, esto se debe a que está rodeada de un sistema de fallas activas tanto regionales (falla de Pallatanga), como locales (falla del río Chimbo y falla del río Salinas) (Caspi et al., 2019).

Existen antecedentes de eventos sísmicos que generaron consecuencias negativas; como fue el terremoto de magnitud 7,8 en la escala de Richter ocurrido el 16 de abril del 2016 con epicentro en la ciudad de Pedernales, que provoco cuantiosas pérdidas materiales y humanas,

San Miguel de Bolívar fue uno de los cantones que resultó afectado por este sismo, pues sus edificaciones son precarias debido a que no cuentan con diseño de construcción apropiadas (Gaibor et al., 2022). Otro evento fue el suceso del 06 de septiembre del 2018, donde hubo un movimiento telúrico con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter que tuvo como epicentro el cantón Cumandá y afectó principalmente a diferentes provincias, en donde el cantón de Chillanes perteneciente a la provincia Bolívar fue la más afectada por el sismo debido a la falla de Pallatanga, en la cual diversas construcciones colapsaron, además hubieron múltiples consecuencias especialmente en el cantón San Miguel de Bolívar que mediante un reporte obtenido por la (SGR, 2018), mencionan que: "en la ciudad San Migueleña de Bolívar se presentó fisuras entre edificaciones producto del movimiento sísmico y en las dos torres de la iglesia matriz con fisuras horizontales", de ahí nace la necesidad de evaluar los elementos estructurales expuestos del teatro.

El sistema edificio Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco", según datos recopilados fue construido en el año 1982, en aquel entonces por el Ing. Néstor Ramírez, su estructura en general está constituido por hormigón armado, mampostería de bloque y su cubierta es de cerchas metálicas y planchas de eternit ondulado, además esta edificación al considerarse antigua ha soportado varios movimientos sísmicos por lo que es necesario evaluar el comportamiento de los elementos estructurales expuestos, cabe recalcar que en la actualidad está edificación se encuentra abandonada, para lo cual se necesita hacer una evaluación del estado en que se encuentran los elementos expuestos aplicando las nuevas tecnologías del siglo XXI, de esta manera se recomienda a las autoridades municipales que se realice una adecuada valoración de toda la construcción antes de su remodelación y readecuación de los espacios físicos y arquitectónicos del sistema edificio.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el comportamiento de los elementos estructurales expuestos mediante el uso de las herramientas de evaluación?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento de los elementos estructurales expuestos del Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco", ante un movimiento sísmico.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar los elementos estructurales mediante el uso de equipos de rebote de laboratorio de mecánica de suelo.
- Analizar el comportamiento sísmico de la estructura mediante la aplicación del software CYPECAD.
- Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad físico estructural del sistema edificio ante la presencia de sismos, con el apoyo de la inteligencia artificial.

1.4. Justificación

En la actualidad debido a la amenaza sísmica presente en el país, es de interés conocer el comportamiento de una edificación para enfrentar un movimiento telúrico, siendo indispensable evaluar las condiciones actuales de los elementos estructurales, su vulnerabilidad y los factores que intervienen dentro de un análisis sísmico. Gran parte de las estructuras del cantón San Miguel de Bolívar presenta deficiencias en sus edificaciones según estudios realizados, esto hace que se convierta en problemas latentes y frágiles ante la presencia de un evento sísmico.

La evaluación del comportamiento sísmico nace por la necesidad de conocer el comportamiento de los elementos expuestos (vigas, pilares, escaleras), debido a que la edificación de estudio tiene una antigüedad de 42 años, aspecto relevante que genera incertidumbre sobre la capacidad de funcionalidad y resistencia frente a las fuerzas sísmicas lo que lo hace más susceptible a sufrir daños y deterioro total. Al ser considerado el teatro como una construcción primordial se debe realizar modificaciones adecuadas para su reconstrucción, reapertura y uso de la población Sanmigueleña.

Esta investigación prevé una alternativa enfocada en un estudio de evaluación acorde a los parámetros de diseño sismorresistentes, que aborda normas vigentes aplicadas en el país como la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), por ello se podrá describir el estado actual de la edificación y simular su comportamiento mediante un modelo sísmico que beneficiará a las autoridades competentes y en general a la población.

El desarrollo de esta investigación será de gran ayuda impulsando nuevos conocimientos en la utilización de herramientas de evaluación mediante el uso de tecnologías que servirá como referencia para nuevas investigaciones, tal es el caso del software especializado que permita cálculos y modelación sísmica de la estructura como es el CYPECAD, además se podrá generar

medidas que son indispensables para reducir la vulnerabilidad físico estructural con la práctica de la inteligencia artificial.

La configuración estructural se centra en la elaboración de un estudio detallado de manera técnica y con criterio sobre las zonas débiles que puedan influir en el comportamiento del diseño sísmico. Con este proyecto se pretende contribuir a la concientización para mitigar las vulnerabilidades, donde es esencial que las autoridades locales y competentes tengan en cuenta este tipo de investigaciones para generar medidas preventivas y mejorar la seguridad del teatro ante un evento sísmico.

1.5. Limitaciones

- Pocos estudios realizados sobre el tema de interés en evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones.
- Carencia de información en revistas científicas actualizadas sobre el uso del programa CYPECAD.
- Las licencias del CYPECAD no se puede gestionar con facilidad para el uso de los estudiantes.
- El laboratorio de la mecánica del suelo de la Carrera de Gestión de Riesgos no está en funcionamiento.
- A nivel local existe un desconocimiento del análisis sísmico del programa.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Históricos

Se conoce que el Ecuador por su ubicación geográfica, se encuentra sobre la convergencia de la placa tectónica de Nazca y la placa tectónica Sudamericana, así como también pertenece al Cinturón del Fuego del Pacifico, lo cual lo convierte en un país con un riesgo sísmico muy alto (Cevallos, 2017). Los terremotos han sido de gran importancia debido a la interacción de las placas antes mencionadas, provocando gran actividad sísmica en los diferentes territorios.

Nuestro territorio tiene un largo historial de eventos sísmicos registrados dentro del territorio nacional, entre algunos el más representativo se puede mencionar el hecho ocurrido en Esmeraldas, que se produjo el 31 de enero de 1906, talvez el más fuerte en la historia, otro suceso fue el sismo de Ambato el 5 de agosto de 1949, el sismo de Bahía de Caráquez el 4 de agosto de 1998 y el más reciente fue el de Pedernales el 16 de abril del 2016, todos con resultados catastróficos (Cevallos, 2017). Uno de los eventos que resulto más destructivo en la historia reciente del Ecuador fue el terremoto de magnitud 7,8 el 16 de abril del 2016, que causó grandes daños y hasta incluso pérdidas humanas. Este fue un acontecimiento que recordó la importancia de la preparación y por ende construir una estructura resiliente para mitigar los efectos de los desastres naturales.

Estas catástrofes han dejado secuelas por el alto índice de vulnerabilidad sísmica de las construcciones a lo largo y ancho del Ecuador, ya que se emplean sistemas constructivos que no son aptos para resistir cargas sísmicas. A las construcciones antiguas se puede atribuir que tal vez puede ser debido al conocimiento que se tenía en aquella época y la calidad de los materiales,

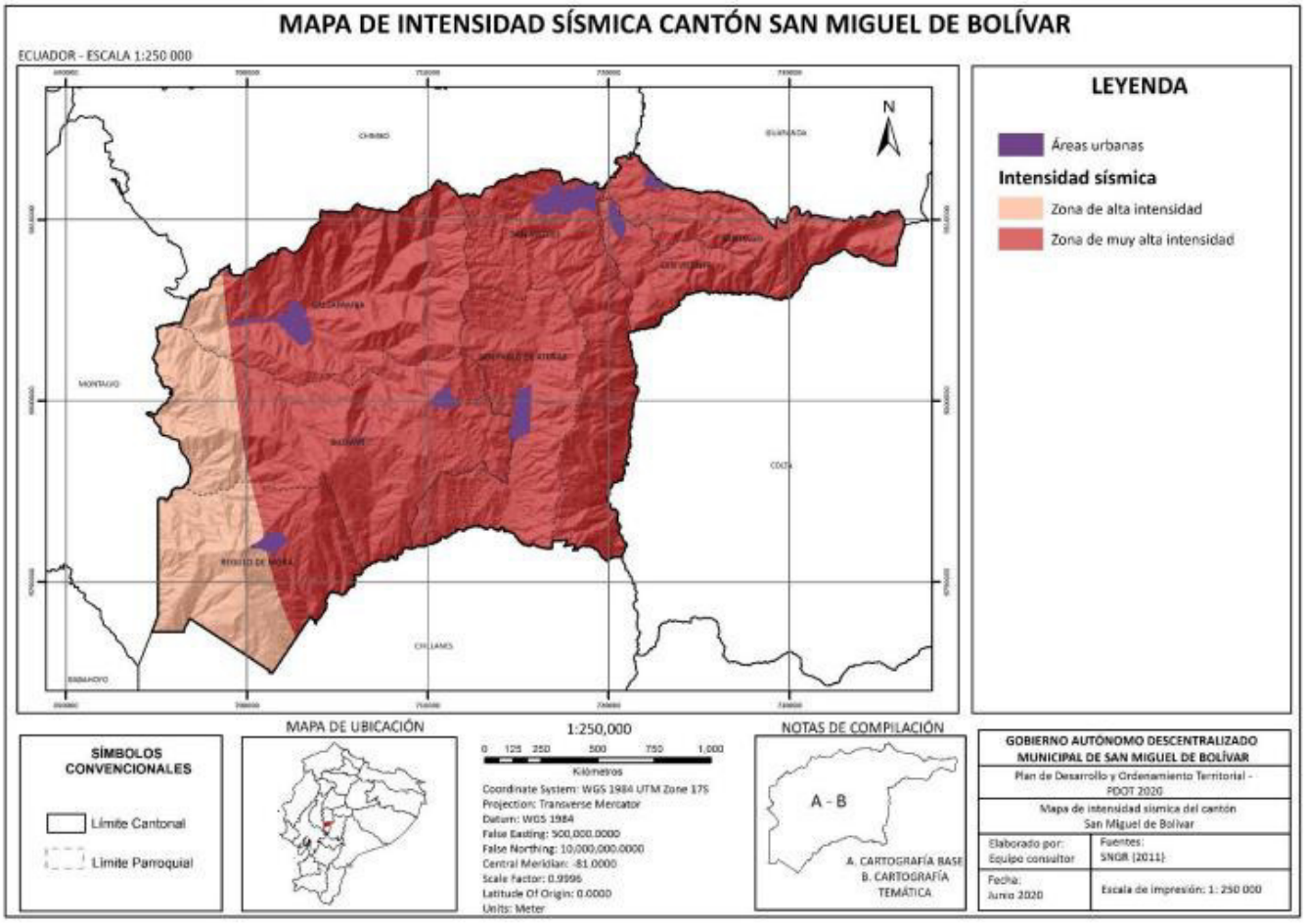
pero a las construcciones recientes si se deja ver mucho por la falta de criterio y cumplimiento de un buen diseño estructural, así como también a la informalidad de construcciones que está proliferando mucho actualmente y esto es consecuencia por la falta de control por parte de las autoridades pertinentes (Cevallos, 2017).

La provincia de Bolívar es una zona que se encuentra ubicada en el área de influencia de diversas fallas geológicas, según estudios realizados en el año 2007 por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGPN), se conoce que los factores que originan la amenaza sísmica de esta zona son: la subducción de las placas de Nazca y Continental y la influencia de la falla regional de Pallatanga (Amangandi & Chimborazo, 2017).

La provincia de Bolívar está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, aun cuando no ha sido epicentro de grandes terremotos, se ha visto seriamente afectado por sismos que se originaron en otras provincias cercanas e incluso en la costa ecuatoriana, en una época reciente se tiene el terremoto de Ambato–Pelileo ocurrido en agosto de 1949, con una intensidad máxima y cuyos efectos se extendieron en las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo, parte de Bolívar, Pichincha y Pastaza, siendo uno de los terremotos que han ocasionado grandes desastres en el presente siglo (PDOT, 2020).

Respecto a las fallas geológicas locales en el territorio provincial se observan muchas fracturas y fallas longitudinales y transversales, generalmente tienen rumbos Noroeste-Suroeste y Noreste-Sureste, en ambos casos con pequeños ángulos de inclinación. Una de las fallas más importantes por su actividad sísmica es la denominada Río Chimbo cuya actividad se atribuyen diferentes eventos sismo-tectónicos desastrosos, que afecta en forma directa a las poblaciones de Guaranda, Chimbo, San Miguel y Chillanes (PDOT, 2020).

Figura 1. *Mapa de intensidad del cantón San Miguel de Bolívar*



Nota: *La imagen 1 muestra la intensidad sísmica del cantón, además se aprecia la incidencia de las fallas de Pallatanga-Chingual sobre este territorio, obtenido de:* (PDOT, 2020).

De acuerdo al mapa de intensidad sísmica, el cantón San Miguel de Bolívar presenta dos zonas de amenaza: la Zona IV que significa Muy Alta Intensidad Sísmica, que abarca la mayor parte de la superficie del cantón y en menor extensión la Zona III de Alta Intensidad Sísmica hacia la parte del subtrópico (Universidad Estatal de Bolívar, 2013 como se citó en el PDOT, 2020).

Según el (PDOT, 2020), en el cantón San Miguel de Bolívar los principales elementos que pueden verse afectados por un evento sismo son los siguientes:

- **La vía estatal y las demás vías internas del cantón:** (inter cantonales, inter parroquiales, a las comunidades y recintos), debido a la susceptibilidad a movimientos en masa, siendo el sismo un factor desencadenante, se podrían ver afectados por este tipo de eventos suscitados.
- **Edificaciones, infraestructura pública y privada**: en el centro histórico (declarado como Patrimonio Cultural) del cantón San Miguel de Bolívar, la mayor parte de construcciones, son estructuras mixtas entre adobe, madera, tapial entre 50 a 100 años y en los últimos de hormigón armado. En este sector se concentra las edificaciones públicas como el GAD cantonal, instituciones públicas, entre otros, además se ubica la actividad comercial, financiera y de servicios (hoteles, restaurantes), a pesar que no se dispone de estudios a detalle, se podría considerar que la mayor parte de edificaciones no cumplen con las normas sismorresistentes dadas por la NEC, por lo que a este sector se puede considerar una zona vulnerable ante posibles sismos.

El cantón San Miguel de Bolívar se ha visto afectado por dos sucesos ocurridos que han sido de mayor relevancia, las cuales son:

- El evento suscitado el 16 de abril del 2016 afectó a varias infraestructuras de la localidad dejando como consecuencia daños en las mismas.
- El 6 de septiembre del 2018 se produjo un sismo en Cumandá, el cual afectó a diversas provincias y cantón.

2.1.2. Antecedentes Referenciales

Para esta investigación se consideraron los siguientes antecedentes:

2.1.2.1. Internacional

A nivel internacional (Mejía & Julcahuanca, 2022) en su tesis denominado: "*Evaluación del comportamiento sísmico de una edificación de 05 niveles incrementando la resistencia a comprensión del concreto (210, 280, 240 kg/cm^2) mediante el análisis estadístico no lineal",* tiene como objetivo evaluar el comportamiento sísmico de una edificación de 5 niveles, la metodología del estudio consistió en utilizar 3 diseños estructurales utilizando los códigos peruanos, además se aplicó un análisis de resistencia conocido como Pushover y se comparó con 3 modelos computacionales en ETABS que se basó específicamente en función de los desplazamientos, cortantes y desempeño sísmico. Los resultados obtenidos muestran que el nivel sísmico de la subestructura empleando una resistencia de una comprensión de 210 kg/cm^2 ante una amenaza sísmica y máxima fue funcional en "X", mientras que en "Y" fue operacional y funcional. Por último, se concluyó que el diseño de la estructura considera una variación de resistencia a la comprensión cumpliendo con los estándares nacionales para cada uno de los modelos analizados.

2.1.2.2. Nacional

A nivel nacional (Yaguache et al., 2022), realizó un artículo científico titulado: "*Evaluación del comportamiento dinámico en edificaciones de baja altura en la ciudad de Loja-Ecuador",* donde se evaluó el desempeño sísmico de un conjunto de edificaciones de mediana y baja altura características de la ciudad de Loja, es decir que se inspeccionó un total de 865 viviendas para determinar el comportamiento, además la metodología aplicada se compone de cuatro fases: i) levantamiento de información primaria, ii) selección de tipologías estructurales representativas de la zona de estudio, iii) modelación, análisis sísmico y detección de deficiencias estructurales (PUSHOVER) y iv) elaboración de una propuesta de reforzamiento.

Los resultados demuestran que la tipología A de todas las edificaciones evaluadas tuvo el peor desempeño sísmico, puesto que únicamente es capaz de alcanzar los desplazamientos requeridos ante un sismo frecuente, cuyo periodo de retorno es de 43 años y cuya probabilidad de excedencia es del 50% en 30 años. Se concluye que este trabajo generó modelos analíticos de 4 tipologías estructurales representativas, sobre las cuales se ejecutó un análisis estático no lineal y se identificó las deficiencias estructurales existentes.

2.1.2.3. Local

A nivel local (Gaibor et al., 2022), en su artículo denominado: "*Vulnerabilidad física estructural de Unidades Educativas ante la amenaza de sismos"*, tiene por objetivo evaluar la vulnerabilidad física estructural de todas las Unidades Educativas del cantón San Miguel de Bolívar, se utilizó una investigación descriptiva y transversal simple a través de la cual se pudo obtener información cualitativa y cuantitativa, para la evaluación de vulnerabilidad sísmica se llevó a cabo mediante una técnica visual propuesta por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA-154). Los resultados arrojaron un índice de vulnerabilidad donde la Unidad Educativa 24 de mayo presentó un valor de 4.4 y 15.4 al igual que la Unidad Educativa 10 de enero (vulnerabilidad leve); con un valor de 16.6 y 28.3 (vulnerabilidad moderada) la Unidad Educativa Angel Polibio Chaves y la Unidad Educativa Fiscomisional San Miguel. Se concluye que en las edificaciones evaluadas se identificó que su vulnerabilidad se evidencia en pequeñas grietas en los elementos estructurales y no estructurales, en algunos casos la pérdida de recubrimiento en la infraestructura e irregularidades de tipo vertical, así como también el tipo de suelo en el que están asentadas las edificaciones por lo que resulta un incremento en el nivel del riesgo.

El proyecto de investigación se distinguirá de los temas antes mencionados y especialmente la que se realizó a nivel local, ya que solo se ha elaborado una evaluación del índice de vulnerabilidad sísmica con el método del FEMA-154 y no se ha realizado un modelamiento de estas edificaciones evaluadas, por ende nuestra investigación se basara en la aplicación del uso del programa CYPECAD para analizar el comportamiento sísmico y construir medidas necesarias para reducir la vulnerabilidad que presente el teatro mediante la inteligencia artificial.

2.1.3. Localización y Descripción del Lugar de Estudio

Localización

Figura 2. *Localización del Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco"*





LOCALIZACION DEL TEATRO MUNICIPAL "SEGUNDO YÁNEZ VELASCO"

Nota: *La figura 2 consiste en la localización mediante un mapa en Google Earth y una fotografía de la parte frontal del Teatro Municipal Segundo Yánez Velasco, elaborado por (Lara J & Valle J, 2024).*

Ubicación

El Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco", se encuentra ubicado entre las calles Pedro Carbo y Bolívar y la Av. César Abel Pazmiño y Sucre en el cantón San Miguel, provincia de Bolívar.

Descripción de la edificación (Teatro)

El teatro tiene un área total de construcción de 1.277,89 m^2 con un diseño antiguo destinado para el uso de un teatro municipal con una capacidad de 600 personas. La edificación en cuestión tuvo su inicio de construcción en el año 1982, por lo tanto, posee 42 años de antigüedad y en la actualidad se encuentra en pésimas condiciones.

Características Arquitectónicas del Teatro

La edificación está conformada por tres pisos en una parte que consta del graderío, accesibilidad, camerino de escena y el auditorio que está en un solo bloque, es una estructura de hormigón armado, es decir de pilares, vigas, escaleras y cimentación son de este material, con una cubierta de eternit con cerchas metálicas, fue construida para la ocupación de un teatro bajo un diseño arquitectónico.

Esta edificación consta de lo siguiente:

- **Planta Baja** (Sala de espectadores para el público, escenario, camerino de escena, los baños, acceso principal al teatro)
- **Primera Planta (**Cuarto de sonido y bodega)
- **Segunda Planta Alta** (Graderío para los espectadores)

Descripción del Teatro

Al ser considerado una de las estructuras más importantes para el cantón San Miguel de Bolívar, no cuenta con los requerimientos necesarios como una adecuada señalética en seguridad sobre la ubicación de los equipos de protección contra incendios y las vías de evacuación, así como debería existir una salida de emergencia cuando se presente un evento natural como por ejemplo un sismo ya que solo tiene un acceso principal, además carece de un extintor y no presenta una buena iluminación.

Por la antigüedad de su construcción se debe realizar una evaluación exhaustiva y verificar los requerimientos mínimos con respecto a las normas de construcción a las que se sujetaron para poder llevar a cabo el levantamiento del sistema edificio que era uno de los más representativos y significativos del cantón San Miguel de Bolívar, por ende, se realiza el estudio del comportamiento de los elementos estructurales ante un evento sísmico resultando importante para que se realice un reforzamiento.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Elementos Estructurales

Los elementos estructurales se consideran aquellas partes que son detalladas en una estructura, es decir que se diseñan, calculan y se ensayan según los estándares establecidos en la durabilidad de los materiales.

- **Losas de piso**

Importantes componentes horizontales que trasmiten las cargas vivas, cargas de movimiento o en reposo y las cargas muertas estacionarias del tráfico al soporte vertical del armazón de la estructura. Pueden ser placas planas, losas sobre vigas o sistemas de piezas prefabricadas. Pueden configurarse para moverse en un sentido o en dos sentidos perpendiculares (Roman, 2023).

- **Vigas**

Estos componentes se encargan de transferir las cargas tributarias de los forjados al soporte vertical. En la sección de menor tensión o en la parte superior e inferior es donde suelen reforzarse estructuralmente y normalmente se moldean en una sola pieza con los forjados. Se funden integralmente con el forjado y crean una viga en L en el exterior de un edificio o una viga T para las viguetas interiores (Roman, 2023).

- **Columnas**

Son los componentes verticales que sirven de soporte a los sistemas de piso. Son elementos de comprensión y se ven afectados con mayor frecuencia por cargas axiales deflexiones y son muy importantes cuando se considera de cualquier estructura.

- **Muros**

El muro es un cerramiento vertical para construir el marco. Pueden ser de cualquier material que satisfaga estéticamente los requisitos de forma y funcionalidad de la estructura, no solo de hormigón. Además, con frecuencia es necesario utilizar muros sísmicos y muros de cimentación de hormigón que puedan resistir terremotos y carga de viento horizontales (Roman, 2023).

- **Cimentación**

La cimentación es una base que soporta los elementos de la superestructura y que transfiere el peso de la estructura al terreno. Hay muchas formas de cimentación, la más común es una zapata aislada. Otros sistemas son cimientos de losa y vigas (Roman, 2023).

2.2.2. Movimiento Sísmico

Como expresa (Trujillo et al., 2010): "los movimientos sísmicos han sido siempre una constante amenaza para la humanidad y un cambio natural en la conformación geológica del planeta". Es decir, es un movimiento brusco de la Tierra que libera cierta energía acumulada.

Los movimientos sísmicos son considerados fenómenos naturales que son causados por la liberación de energía de las placas tectónicas y ocasionan una gran actividad que desencadenan daños a las edificaciones, infraestructuras e incluso pérdidas humanas.

La respuesta sísmica de una edificación depende de las propiedades mecánicas y dinámicas del mismo, así como de las características del movimiento del terreno al que se ve sometido. Hasta el momento se ha visto dos factores principales que afectan la respuesta estructural con un comportamiento lineal, el periodo de vibración y el amortiguamiento dado en un cierto movimiento del terreno (Miranda, 1999).

(Miranda, 1999), manifiesta que: "los factores principales que influyen en las características del terreno producido por un movimiento sísmico", son:

- La distancia espectral es el trayecto en línea recta desde el epicentro al sitio donde se encuentra la estructura
- La magnitud del sismo
- Las condiciones locales del terreno donde se encuentra la estructura

2.2.3. Riesgo Sísmico

El riesgo sísmico se debe a tres factores: la amenaza sísmica, exposición y vulnerabilidad. La amenaza sísmica se relaciona con los movimientos telúricos que puedan ocurrir en un lugar; la exposición se refiere a la cantidad de personas e infraestructuras que se encuentran en un lugar y pueden llegar a ser afectadas por la ocurrencia de un evento sísmico y la vulnerabilidad que se relaciona con la capacidad de las edificaciones ante un sismo (Romero et al., 2021).

Para (Mases & González, 2003), el riesgo sísmico se define como: "la combinación de la peligrosidad sísmica, la vulnerabilidad de los edificios y las pérdidas económicas. Para lo cual el autor ha definido cada uno de los aspectos:

- **Peligrosidad Sísmica:** Indica la probabilidad de ocurrencia de un terremoto (de magnitud o intensidad definida) durante un determinado periodo de tiempo, por lo que es el elemento básico para realizar una estimación del riesgo sísmico de una región establecida (Mases & González, 2003).
- **Vulnerabilidad:** Se la define como el grado de daño esperado en una estructura en el caso de ser sometida a la acción de un terremoto de una intensidad dada. Se puede decir

que generalmente cuando se habla de vulnerabilidad se hace referencia a las estructuras, esto es debido a que transmiten los efectos del sismo a todos los elementos como son las personas y los bienes materiales. La vulnerabilidad es propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar. Otro de los aspectos de la vulnerabilidad en los edificios que depende de las características del diseño y construcción, calidad de los materiales, edad, altura, etc (Mases & González, 2003).

- **Pérdidas Económicas:** A lo largo de la historia se ha visto que los terremotos han ocasionado severas pérdidas económicas, además de grandes daños a la población. Estas pérdidas se las puede dividir en dos; pérdidas directas aquellas que están relacionadas directamente con el edificio y pérdidas indirectas son las que incluyen las víctimas humanas y el contenido de los edificios (Mases & González, 2003).

Para estos dos autores el riesgo sísmico depende de varios factores que generan impactos perjudiciales en el ámbito social y económico ante un evento, además uno de los principales problemas que existe un mayor peligro en las estructuras que son las más propensas a sufrir daños.

2.2.3.1. Sismicidad en el Ecuador

Es un territorio de alta sismicidad, que se ubica dentro del cinturón de fuego del Pacifico, por lo que es una franja donde se libera la mayor cantidad de energía sísmica del planeta. Frente a las costas ecuatorianas interactúan dos gigantescas placas tectónicas, su punto de contacto se le conoce como subductiva. La proyección en superficie de esta zona sigue aproximadamente la línea costera del continente. Se puede mencionar que la zona subductiva, es el contacto entre la Placa Nazca y la Placa Sudamericana (probablemente otras), tiene un ángulo con respecto a la

horizontal. Ecuador tiene etapas de mayor actividad a las que se les conoce como "reactivación sísmica" y otras como tranquilidad sísmica (Theurer et al., 2017).

La sismicidad de Ecuador se reactiva cada 50 años, debido a esto ocurren varios sismos cercanos a 8 grados en magnitud Richter o mayores en cada etapa de reactivación. La reactivación sísmica que ocurre a inicios de cada siglo es 35 veces más intensa que las que ocurren a mediado del siglo. De todos los terremotos ocurridos en el país desde 1900 hasta 1970, el de mayor magnitud fue el 31 de enero de 1906, el cual tuvo magnitud de 8.8 grados ocurrido en Esmeraldas, en este trabajo se menciona que este sismo cumplió con un ciclo de recurrencia considerando el sismo de 7.6 en escala de Richter y cuyos epicentros solo se separan 15 km. En esta etapa de 70 años, sufrió de once sismos entre 6 y 7 grados de magnitud Richter, cuatro sismos de más de 7 grados, dos sismos con magnitud cercana a 8 y un sismo con magnitud cercana a 9 grados en magnitud Richter (Theurer et al., 2017).

El territorio ecuatoriano está expuesto a un peligro sísmico, que ha ocasionado eventos que generen pérdidas humanas, de igual manera pérdidas materiales y esto contrae problemas económicos: por lo que es necesario realizar medidas para reducir los efectos negativos que presenta un evento sísmico de gran magnitud, al efectuar estudios que permitan determinar el comportamiento posible de una estructura ante los sucesos, las autoridades deben planificar y mitigar los grandes efectos que ocasionan. El Ecuador ha sufrido varios eventos sísmicos de gran magnitud, todos con diferentes niveles de afectación e intensidad, los mismos que han causado daños considerables en las estructuras, infraestructuras e incluso víctimas fatales (Taco & Camacho, 2024).

2.2.3.2. Zonificación Sísmica en el Ecuador

El peligro sísmico en nuestro país está determinado por dos tipos de fuentes sísmicas, las cuales son: subducción (interplaca e intraplaca) y de tipo corticales (superficiales). En cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del que ocurre en las demás fuentes. Los sismos *interplaca* (profundidad <40 km) corresponden a los sismos que se generan por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia. Los sismos *intraplaca* (profundidad entre 40 y 300 km) corresponden a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa oceánica de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana. Los sismos *corticales* (profundidad<40 km) corresponden a los sismos someros que ocurren dentro de la placa Sudamericana (Martínez & Angulo, 2016).

Debido a que el Ecuador se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica, el diseño que demanda en las edificaciones de hormigón armado bajo una condición crítica, es el sismo y siendo la cortante basal, la fuerza lateral aplicada en la edificación proporcional al peso de la estructura, por lo que su alternativa para atenuar esta acción sísmica sobre las estructuras de hormigón armado es disminuir el peso de los elementos estructurales mediante el uso de hormigones ligeros (Morales et al., 2019).

2.2.4. Daños Sísmicos

(Romero et al., 2021), explica que: “el daño en 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”.

Durante sismos fuertes se puede observar que en los edificios de hormigón armado comúnmente se presentan algunos problemas en sus elementos estructurales; especialmente en

las columnas de concreto aparecen grietas diagonales a causa del cortante o la torsión mientras que las grietas verticales, el desprendimiento y aplastamiento del concreto y el pandeo de las barras longitudinales de refuerzo se deben usualmente a la flexo-compresión. Los daños más comunes en vigas son las fisuras diagonales y la falla de los estribos debido a un cortante o torsión, así como también grietas verticales, falla longitudinal del refuerzo debido a la flexión ocasionada por las cargas alternantes. Las uniones viga-columna pueden presentar grietas diagonales como resultado de los esfuerzos cortantes y su falla se debe usualmente a la falta de anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas en el nudo o debido a la flexión excesiva. Las losas pueden presentar fisuras de los elementos no estructurales representa una fracción del daño total causado por un terremoto. Esto ocurre normalmente debido a la falla de conexiones apropiadas entre los tabiques, instalaciones u otros componentes no estructurales y la estructura (Carreño et al., 2007).

2.2.5. Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica es la capacidad de resistencia de una edificación ante la eventual ocurrencia de una actividad sísmica. Depende del daño que puede ocasionar un sismo en la estructura, por lo que se puede analizar el nivel de vulnerabilidad que presenta. Se menciona que la vulnerabilidad sísmica se evalúa de forma independiente del peligro al que está expuesta, es decir, una edificación puede ser vulnerable pero no estar en peligro el cual depende de la ubicación de la edificación (Quispe, 2019).

La vulnerabilidad sísmica se puede presentar de dos maneras en una edificación, las cuales son:

- **Vulnerabilidad Estructural:** Es el nivel de vulnerabilidad de los elementos estructurales tales como (cimientos, columnas, muros portantes, vigas, lozas macizas y aligeradas,

diseñados para transmitir fuerzas verticales y horizontales), componentes que pueden resultar gravemente dañados ante un evento sísmico, debilitando la resistencia y estabilidad de la edificación (Quispe, 2019).

- **Vulnerabilidad No Estructural:** Es el nivel de vulnerabilidad de los elementos no estructurales; de acuerdo a su ubicación, pueden generar daños en los habitantes ante un sismo. Estos elementos pueden agruparse en diferentes categorías: arquitectónicas (tabiques, ventanas, techos, puertas, cerramientos, cielos rasos, etc), instalaciones (plomería, calefacción, aire acondicionado, conexiones eléctricas, etc) o equipos (médicos, mecánicos, muebles, etc) (Quispe, 2019).

2.2.5.1. Patologías Estructurales

Las patologías se consideran como el estudio del comportamiento de las estructuras cuando presentan evidencias de fallas, con el fin de buscar sus causas y proponer acciones correctivas o su demolición. Difícilmente se puede determinar de manera concreta cuales son los daños que poseen las estructuras debido a la diversidad de patologías existentes. Cada patología muestra rangos únicos y posibles causas que incluso para un experto resulta difícil predecir con certeza (Flores & Panduro, 2021).

Existen diferentes causas por las que presentan las patologías en las estructuras tales como:

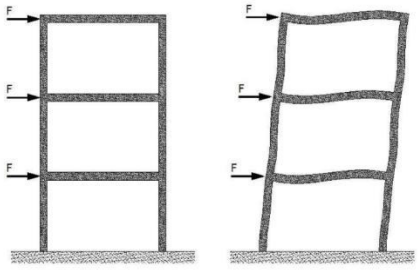
- El primer motivo es cuando las patologías aparecen por *defectos,* son aquellas que están relacionadas con las características intrínsecas de la estructura, las cuales pueden ser causadas; por un mal diseño, una incorrecta configuración estructural, una construcción mal elaborada o materiales con calidad deficiente que no cumplen con los requerimientos de las normas (Flores & Panduro, 2021).

- Otro motivo de las patologías es originado por *daños,* son las que se manifiestan durante una incidencia de una fuerza externa de la edificación, estos daños pueden ser causados por un fenómeno natural, como un sismo, inundación, deslizamiento, etc. Aunque otro motivo podría ser el caso en el que la edificación se viera obligada a soportar una carga para lo cual no fue diseñada (Flores & Panduro, 2021).
- El tercer motivo de patologías puede ser por el *deterioro*, generalmente se diseñan para que funcionen durante una vida útil, pero con el transcurrir del tiempo, la estructura presenta daños que deberán ser atendidas de manera inmediata. Una estructura puede estar debilitándose o en proceso de deterioro cuando se ven expuestas al contacto con sustancias químicas presentes al agua o al aire (Flores & Panduro, 2021).

2.2.6. Comportamiento Sísmico

El comportamiento sísmico consiste en un estudio detallado donde se verifica parámetros como la resistencia y rigidez, deformaciones, ductilidad, amortiguamiento sísmico, análisis sísmico que ayudan a determinar cómo reaccionan las estructuras ante un sismo y de esta manera mejorar adecuadamente los daños que se presenten. Realizar un comportamiento de la estructura es de importancia para diseñar y construir estructuras duraderas que puedan resistir un evento sísmico para proteger a la población.

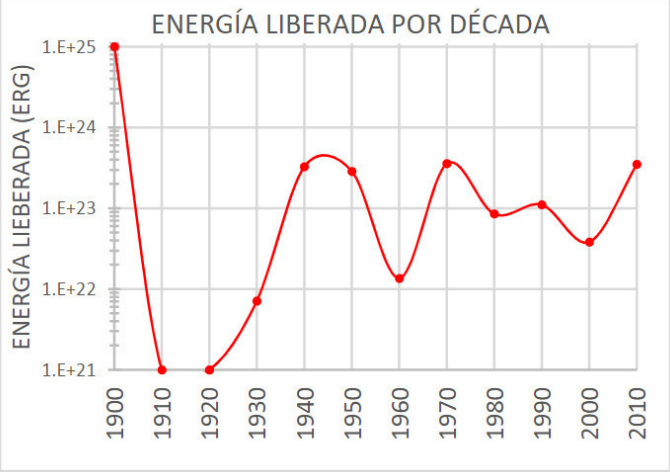
Figura 3. *Comportamiento de una estructura*



Nota: *En la siguiente figura se muestra como es el comportamiento de una estructura frente a un movimiento sísmico, obtenido de: (Universidad Politécnica de Valencia, 2016)*

Según el desempeño que muestra una determinada edificación se puede conocer el comportamiento de esta, donde se considera como un desempeño satisfactorio si la estructura en estudio es sometida a un movimiento sísmico de distintas intensidades recibe menores resultados a los que establecen las normas, una representación de comportamiento deseado o del desempeño del elemento que debe ser capaz de soportar diferentes niveles de movimiento sísmico, donde se puede definir distintos niveles de desempeño que se espera. Esta selección se debe basar en cada característica de la importancia, ocupación de la edificación que estén en relación a los costos económicos de la reparación de daños que está sometida (Jaque, 2019).

Figura 4. *Energía sísmica liberada en Ecuador desde 1900 hasta el 2017 por década*



Nota: *La siguiente figura demuestra la energía que se libera en una región según ciertas décadas, obtenido de:(Moncayo et al., 2017).*

La figura 4 muestra el comportamiento sísmico del Ecuador desde 1900 hasta el 2017, se observa que la liberación de energía es más intensa en el periodo 1900-1910, 1940-1950, 1970-1980 y en el periodo actual 2000-2020. Al producirse un pico máximo de liberación se consideran estas etapas como de reactivación sísmica (Moncayo et al., 2017).

2.2.6.1. Comportamiento Sísmico de las Estructuras de Hormigón

El comportamiento sísmico de las estructuras de hormigón armado ha sido analizado e investigado más que cualquier otro tipo de material. No hay duda, que esto es debido, por una parte, a su uso extendido y por otra parte a la dificultad de dotarle de una cierta ductilidad, que le permita un comportamiento adecuado durante un movimiento sísmico severo. Por otro lado, las ultimas catástrofes sísmicas han puesto al descubierto, las deficiencias en los criterios de diseño y en las practicas constructivas empleadas, incluso en países desarrollados y con una tecnología sísmica avanzada. Un claro ejemplo, es que muchas estructuras antiguas de mampostería reforzada, se han desempeñado mucho mejor que las estructuras de hormigón armado, durante movimientos sísmicos de diferente intensidad (Ponce et al., 2020).

Para que las estructuras de hormigón armado presenten un buen desempeño sísmico ante las acciones sísmicas, es necesario que poseen cierta ductilidad. Este concepto fue incorporado en las primeras normativas de diseño en la década de los años 70 y, por lo tanto, es de esperar que las estructuras diseñadas y construidas antes de esta época, sean muy vulnerables ante la acción sísmica (Ponce et al., 2020).

Se debe tener en cuenta que las edificaciones de hormigón armado no son 100% resistentes como otros materiales que han sido creados para ser sismorresistentes, sin embargo, la mayoría de la población aún usan este tipo de material debido a que su vulnerabilidad es muy poca, dependiendo de varios factores como del sitio en que se construya, la calidad del suelo entre otras. Se puede tomar como referencia el suceso del terremoto del 16 de abril del 2016 en el Ecuador donde hubo muchas edificaciones de hormigón armado que colapsaron, pero por lo general no todo es culpa del material en sí, sino más bien de los factores antes mencionados (Ponce et al., 2020).

2.2.7. Modelamiento de las Edificaciones

El modelamiento de la estructura permite tener una representación gráfica mediante un modelo estructural en 3D, esto se elabora con el objetivo de analizar, mediante la implementación de una simulación de cuál es el comportamiento frente a un movimiento sísmico, cabe indicar que un modelo contiene la geometría, características del material de la edificación que se va a evaluar, las acciones sísmicas y el método de cálculo. Uno de los programas más conocidos en la actualidad para realizar el modelamiento de la edificación es el CYPECAD, que permite tener a detalle un modelo tridimensional.

Al CYPECAD también se le conoce como un software que se usa para edificios de concreto armado y metálicos mediante un análisis espacial, el dimensionamiento de todos los elementos estructurales, la edificación de armaduras y secciones, así como también la obtención de planos de la construcción. Además, realiza el cálculo de estructuras tridimensionales formadas por soportes y forjados, incluida la cimentación y el dimensionamiento automático de los elementos que conforman la edificación de estudio. Con el CYPECAD, el evaluador tiene en su mano una herramienta precisa y eficaz para resolver todos los aspectos relativos al cálculo de la estructura de concreto, adaptándose a las ultimas normativas de numerosos países (Chata, 2022).

2.2.7.1. Evaluación del Comportamiento de los Elementos Estructurales

El comportamiento de los elementos estructurales es la forma en cómo responden ante la presencia de un fenómeno natural como un sismo, la cual depende de los desplazamientos y deformaciones ante las fuerzas generadas, para la cual se hace uso de dos métodos para evaluar el comportamiento de estos elementos. El primero es el ensayo de laboratorio de esclerometría que consiste en determinar la resistencia del concreto de los elementos estructurales que conforman una edificación y el segundo es el software CYPECAD que analiza el

comportamiento de estos elementos estructurales mediante parámetros establecidos en la acción sísmica.

Para que las estructuras tengan un comportamiento satisfactorio frente a sismos fuertes es indispensable que su diseño resista niveles de afectación considerables, niveles de deformación más altos que los limites elásticos, debiendo ocurrir que ante sucesos de sismos moderados las estructuras no deben sufrir daños importantes que impidan su uso y ante sismos severos no debe ocurrir el colapso de las edificaciones (Romero et al., 2021).

2.2.7.2. CYPECAD

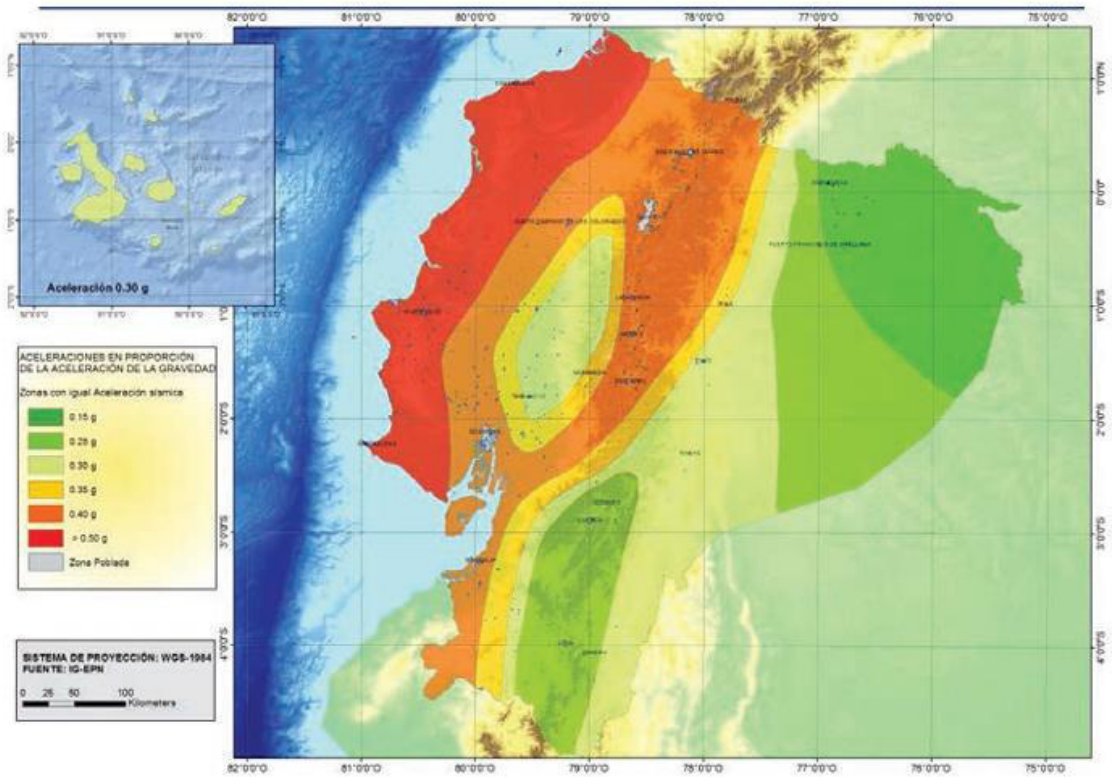
El CYPECAD, es un software que fue creado en España en la década de los 80s por la empresa Cype Ingenieros S.A. para realizar el cálculo y dimensionamiento de estructuras de hormigón armado, viviendas, edificios y proyectos de obra civil. Este programa permite al evaluador un análisis bi y tridimensional de los elementos estructurales incluida la cimentación, el armado de acero de refuerzo de cada uno de ellos, cabe recalcar que el programa determina un análisis probabilístico de la resistencia sísmica (Sánchez & Nuñez, 2019).

CYPECAD es un software concebido para realizar el cálculo de esfuerzos y dimensionamiento de estructuras de hormigón armado y metálicas diseñadas con forjados unidireccionales de viguetas (genéricos, armados, pretensados, in situ, metálicas de alma llena y de celosía), placas aligerados, losas mixtas, forjados bidireccionales reticulares y losas macizas para edificios sometidos a acciones verticales y horizontales. Con él se pueden obtener los planos de cimentación y armado de las plantas, vigas, pilares, pantallas y muros, cimentación y escaleras por plotter, impresora y ficheros DXF/DWG Y PDF, así como los listados y resultados del cálculo (Soucase & Ochoa, 2013).

Factor Z

Para los edificios de uso normal se considera un valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. El sitio donde se construirá la estructura depende de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor Z (NEC, 2014c).

Figura 5. *Mapa de la zonificación sísmica según el factor Z*



Nota: *La siguiente figura demuestra las diferentes zonas sísmicas que conforma el Ecuador en propósito de diseño y valores del factor Z, obtenido de:* (NEC, 2014c).

La zonificación sísmica para el diseño proviene del resultado de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una saturación de 0,50g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano (NEC, 2014c).

Tabla 1. *Valores del factor Z en función de la zona sísmica*

ZONA SISMICA	I	II	II	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

Nota: *En la tabla se puede observar los valores del factor Z que corresponden a los diferentes tipos de zona sísmica según la caracterización del peligro sísmico de la región,* (NEC, 2014c)

La (NEC, 2014c), plantea que: "todo el territorio ecuatoriano está catalogado como una amenaza sísmica alta", a excepción de lo siguiente:

- Nororiente que representa una amenaza sísmica intermedia
- Litoral ecuatoriano que representa una amenaza sísmica muy alta

Análisis de Carga

La (NEC, 2014), explica que: "las cargas a considerar dentro del cálculo y diseño de todo tipo de estructuras para analizar en el programa CYPECAD", son las siguientes:

- **Cargas permanentes (cargas muertas):** Están cargas están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales de una edificación tales como los: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura (NEC, 2014).
- **Cargas variadas (cargas vivas, viento y granizo):** Las sobrecargas que se utilicen en el cálculo dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles, además de las cargas vivas en cubiertas para prevenir caídas de granizo entre otras (NEC, 2014).
- Cargas accidentales que son cargas sísmicas (en construcción y en rehabilitación)

Luego de haber ingresado los datos de la geometría y armado de la estructura, se analiza mediante un reporte los cuatro parámetros que son esenciales para determinar el comportamiento de la edificación ante un sismo:

1. **Desplazamiento**

El movimiento del suelo durante la presencia de un terremoto produce un patrón complejo de desplazamientos en la estructura que puede variar con el tiempo. Para una estructura dada y un movimiento del suelo, la demanda de desplazamiento es un estimado de la máxima respuesta esperada del edificio durante un movimiento del terreno (MIDUVI, 2015).

Este movimiento del terreno puede clasificarse mediante un espectro de respuesta de la aceleración que dependerá del criterio de aceptación (nivel de desempeño o daño), o por medio de un acelerograma del sitio. Un sismo fuerte inducirá en que la estructura presente un comportamiento inelástico, la estructura deberá contar con una importante capacidad de ductilidad y con gran disipación de energía por medio de la deformación, agrietamiento, para evitar que la misma colapse súbitamente (MIDUVI, 2015).

El (MIDUVI, 2015), clasifica a los sismos de la siguiente manera:

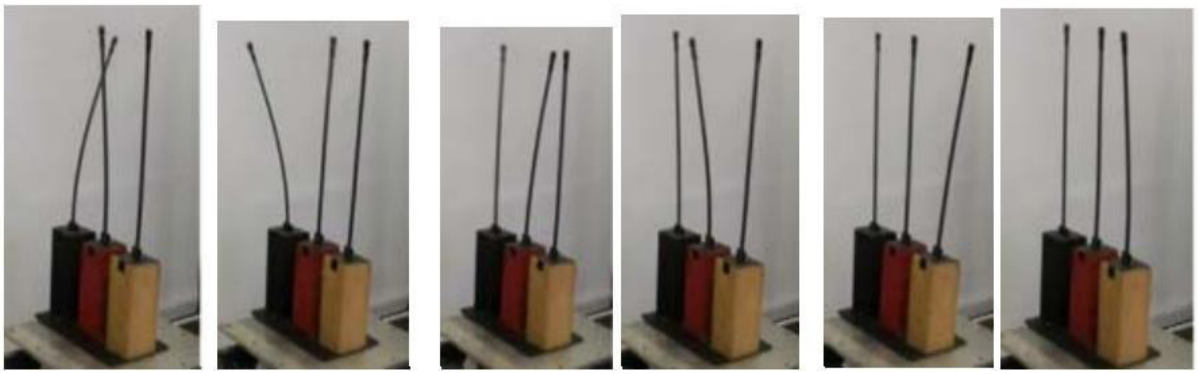
- **Sismo de Servicio:** Aquel que tiene una probabilidad anual de excedencia del 50% en 50 años o un periodo de retorno de 72 años.
- **Sismo de Diseño:** Este sismo tiene una probabilidad anual de excedencia del 10% en 50 años o un periodo de retorno de 475 años. Este sismo es representado en los espectros de diseño de los códigos de construcción.
- **Sismo Máximo Esperado:** Tiene una probabilidad anual de excedencia de 2% en 50 años o un período de retorno de 2475 años.

- **Desempeño:** Una vez que se ha definido la curva de capacidad y los desplazamientos, se puede verificar el punto de desempeño o punto de respuesta máxima de la estructura. Este punto se puede obtener utilizando cualquiera de los dos métodos, así mismo se determina la máxima fuerza que produce el desplazamiento.

2. Periodo de Vibración

El valor del periodo fundamental de vibración de las edificaciones varia con el tipo de suelo en que se apoya. Un edificio cimentado sobre roca o suelo duro se comportará con un voladizo perfectamente empotrado 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 al comportarse como parcialmente empotrado debido a la deformación del empotramiento (Caicedo, 2014).

Figura 6. *Modelo simulando las 3 condiciones de suelos diferentes*



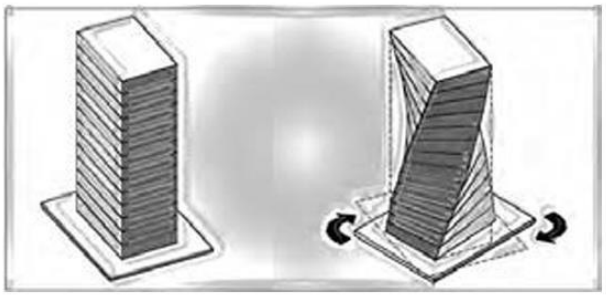
Nota: *En esta figura se muestra un ejemplo de cómo se comporta un péndulo al ser sometido a un ensayo en una mesa de vibración, lo cual permite observar cual es el cambio del período según las características de la base de empotramiento, obtenido de:(Caicedo, 2014).*

Para simular las distintas condiciones del terreno el péndulo se empotra sobre 3 bases diferentes: madera (suelo rocoso), espuma de alta densidad (suelo semi blando) y espuma de baja densidad (suelo blando). A pesar de tratarse de dos péndulos iguales, se hacen lecturas de los

períodos de vibración diferentes, correspondiendo al modelo empotrado en la madera el menor de los períodos, mientras el péndulo empotrado en la espuma de baja densidad registra el mayor de los periodos. Los datos del período para el modelo simulado registraron unos valores del período de vibración de Ta= 0, 38 seg, 0,42 seg y 0,50 seg para los tres tipos de ensayo de suelo descritos (Caicedo, 2014).

3. Torsión

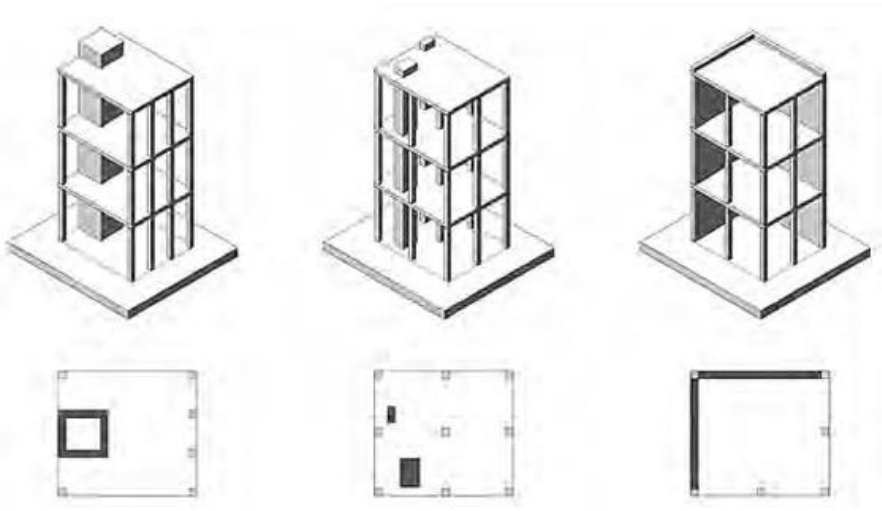
Figura 7. *Torsión en un edificio*



Nota: *Cuando existe torsión en el edificio genera varios inconvenientes cuando no coincide el centro de rigidez y centro de masa, obtenido de: (MIDUVI, 2015).*

Se puede considerar que una excentricidad entre el centro de rigidez y el centro de masa es alta cuando sobrepasa el 10% de la dirección en planta. 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 a 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia (MIDUVI, 2015).

Figura 8. *El centro de rigidez no coincide con el centro de masa de un edificio*



Nota: *Es importante que un sistema estructural, su centro de rigidez sea semejante al centro de masa, obtenido de: (MIDUVI, 2015).*

4. Modos de Vibración

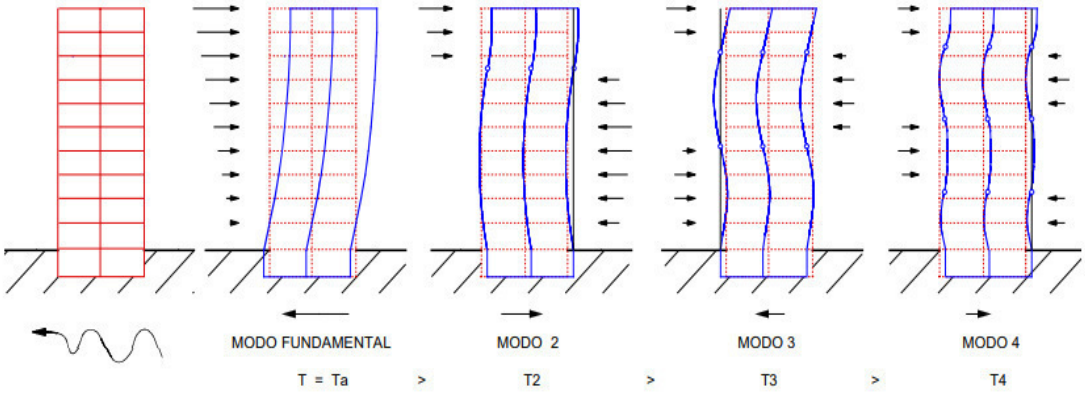
En el programa CYECAD se analizan los modos de vibración con el fin de verificar el desplazamiento de la estructura, la frecuencia y la distribución de la rigidez. Para ello se determinan solo los dos primeros modos de vibración, que establecen las siguientes condiciones y pueden variar según los resultados obtenidos por el reporte que nos genera el programa:

Modo 1 (sismo en X o Y)

Modo 2 (sismo en X o Y)

Por ejemplo, un edificio de varios pisos puede presentar distintos modos de vibración, tantos como pisos tenga, donde el primer modo de vibración le corresponde al mayor periodo y cada modo de vibración posterior se presenta para un periodo cada vez menor (Caicedo, 2014).

Figura 9. *Primeros de vibración de un edificio multipiso*



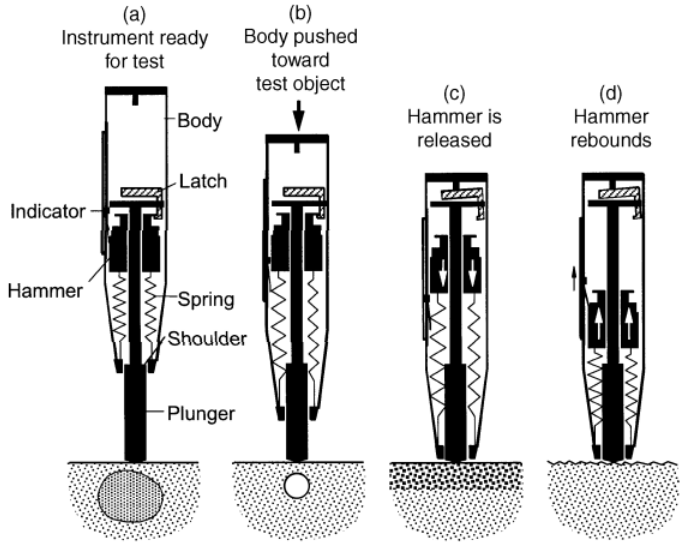
Nota: *En la siguiente figura se puede observar cómo es el comportamiento de los diferentes modos de vibración que se pueden presentar en un edificio, obtenido de:(Caicedo, 2014).*

2.2.7.3. Esclerómetro

Este equipo se conoce también como "Martillo Schmidt" o martillo de rebote y su principio de medición es la relación que existe entre la dureza de una superficie y la energía recuperada en el rebote que se genera sobre esta superficie al percutirla con una fuerza conocida (Badilla & Zamora, 2015).

Este instrumento permite medir la resistencia a la compresión del hormigón y realizar controles no destructivos de la calidad del mismo; el cual ofrece un valor de rebote que se muestra en escala y establece las características del hormigón, con un enfoque hacia las patologías causadas por los movimientos sísmicos, por ende, el resultado que se obtiene es en porcentaje (Romero et al., 2021).

Figura 10. *Funcionamiento del martillo de rebote*



Nota: *En la siguiente imagen se puede observar el esquema sobre cómo debe utilizarse el martillo de rebote, obtenido de: (Pessiki et al., 2003).*

De acuerdo con (Pessiki et al., 2003), el instrumento consta de los siguientes componentes:

1) Cuerpo exterior
2) Embolo
3) Martillo
4) Resorte

Para realizar la prueba, el embolo se extiende desde el cuerpo del instrumento y se pone con la superficie del hormigón hacia un mecanismo de enganche que bloquea al martillo en el extremo superior del embolo. A continuación, se empuja el cuerpo del instrumento haca el miembro del hormigón. Esta acción provoca una extensión del resorte que conecta el martillo al cuerpo. Cuando se empuja el cuerpo hasta su límite de recorrido, se suelta el pestillo y el resorte tira del martillo hacia el elemento del hormigón. El martillo impacta en la zona del hombro del

embolo y rebota. También esto hace que el martillo mueva el indicador deslizante, que registra la distancia del rebote y se registra el numero obtenido (Pessiki et al., 2003).

2.2.8. Inteligencia Artificial aplicado a la Gestión de Riesgos

Durante los últimos años se han implementado numerosos avances computacionales que han permitido crear algoritmos y diferentes programas que simulan la inteligencia humana creando análisis detallados a partir de datos históricos. En el caso de la Gestión de Riesgos ha permitido lo que es el uso de diferentes aspectos tales como identificar los riesgos emergentes, evaluar los riesgos de forma más precisa y eficaz, mitigar los riesgos, monitorear en tiempo real, predecir y prevenir posibles soluciones ante potenciales amenazas, lo que permite esta inteligencia artificial a los gestores de riesgos tomar decisiones adecuadas y disminuir la probabilidad de ocurrencia de un evento dado.

Se utiliza un programa desarrollado por la ESPE denominada Perplexity, en el que se introdujo datos para crear las medidas necesarias para reducir la vulnerabilidad de la estructura del teatro en base a los problemas detectados y los daños estructurales en caso de un movimiento sísmico.

2.3. Marco Legal

Para el presente proyecto de investigación se ha considerado los siguientes reglamentos y artículos en base a la Gestión de Riesgos y las Normas de Construcción que se encuentran vigentes en el Ecuador:

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Sección IX

Gestión del Riesgo

Art. 389.- El Estado protege a las personas, las 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. El Sistema Nacional Descentralizado de la Gestión de Riesgos está compuesto por las unidades de Gestión de Riesgos de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional (INEC, 2015). El estado ejercerá por la rectoría a través del organismo establecido por la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afectan al 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 riesgos en su planificación y gestión.

4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes en sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos e incorporar tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar, atender, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventualidades 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 (INEC, 2015).

Art. 390.- Los riesgos se gestionarán bajo el principio subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la Gestión de Riesgos sean insuficientes de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindaran el apoyo necesario con respecto a su autoridad en el territorio y sin revelarlos de su responsabilidad (INEC, 2015).

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA

Normas Ecuatorianas de Construcción

Oficializar la Norma Ecuatoriana de la Construcción

Art 1.- Aprobación y Oficialización.- Para el presente Acuerdo el Ministerio de Desarrollo urbano y Vivienda aprueba y oficializa el contenido de las normas NEC-SE-CG CARGAS NO SISMICAS), NEC-SE-DS CARGAS SISMICAS Y DISEÑO RESISTENTE, NEC-SE-RE

REHABILITACIÓN SÍSMICA DE ESTRUCTURAS, NEC-SE-GM GEOTECNIA Y DISEÑO DE CIMENTACIONES, NE-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 la Construcción NEC, y se dispone su difusión y promoción. La ejecución de las acciones pertinentes para el cumplimiento de este Acuerdo se delega a la Secretaría de Hábitat y Asentamientos humanos, en coordinación con los órganos de la Función Ejecutiva y otras entidades relacionadas (MIDUVI, 2014).

Art. 2.- Contenido. - El contenido detallado y pormenorizado de las normas que se oficializan relacionadas con la seguridad industrial, 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 de cargas no sísmicas 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 (MIDUVI, 2014).
2. **NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente:** Contiene los requerimientos técnicos y las metodologías que deben ser aplicadas para el diseño sismorresistente 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 (MIDUVI, 2014).
3. **NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras:** Se vincula con las normas NEC-SE-DS para la rehabilitación sísmica de edificaciones 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 (MIDUVI, 2014).

4. **NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones:** Contempla criterios básicos 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 (MIDUVI, 2014).
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 (MIDUVI, 2014).
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 la NEC, para lograr un comportamiento apropiado bajo condiciones de carga vertical permanente o transitoria, bajo condiciones de fuerza laterales de viento o sino y bajo estados ocasionales de fuerzas atípicas (MIDUVI, 2014).

2.4. Definición de Términos

Movimiento Sísmico: Movimiento sísmico o vibratorio que es producido por las vibraciones de la corteza terrestre de corta duración, pero de intensidad variable, que ocasionan cuantiosas pérdidas económicas en las infraestructuras, ambientales y hasta humanas.

Estructura: Se refiere a los elementos que cumplen la función de resistir el peso de una edificación el cual garantiza la estabilidad y equilibrio de la infraestructura.

Estructura de Hormigón Armado: Es un material de construcción compuesto por hormigón y barras de acero que se unen formando una estructura sólida y resistente, consta de hierro, cemento y arena el cual permite una compresión, siendo que el hierro presenta gran resistencia en la edificación.

Elementos Estructurales: Conforman los elementos que dan soporte a una edificación tales como: vigas, pilares, vigas de cimentación, losas y escaleras.

Cimientos: Son la base fundamental de una construcción que se encuentra enterrado bajo la tierra y encargados de soportar peso de todo inmueble, está formado por una estructura de hormigón armado hecha de concreto, cemento y arena. Debe tener una profundidad de 50 cm dependiendo el tipo de suelo.

Vigas de Cimentación: Son elementos estructurales de concreto armado que conectan las zapatas y los pilares de una infraestructura, su función es evitar que las zapatas se muevan en posición contraria.

Zapata: En términos de la construcción, la zapata es un elemento de hormigón el cual cumple la función de brindar estabilidad a los cimientos de una edificación, es decir, es una base que sirve como soporte entre los elementos estructurales y el terreno.

Plinto: El plinto es un elemento de la edificación de base cuadrangular y lisa sobre la cual se asientan las columnas o pilares.

Vigas: Las vigas son elementos estructurales de forma horizontal las cuales están encargadas de soportar el peso y distribuir la carga de la edificación uniformemente, proporcionando soporte y estabilidad al sistema estructural.

Escaleras: La escalera es una parte de la estructura la cual está formada por escalones que permiten enlazar los diferentes niveles de altura que se encuentran en una edificación.

Morteros de Construcción: El mortero es un elemento homogéneo que está compuesto generalmente por agua, cemento, arena u otros elementos como grava y aditivos el cual sirve para pegar el bloque o ladrillo o para realizar el revestimiento de las paredes.

Cerchas de Cubiertas: Las cerchas son estructuras en forma triangular las cuales son parte del esqueleto que sirve como soporte de una cubierta o tejado cuya función se basa en distribuir el peso que existe entre los muros y la cubierta de la edificación

Mecánica del Suelo: Se considera como una ciencia que estudia las propiedades y el comportamiento del suelo frente a tensiones o cargas de su entorno físico.

Resistencia del Hierro: El hierro es un elemento fundamental para el levantamiento estructural. Es un material flexible que está apto para soportar grandes cargas de tensión sin presentar ninguna deformación.

2.5. Sistema de Variables

Variable Independiente:

Movimiento Sísmico

Variable Dependiente:

Comportamiento de los elementos estructurales expuestos

Operacionalización de Variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica
Movimiento sísmico	Son movimientos repentinos por la liberación de energía de las placas tectónicas que generan un impacto significativo en las edificaciones construidas.	Estructural	Levantamiento del sistema estructural	Proceso de diseño y construcción del teatro	Planos estructurales
		Sísmica	Ensayo de laboratorio	• Dureza superficial del concreto • Resistencia de compresión de los elementos estructurales • Calidad del hormigón • Estado actual de los elementos estructurales	Esclerómetro

Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica
Comportamiento de los elementos estructurales expuestos	El comportamiento ayuda a verificar los elementos estructurales expuestos desde una serie de factores como el material y el tipo de construcción, el diseño estructural ante un movimiento sísmico para garantizar la seguridad de la edificación.	Físico-estructural	Modelamiento del sistema estructural del teatro	• Desplazamiento • Periodo de vibración • Torsión • Modos de vibración • Comportamiento sísmico de la estructura	Software CYPECAD
		Vulnerabilidad Estructural	Uso de programas informáticos	Medidas para reducir la vulnerabilidad estructural ante un evento sísmico	Inteligencia artificial

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel de Investigación

Para el proyecto de investigación se trabaja con los siguientes tipos de investigación: no experimental, de campo y bibliográfico documental, además cuenta con una metodología mixta basada en una integración de dos métodos cuantitativo y cualitativo sobre el tema abordado.

Investigación No Experimental: (Grajales, 2000), señala que: "cuando el investigador se limita a observar los acontecimientos sin intervenir en los mismos se desarrolla una investigación no experimental". Por lo tanto, es un estudio en el cual no se considera necesario realizar ningún tipo de experimento, sino más bien se observa los elementos estructurales que conforman el sistema edificio para luego analizarlos.

Investigación de Campo: Mediante esta investigación se determina el área de estudio mediante las visitas in situ con el objetivo de recolectar datos sobre las condiciones actuales del teatro como la información del índice de rebote del ensayo de esclerometría y las mediciones de los elementos estructurales para el diseño arquitectónico y estructural de la edificación.

Investigación Bibliográfica Documental: (Ruiz & Alvarado, 2020)**,** considera que: **"**es una de las técnicas que se encarga de recolectar, recopilar y seleccionar averiguaciones de las lecturas de documentos, revistas, libros, resultados de investigaciones, entre otros". Esta investigación permite realizar una búsqueda avanzada de fuentes secundarias para tener una visión detallada sobre información del modelamiento de una edificación ante un movimiento sísmico en artículos científicos, libros, reportes y proyectos de investigación en base a tres niveles de exploración que son internacionales, nacionales y locales.

Métodos

Método Lógico: Este método permite realizar un modelamiento de la edificación en estudio con el Software CYPECAD, con el fin de observar las características esenciales del teatro, obteniendo de esta forma el comportamiento sismorresistente.

Método Cualitativo: Según (Palacios, 2006)**,** este: "método tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno". De este modo con este método se puede determinar el funcionamiento de las características que conlleva el programa CYPECAD a través de un proceso de pasos.

(Palma et al., 2012), se base en los siguientes pasos:

- Datos Generales
- Definición de Plantas
- Introducción de Pilares
- Introducción de Vigas
- Introducción de Losa
- Añadir la Escalera
- Dibujo de la Escalera
- Cálculo de la Estructura
- Identificación y Corrección de Errores
- Obtención de Resultados

Método Cuantitativo: (Palacios, 2006), argumenta que: "este método permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la estadística". Esta investigación se realiza mediante un procedimiento de cálculo para obtener el índice de la resistencia de los

elementos estructurales del teatro con el ensayo de laboratorio (esclerómetro) y también contar con un análisis del cálculo de la acción sísmica en el programa CYPECAD.

3.2. Diseño de la Investigación

Se basa en un diseño no experimental y descriptiva, porque se busca diseñar un teatro para realizar un modelamiento y diseño estructural usando el Software CYPECAD. Se considera un diseño no experimental porque no se van alterar de manera intencional las variables del objeto de estudio y es de carácter descriptiva porque se detalla las características de los parámetros que tiene el Software para el uso de un modelo real de la edificación que se evaluará y se obtendrán datos específicos con un grado de validez mismo que serán explicados de manera técnica los resultados mediante el reporte de la estructura.

3.3. Población

Para realizar este proyecto de investigación la población está representada por una unidad de análisis que desde el punto de vista de (Azcona et al., 2013), "se la define como un tipo de objetivo delimitado por el investigador", por lo tanto, se considera al Teatro Municipal Segundo Yánez Velasco perteneciente al cantón San Miguel de Bolívar, como una edificación apta para realizar la evaluación ya que está destinado para el uso convencional para el público sanmigueleño. De este sistema edificio se consideraron elementos estructurales como son columnas, vigas, escaleras de hormigón armado y una cubierta de cerchas metálicas con eternit.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos son los siguientes:

- Aplicación de un informe de datos del ensayo de esclerometría para medir la resistencia de comprensión del hormigón armado de los elementos estructurales a ser evaluados del teatro.
- Observación directa para conocer el estado actual de los elementos estructurales del teatro.
- Diseño, modelamiento estructural del teatro y de la cubierta metálica en 3D a partir de la utilización del CYPECAD.
- Uso de softwares como el AUTOCAD, CYPECAD y CYPE 3D.

Materiales de Campo

- Esclerómetro
- Flexómetro
- Libreta de Apuntes

Recursos

- Computadoras
- AUTOCAD
- Software de modelamiento 3D: (CYPECAD y CYPE 3D)

3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Para cumplir con los tres objetivos planteados se procede a utilizar las siguientes técnicas:

Objetivo 1

Para elaborar el primer objetivo: "***Diagnosticar los elementos estructurales mediante el uso de equipos de rebote de laboratorio de mecánica de suelo***", se realiza el levantamiento de información sobre los elementos estructurales expuestos que conforman el teatro mediante la creación de los planos estructurales y arquitectónicos, luego se analiza el estado actual mediante la observación directa y la investigación de campo al sistema estructural. También se hace uso del método cuantitativo para medir la resistencia de comprensión de estos elementos con la utilización del ensayo de esclerometría y verificar si está apto para su funcionalidad.

Objetivo 2

Para desarrollar el segundo objetivo: "***Analizar el comportamiento sísmico de la estructura mediante la aplicación del software CYPECAD***", se implementa la investigación no experimental, descriptiva y bibliográfica documental, es decir también se utiliza los diferentes métodos que se basaron en dos enfoques mixtos el cualitativo y cuantitativo para desarrollar el procedimiento de los pasos a seguir para introducir en el programa, y de esta manera obtener datos válidos del modelamiento mediante el reporte obtenido tanto del comportamiento sísmico de la edificación y del uso del CYPE 3D de la estructura metálica del teatro.

Objetivo 3

Para cumplir el tercer objetivo: "***Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad físico estructural del sistema edificio ante la presencia de sismos, con el apoyo de la inteligencia artificial.***", se definen las medidas necesarias luego de obtener los resultados de las evaluaciones realizadas en el sistema estructural, aplicando el método lógico en base a la inteligencia artificial para crear estas medidas.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS

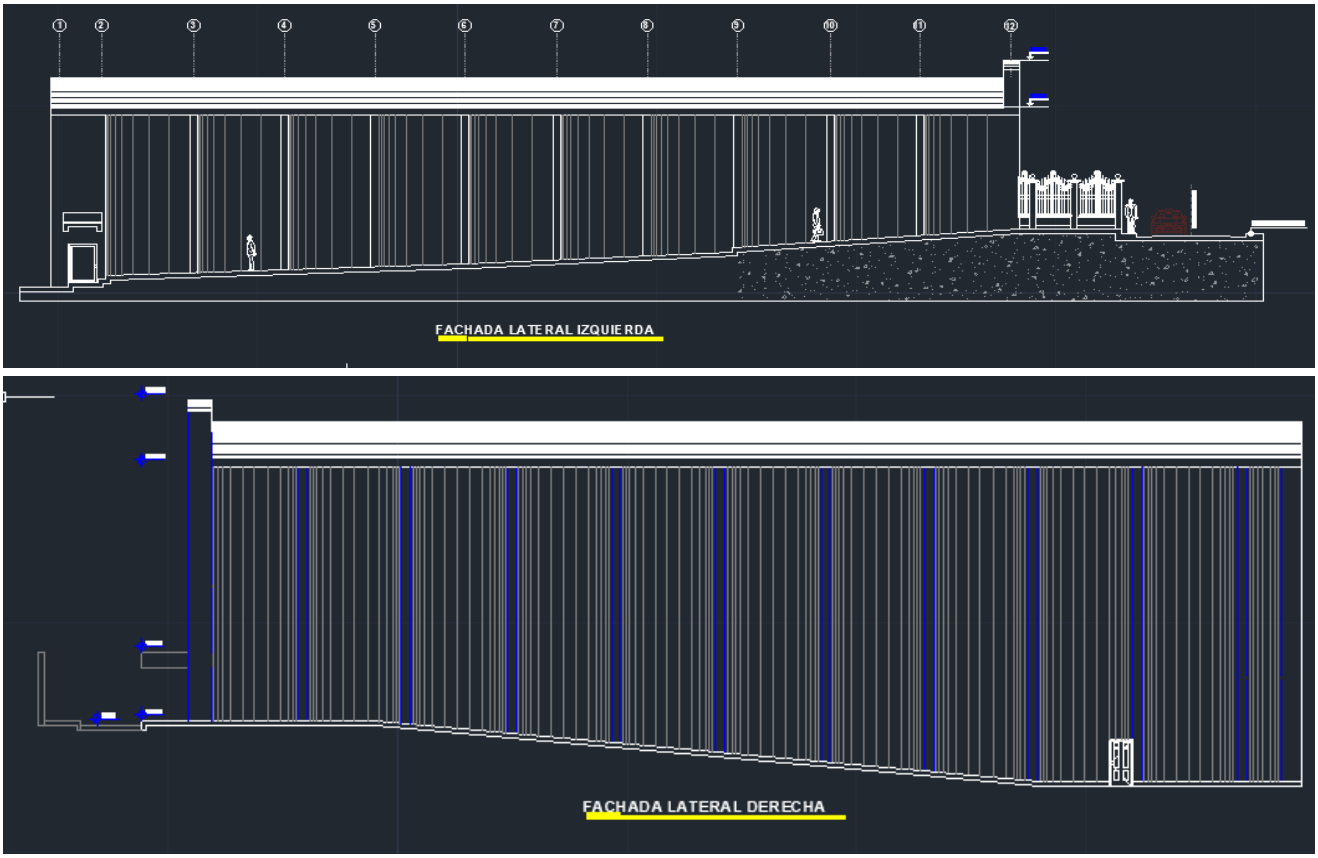
4.1. Resultado según el Objetivo 1: Diagnosticar los elementos estructurales mediante el uso de equipos de rebote de laboratorio de mecánica de suelo.

Se diseña los planos tanto arquitectónicos como estructurales mediante un levantamiento de información en el teatro para poder conocer la ubicación de cada uno de los elementos estructurales.

PLANOS ARQUITECTÓNICOS DEL TEATRO MUNICIPAL SEGUNDO YÁNEZ VELASCO

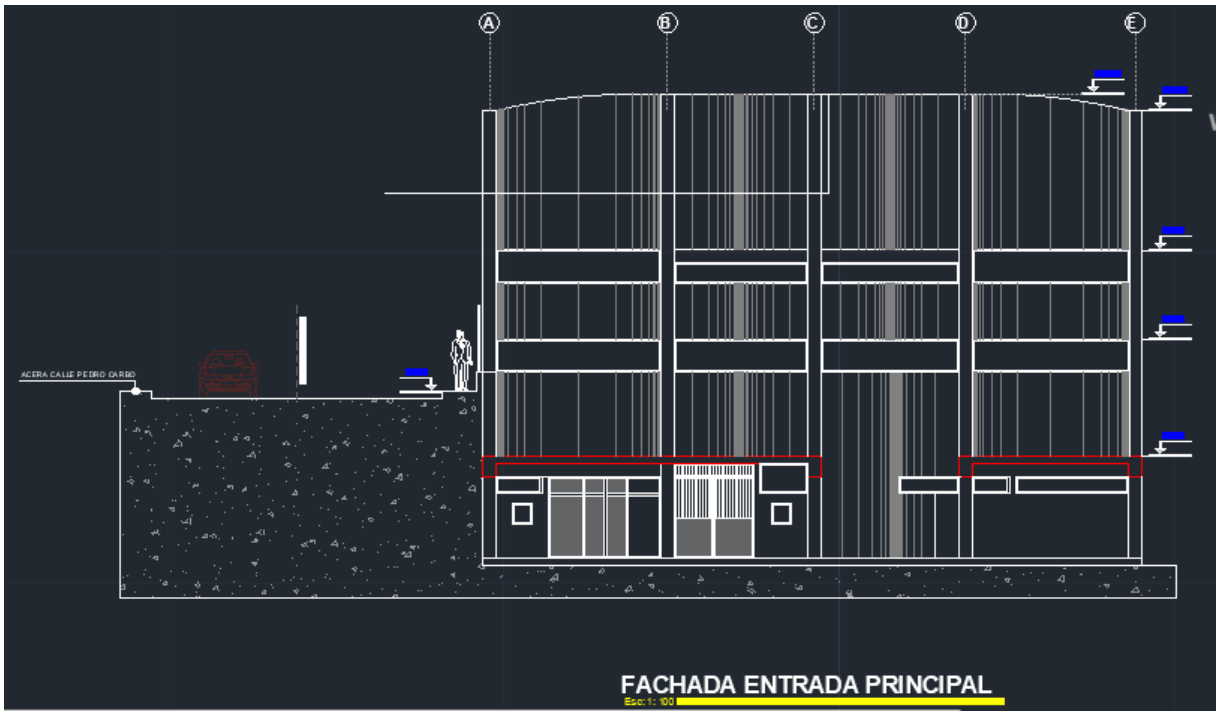
Figura 11. *Planos arquitectónicos de la fachada lateral izquierda y derecha del teatro*

Nota: *La fachada lateral izquierda muestra la distribución que tienen el teatro, elaborado por:*



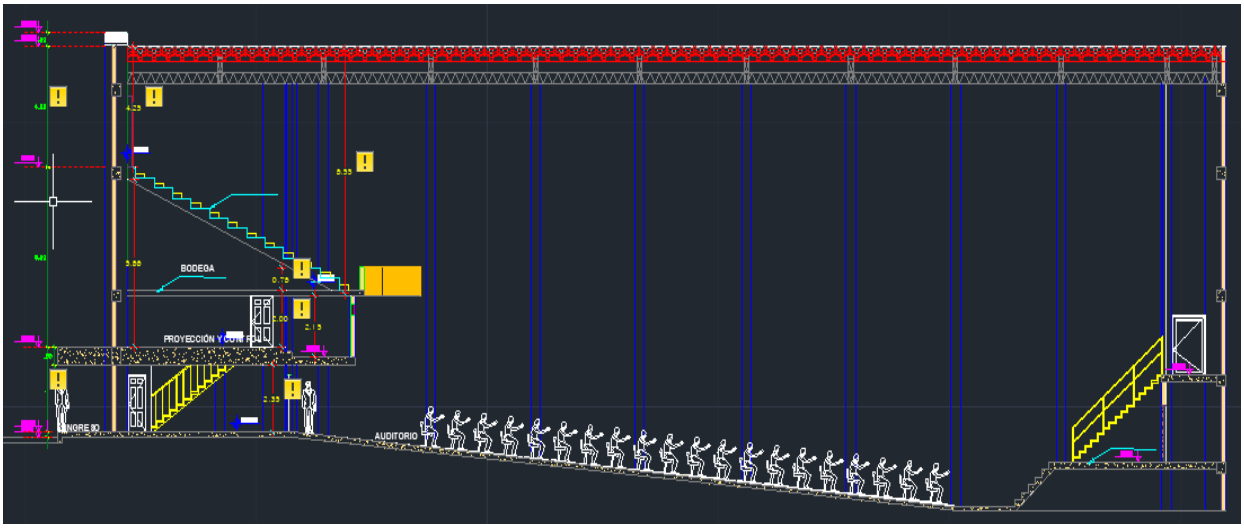
(Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024), obtenido de AUTOCAD 2022.

Figura 12. *Fachada de la entrada principal del teatro*



Nota: *El plano muestra el ingreso principal que tiene el teatro, elaborado por: (Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024), obtenido de AUTOCAD 2022.*

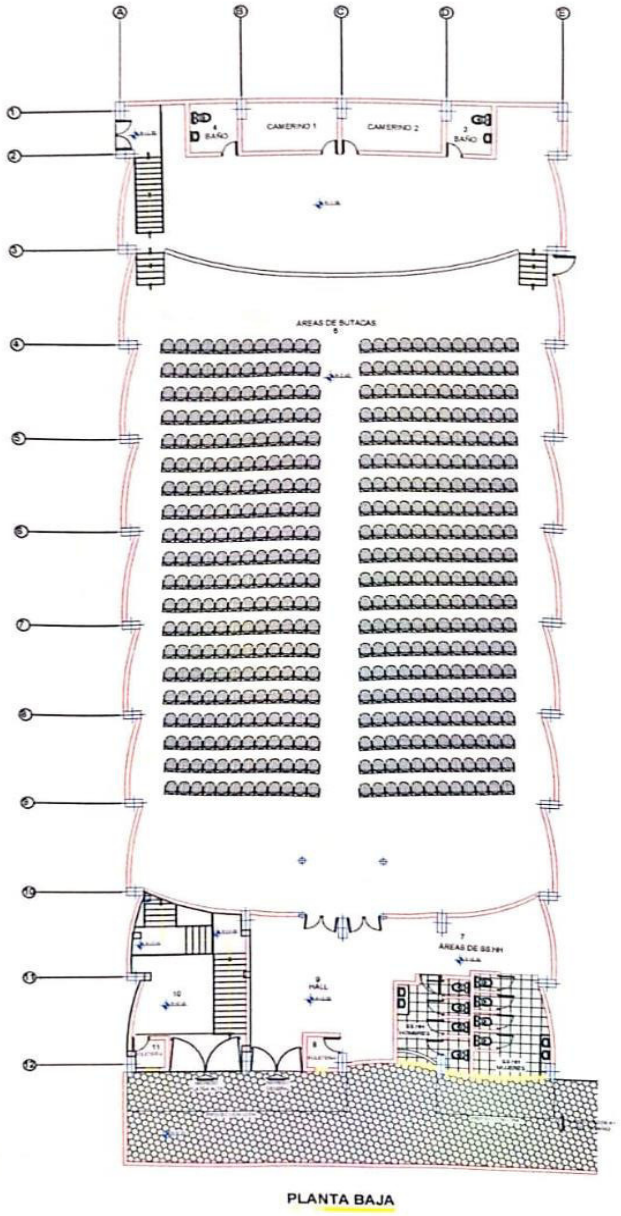
Figura 13. *Fachada frontal del teatro*



Nota: *El siguiente plano muestra como está incluido la fachada del teatro y sus diferentes niveles, elaborado por: (Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024), obtenido de AUTOCAD 2022.*

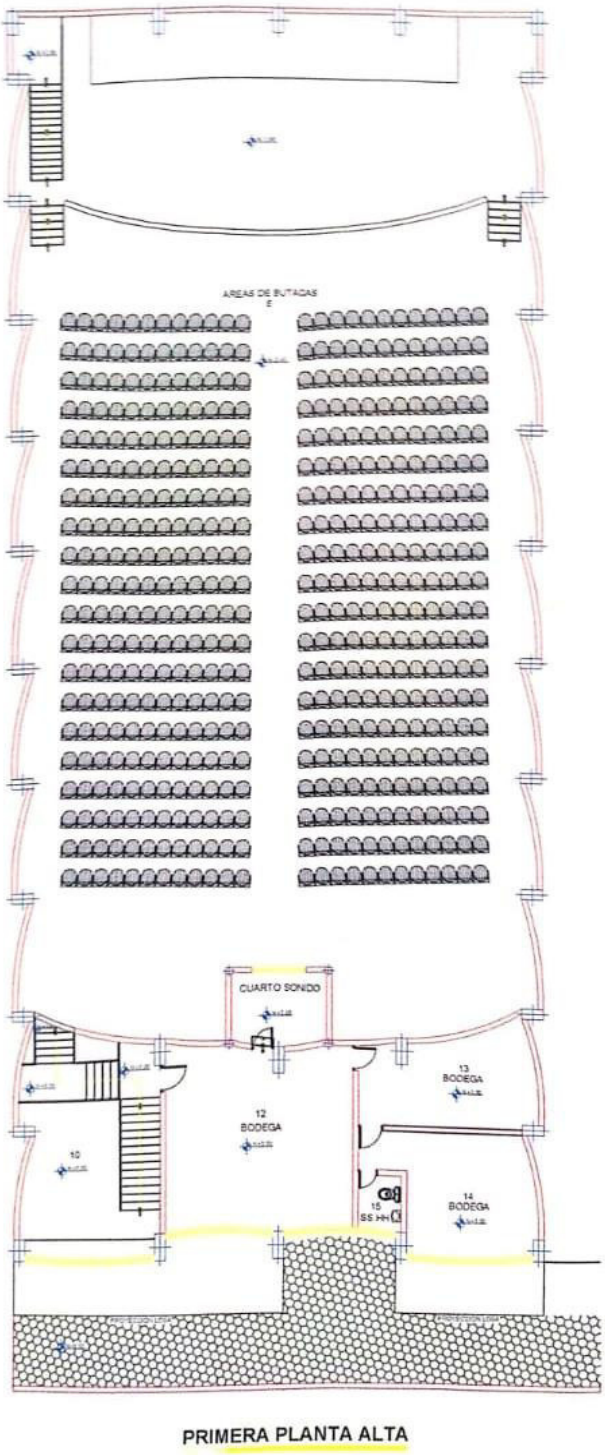
PLANOS ESTRUCTURALES DEL TEATRO MUNICIPAL SEGUNDO YÁNEZ VELASCO

Figura 14. *Planta baja del teatro*



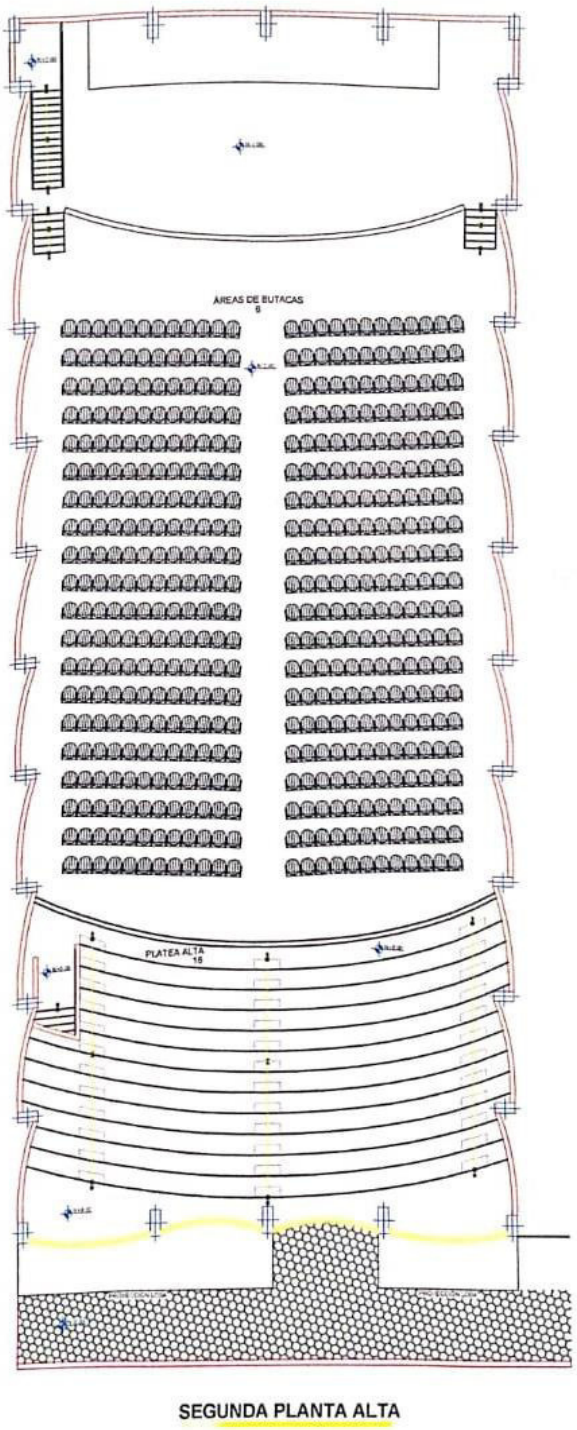
Nota: *El plano de la planta baja muestra la sala de espectadores para el público, el escenario, camerino de escena, los baños y el acceso principal al teatro, elaborado por: (Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024), obtenido de AUTOCAD 2022.*

Figura 15. *Primera planta del teatro*



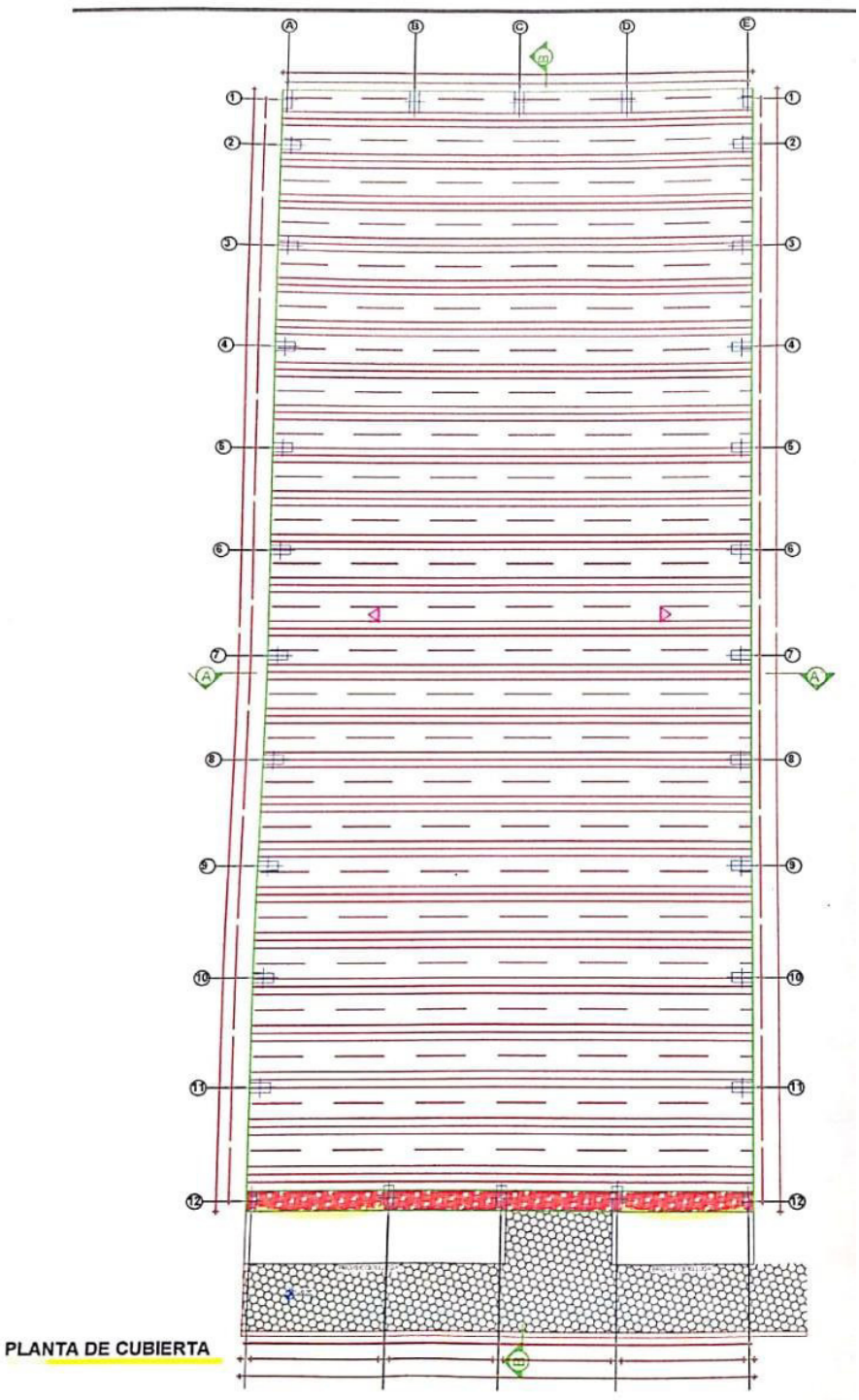
Nota: *La primera planta del teatro consta de un cuarto de sonido y la bodega como se muestra en la figura, elaborado por: (Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024), obtenido de AUTOCAD 2022.*

Figura 16. *Segunda planta alta del teatro*



Nota: *La figura muestra que en la segunda planta alta del teatro está el graderío para los espectadores, elaborado por: (Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024), obtenido de AUTOCAD 2022.*

Figura 17. *Planta de la cubierta del teatro*



Nota: *La figura muestra como está constituida la cubierta de Eternit con cerchas metálicas, elaborado por: (Pazmiño C, Lara J & Valle J, 2024).*

INFORME DE DATOS DEL ENSAYO DE LABORATORIO (ESCLERÓMETRO)

INTRODUCCIÓN

Los sucesos ocurridos por los dos sismos del 16 de abril y el 06 de septiembre del 2018 han generado afectaciones en algunas edificaciones del cantón San Miguel de Bolívar, por ello se establece realizar el ensayo del laboratorio con el esclerómetro con el fin de verificar la resistencia de los elementos que conforma el teatro y ver el estado actual debido a estos eventos mencionados. La evaluación de los elementos estructurales expuestos de hormigón armado o concreto se puede realizar mediante el uso de ensayos de laboratorio y de esta manera permitir el control de calidad de la estructura. Uno de estos ensayos se le conoce como un método no destructivo o método del esclerómetro que permite el uso del martillo para determinar la dureza del hormigón de la edificación a partir del índice de rebote.

Lo que permite el esclerómetro es obtener un valor de la resistencia de comprensión en (kg/cm^2) de los elementos mediante la implementación de las curvas de correlación. En el campo de aplicación el evaluador debe obtener 16 lecturas y el valor final, para ello se debe considerar realizar un análisis de los valores descartados del rebote y la fórmula del índice del rebote promedio para obtener solo 10 lecturas, para así poder llegar al resultado final de la resistencia según la posición en la que se empleó el esclerómetro. De acuerdo con la NEC las estructuras de hormigón armado debe tener un mínimo de resistencia de $\mathbf{210\ kg/cm^2}$ esto debido a las normas vigentes en el año en que fue construida la edificación del teatro.

LUGAR DE LOS HECHOS

A partir del día 1 de junio hasta el 14 de junio del 2024 se realiza visitas de campo con el fin de recolectar los datos de la resistencia de comprensión de los elementos estructurales

expuestos que conforman el Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco" en el cantón San Miguel de Bolívar.

Los elementos estructurales evaluados en el teatro fueron los pilares, vigas y escaleras mediante el instrumento de medición de la resistencia del hormigón (esclerómetro), donde se pudo observar que estos elementos tenían problemas de porosidad y condiciones de humedad interna debido a la edad de la edificación.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar el ensayo de laboratorio (esclerómetro) para la obtención de datos de la resistencia de comprensión de los elementos estructurales expuestos del teatro.

Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones actuales de los elementos estructurales expuestos mediante el instrumento del esclerómetro.
- Conocer el manejo del esclerómetro para la obtención del índice de rebote.
- Obtener la estimación de la resistencia de comprensión de cada elemento estructural evaluado.

MATERIALES

- Esclerómetro (Proceq)
- Piedra Abrasiva
- Flexómetro
- Libreta de Apuntes

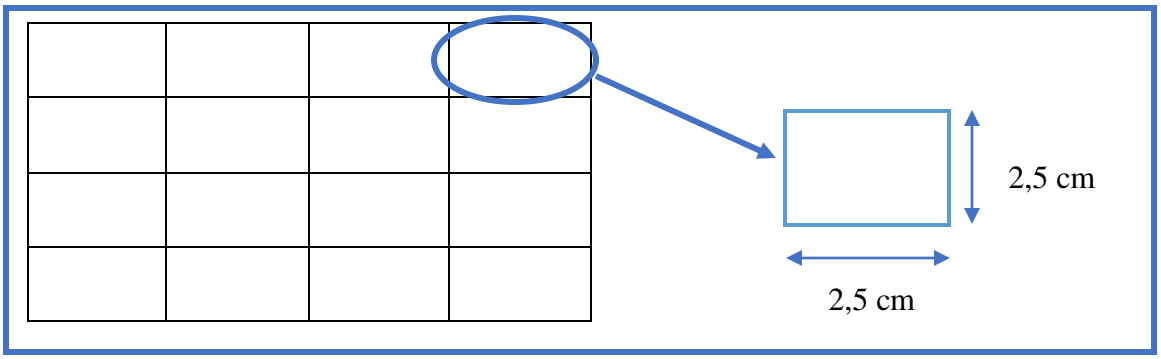
- Regla

PROCEDIMIENTO

Para determinar los datos del índice de rebote se debe seguir una serie de pasos:

1. Localización de los elementos estructurales expuestos mediante la salida de campo.
2. El elemento estructural por evaluar debe tener una superficie lisa.
3. Si el elemento estructural tiene la presencia de porosidad o humedad se utilizará la piedra abrasiva del esclerómetro para eliminar estas impurezas.
4. Se dibuja en el elemento estructural una cuadricula de 4x4 con una separación de 2,5 cm para la prueba del martillo, como se muestra a continuación:

Figura 18. *Dibujo de la cuadrícula para la prueba de martillo*



Nota: *Para dibujar la cuadrícula se debe tener en cuenta una separación de 2,5 cm y de esta manera obtener 16 puntos para la prueba del rebote, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

5. Luego se procede a realizar la prueba del martillo, por lo que se debe empujar el instrumento hacia la superficie del ensayo hasta que el martillo impacte, por consiguiente, después de que se haya dado el impacto, se debe mantener presionado el instrumento y oprimir el botón situado al costado de este para trabar en su posición retraída.
6. Se debe leer el número de rebote obtenido y se registra en el formato de obtención de datos del esclerómetro.
7. Se considera realizar 16 pruebas del rebote.

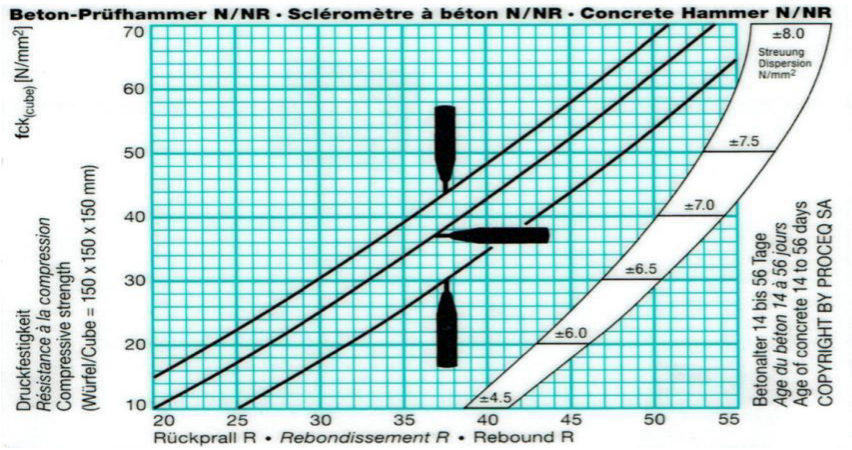
8. Se debe extraer solo 10 pruebas del rebote mediante el uso de la mediana y para obtener el valor final de la resistencia de comprensión de cada elemento a evaluar con el método de la media.
9. Para obtener el valor **f'c** (resistencia del concreto) se debe observar en la gráfica de la cuadricula.

RESULTADOS

Luego de haber obtenido los datos del índice de rebote para cada elemento estructural se procede a eliminar los datos del rebote más bajo y alto para obtener las 10 lecturas válidas.

Gráfica para calcular el f'c promedio

Figura 19. *Gráfica de la cuadricula del esclerómetro*



Nota: *La gráfica permite tener el valor final de* ***f'c*** *tomando en consideración la posición en la que se tomó la prueba del martillo*

Para el resultado final del **f'c** nos apoyamos en la curva del esclerómetro, considerando la ubicación de la prueba del martillo. El valor se obtiene en N/mm^2 y para transformar en kg/cm^2 se debe multiplicar por 10,197.

Este procedimiento se realiza para cada elemento estructural expuesto, y se tomó como ejemplo los siguientes elementos como se muestra a continuación:

PILARES

Pilar 1

Datos del Índice del Rebote

20	22	19	20.5
16.5	18	22	18.5
16.5	16.5	18	12
14	22	20	20

Parámetros de aceptación del rebote

- Valores descartados del rebote

  Datos de rebote bajos

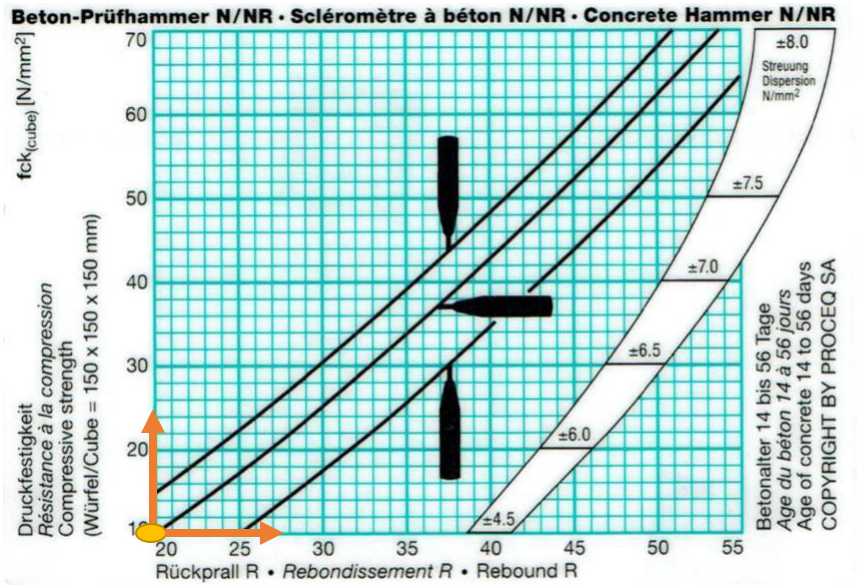
  Datos de rebote altos

- Formula del índice del rebote promedio

$$\boldsymbol{IR\ Promedio} = \frac{20 + 19 + 20{,}5 + 16{,}5 + 18 + 18{,}5 + 16{,}5 + 18 + 20 + 20}{10}$$

$$\boldsymbol{IR\ Promedio} = 18{,}7\ N/mm^2$$

Figura 20. *Cuadrícula del Pilar 1*



Nota: *Se procede a ubicar el valor obtenido de* $18{,}7\ N/mm^2$ *en la cuadricula de acuerdo a la posición horizontal del martillo para obtener el valor de la resistencia de compresión, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

Tabla 2. *Datos de la resistencia de compresión de la cuadricula del Pilar 1*

IR Promedio	$\mathbf{18{,}7\ N/mm^2}$
Resistencia de Compresión del hormigón	$10\ N/mm^2$

Nota: *En la tabla se puede observar los valores del índice de rebote promedio y el valor obtenido de la resistencia de compresión del pilar en la gráfica de la cuadricula, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

El valor final de la resistencia de compresión del pilar 1 es $\mathbf{101{,}97\ kg/cm^2}$

VIGAS

Viga 1

Datos del Índice del Rebote

24	34	34	24,5
42	46,5	42	40
36	36	16	38
38	38	28	38

Parámetros de aceptación del rebote

- Valores descartados del rebote

Datos de rebote bajos

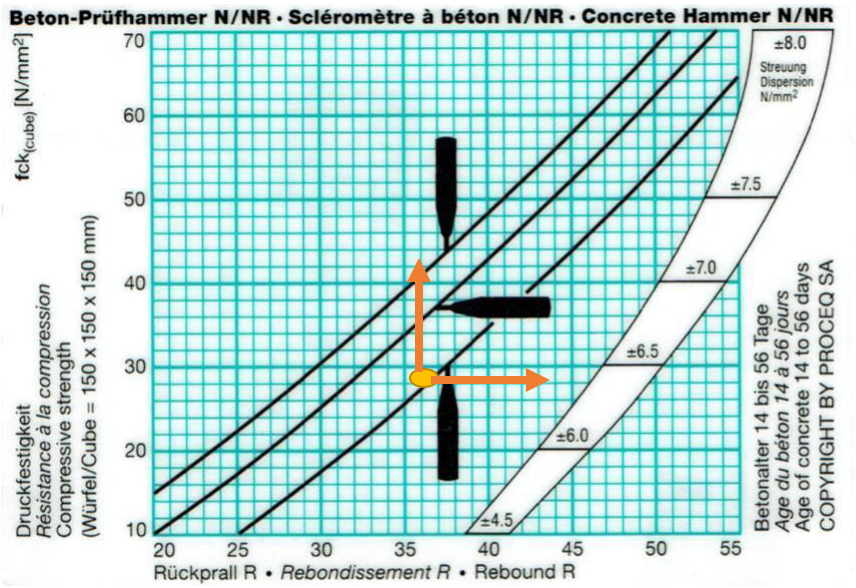
Datos de rebote altos

- Formula del índice del rebote promedio

$$\boldsymbol{IR\ Promedio} = \frac{34 + 34 + 24{,}5 + 46{,}5 + 36 + 36 + 38 + 38 + 38 + 38}{10}$$

$$\boldsymbol{IR\ Promedio} = 36{,}3\ N/mm^2$$

Figura 21. *Cuadrícula de la Viga 1*



Nota: *Se procede a ubicar el valor obtenido de* $36{,}3\ N/mm^2$ *en la cuadricula de acuerdo a la posición horizontal del martillo para obtener el valor de la resistencia de compresión.*

Tabla 3. *Datos de la resistencia de compresión de la cuadricula de la Viga*

IR Promedio	$\mathbf{36,3\ N/mm^2}$
Resistencia de Compresión del hormigón	$28\ N/mm^2$

Nota: *En la tabla se puede observar los valores del índice de rebote promedio y el valor obtenido de la resistencia de compresión de la Viga en la gráfica de la cuadricula, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

El valor final del índice de rebote del Viga 1 es $\mathbf{285,52\ kg/cm^2}$

ESCALERAS

Escalera 1

Datos del Índice del Rebote

24	20	24	22
27	14	16	19
16	29	28	20
12	22	20	20

Parámetros de aceptación del rebote

- Valores descartados del rebote

  Datos de rebote bajos

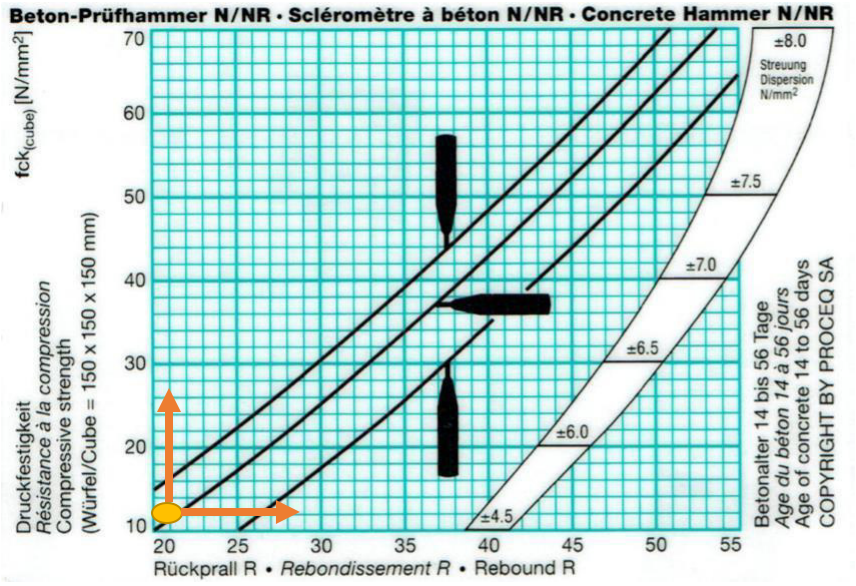
  Datos de rebote altos

- Formula del índice del rebote promedio

$$\boldsymbol{IR\ Promedio} = \frac{24 + 20 + 24 + 22 + 19 + 16 + 20 + 22 + 20 + 20}{10}$$

$$\boldsymbol{IR\ Promedio} = 21\ N/mm^2$$

Figura 22. *Cuadrícula de la Escalera 1*



Nota: *Se procede a ubicar el valor obtenido de* $21\ N/mm^2$ *en la cuadricula de acuerdo a la posición horizontal del martillo para obtener el valor de la resistencia de compresión.*

Tabla 4. *Datos de la resistencia de compresión de la cuadrícula de la Escalera*

IR Promedio	$21\ \boldsymbol{N/mm^2}$
Resistencia de Compresión del hormigón	$12\ N/mm^2$

Nota: *En la tabla se puede observar los valores del índice de rebote promedio y el valor obtenido de la resistencia de compresión de la Escalera en la gráfica de la cuadrícula, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

El valor final del índice de rebote del Escalera 1 es $\boldsymbol{122{,}36\ kg/cm^2}$

Tabla 5. *Hoja de cálculo del Esclerómetro*

ELEMENTO ESTRUCTURAL EXPUESTO	NOMENCLATURA	POSICIÓN DEL MARTILLO DE REBOTE	f'c (N/mm2)	f'c (kg/cm2)	PROMEDIO	ACEPTACIÓN DEL ENSAYO
Pilares	**P1**	Horizontal	10	**101,97**	**201,86**	**NO ACEPTADO**
	P2	Horizontal	19	**193,74**		
	P3	Horizontal	23	**234,53**		
	P4	Horizontal	20	**203,94**		
	P5	Horizontal	20	**203,94**		
	P6	Horizontal	24,5	**249,83**		
	P7	Horizontal	22	**224,33**		
	P8	Horizontal	23	**234,53**		
	P9	Horizontal	27	**275,32**		
	P10	Horizontal	23	**234,53**		
	P11	Horizontal	18	**183,55**		
	P12	Horizontal	16	**163,15**		
	P13	Horizontal	19	**193,74**		
	P14	Horizontal	19	**193,74**		
	P15	Horizontal	18	**183,55**		
	P16	Horizontal	19	**193,74**		
	P17	Horizontal	21	**214,14**		
	P18	Horizontal	19	**193,74**		
	P19	Horizontal	18	**183,55**		
	P20	Horizontal	26	**263,30**		
	P21	Horizontal	21	**214,14**		
	P22	Horizontal	20	**203,94**		
	P23	Horizontal	17	**173,35**		

	P24	Horizontal	15,5	**158,56**		
	P25	Horizontal	21	**214,14**		
	P26	Horizontal	18	**183,55**		
	P27	Horizontal	19	**193,74**		
	P28	Horizontal	20	**203,94**		
	P29	Horizontal	19	**193,74**		
	P30	Horizontal	19	**193,74**		
Vigas	**V1**	Horizontal	28	**285,52**	**221,58**	**ACEPTABLE**
	V2	Horizontal	20,5	**209,04**		
	V3	Horizontal	18	**183,55**		
	V4	Horizontal	21	**214,14**		
	V5	Horizontal	21,5	**219,24**		
	V6	Horizontal	22	**224,33**		
	V7	Horizontal	20	**203,94**		
	V8	Horizontal	22	**224,33**		
	V9	Horizontal	21,5	**219,23**		
	V10	Horizontal	24	**244,72**		
	V11	Horizontal	23,5	**239,63**		
	V12	Horizontal	20,5	**209,04**		
	V13	Horizontal	18	**183,55**		
	V14	Horizontal	21	**214,14**		
	V15	Horizontal	21,5	**219,24**		
	V16	Horizontal	22	**224,33**		
	V17	Horizontal	20	**203,94**		
	V18	Horizontal	22	**224,33**		
	V19	Horizontal	24	**244,72**		
	V20	Horizontal	20	**203,94**		
	V21	Horizontal	21	**214,14**		

	V22	Horizontal	23,5	**239,63**		
	V23	Horizontal	21	**214,14**		
	V24	Horizontal	18,5	**190,65**		
	V25	Horizontal	21,5	**219,24**		
	V26	Horizontal	21	**214,14**		
	V27	Horizontal	22	**224,33**		
	V28	Horizontal	20	**203,94**		
	V29	Horizontal	22	**224,33**		
	V30	Horizontal	21	**214,14**		
	V31	Horizontal	21	**214,14**		
	V32	Horizontal	21	**214,14**		
	V33	Horizontal	21	**214,14**		
	V34	Horizontal	20	**203,94**		
	V35	Horizontal	20	**203,94**		
	V36	Horizontal	21	**214,14**		
	V37	Horizontal	21	**214,14**		
	V38	Horizontal	21	**214,14**		
	V39	Horizontal	23,5	**239,63**		
	V40	Horizontal	20,5	**209,04**		
	V41	Horizontal	19	**193,74**		
	V42	Horizontal	22	**224,33**		
	V43	Horizontal	21,5	**219,24**		
	V44	Horizontal	20	**203,94**		
	V45	Horizontal	20	**203,94**		
	V46	Horizontal	21	**214,13**		
	V47	Horizontal	22	**224,33**		
	V48	Horizontal	25	**254,93**		
	V49	Horizontal	24	**244,77**		

	V50	Horizontal	23,5	**239,63**		
	V51	Horizontal	20,5	**209,04**		
	V52	Horizontal	19	**193,74**		
	V53	Horizontal	23	**234,53**		
	V54	Horizontal	21,5	**219,24**		
	V55	Horizontal	24	**245**		
	V56	Horizontal	20	**203,94**		
	V57	Horizontal	22	**224,33**		
	V58	Horizontal	21	**214,14**		
	V59	Horizontal	21	**214,14**		
	V60	Horizontal	21	**214,14**		
	V61	Horizontal	21	**214,14**		
	V62	Horizontal	23,5	**239,63**		
	V63	Horizontal	20,5	**209,04**		
	V64	Horizontal	19	**193,74**		
	V65	Horizontal	22	**224,33**		
	V66	Horizontal	21,5	**219,24**		
	V67	Horizontal	22	**224,33**		
	V68	Horizontal	20	**203,94**		
	V69	Horizontal	22	**224,33**		
	V70	Horizontal	22	**224,33**		
	V71	Horizontal	22	**224,33**		
	V72	Horizontal	23,5	**239,63**		
	V73	Horizontal	20,5	**209,04**		
	V74	Vertical	24	**244,73**		
	V75	Vertical	36	**367,09**		
	V76	Vertical	26	**265,12**		
	V77	Vertical	24	**244,73**		

Escaleras	**E1**	Horizontal	12	**122,36**	**214,14**	**ACEPTABLE**
	E2	Horizontal	30	**305,91**		

Nota: *En la tabla de hoja de cálculo se realizó un resumen sobre los datos obtenidos de los elementos estructurales evaluados donde se puede observar la nomenclatura, la posición del martillo, el valor obtenido de la cuadrícula del esclerómetro para tener un valor final de la resistencia del concreto y determinar si están dentro de los rangos de la NEC, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la hoja de cálculo se puede demostrar que para los datos del índice de rebote en los pilares se puede observar que la mayoría no cumplen con el requerimiento del valor establecido de **210** $\boldsymbol{kg/cm^2}$ en la NEC, dándonos un valor en los pilares evaluados de **201,86** $\boldsymbol{kg/cm^2}$, en las vigas se considera un valor aceptable de **221,58** $\boldsymbol{kg/cm^2}$ y en las escaleras un valor de $\boldsymbol{214,14\ kg/cm^2}$ lo que quiere decir que si cumplen o que si están dentro de los rangos de aceptación.
- No existe continuidad de las vigas lo que provoca que durante un movimiento sísmico genere un desplazamiento del teatro presentando inestabilidad estructural, por lo que también la edificación necesita un reforzamiento de los pilares debido a que los mismos no están aptos para dar soporte al sistema edificio.
- La estructura presenta un alto grado de vulnerabilidad ya que los pilares, que son la base fundamental de la edificación, presentan un rango bajo de soporte a causa del humedecimiento y porosidad.

RECOMENDACIONES

- Se debe revisar la estructura del teatro por un especialista para realizar un reforzamiento de la estructura debido a que los pilares tienen problemas de porosidad y humedad lo que le hace vulnerable a sufrir daños posteriores ante la presencia de un sismo.
- Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de los elementos expuestos del sistema edificio para así determinar si esta apta para remodelar el teatro o a su vez darle otro funcionamiento.

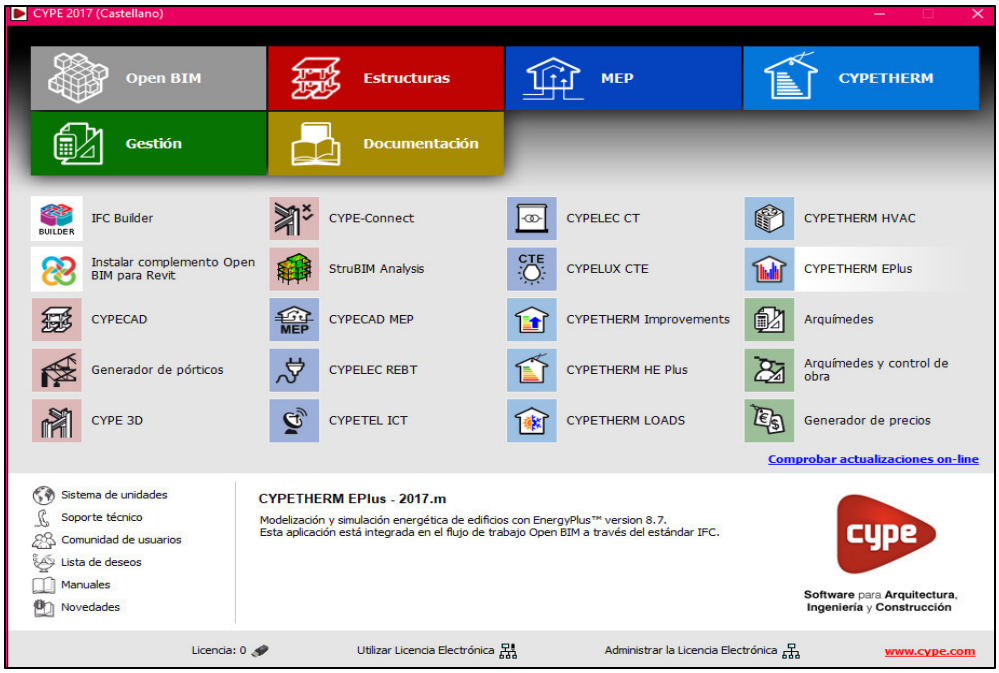
- Se recomienda que el evaluador tenga un previo conocimiento sobre el manejo del esclerómetro para obtener el índice de rebote.

4.2. Resultado según el Objetivo 2: Analizar el comportamiento sísmico de la estructura mediante la aplicación del software CYPECAD.

CYPECAD

Luego de haber creado los planos arquitectónicos y estructurales del teatro, se procedió a realizar el comportamiento sísmico mediante el CYPECAD versión 2017, por consiguiente, se importó los planos del AUTOCAD hacia el programa como se muestra en la figura 14,15 y 16, lo que se pretende realizar con este software es modelar toda la estructura del teatro en 3D y de esta manera analizar la vulnerabilidad estructural de la misma mediante los reportes obtenidos que arroja el programa utilizado.

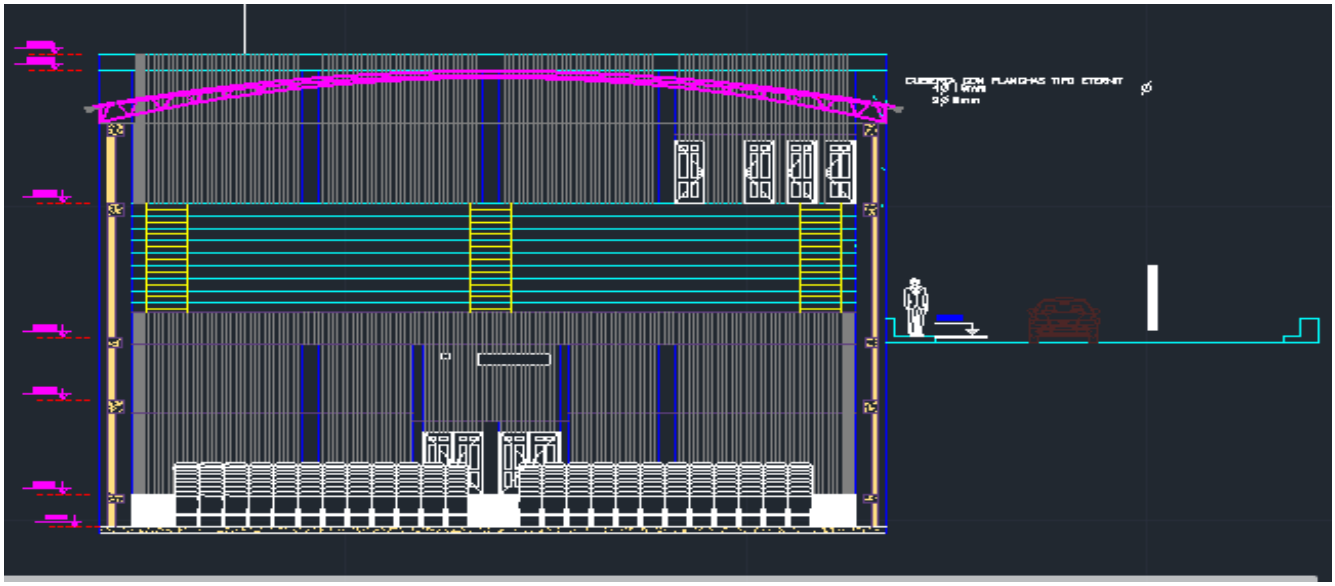
Figura 23. *Versión del Software CYPECAD*



Nota: *En esta figura se muestra la versión 2017 que se utilizó para realizar el comportamiento de la estructura en el software CYPECAD, obtenido de cype 2017.*

Configuración Estructural

Figura 24. *Vista del Teatro en AUTOCAD*



Nota: *La siguiente figura muestra fachada de acceso principal y los niveles del teatro desde la cimentación hasta la cubierta, obtenido de AUTOCAD versión 2018.*

El Teatro es un espacio arquitectónico que está localizado en el cantón San Miguel de Bolívar, para desarrollar en el programa CYPECAD esta edificación consta de 10 niveles; Nivel+0.18 que corresponde a la planta baja, Nivel+1.06 donde se ubica el escenario y camerinos, Nivel+2 donde se encuentra la puerta trasera, Nivel+3.10 losa de entrepiso, Nivel+3.90 y Nivel+5.00 son como complemento para que coincidan con la grada del graderío, Nivel+6.60 está la losa del graderío, Nivel+9.30 se realiza para tener un desnivel de los pilares, Nivel+11.55 donde inicia las vigas inclinadas bajo la losa del graderío, Nivel+13.55 es la parte alta donde finaliza las vigas inclinadas bajo la losa del graderío y finalmente el Nivel+14.05 donde se asienta la cubierta metálica. El teatro tiene una altura de 14.05m, su estructura es de hormigón armado y cubierta de eternit ondulado con cerchas metálicas.

Para cumplir con este objetivo se utilizó el siguiente procedimiento:

1. Datos Generales

En los datos generales del teatro se muestra una ventana para generar un nuevo proyecto e introducir el nombre:

Proyecto: Comportamiento del Teatro Municipal Segundo Yánez Velasco

Norma: ACI 318M-08, AISI S100-2007

En esta ventana también el tipo de hormigón y los valores obtenidos de la resistencia aplicado con el ensayo de esclerometría:

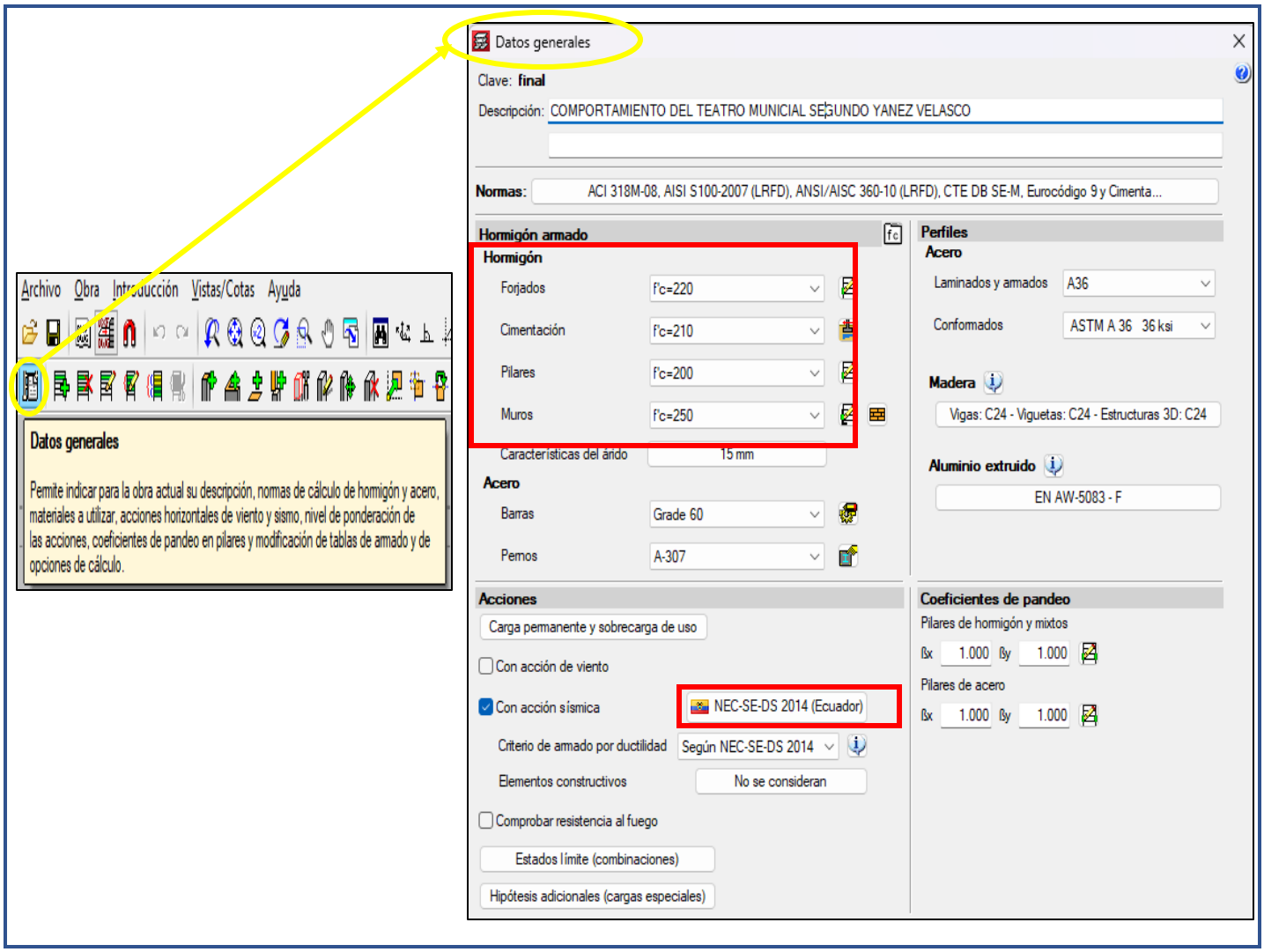
Tabla 6. *Propiedades del hormigón para el análisis del modelado estructural*

Elemento Estructural	Valor de la Resistencia
Forjados	220
Cimentación	210
Pilares	200
Muros	250

Nota: *En esta tabla se muestra las propiedades del hormigón y el valor de resistencia que tiene el elemento estructural del teatro, elaborado por: (Lara J & Valle J, 2024).*

Otro de los aspectos que se considera son los lineamientos establecidos por la NEC, datos que son de relevancia para el análisis de los resultados finales.

Figura 25. *Pestaña de la ventana de datos generales del programa CYPECAD*

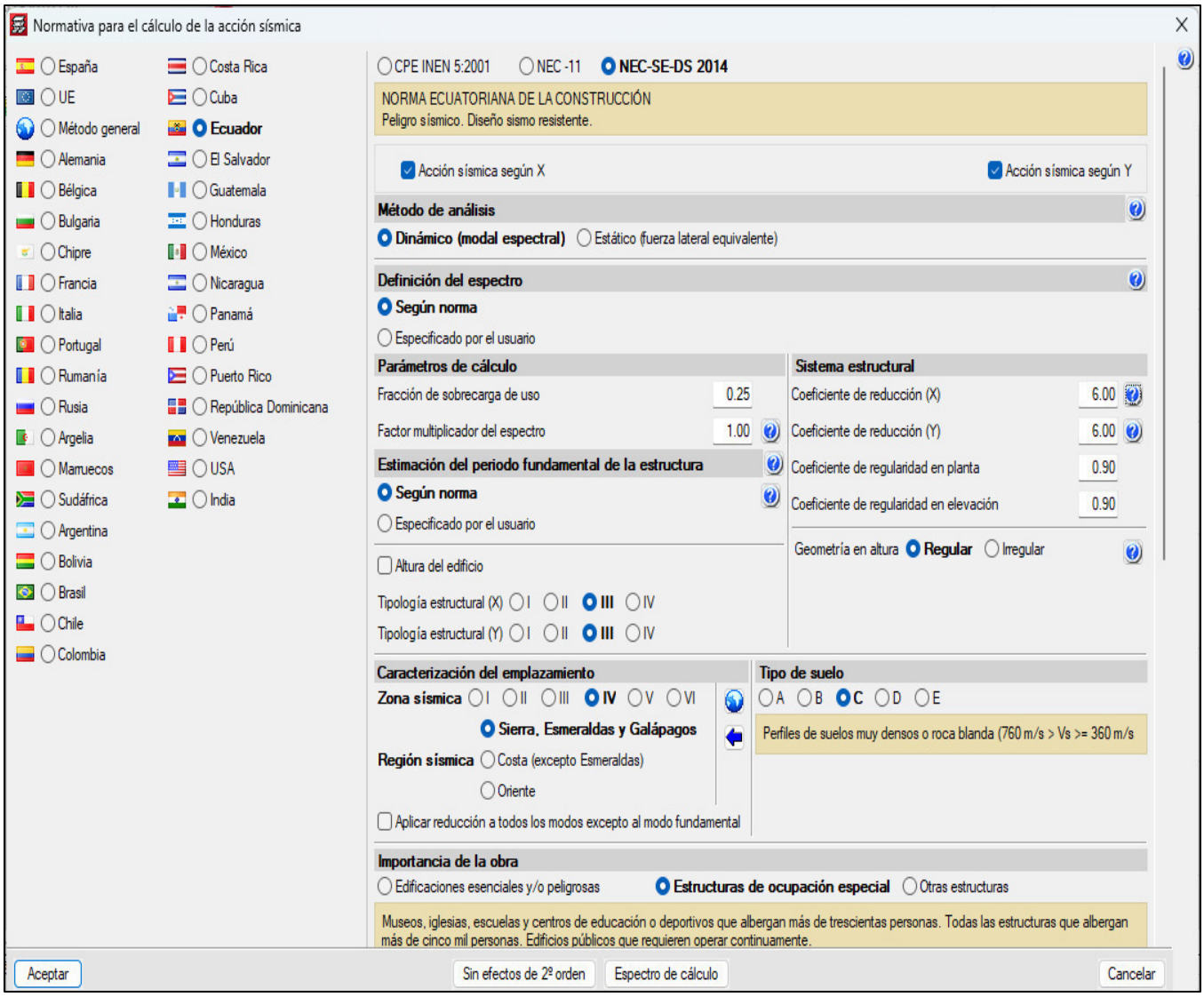


Nota: *La figura muestra la ventana para ingresar los datos generales del teatro, los materiales y las acciones del sismo, obtenido de: cype, 2017.*

Datos de la acción sísmica

El programa considera las normas de la NEC-SE-DS 2014 que tiene que ver con el Peligro sísmico y diseño sismo resistente que considera diferentes parámetros para obtener el cálculo de la acción sísmica del teatro.

Figura 26. *Normativa para el cálculo de la acción sísmica*



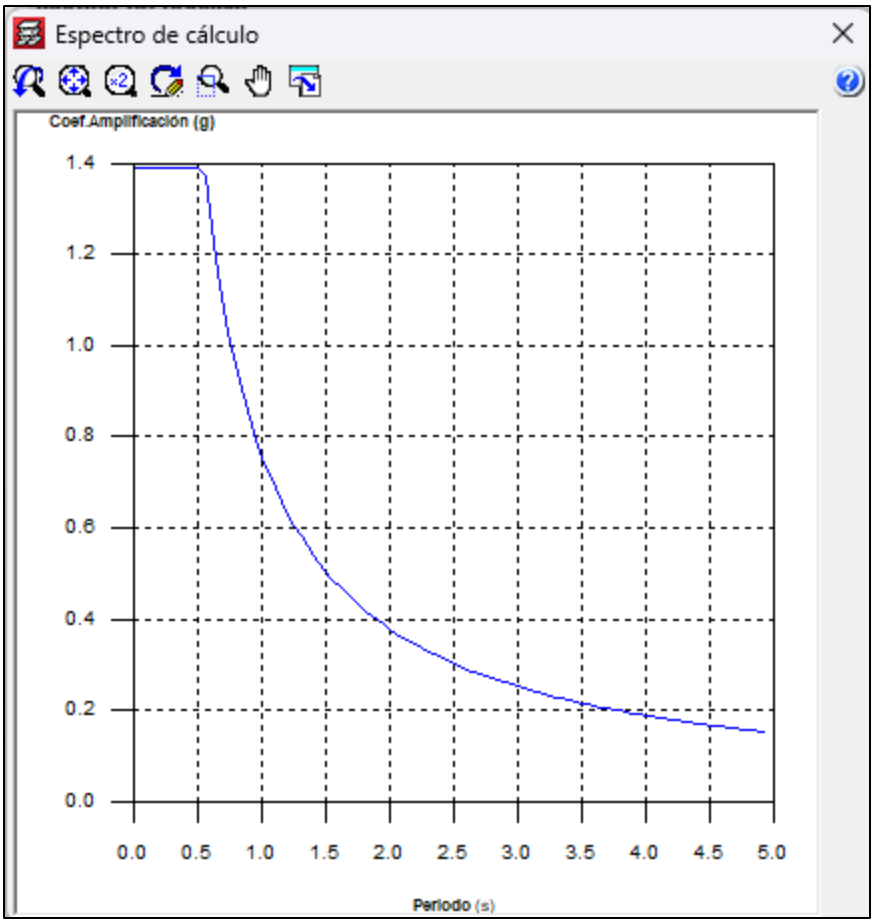
Nota: *La figura muestra una ventana que conlleva los parámetros utilizados según la normativa de la NEC 2104 del peligro sísmico y diseño sismorresistente, obtenido de: cype, 2017.*

Parámetros que ayudan a definir el espectro de diseño sísmico

Norma considerada:	NEC-SD-DS (2014)- Peligro sismico y diseño sismoresistente
Método de análisis:	Dinámico modal espectral con acción sísmica en X y Y
Sistema estructural:	
Coeficiente de reducción en X y Y	6
Coeficiente de irregularidad en planta	0.90
Coeficiente de irregularidad en elevación	0.90
Geometría del teatro	Regular
Tipología estructural:	Pórticos de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras (III)
Zona sísmica:	IV
Tipo de suelo:	C (suelos muy densos o roca blanda)
Altura del edificio:	14.05 m
Importancia del teatro:	Estructuras de ocupación especial (Se considera a los museos, iglesias, centros de educación o deportivos, aquellos que albergan más de 300 personas)

Todos estos parámetros nos ayudan a definir el espectro de cálculo que es una representación gráfica que refleja la reacción de la estructura ante la vibración del suelo durante un sismo:

Figura 27. *Espectro de cálculo en el programa CYPECAD*

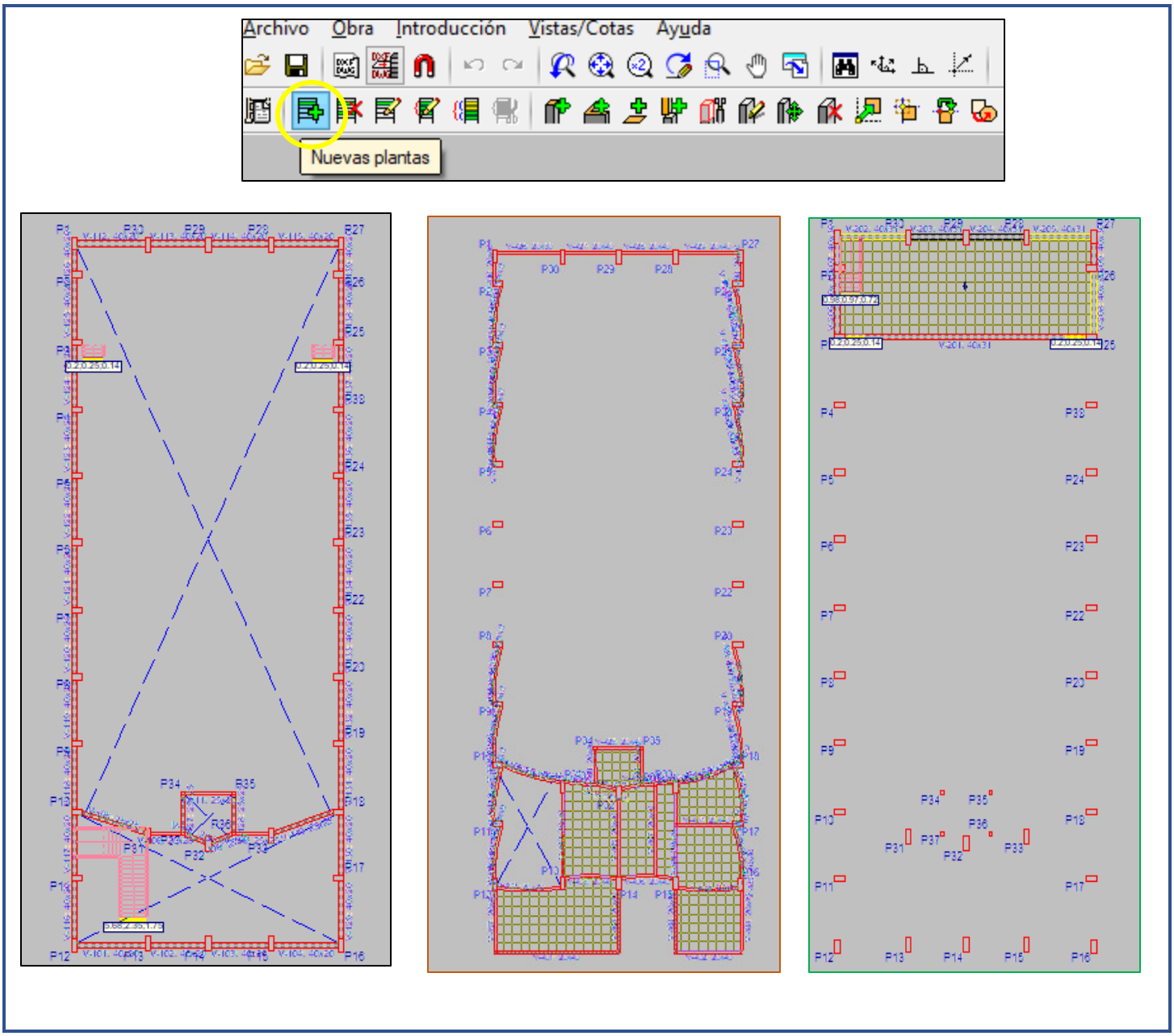


Nota: *El espectro de diseño muestra el coeficiente de amplificación (g) que es la energía de impacto que tiene la estructura y el periodo de tiempo de la ocurrencia de un sismo, obtenido de: cype 2017.*

2. Definición de Plantas

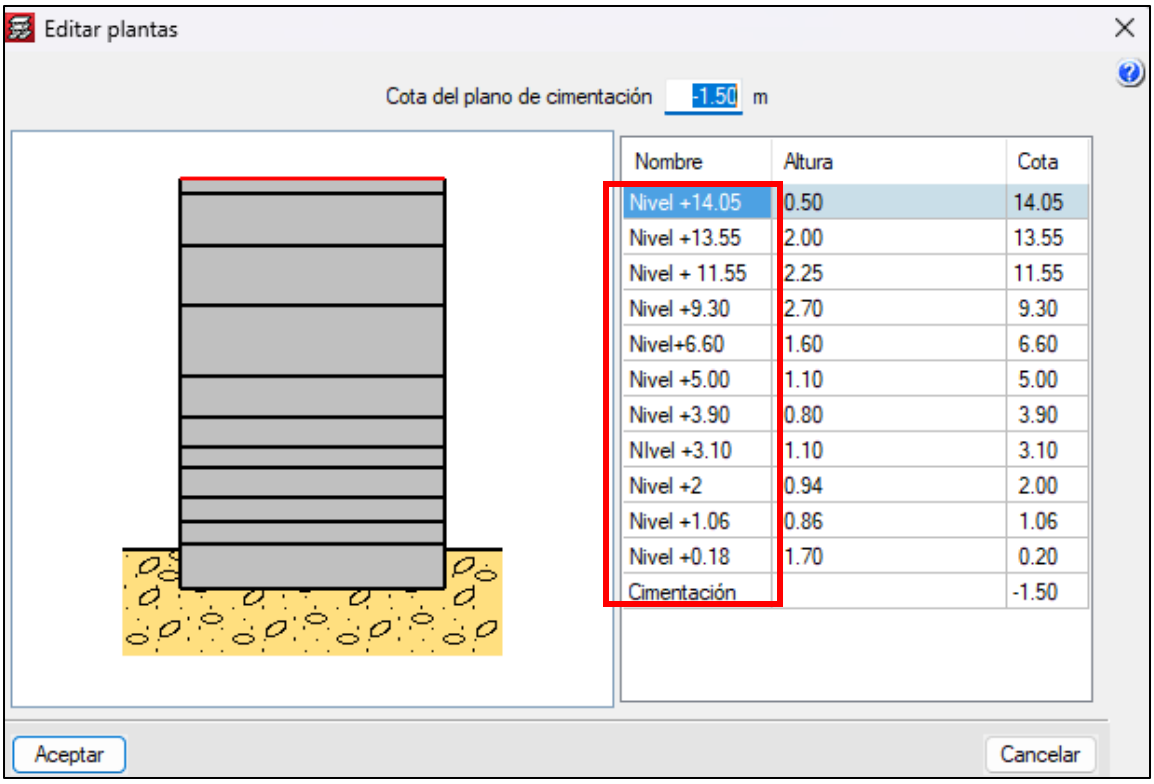
Para crear las plantas se debe crear mediante el icono como se muestra en la figura 28 (nuevas plantas) para crear todas las plantas del teatro con su respectiva altura en metros y cargas correspondientes. Primero se ingresa la altura que tiene la edificación y el número de pisos o niveles e incluso se incluye el valor de la cimentación que es la profundidad del subsuelo de 1.50 m.

Figura 28. *Ingreso de las plantas*



Nota: *La figura nos muestra la pestaña para el ingreso de datos de las plantas en el programa CYPECAD, obtenido de cype 2017.*

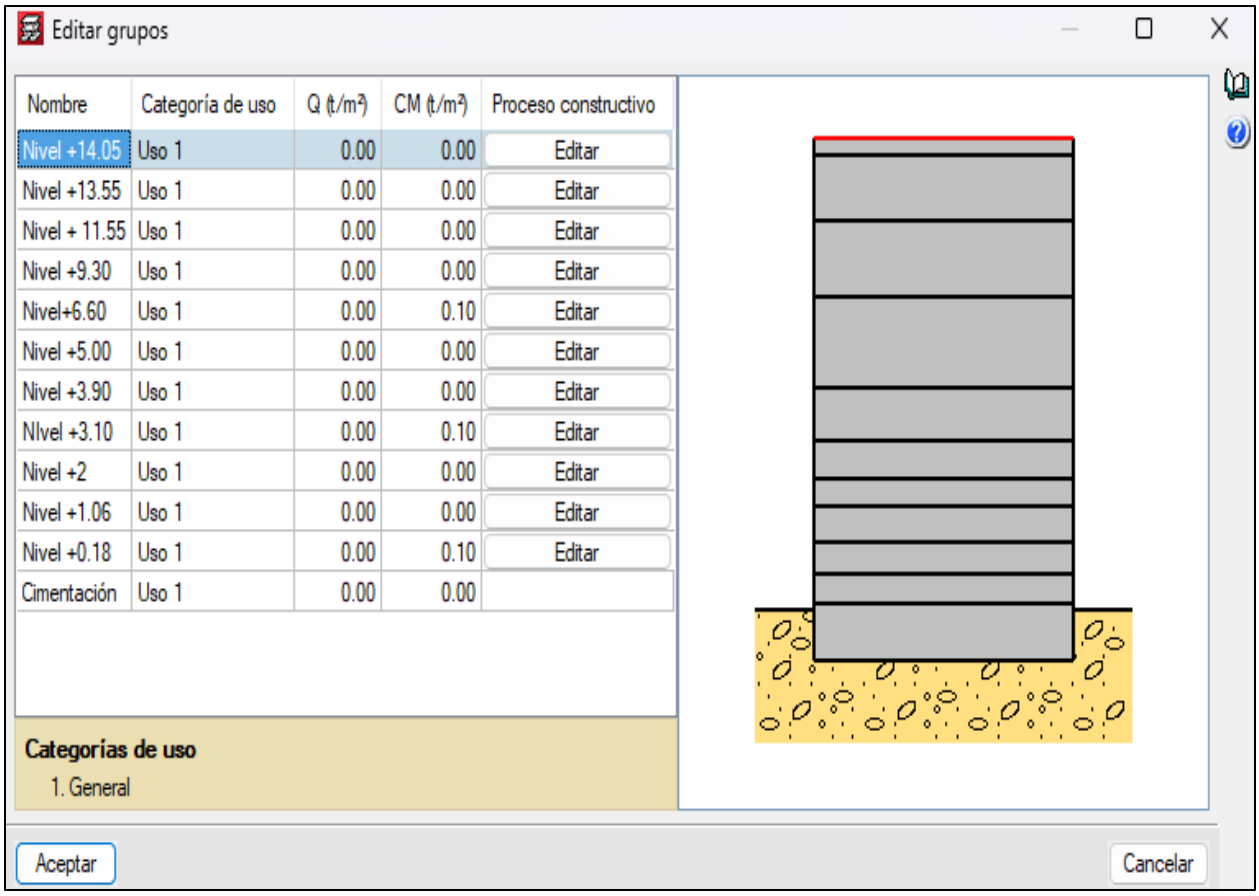
Figura 29. *Definición de las plantas*



Nota: *La figura nos muestra todas las plantas que se ingresaron para tener a detalle cómo está conformado el teatro con su respectiva altura y cota, obtenido de cype 2017.*

Para introducir las cargas del teatro se escoge la opción de (editar grupos) para poder poner las cargas necesarias que actúan sobre la edificación, las normas NEC y el programa considera dos cargas: cargas muertas (peso propio y los materiales del teatro) y carga viva (capacidad de personas que tiene el teatro), esto nos ayudó a determinar el análisis de las cargas definidas en el programa.

Figura 30. *Introducción de las cargas a cada una de las plantas del teatro*



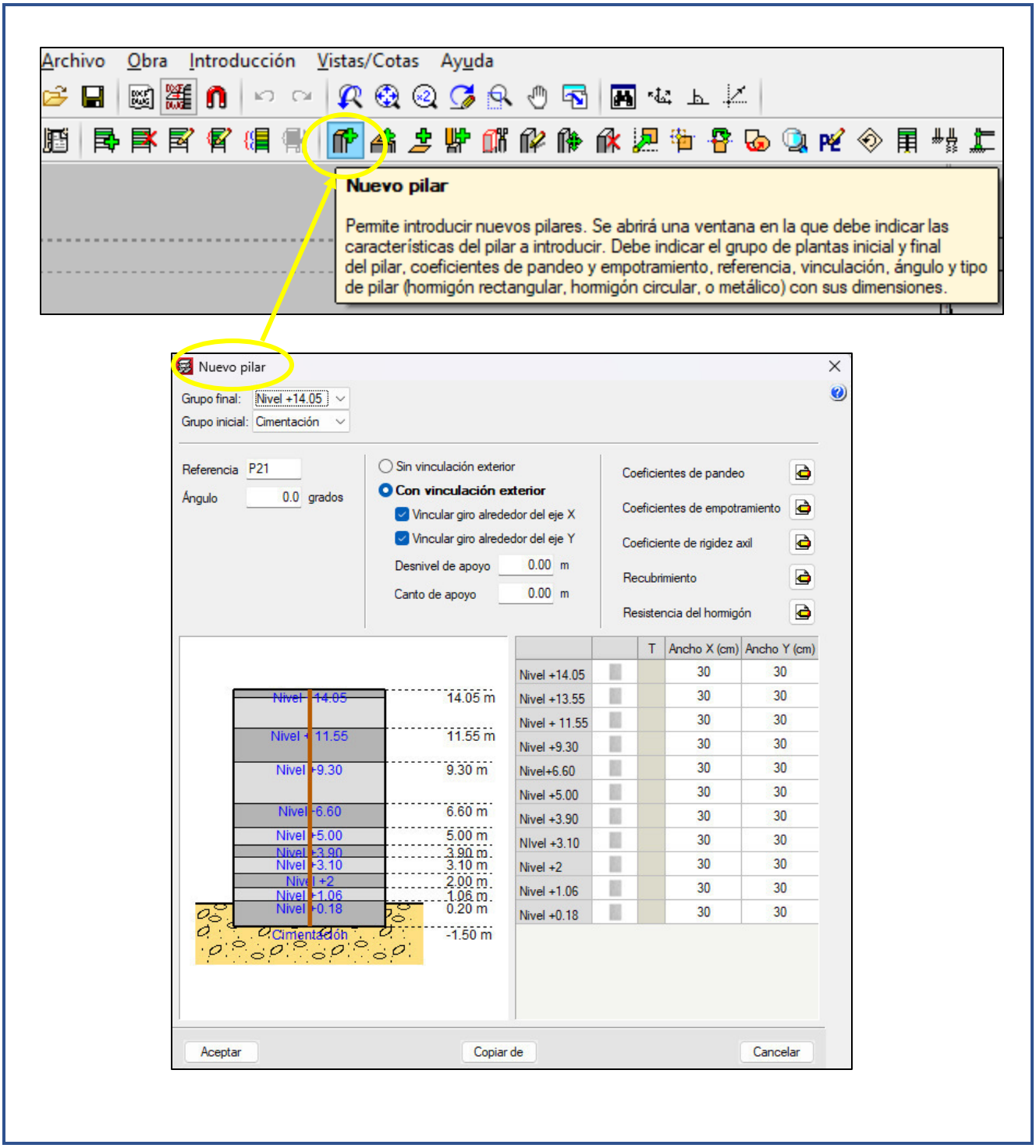
Nota: *La siguiente figura muestra las cargas que se han puesto solo en el Nivel+0.18, Nivel+3.10, Nivel+6.60, obtenido de cype 2017.*

3. Introducción de Pilares

Los pilares son los elementos estructurales verticales que tiene el teatro, se procede añadir y crear los pilares sobre la plantilla importada del AUTOCAD, mediante la opción (nuevo pilar) para poder añadir cada uno de los pilares que tiene la edificación teniendo en cuenta las medidas del ancho y altura en este caso de 30x30.

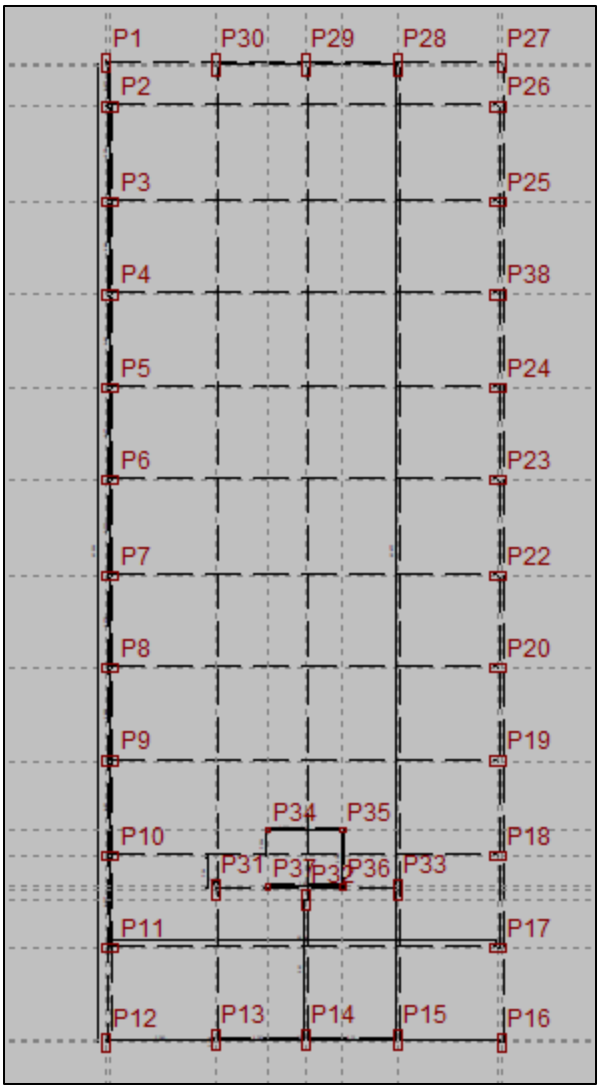
}

Figura 31. *Ventana para el ingreso de los pilares tomando en consideración las medidas*



Nota: *En esta ventana se generan y se crean los pilares, otra de las funciones que tiene esta opción es de colocar las dimensiones de los pilares del teatro, obtenido de cype 2017.*

Figura 32. *Pilares ingresados en el programa CYPECAD*



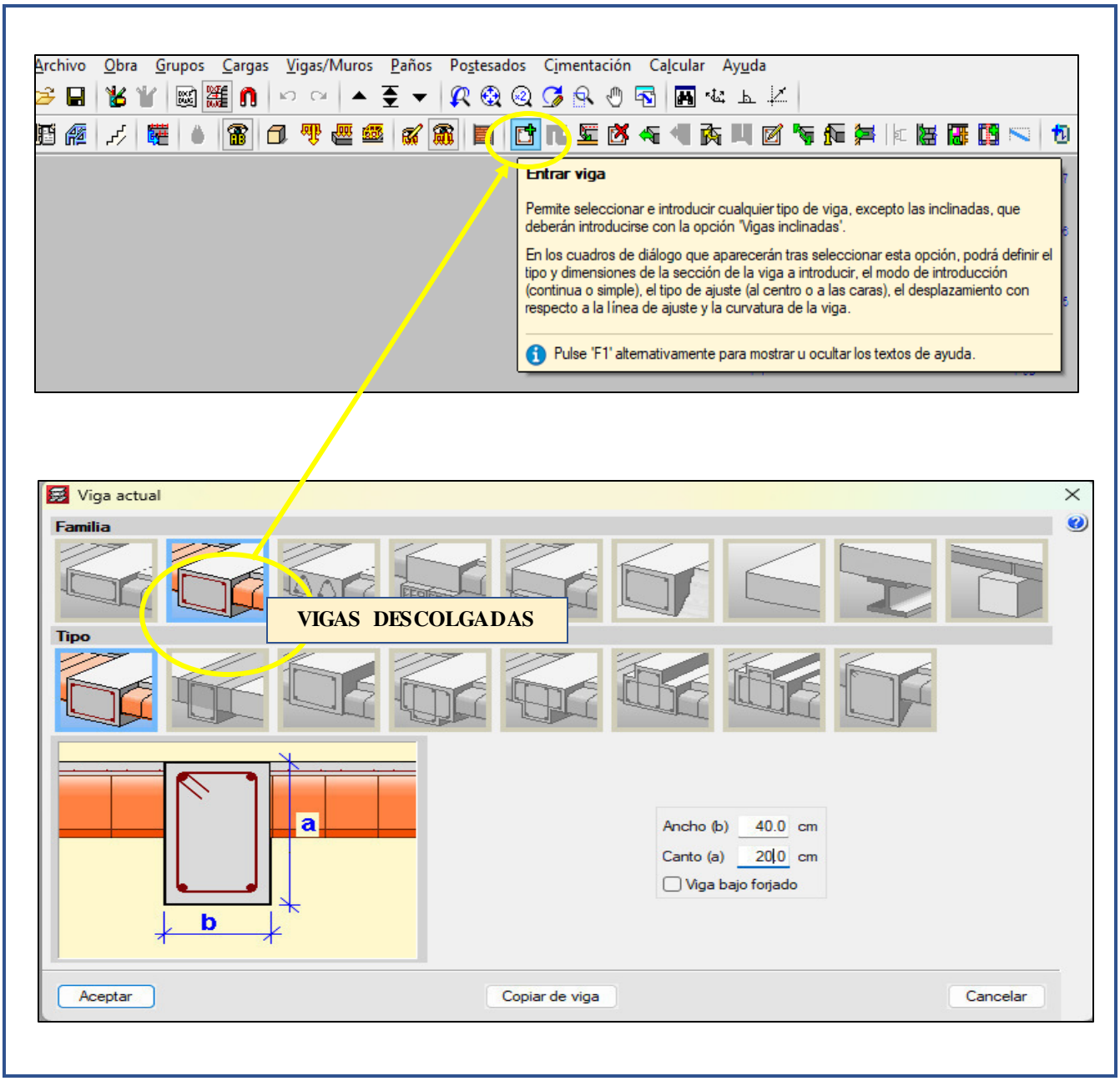
Nota: *La figura muestra que una vez finalizado el ingreso de todos los pilares del teatro, se observa que se han generado de acuerdo a un orden establecido en los planos, obtenido de cype 2017.*

4. Introducción de Vigas

Las vigas son elementos estructurales que dan soporte al teatro y que está entre una intersección de los pilares, en el programa nos dirigimos al menú principal en la opción de (entrar viga), luego se nos abre una ventana donde escogemos cual es el tipo de viga del teatro en

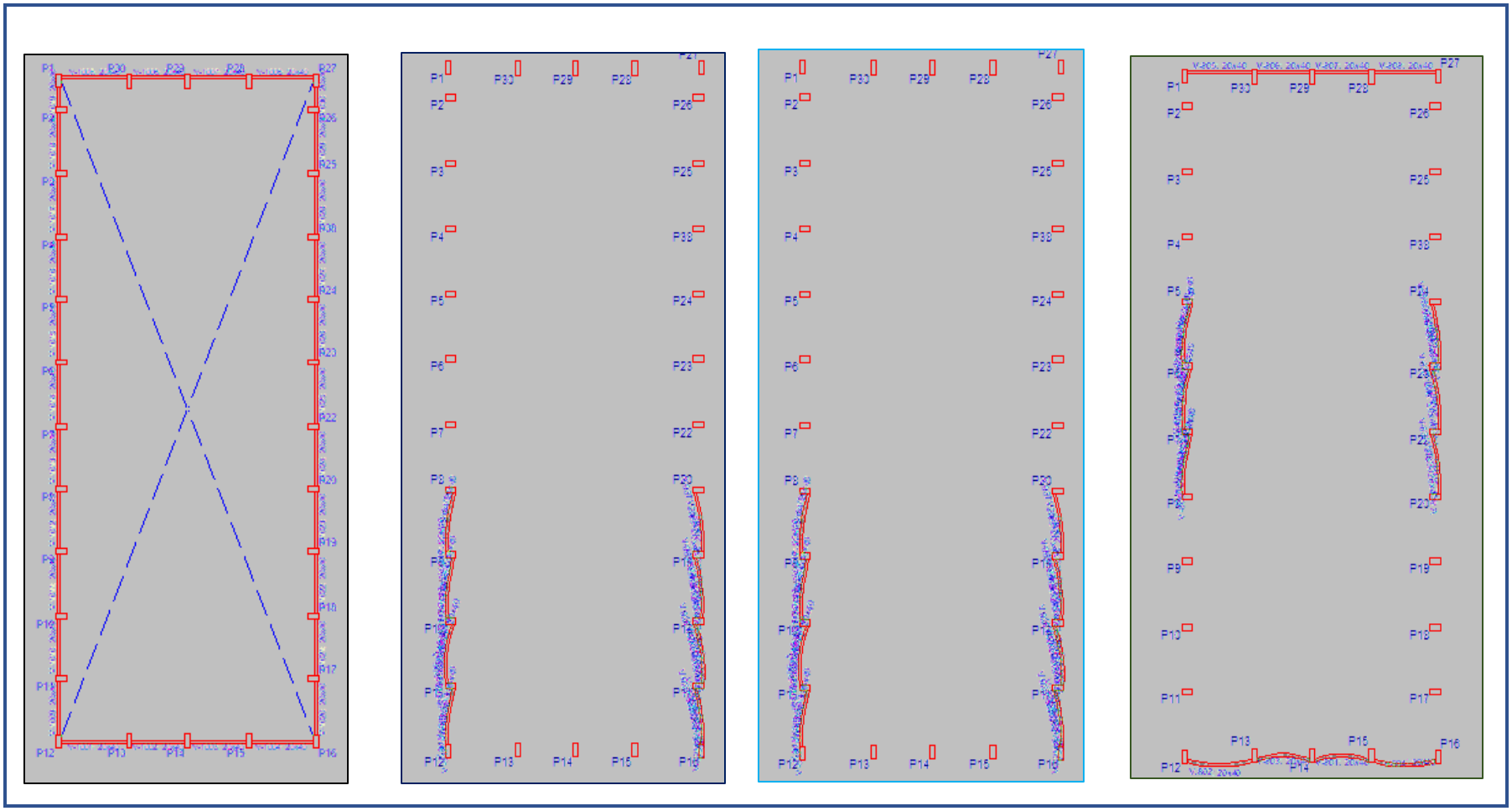
este caso se seleccionó vigas descolgadas rectangulares donde se consideró que solo para la planta de la sala de proyección las medidas de las vigas de 25x25 cm, mientras que para las demás plantas las medidas de 40 x 20 cm.

Figura 33. *Introducción de las vigas del teatro*



Nota: *En esta ventana escoges el tipo de viga descolgada rectangular con sus respectivas medidas del ancho por alto de la viga, obtenido de cype 2017.*

Figura 34. *Ingreso de las vigas descolgadas en cada planta del teatro*

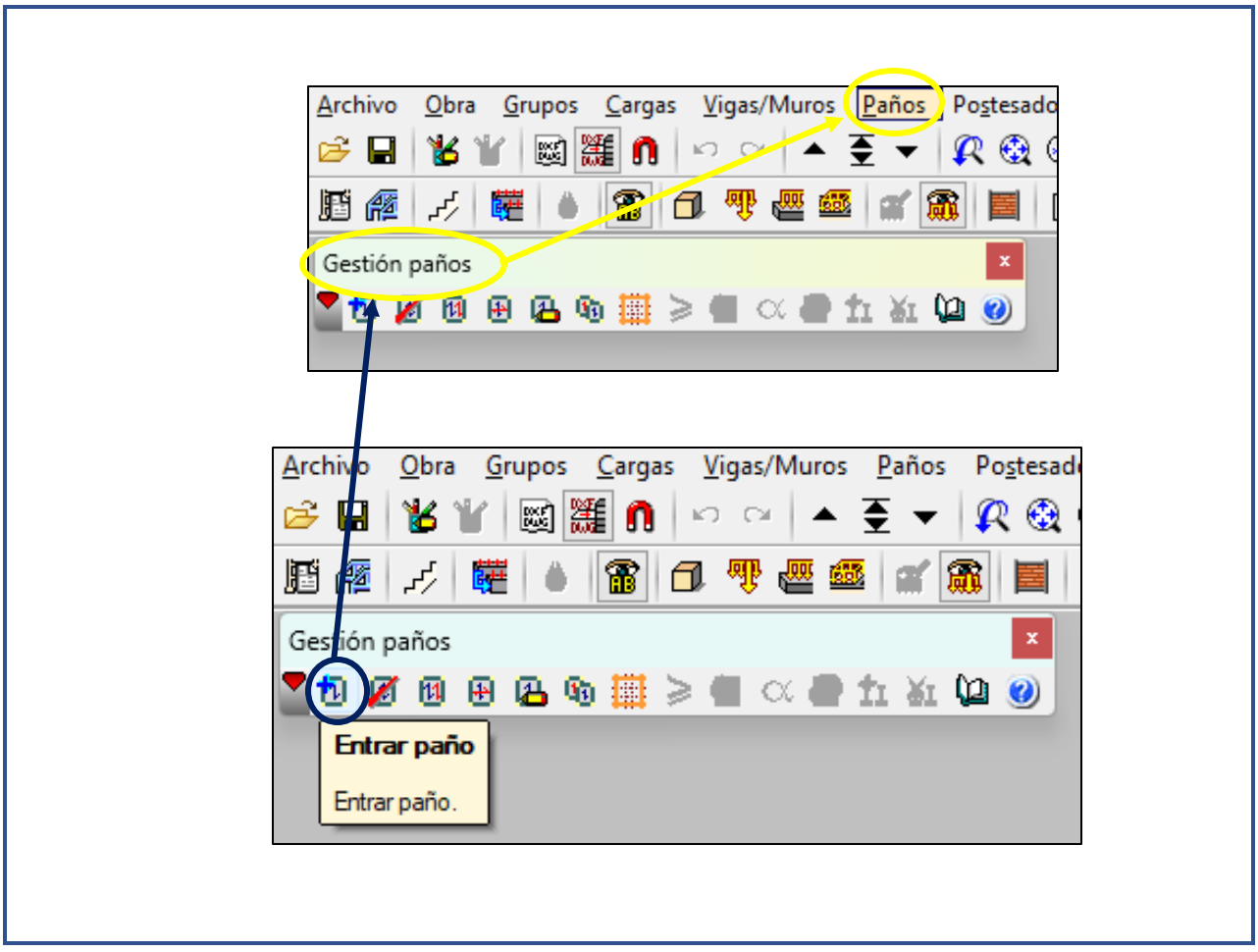


Nota: *Se puede observar cómo se ingresó las vigas en cada una de las plantas del teatro, obtenido de cype 2017.*

5. Introducción de Losa

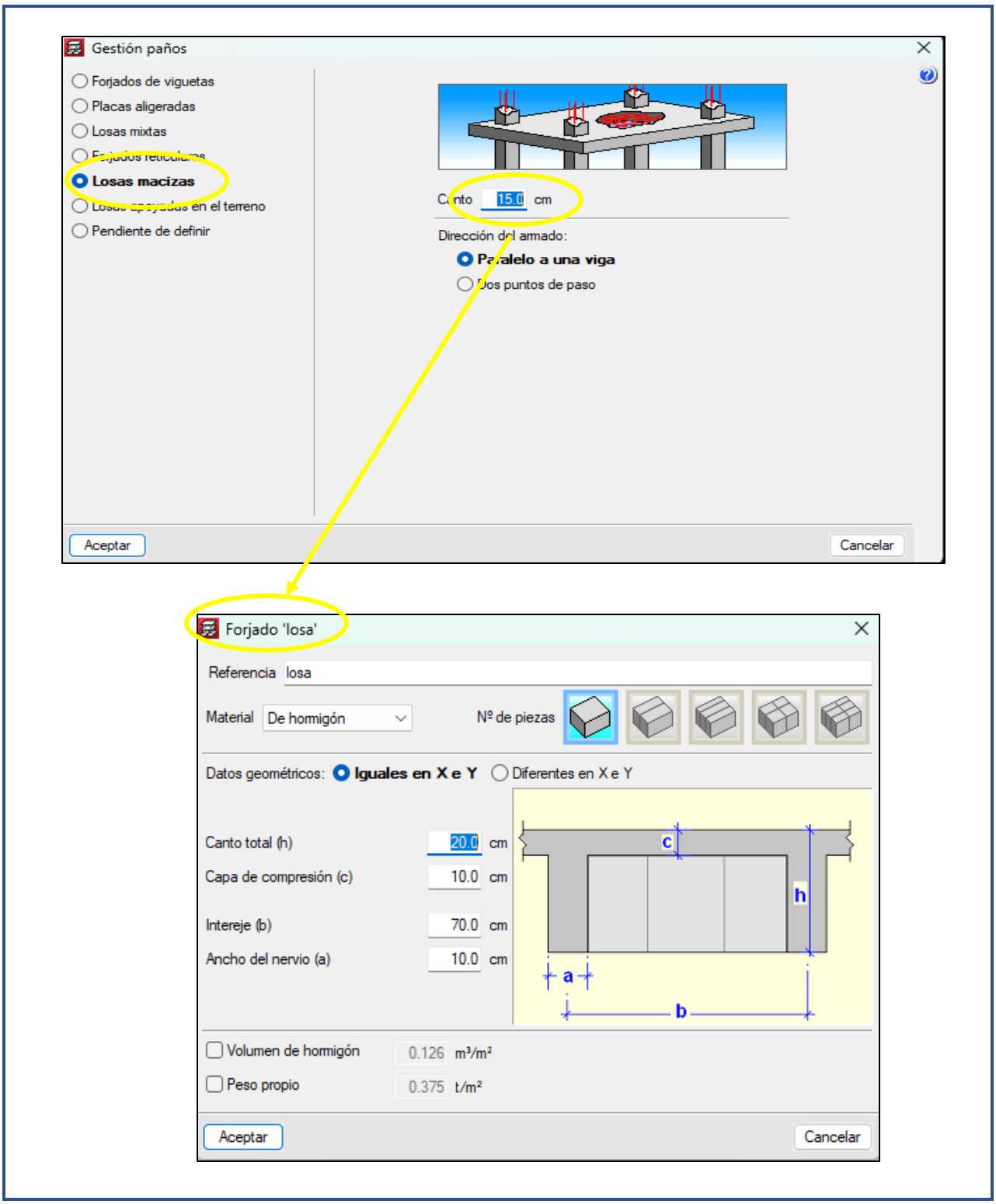
Para crear la losa nos dirigimos a la opción (paños) y se nos abre una ventana de (gestión de paños) para escoger la losa del teatro para ello trabajamos con losas macizas con un espesor o canto de 15 cm, luego de que se haya añadido la losa se procede a definir los huecos mediante el icono de paño según corresponda en la edificación.

Figura 35. *Ventana para añadir la losa del teatro*



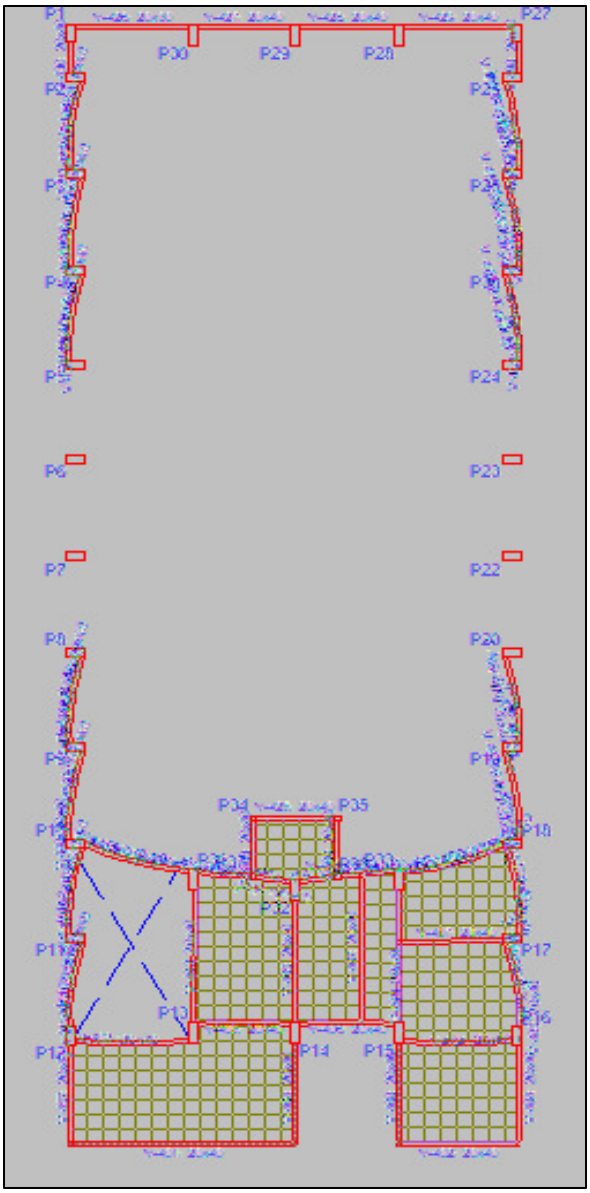
Nota: *La figura muestra los iconos para ingresar los paños y las losas, obtenido de cype 2017.*

Figura 36. *Ingreso de la losa*



Nota: *Ingreso de la losa en el teatro con su respectivo espesor o canto, obtenido de cype 2017.*

Figura 37. *Colocación de los paños en la losa creada del teatro*



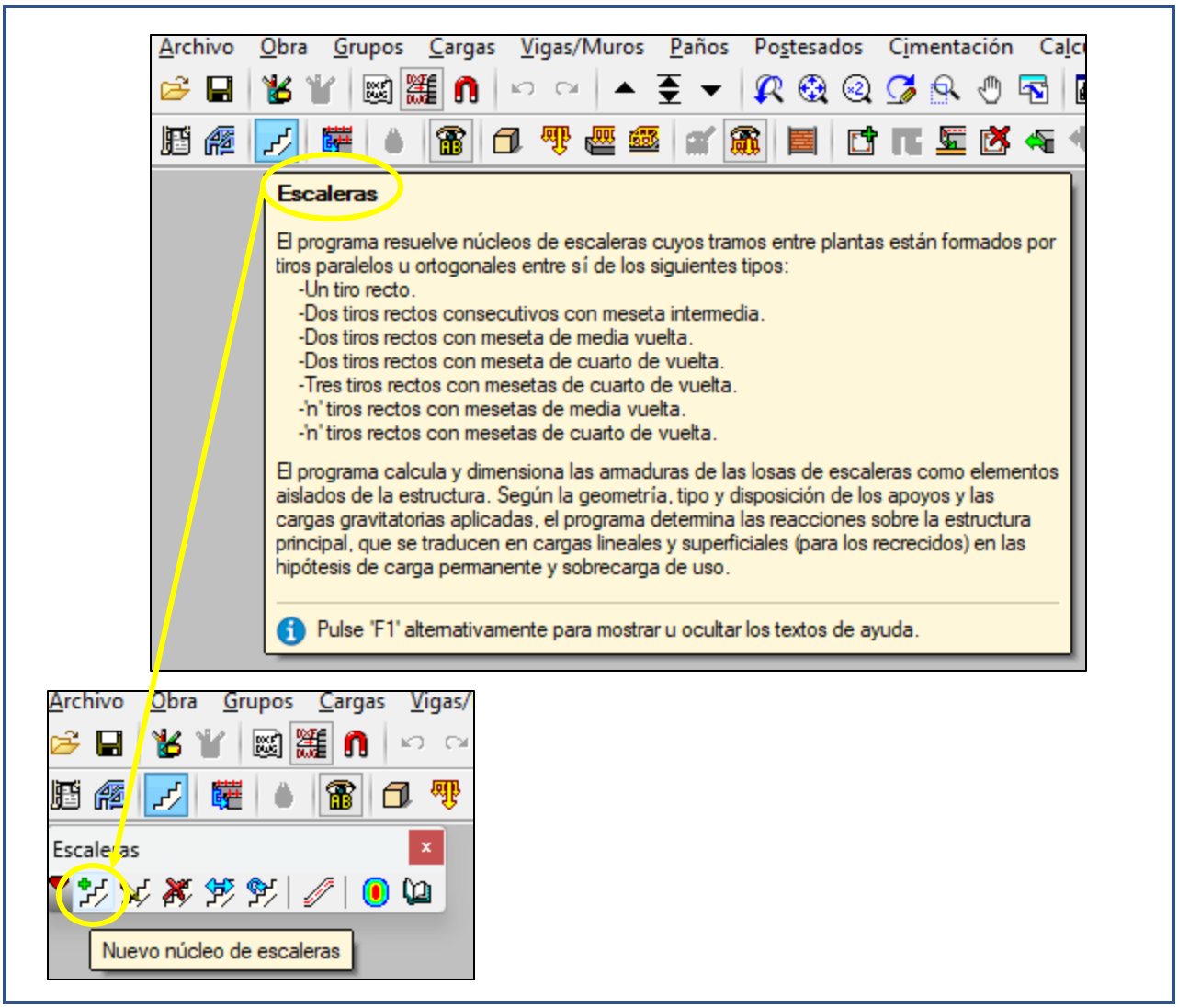
Nota: *La figura muestra cómo se debe colocar los paños según la losa correspondiente, obtenido de cype 2017*

6. Añadir la Escalera

Es un elemento estructural que sirve para comunicar diferentes pisos de una edificación que está formado por una serie de escalones que permite a las personas subir y bajar. En el

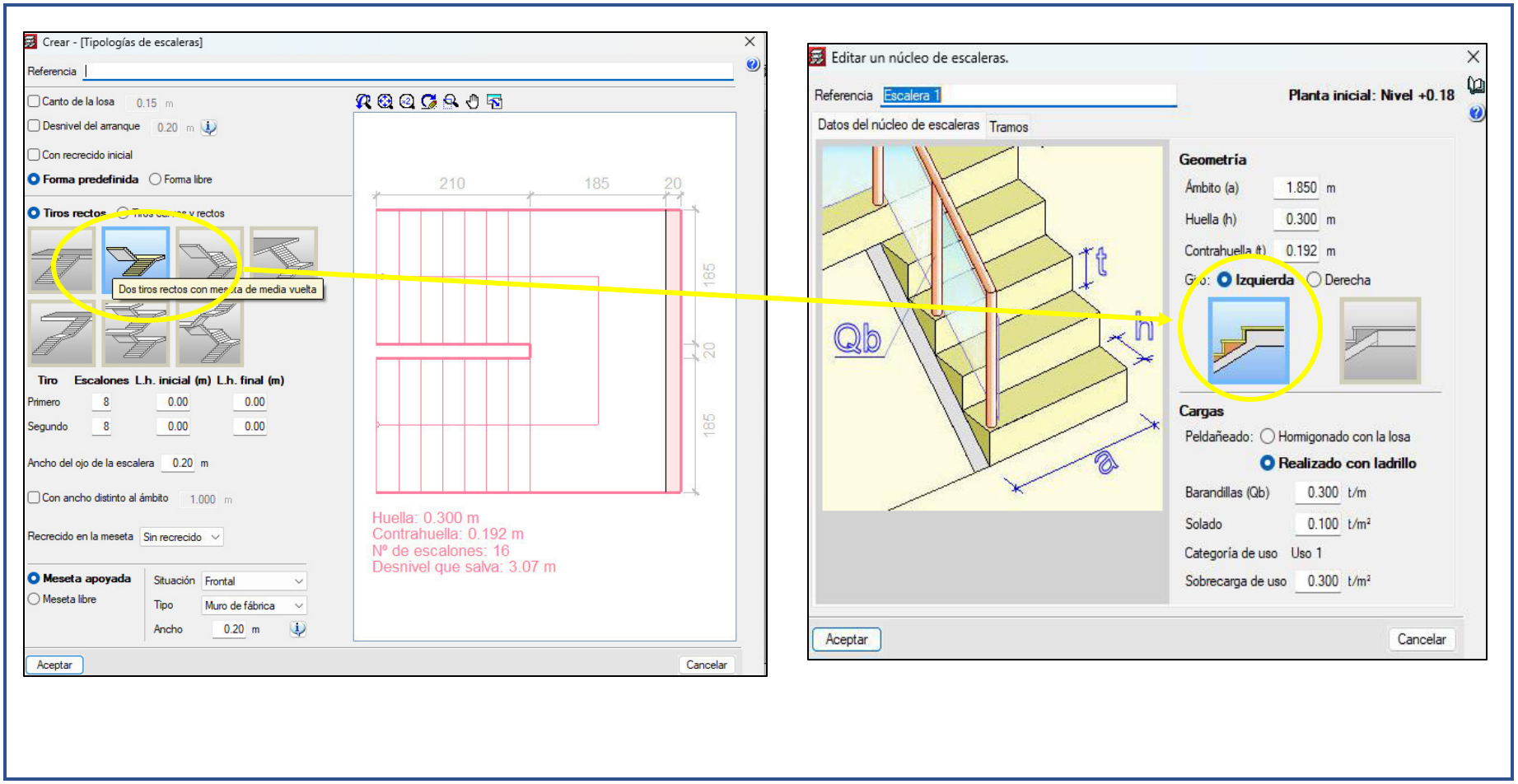
programa se escoge el icono de escaleras (nuevo núcleo de la escalera) y procedemos a dibujar el tipo de escalera (dos tramos rectos con meseta de media vuelta), consta de 16 escalones, 2 tramos, una huella de 0.30 y contrahuella de 0.19.

Figura 38. *Iconos para introducir la escalera*



Nota: *La figura muestra los iconos que se debe escoger para el crear la escalera, obtenido de cype 2017*

Figura 39. *Definición de la escalera del teatro*

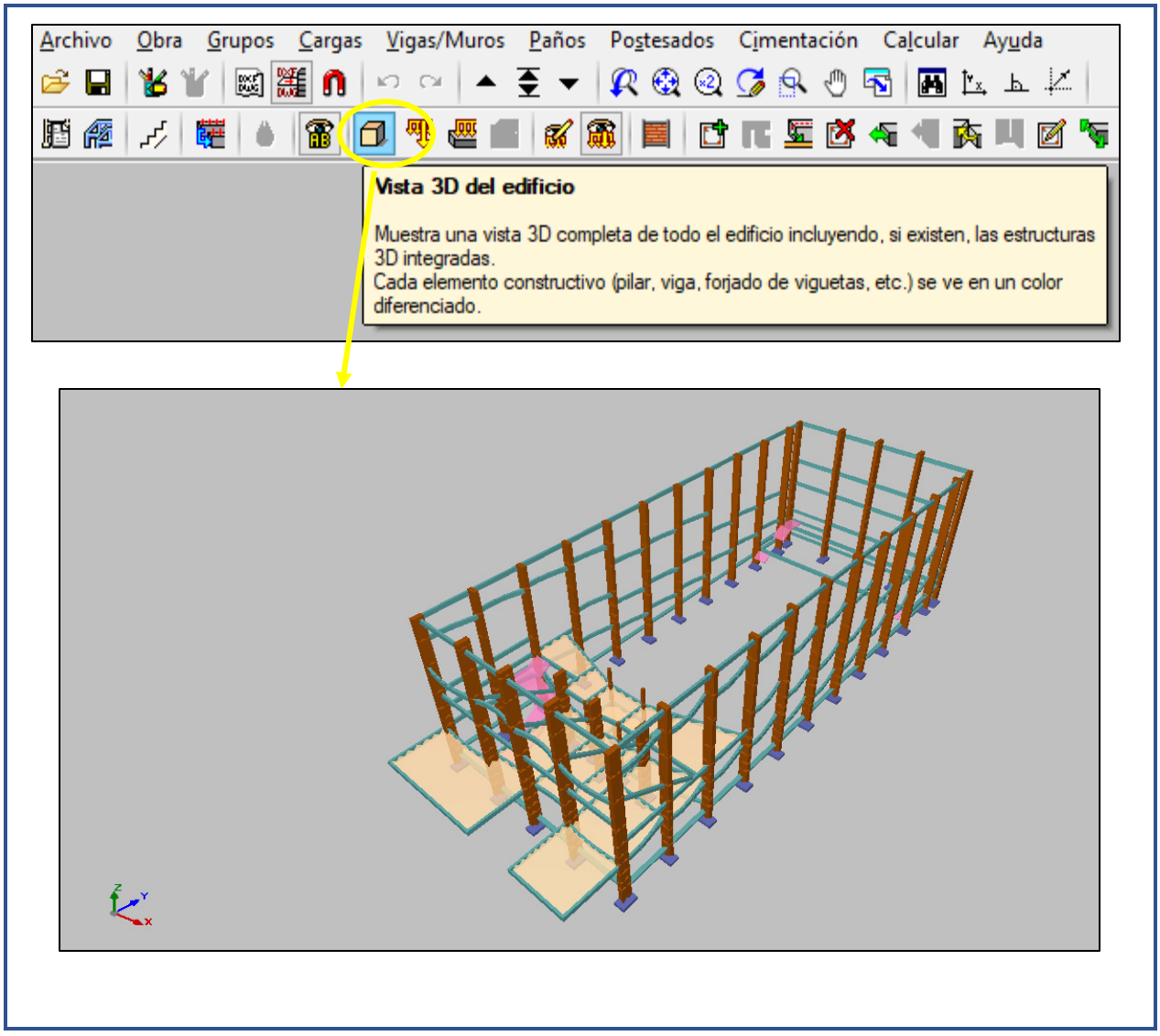


Nota: *La figura el tipo de escalera con su respectiva huella, contrahuella y el número de escalones, obtenido de cype 2017.*

7. Dibujo de la Estructura

Una vez ingresado los 6 pasos anteriores nos dirigimos a la opción de (Vista 3D) y se obtiene el dibujo final de cómo está conformado la estructura del teatro mediante una perspectiva tridimensional.

Figura 40. *Vista 3D del teatro*

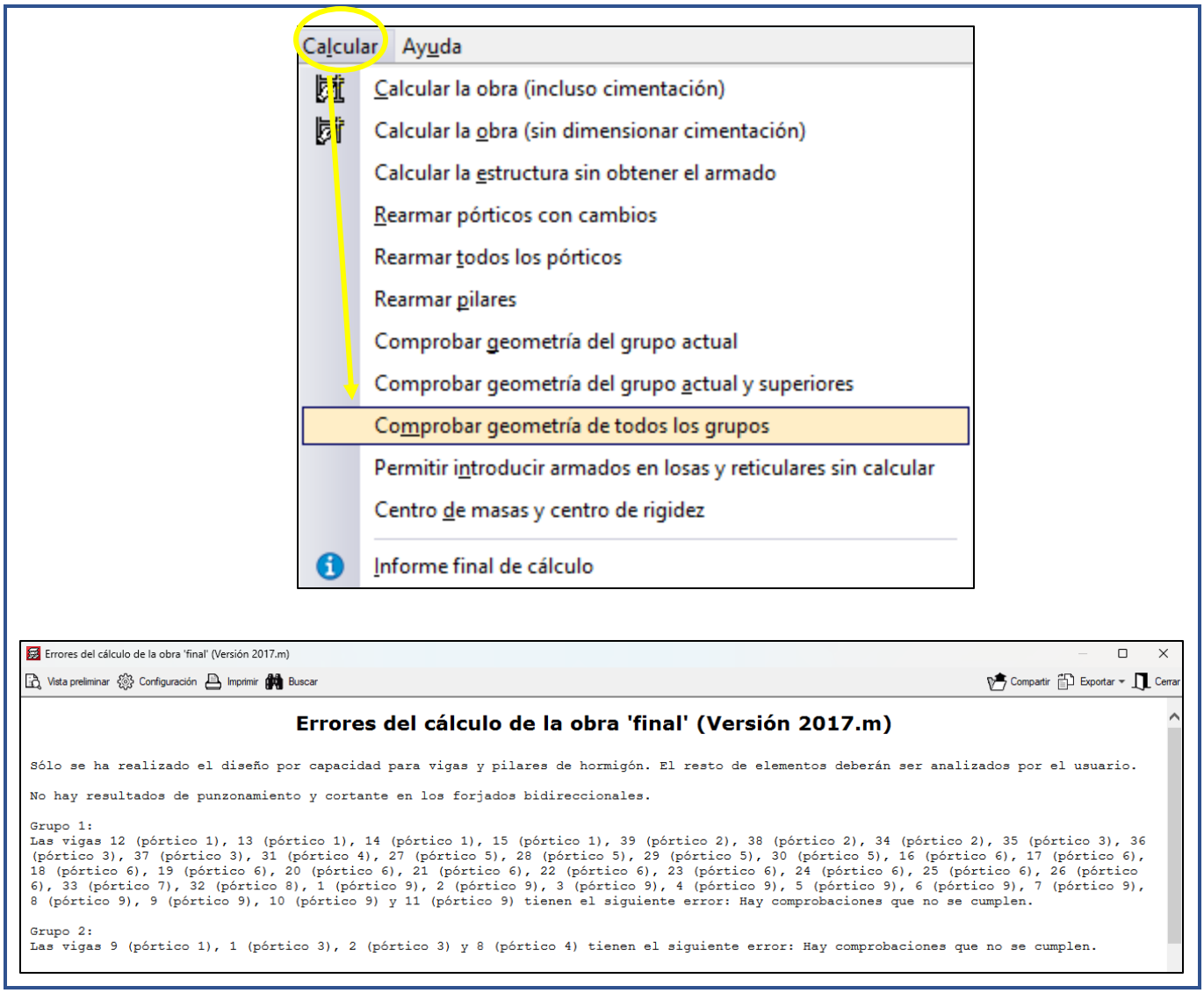


Nota: *En la siguiente figura se puede observar el diseño del teatro mediante una visión tridimensional que posee el programa, obtenido de cype 2017.*

8. Cálculo de la Estructura

Cuando se haya ingresado todos los elementos estructurales que conforman el teatro se debe escoger la opción (calcular), para obtener los 2 reportes finales (*ver Anexo 7*), en algunas ocasiones al momento de querer obtener el cálculo de la estructura se presenta errores lo cual se debe corregir para poder obtener el análisis final de toda la estructura creada.

Figura 41. *Ventana para calcular la obra del teatro y verificación de errores*

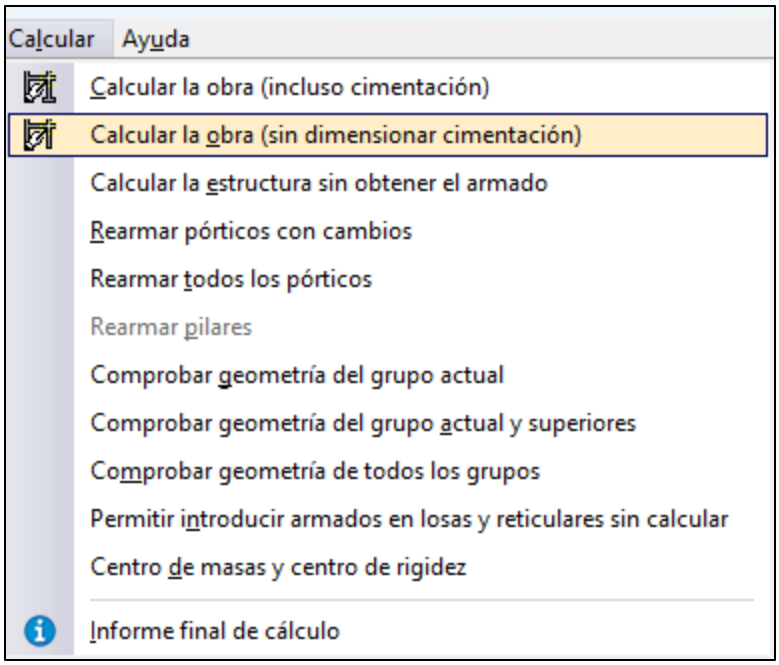


Nota: *En la siguiente figura se puede observar cómo se debe calcular la obra y se verificar los errores posteriores, obtenido de cype 2017.*

9. Identificación y Corrección de Errores

En el paso anterior se consideró realizar el cálculo final del teatro para ello se debe verificar todos los errores que presentan los elementos estructurales en la geometría de la edificación y de esta manera rectificar si es posible para que no exista ningún problema al momento de obtener el análisis detallado que arroja el programa, luego se escoge la opción de (calcular la obra sin dimensionar la cimentación).

Figura 42. *Cálculo de la estructura*



Nota: *Luego de haber verificado los errores se procede a escoger la opción de calcular la obra sin considerar la cimentación, obtenido de cype 2017.*

10. Obtención del Resultados

Este paso es muy importante en el programa debido a que se analizaron 4 parámetros que se obtiene de los dos Reportes; el primero sobre la Justificación de la acción sísmica y el

segundo explica la Distorsión de pilares (*ver Anexo 7),* que son de importancia para analizar la vulnerabilidad que presentará la estructura, las cuales son:

1. Modos de vibración

Los modos de vibración de una estructura son los movimientos que oscilan de un lado a otro y dependen de la carga dinámica, centro de masa y el evento sísmico. Para considerar el análisis de este parámetro se revisó los lineamientos de la (NEC, 2014a) conocida como **NEC-SE-DS Peligro sísmico** plantean en la sección **6.2.** *Procedimiento dinámico de cálculo de las fuerzas sísmicas,* literal **e.** *Análisis espectral* sobre el número de modos que se deben considerar los siguientes aspectos:

- Todos los modos de vibración que se obtienen deben constituir significativamente a la respuesta de la estructura mediante los valores obtenidos de los periodos de vibración.
- Todos los modos que se involucran en la participación de la masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.

Coeficientes de Participación

Resultados obtenidos del programa sobre los modos de vibración, periodo y porcentaje de participación acumulada de la masa

Modo	T	L_x	L_y	L_{gz}	M_x	M_y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.548	0.1268	0.002	0.9248	34.86%	0.01%	R= 4.86 A= 2.773 m/s^2 D= 21.1238 mm	R= 4.86 A= 2.773 m/s^2 D= 21.1238 mm
Modo 2	0.495	0.0314	0.0039	0.9995	23.67%	0.37%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 17.3805 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 17.3805 mm
Modo 3	0.441	0.0287	0.583	0.669	0.14%	56.52%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2

							D= 13.7987 mm	D= 13.7987 mm
Modo 4	0.214	0.0421	0.0022	0.9991	11.98%	0.03%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 3.24327 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 3.24327 mm
Modo 5	0.162	0.0342	0.981	0.1908	0.02%	18.96%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 1.87124 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 1.87124 mm
Modo 6	0.153	0.0675	0.00339	0.9971	2.22%	0.55%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 1.65486 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 1.65486 mm
Modo 7	0.134	0.0654	0.0016	0.9979	9.25%	0.01%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 1.28338 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 1.28338 mm
Modo 8	0.090	0.1665	0.0013	0.986	0.57%	0%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.57101 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.57101 mm
Modo 9	0.076	0.0157	0.0012	0.9999	0.5%	0.01%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.43805 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.43805 mm
Modo 10	0.075	0.0079	0.0832	0.9965	0.04%	0%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.41243 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.41243 mm
Modo 11	0.066	0.0148	0.0852	0.9963	0.01%	1.45%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.40435 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.40435 mm
Modo 12	0.063	0.0899	0.0113	0.9959	0.07%	2.25%	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.31305 mm	R= 4.86 A= 2.802 m/s^2 D= 0.31305 mm
Total					**93.03%**	**90.94%**		

Nota: *La siguiente tabla muestra los modos de vibración en los que se va a trabajar, obtenido de cype 2017.*

Leyenda

T: Periodo de vibración en segundos

$\boldsymbol{L_x}$, $\boldsymbol{L_y}$: 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 de análisis

R: Relación entre la aceleración de cálculo usando ductilidad de la estructura y la aceleración

A: Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad

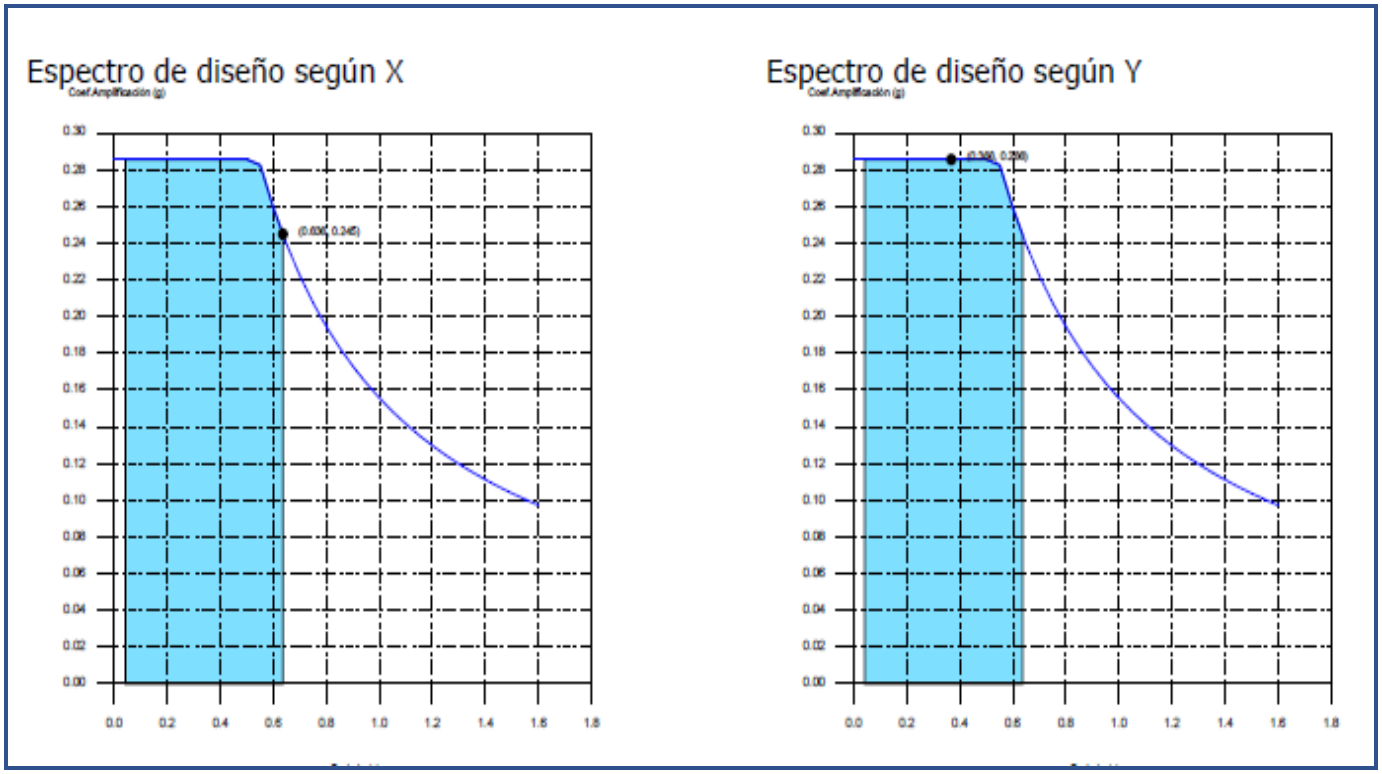
D: Coeficiente de modo. Equivale el desplazamiento máximo del grado de libertar dinámico

Los valores que genera el programa CYPECAD sobre los coeficientes de participación fueron 12 de los cuáles solo se trabajara con los primeros modos: Modo 1 y Modo 3, lo que nos refleja en las columnas 6 y 7 (M_x, M_y) que son el porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección de análisis: (M_x: 93.03% y M_y: 90.94%), estos resultados están cumpliendo con el valor establecido de la masa modal acumulada mayor al 90% según la NEC 2014.

Representación de los Periodos Espectrales

Son figuras que permiten tener información sobre el desplazamiento según el nivel de fuerza que ocasiona un evento sísmico.

Figura 43. *Espectro de diseño según X y Y*



Nota: *La figura muestra el espectro de diseño sobre el nivel de fuerza ante el periodo de vibración de una estructura, obtenido de cype 2017.*

De acuerdo con el programa estas figuras representan el rango de periodo que abarca los modos estudiados, donde se establece que los modos se deben desplazar más del 30% de la masa.

Rango de periodo de la hipótesis del modo X1

Hipótesis Sismo X1		
Hipótesis modal	**T (s)**	**A (g)**
Modo 1	0.636	0.283

Nota: *La siguiente tabla muestra los valores establecidos del rango del periodo que arroja el programa, obtenido de cype 2017.*

Rango de periodo de la hipótesis del modo Y1

Hipótesis Sismo Y1		
Hipótesis modal	**T (s)**	**A (g)**
Modo 3	0.368	0.286

Nota: *La siguiente tabla muestra los valores establecidos del rango del periodo que arroja el programa, obtenido de cype 2017.*

Las dos tablas 8 y 9 nos muestran los modos de vibración en donde el:

- Modo 1 se desplaza en X
- Modo 3 se desplaza en Y

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

En el capítulo del Peligro sísmico, literal **6.3.6.** *Distribución horizontal del cortante,* plantean que la masa de cada nivel de la estructura 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 de tomar en cuenta los posibles efectos de torsión accidental, tanto para estructuras regulares como para estructuras irregulares. El efecto de este desplazamiento debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los movimientos torsionales (NEC, 2014a).

Tabla 7. *Centro de masa, centro de rigidez y excentricidad de cada planta integrada en el teatro*

Planta	**c.d.m (m)**	**c.d.r (m)**	e_x **(m)**	e_y **(m)**
Nivel+14.05	(9.72, -23.82)	(9.72, -23.82)	0.00	0.00
Nivel+13.55	(9.64, -20.26)	(9.71, -26.25)	-0.07	5.98
Nivel+11.55	(9.82, -38.61)	(9.61, -36.80)	0.21	-1.81
Nivel+9.30	(10.16, -29.07)	(9.94, -25.98)	0.22	-3.10

Nivel+6.60	(9.66, -21.71)	(9.53, -30.00)	0.14	8.29
Nivel+5.00	(10.38, -35.66)	(7.93, -34.62)	2.46	-1.03
Nivel+3.90	(0.55, -40.54)	(2.57, -40.66)	-2.03	0.13
Nivel+3.10	(10.34, -36.00)	(7.29, -24.90)	3.05	-11.10
Nivel+2	(8.68,-16.33)	(8.75, -11.08)	-0.07	-5.25
Nivel+1.06	(9.72, -3.11)	(9.44, -2.02)	-0.28	-1.08
Nivel+0.18	(9.65, -27.72)	(9.67, -12.99)	-0.02	-14.73

Nota: *La siguiente tabla muestra los datos obtenidos sobre la posicione masa, centro de rigidez y excentricidad según los niveles agregados en el programa, obtenido de cype 2017.*

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)

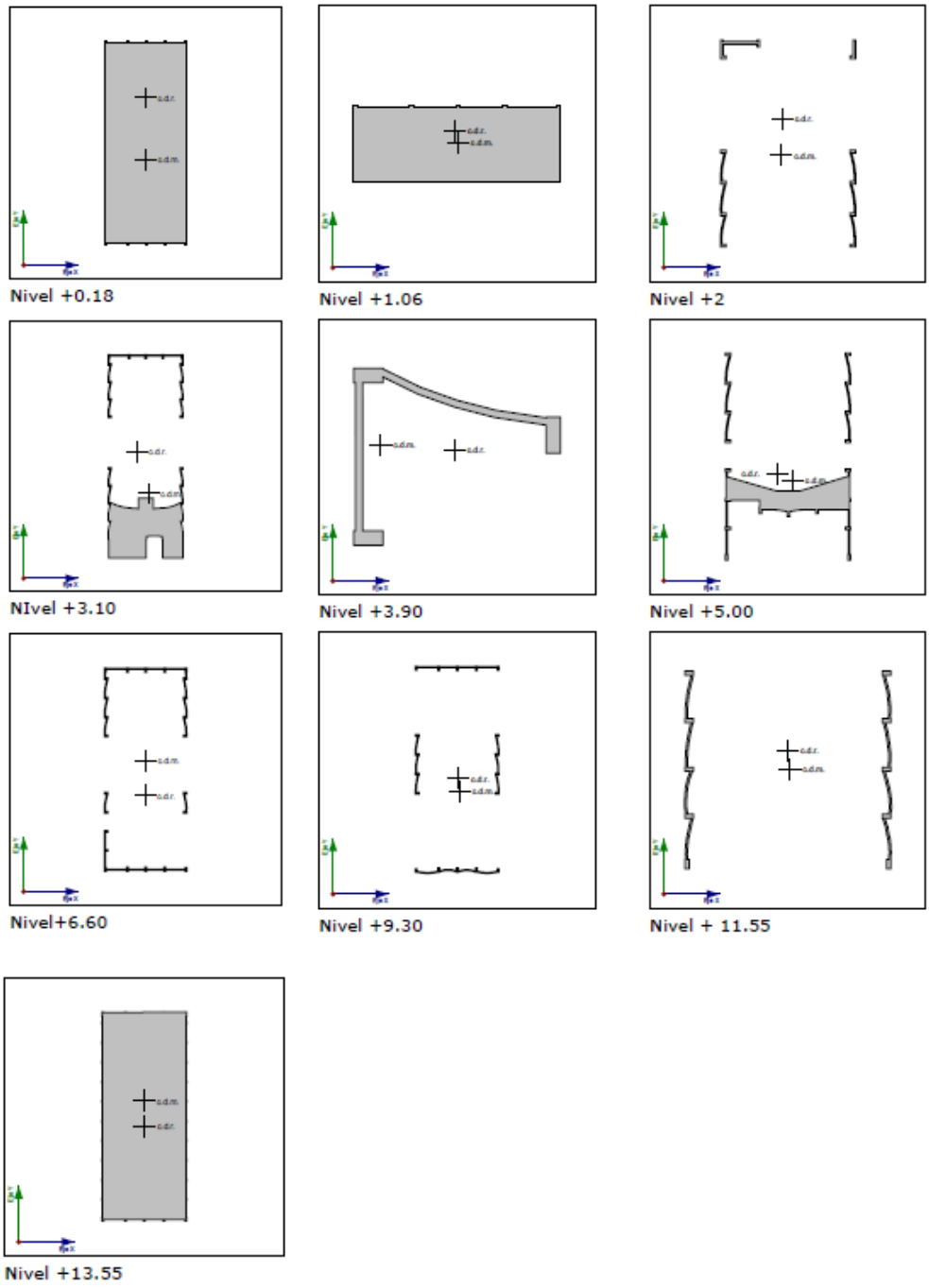
e_x**:** Excentricidad del centro de masa respecto al centro de rigidez (X)

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

Representación gráfica del centro de masa y del centro de rigidez por planta

La mayoría de las excentricidades no cumplen con los límites establecidos por el centro de masa según la norma NEC 2014 en cada nivel ingresado al programa, como se puede observar en la (Figura 43) que mientras el centro de masa este más alejado del centro de rigidez se produce mayor torsión como se muestra en el Nivel+0.18, Nivel+2, Nivel+3.10, Nivel+3.90, Nivel+5.00, Nivel+6.60.

Figura 44. *Representación de los centros de masa y rigidez de cada planta del teatro*



Nota: *La siguiente figura muestra como consta cada planta según el centro de masa y rigidez, obtenido de cype 2017.*

Corrección por Cortante Basal

Cortante dinámico CQC

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

Tabla 8. *Cortante basal dinámico en X*

Hipótesis sísmica (X)	**Hipótesis modal**	V_x **(t)**	$V_{d.x}$ **(t)**
SISMO X1	Modo 1	106.5854	115.0388
	Modo 2	1.2975	
	Modo 3	0.0050	
	Modo 4	32.9924	
	Modo 5	5.6726	
	Modo 6	0.6528	
	Modo 7	14.5033	
	Modo 8	2.2734	
	Modo 9	0.4540	
	Modo 10	0.0696	
	Modo 11	0.0512	
	Modo 12	0.5131	

Nota: *La siguiente tabla muestra las hipótesis en X según los modos obtenidos para definir el cortante basal, obtenido de cype 2017.*

Tabla 9. *Cortante basal dinámico en Y*

Hipótesis sísmica (Y)	Hipótesis modal	V_Y (t)	$V_{d.Y}$ (t)
SISMO Y1	Modo 1	0.0208	150.2047
	Modo 2	0.9144	
	Modo 3	139.4068	
	Modo 4	0.0789	
	Modo 5	46.7566	
	Modo 6	1.3675	
	Modo 7	0.0133	
	Modo 8	0.0001	
	Modo 9	0.0267	
	Modo 10	0.0006	
	Modo 11	3.5677	
	Modo 12	5.5611	

Nota: *La siguiente tabla muestra las hipótesis en Y según los modos obtenidos para definir el cortante basal, obtenido de cype 2017.*

Leyenda

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

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

Cortante basal elástico

Para considerar el cortante se deben seguir según los lineamientos ya establecidos en la NEC 2014, el cortante sísmico en la base de la estructura se determina para cada una de las direcciones de análisis:

$\boldsymbol{V_{S,X}}$ **:** Cortante sísmico en la base (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) $\boldsymbol{V_{S,X}}$**:** 190.9643 t

$\boldsymbol{V_{S,X}} = S_{d,X:}(T_a)$. W

$\boldsymbol{S_{d,X}} = (\boldsymbol{T_a})$**:** Aceleración espectral horizontal de diseño (X) $\boldsymbol{S_{d,X}(T_a)}$**:** 0.263 g

$\boldsymbol{T_{a.X}}$**:** Periodo fundamental aproximado (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) $\boldsymbol{T_{a.X}}$**:** 0.59 s

$\boldsymbol{T_a}$**=** $0.055.\ h^{0.9}$

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

h: Altura del edificio **h:** 14.05 m

$\boldsymbol{V_{S,Y}}$ **:** Cortante sísmico en la base (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) $\boldsymbol{V_{S,Y}}$**:** 190.9643 t

$\boldsymbol{V_{S,Y}} = S_{d,Y:}(T_a)$. W

$\boldsymbol{S_{d,Y}} = (\boldsymbol{T_a})$**:** Aceleración espectral horizontal de diseño (Y) $\boldsymbol{S_{d,Y}(T_a)}$**:** 0.263 g

$\boldsymbol{T_{a.X}}$**:** Periodo fundamental aproximado (X)) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) $\boldsymbol{T_{a.Y}}$**:** 0.59 s

$\boldsymbol{T_a}$**=** $0.055.\ h^{0.9}$

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

h: Altura del edificio **h:** 14.05 m

W: Peso sísmico total de la estructura **W:** 727.1151 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 y de la fracción de la sobrecarga de uso considerada en el cálculo de la acción sísmica.

Tabla 10. *Peso sísmico de cada planta*

Planta	w_i: **(t)**
Nivel+14.05	1.5000
Nivel+13.55	82.7640
Nivel+11.55	31.3710
Nivel+9.30	90.5837
Nivel+6.60	98.2666
Nivel+5.00	97.5970
Nivel+3.90	13.6729
Nivel+3.10	174.6406
Nivel+2	24.4090
Nivel+1.06	25.2714
Nivel+0.18	86.9490
W= $\sum W_i$	**727.1151**

Nota: *Se puede observar los valores totales del peso sísmico que tiene cada planta establecidos del teatro, obtenido de cype 2107.*

Geometría en altura (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3): Se considera (Regular) el teatro por su configuración estructural tanto en planta como en elevación no presenta ninguna de las condiciones de irregularidades torsionales y distorsiones en los pisos.

2. Periodo de vibración

Se consideró un parámetro importante dentro del diseño sísmico que determina el movimiento de vibración para tener una mayor seguridad estructural. La (NEC, 2014), plantea en

su sección **6.3.3. Determinación del periodo de vibración (T)** aproximado que para cada dirección principal será estimado a partir de 2 métodos descritos a continuación:

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

T permite determinar el valor $\boldsymbol{S_a}$ del espectro en aceleraciones, en este caso solo se utilizará el primer método:

a. Método 1

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

$$\mathbf{T= } C_t \, h_n^{\propto}$$

Donde:

$\boldsymbol{C_t}$ = Coeficiente que depende del tipo de edificio

$\boldsymbol{h_n}$ **=** Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros

T= Periodo de vibración

Para:

Tabl0a 11. *Valores del coeficiente para el cálculo del periodo de vibración*

Tipo de estructura	C_t	$\propto$
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	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros estructuras y mampostería estructural	0.055	0.75

Nota: *En esta tabla nos podemos ayudar de los valores que tiene el coeficiente dependiendo del tipo de edificio para reemplazar en la fórmula del método 1, obtenido de (NEC, 2014).*

En la anterior (Tabla 7), se puede observar los valores del Periodo de vibración en segundos:

Tabla 12. *Valores del periodo de vibración según los modos*

Modo	T
Modo 1	0.636
Modo 3	0.368

Nota: *Valores obtenidos del periodo de vibración según el modo 1 y 3, obtenido de cype 2017.*

Los valores obtenidos del periodo de vibración en segundos son de (0.548 y 0.441), en donde la NEC 2014 nos menciona que no debe ser mayor a un 30%, que transformado a número decimal nos da 0.3 por lo tanto no cumplen con este requerimiento, lo que se puede decir que el teatro es muy flexible.

Para reemplazar en la formula utilizamos los valores señalados en la (Tabla 14) como se muestra a continuación:

$$T_a = 0.055(14.05)^{0.9}$$

$$T_a = \mathbf{0.59}$$

Lo que podemos observar es que mediante el reemplazo hemos obtenido un valor del periodo de vibración de 0.59 lo que tiene una variación con el valor del modo 1 que es de 0.636.

El periodo de vibración en segundos es de 0.636 lo que se compara con el periodo fundamental aproximado de los datos del cortante basal elástico en X y Y que es de 0.59 s, es decir lo que se pretende es que no coincidan estos valores el periodo de vibración de la estructura con el periodo fundamental aproximado (vibración del suelo).

3. Desplazamiento

Son los movimientos verticales, horizontales o rotacionales que tiene el teatro durante el efecto de un evento sísmico, el cual la (NEC, 2014), en la sección **4.2. Filosofía del diseño sismorresistente,** en el literal *4.2.2. Límites permisibles de las derivas de los pisos*: manifiesta que la deriva máxima para cualquier piso los límites de deriva inelástica establecidos en la siguiente tabla, la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura del piso:

Tabla 13. *Valores de la deriva máxima de los pisos*

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

Nota: *Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso, obtenido de (NEC, 2014).*

La (Tabla 16), muestra los valores de las derivas máximas para ello se escoge el valor de 0.02 que corresponde a las estructuras de hormigón armado, el cual debe expresarse en una fracción lo que equivale a 1/50 y que los pilares no deben sobrepasar este valor.

Chequeo de derivas y distorsión de pilares

Figura 45. *Distorsión de Pilares*

Situaciones persistentes o transitorias									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorsión X			Distorsión Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origen	Absoluta (m)	Relativa	Origen
P1	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.45	0.0001	----	G	0.0000	----	G
	Nivel +9.30	9.10	2.70	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +5.00	5.00	1.10	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +3.90	3.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	NIvel +3.10	2.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +2	1.90	0.99	0.0000	----	G	0.0001	h / 9950	G
	Nivel +1.06	0.91	0.81	0.0000	----	G	0.0001	h / 8050	G
	Nivel +0.18	0.10	1.60	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Cimentación	-1.50							
	Total		14.85	0.0001	----	G	0.0006	----	G
P2	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.25	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel +9.30	9.30	2.90	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +5.00	5.00	1.10	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +3.90	3.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	NIvel +3.10	2.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +2	1.90	0.99	0.0000	----	G	0.0001	h / 9950	G
	Nivel +1.06	0.91	0.81	0.0000	----	G	0.0001	h / 8050	G
	Nivel +0.18	0.10	1.60	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Cimentación	-1.50							
	Total		14.85	0.0001	----	G	0.0006	----	G
P3	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.25	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel +9.30	9.30	2.90	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +5.00	5.00	1.10	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +3.90	3.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	NIvel +3.10	2.90	0.90	0.0000	----	G	0.0001	h / 9000	G
	Nivel +2	2.00	1.10	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +1.06	0.91	0.81	0.0000	----	G	0.0001	h / 8050	G
	Nivel +0.18	0.10	1.60	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Cimentación	-1.50							
	Total		14.85	0.0001	----	G	0.0006	----	G
P4	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.25	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel +9.30	9.30	2.90	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0001	----	G

Nota: *Las distorsiones muestran que la mayoría de pilares exceden el valor máximo de la deriva establecido por la NEC 2014, obtenido de cype 2017.*

Valores máximos de la Distorsión de Pilares

Tabla 14. *Desplome local máximo de los pilares*

Desplome local máximo de los pilares (δ/h)				
Planta	**Situaciones persistentes o transitorias**		**Situaciones sísmicas**	
	Dirección X	**Dirección Y**	**Dirección X**	**Dirección Y**
Nivel+14.05	-----	-----	1/95	1/219
Nivel+13.55	-----	-----	1/51	1/146
Nivel+11.55	-----	-----	1/45	1/159
Nivel+9.30	-----	-----	1/48	1/216
Nivel+6.60	1/3000	1/6000	1/52	1/185
Nivel+5.00	1/4500	1/4500	1/53	1/156
Nivel+3.90	1/5000	1/5000	1/77	1/196
Nivel+3.10	1/9000	1/3000	1/67	1/153
Nivel+2	1/9400	1/7400	1/67	1/169
Nivel+1.06	1/9850	1/8050	1/104	1/260
Nivel+0.18	-----	-----	1/217	1/478

Nota: *Los desplazamientos están mayores por la ductilidad, obtenido de cype 2017.*

Tabla 15. *Desplome total máximo de los pilares*

Desplome local máximo de los pilares (Δ/H)			
Situaciones persistentes o transitorias		**Situaciones sísmicas**	
Dirección X	**Dirección Y**	**Dirección X**	**Dirección Y**
-----	1/8100	1/63	1/242

Nota: *Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad, obtenido de cype 2017.*

Las dos (Tablas 17 y 18), nos muestran los valores obtenidos en el reporte de la deriva máxima de los pilares en el programa donde nos manifiestan que están mayorados por la ductilidad según las situaciones sísmicas con dirección X y Y, por lo tanto, cumplen con el

requerimiento de la NEC 2014 que nos dice que debe tener un valor menor a 1/50, en los pilares de cada planta sobrepasan la capacidad de este valor, es decir la estructura del teatro puede sufrir daños considerables.

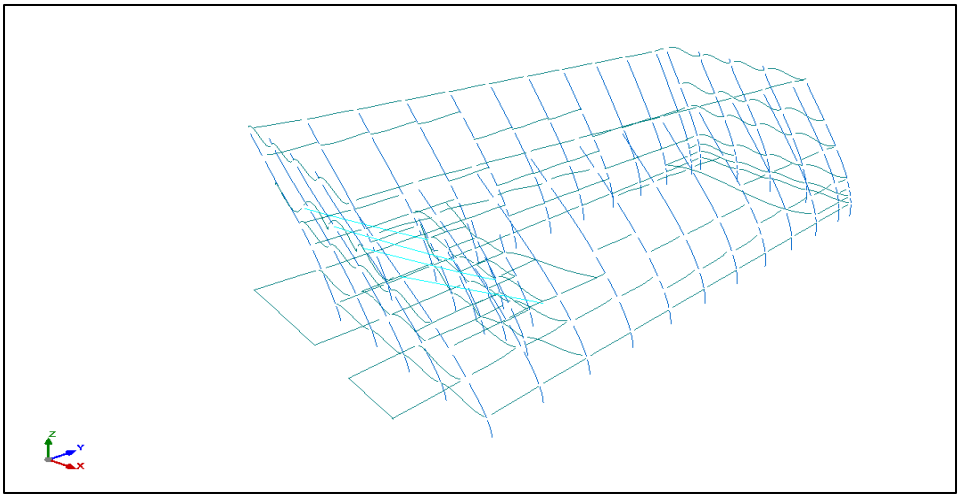
4. Torsión

Para el análisis de este parámetro se consideró los resultados de la (Tabla 7), donde se encuentra la columna 5 (L_{gz}) que es el coeficiente de participación normalizado correspondiente al grado de libertad rotacional, lo que demuestra que son valores cercanos a 1.

Los valores arrojados por el (Modo 1 es de 0.9248 y Modo 3 de 0.669) lo que quiere decir que existe una torsión lo que genera que el teatro sea vulnerable ante un evento sísmico.

Modo 1 en X: Se considera un movimiento rotacional porque el teatro se mueve con una velocidad de trayectoria giratoria.

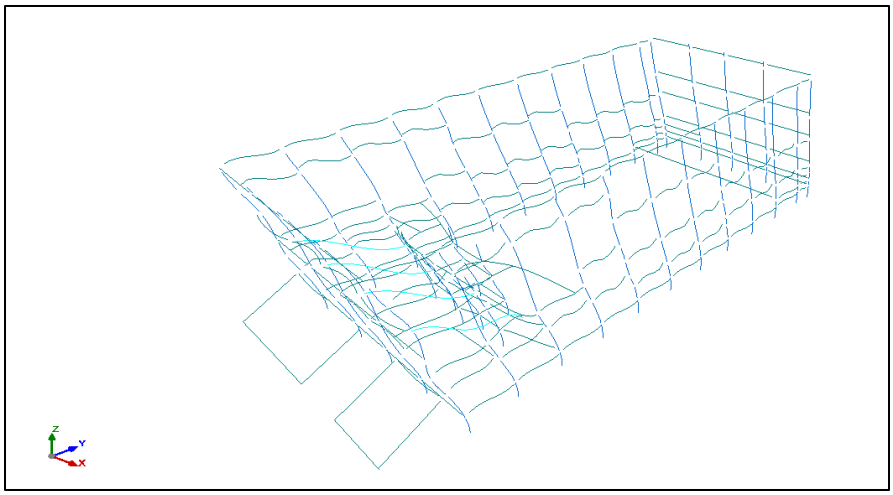
Figura 46. *Primer modo de vibración en X*



Nota: *La siguiente figura muestra como es el movimiento de la edificación en el primer modo de vibración en X, obtenido de cype 2017.*

Modo 3 en Y: Presenta un movimiento traslacional porque el teatro se mueve en un entorno fijo de adelante hacia atrás.

Figura 47. *Tercer modo de vibración en Y*



Nota: *La siguiente figura muestra como es el movimiento de la edificación con el tercer modo de vibración en Y, obtenido de cype 2017.*

El teatro se considera vulnerable debido a que sus elementos estructurales que soportan la carga están fallando como es el caso de los pilares ya que no se encuentran en buen estado lo que generaría que la edificación tenga un alto grado de vulnerabilidad ante la presencia de un nuevo evento sísmico.

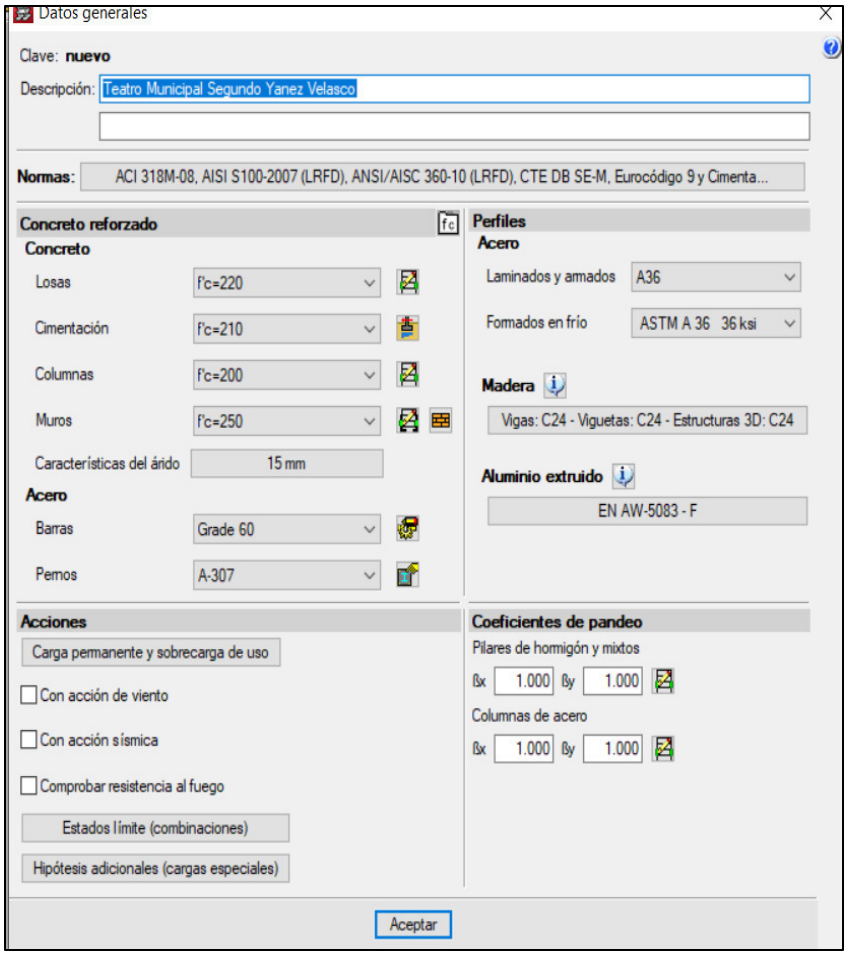
CYPE 3D

Adicional al modelamiento del teatro se consideró realizar el uso del CYPE 3D que trabaja para crear la cubierta metálica que está integrada en el teatro, este programa lo que hace es crear y dibujar el diseño de estructuras definidas con barras o perfiles tridimensionales en donde se puede calcular y comprobar la resistencia. Para ello se considera los siguientes pasos esenciales:

1. Datos Generales de la cubierta metálica

En esta pestaña se introduce la información detallada sobre la cubierta en donde detallamos la norma específica que con la que trabajará para acero laminados (ACI 318M-08 USA).

Figura 48. *Introducción de los datos generales en la cubierta metálica*

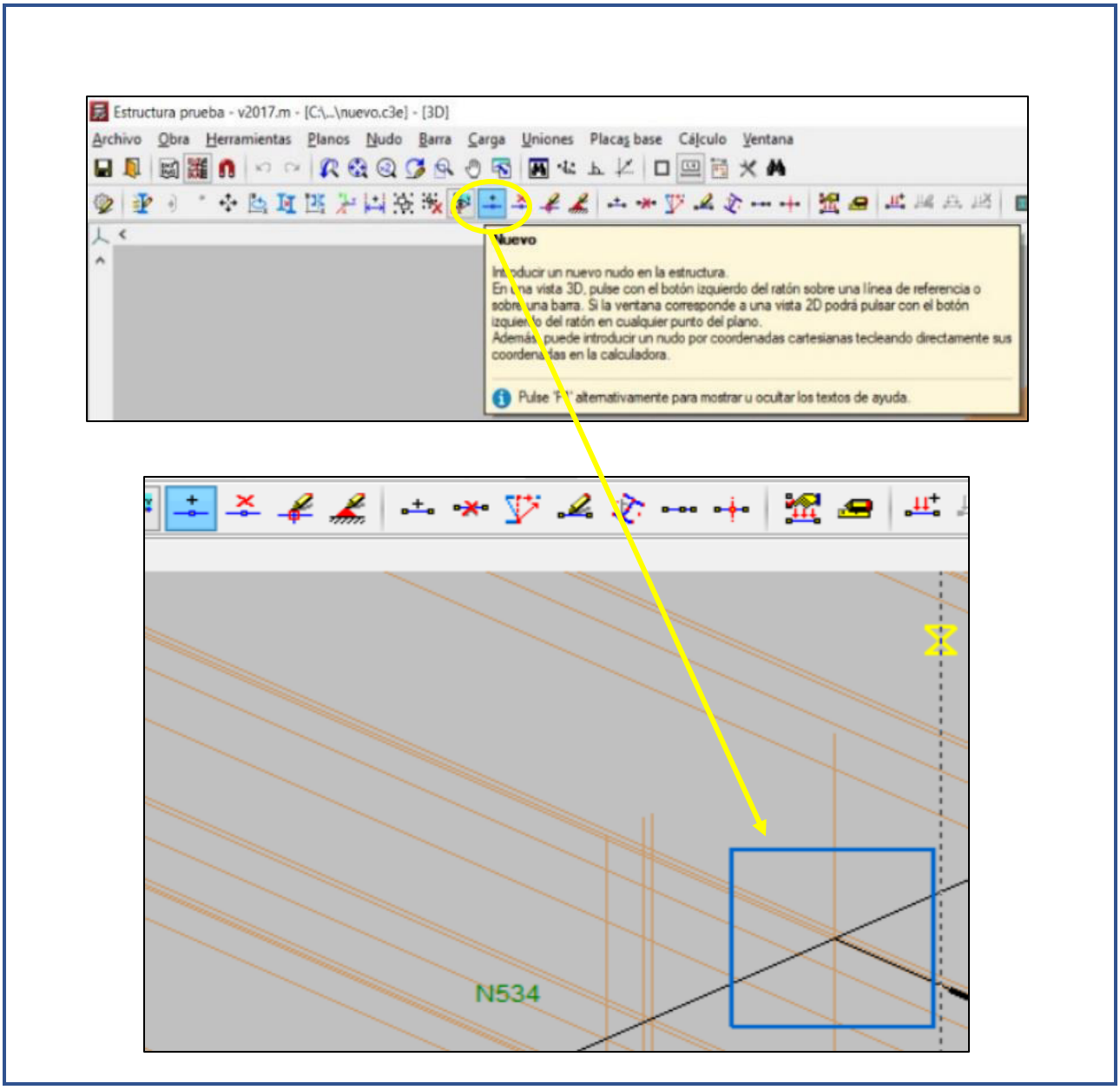


Nota: *En la ventana se muestra la norma que se debe utilizar en la cubierta de teatro, obtenido de cype 2017.*

2. Introducción de un nudo

Consideramos crear los nudos con el fin de conectar las barras que se va generar en la estructura metálica, en este paso nos dirigimos a la opción de (nuevo nudo).

Figura 49. *Icono para introducir un nuevo nudo*

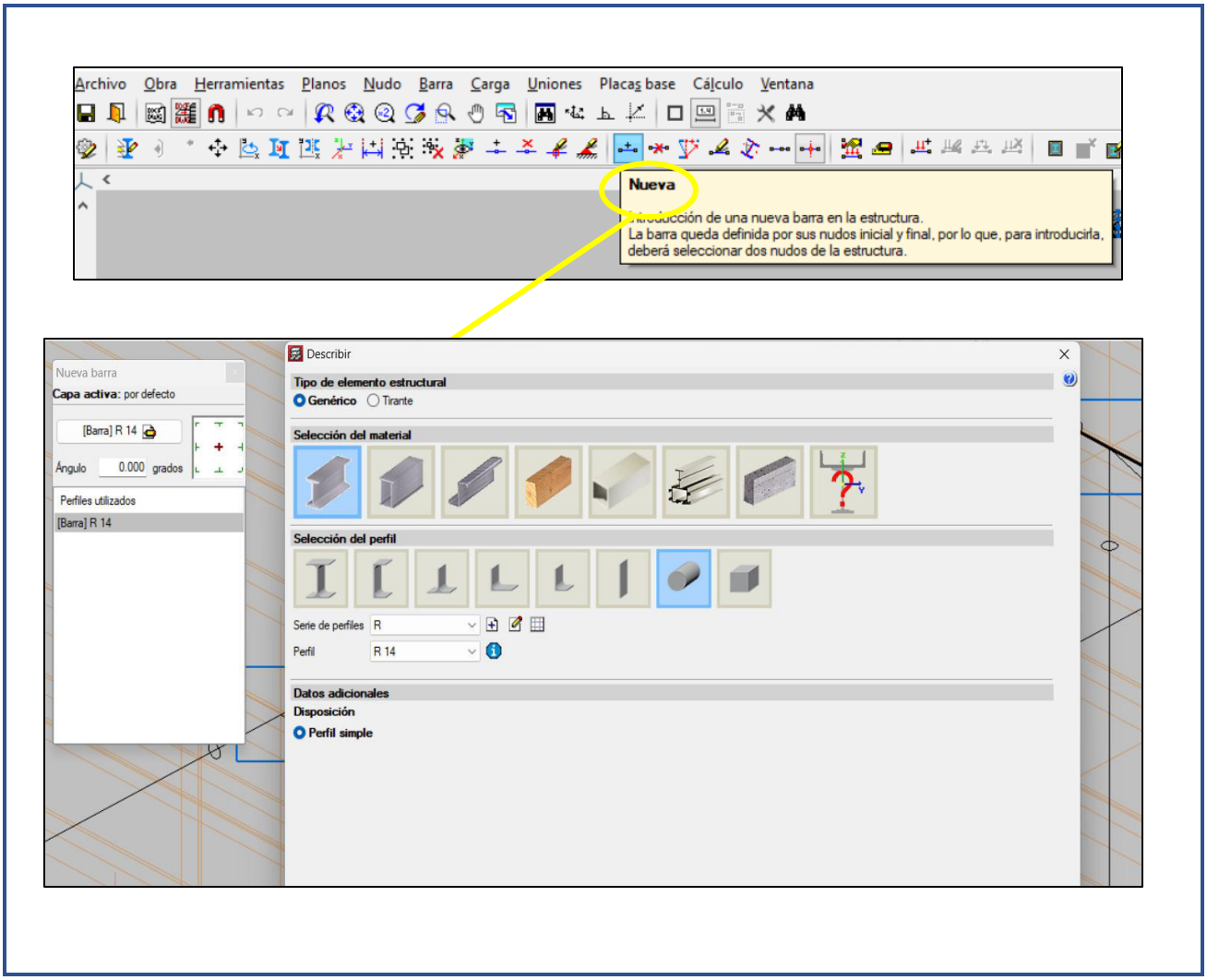


Nota: *En esta figura se muestra el icono para crear un nuevo nudo en la estructura metálica del teatro, obtenido de cype 2017.*

3. Creación de los perfiles

Son elementos de acero que conforman una estructura metálica, para ello consideramos la opción (nueva) y procedemos a dibujar las respectivas barras o perfiles (barra de acero laminado redondo) de 14 cm que tiene la cubierta del teatro.

Figura 50. *Ventana para dibujar los perfiles del teatro*

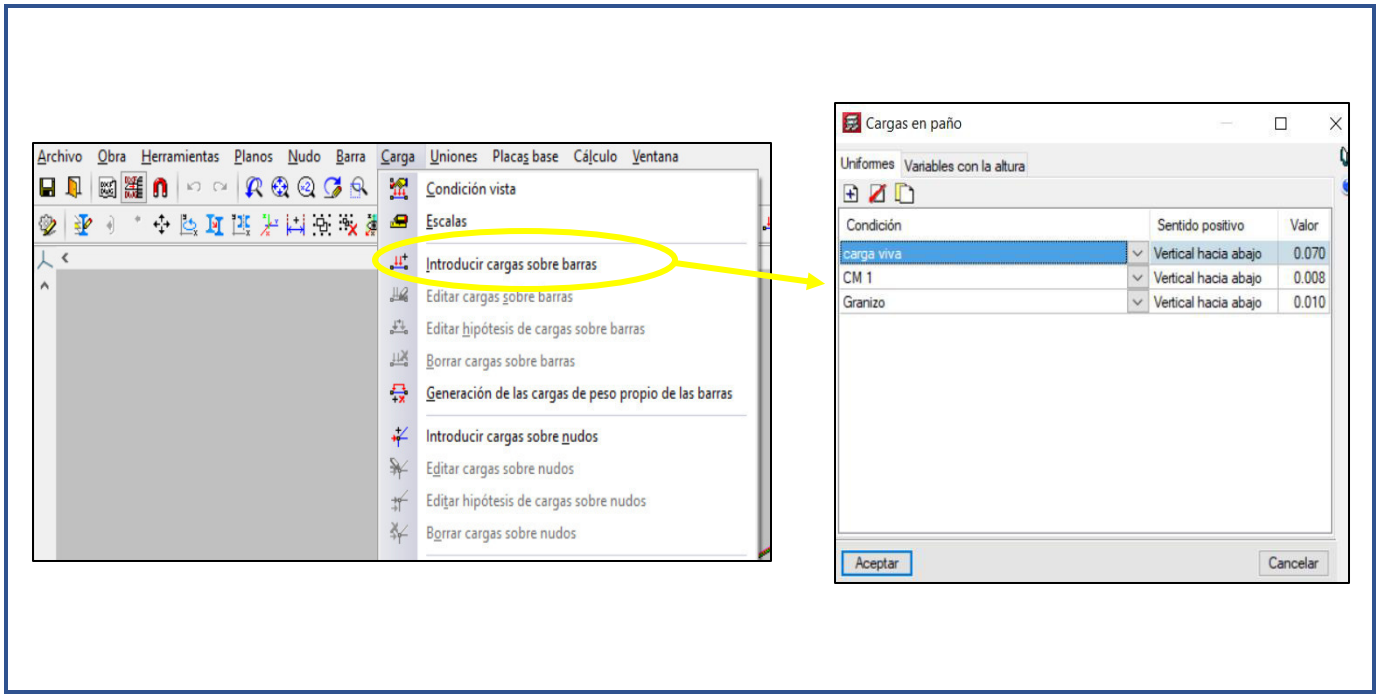


Nota: *en esta figura se puede observar el icono para dibujar los respectivos perfiles de la cubierta del teatro, obtenido de cype 2017.*

4. Colocación de cargas especiales

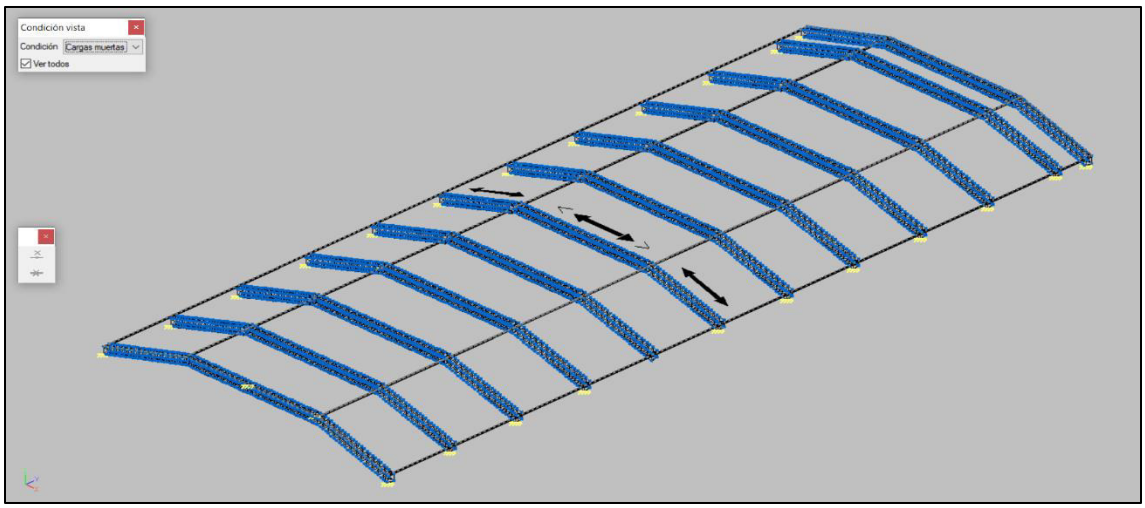
Para generar las hipótesis de las cargas adicionales que vamos a generar en la cubierta son 3 (carga viva, muerta y de granizo), nos dirigimos al icono de carga y seleccionamos (introducción de cargas sobre barras), considerando que para la carga viva el valor de cuanto es el peso de una persona (70 kg), que transformado a toneladas nos da 0.070, en la carga muerta se utilizó el peso que tiene el material de la cubierta de eternit de 8 kg que convertido a toneladas es 0.008 y para el dato del granizo se tomó en cuenta la NEC 2014 en el capítulo de las **Cargas no sísmicas** en el ítem *3. Cargas y combinaciones de cargas*, literal *3.2.5. Cargas de granizo:* que para cubiertas con pendientes menores del 5%, se debe tomar en cuenta una carga de granizo de 1.0 kN/m^2.

Figura 51. *Icono para introducir las cargas correspondientes en la cubierta*



Nota: *Se puede observar el icono que es para introducir las cargas adicionales en la cubierta metálica del teatro, obtenido de cype 2017.*

Figura 52. *Cargas introducidas en la cubierta del teatro*

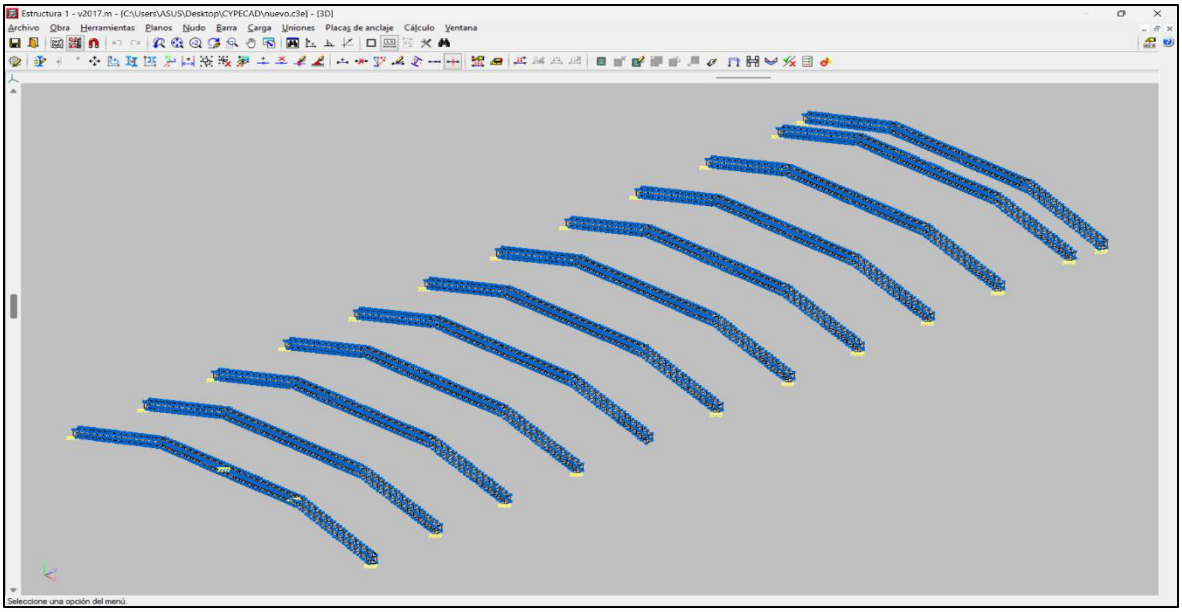


Nota: *La figura muestra el ingreso de las 3 cargas consideradas para la cubierta metálica del teatro, obtenido de cype 2017.*

5. Diseño de las correas y cerchas metálicas

Las correas diseñadas de la cubierta del teatro son las barras metálicas horizontales en este caso se han dibujado 5 correas de 45 cm.

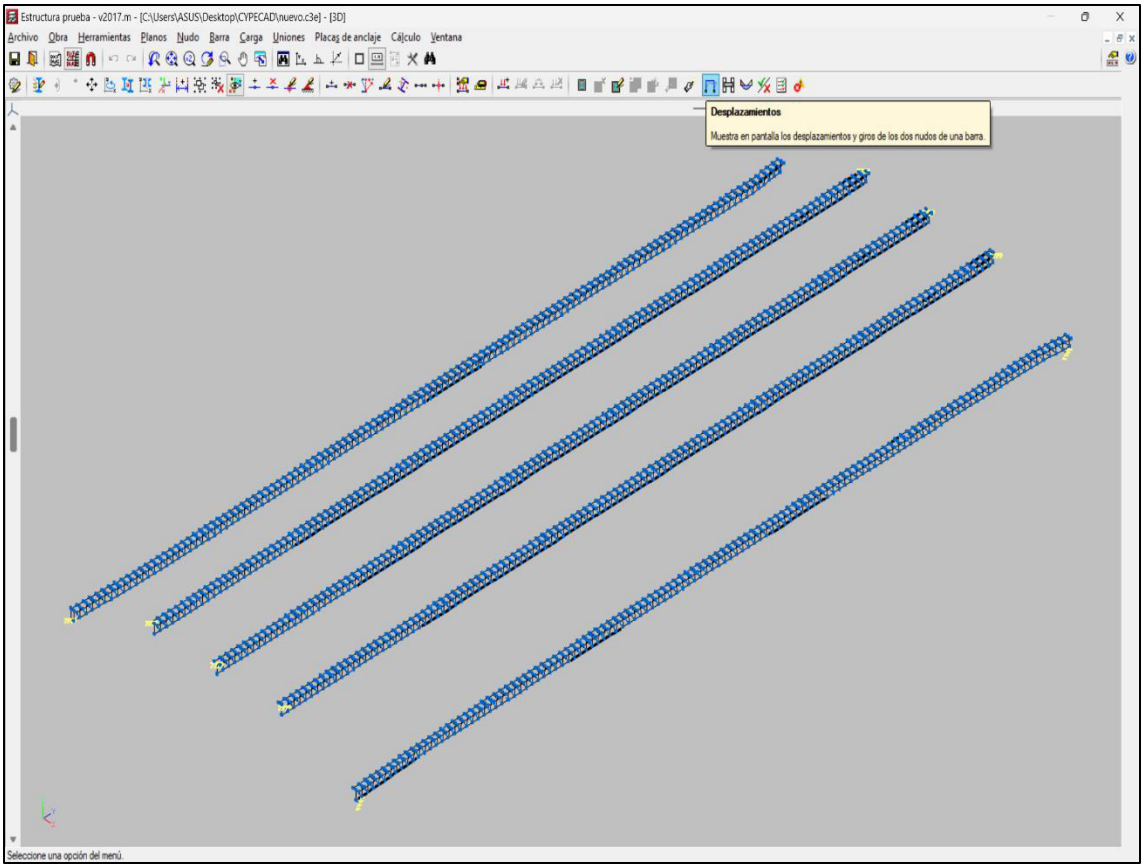
Figura 53. *Correas de la estructura metálica*



Nota: *La figura muestra las correas que conforman la estructura metálica del teatro, cype 2017.*

Las cerchas metálicas son armaduras verticales de acero que conforma la cubierta del teatro para ello se han diseñado 12 cerchas.

Figura 54. *Cerchas metálicas de la cubierta del teatro*

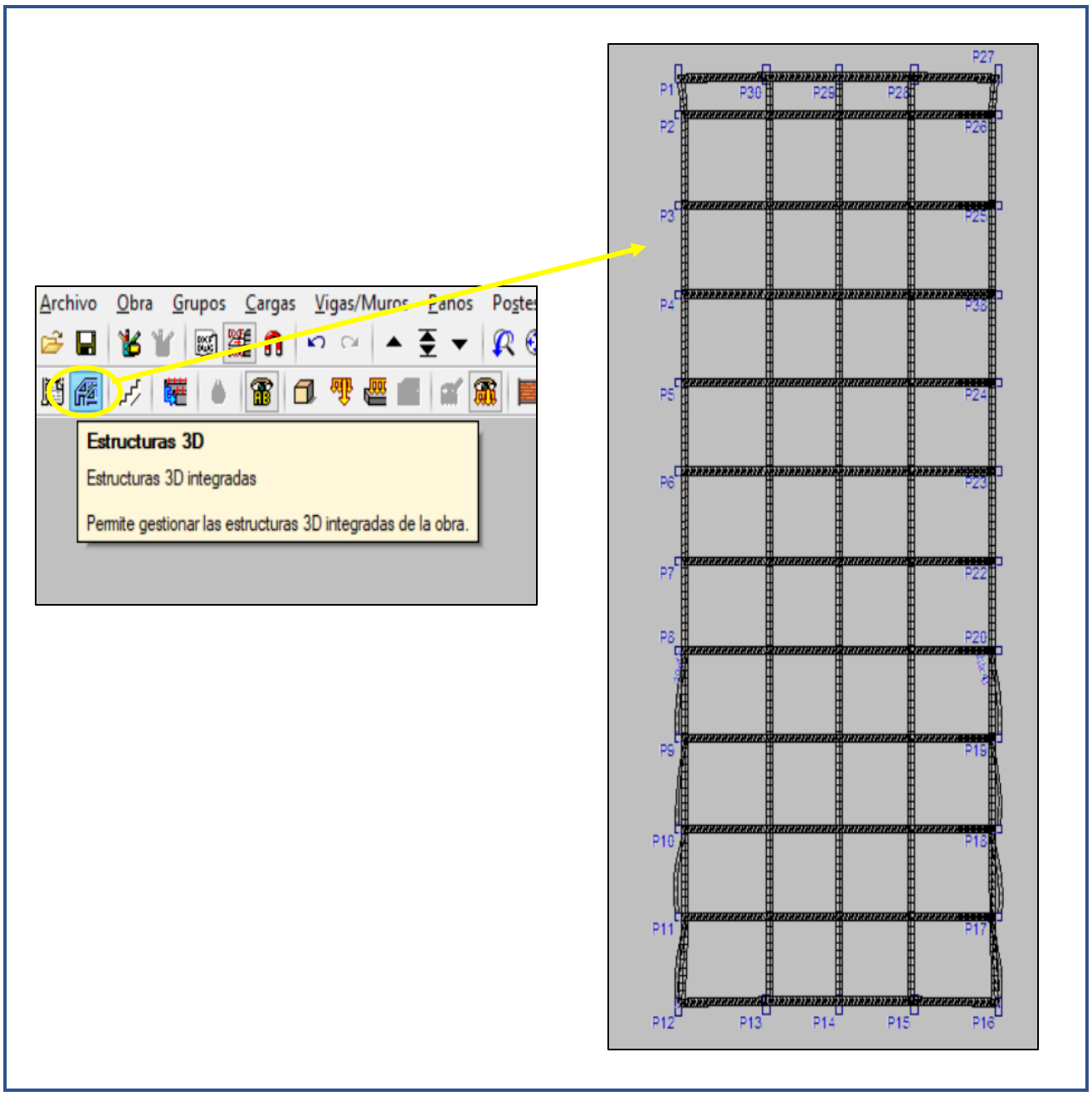


Nota: *La figura muestra las cerchas metálicas dibujadas en la cubierta del teatro, cype 2017.*

6. Ingreso a Estructuras 3D

Para ingresar a la vista 3D de la cubierta metálica dibujada en el CYPE, debemos dirigirnos al icono de (Estructuras 3D integradas), de acuerdo a la planta donde empieza la cubierta del teatro en este caso del Nivel 13.55.

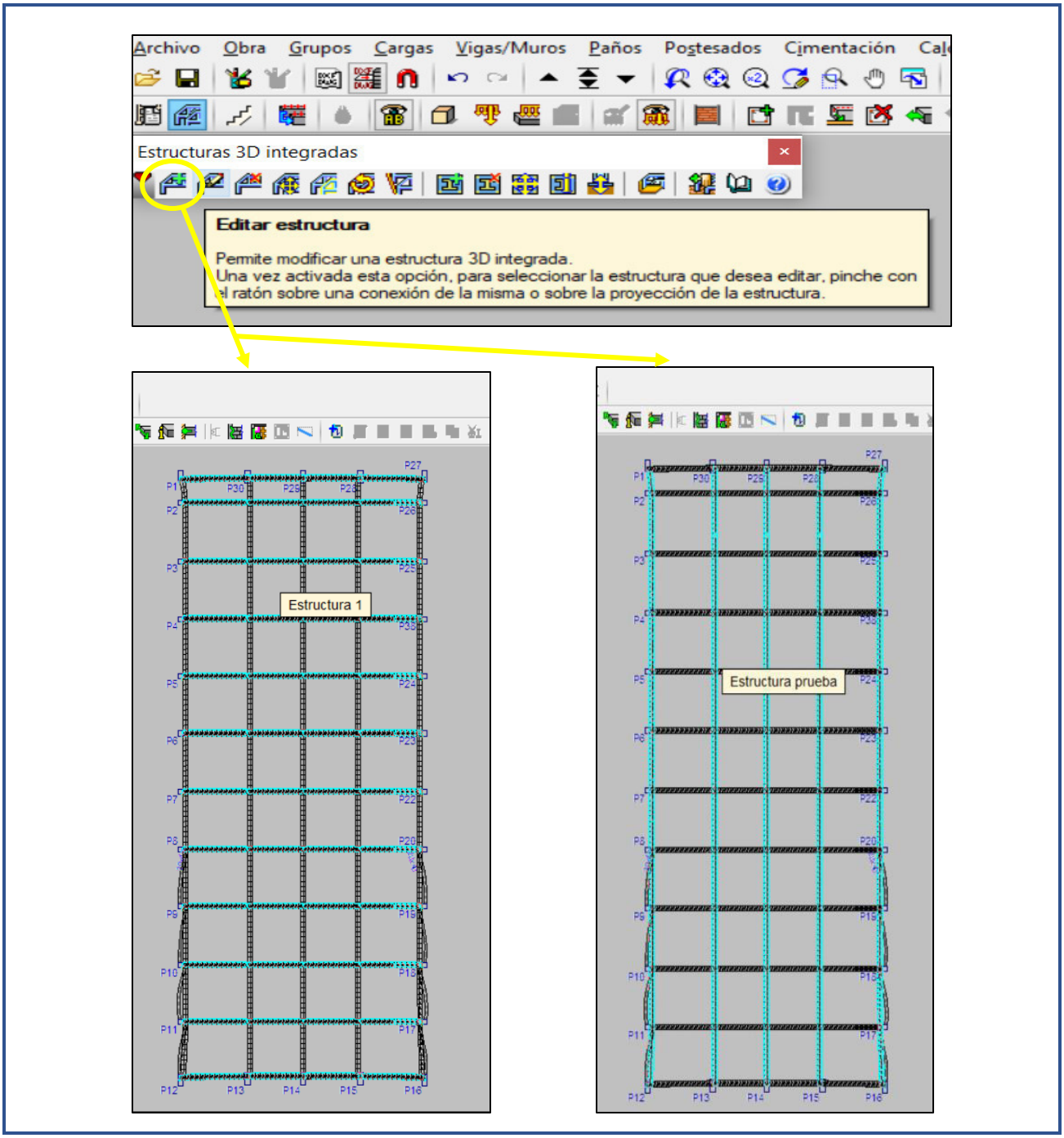
Figura 55. *Ingreso a las Estructuras 3D*



Nota: *La figura muestra las cerchas metálicas dibujadas en la cubierta del teatro, cype 2017.*

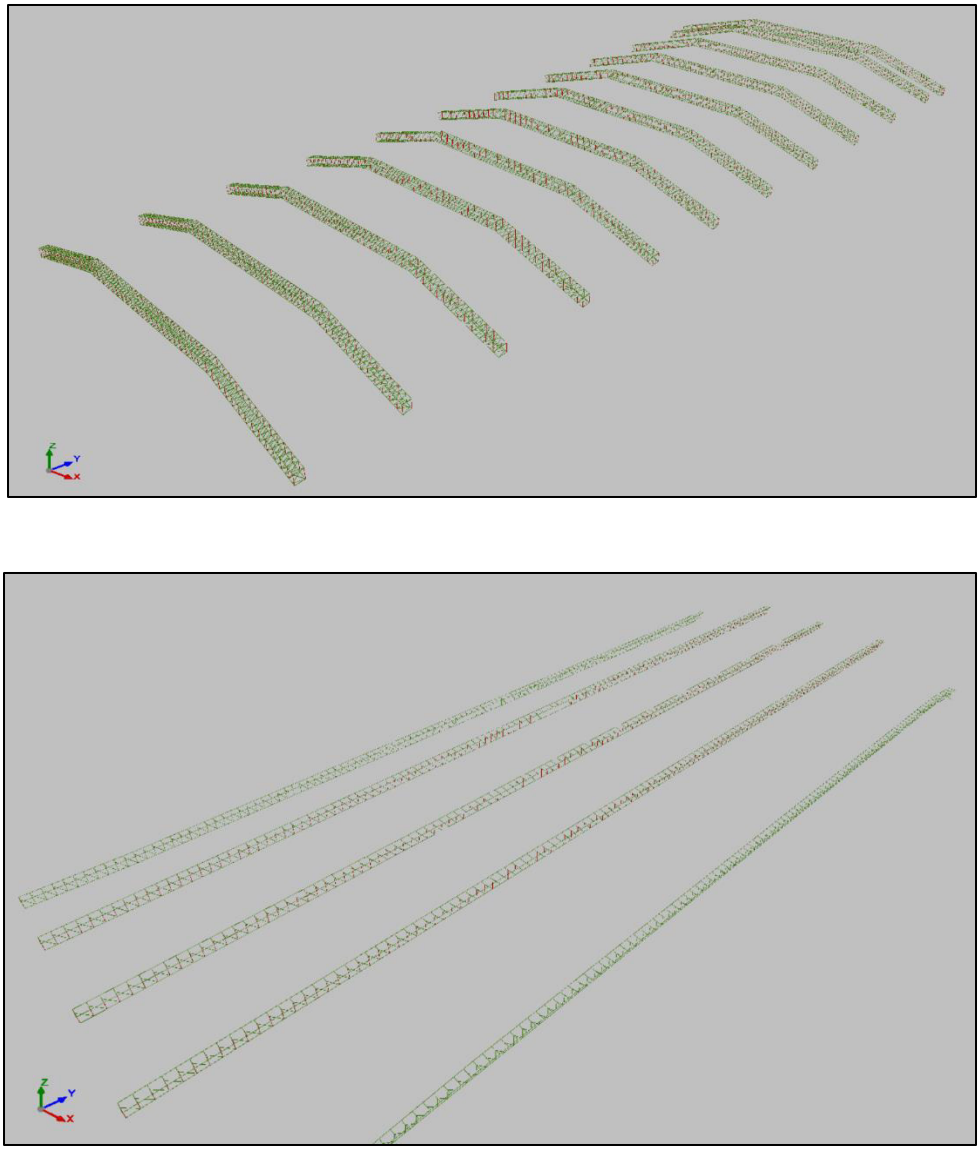
Luego nos dirigimos a la opción de (editar estructura) y escogemos en el Nivel 13.55 la estructura que queremos ingresar dando doble clic en la misma; para la (Estructura 1), para observar las cerchas metálicas dibujadas y en la (Estructura prueba) las correas del teatro.

Figura 56. *Icono para ingresar a la estructura metálica*



Nota: *La figura muestra como ingresar en las correas y cerchas creadas en la cubierta del teatro, cype 2017.*

Figura 57. *Vista 3D de las correas y cerchas metálicas de la cubierta del teatro*

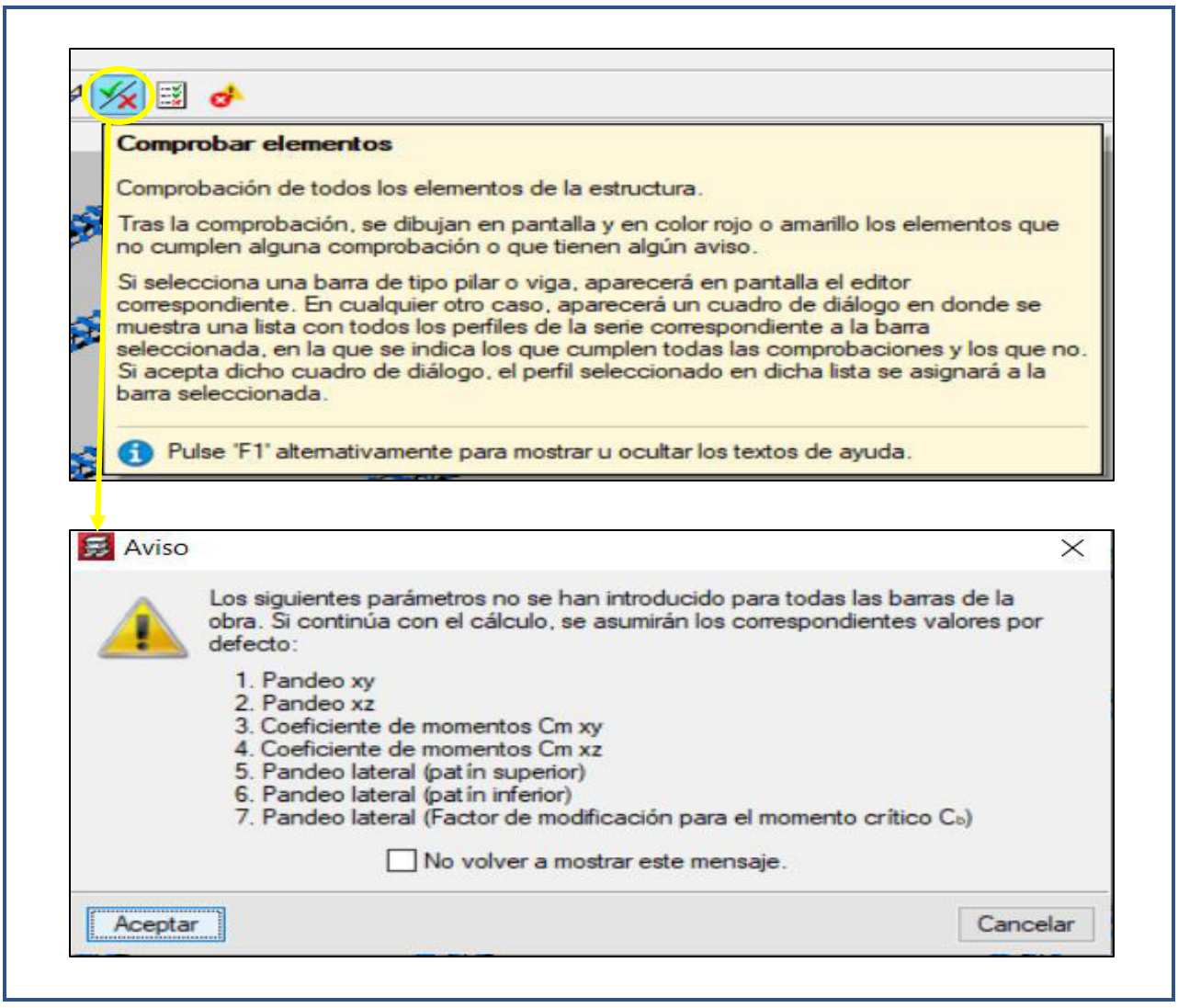


Nota: *La figura como ingresar en las correas y cerchas creadas en la cubierta del teatro, cype 2017.*

7. Comparación de errores

Una vez ingresado los elementos de la cubierta del teatro ingresamos a la opción de (comprobar elementos), para verificar si la estructura metálica tiene algún error para después modificarlo.

Figura 58. *Icono para la comprobación de los elementos de la cubierta*

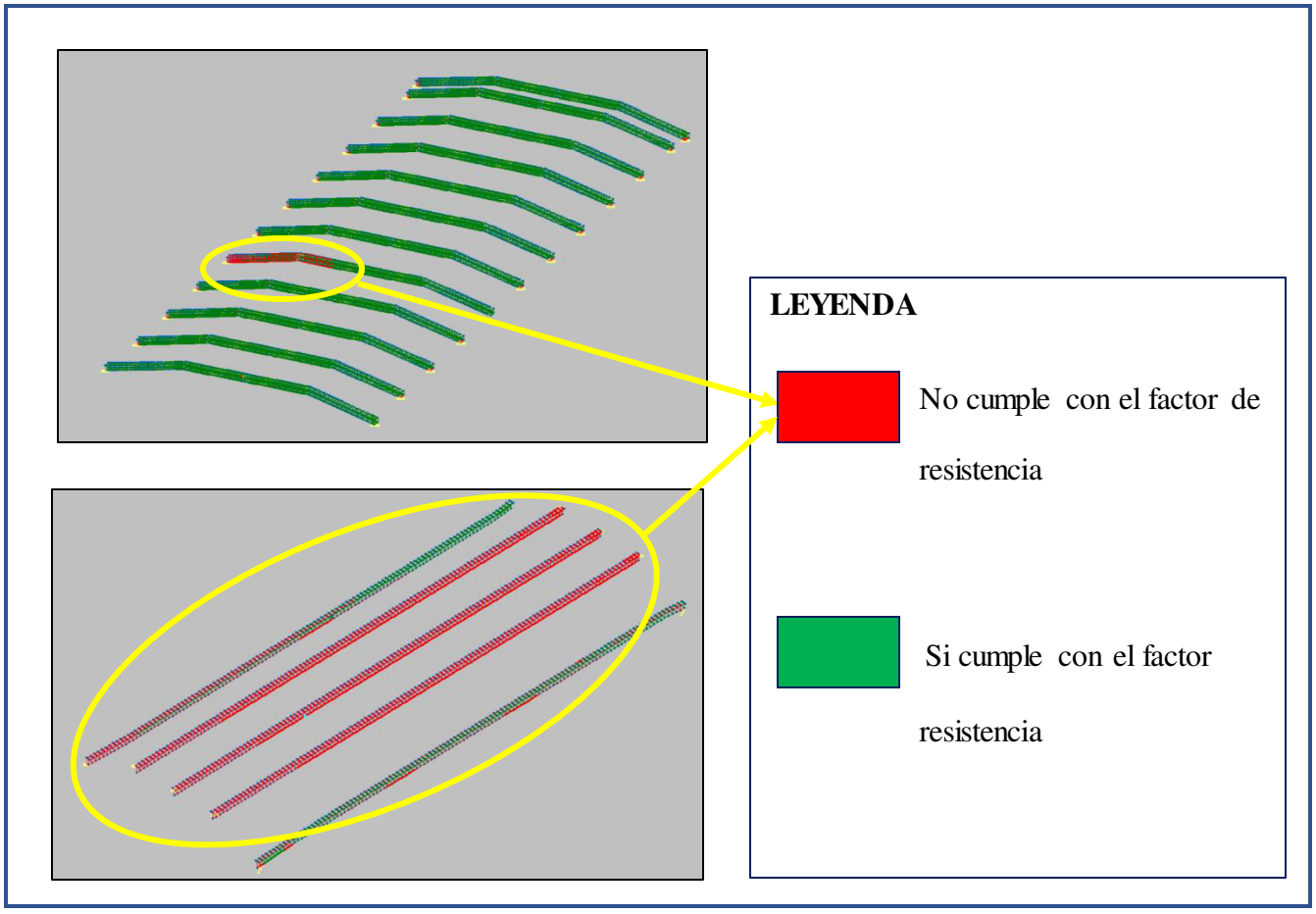


Nota: *La figura nos muestra el icono que nos servirá para la comparación de los errores que tiene los elementos en la cubierta del teatro, cype 2017.*

8. Cálculo de la estructura

Una vez realizado los 7 pasos anteriores y las comparaciones de los errores de la estructura, nos dirigimos a la opción de (calculo) para analizar toda la obra. Cabe mencionar que para esta cubierta no se consideró el análisis final de la deriva por el hecho de no tener soportes establecidos en los pilares y vigas, sino más bien se da un valor al desplazamiento mediante los apoyos fijos y móviles, lo que en si se analiza en la estructura de la cubierta es si esta cumple o no con los parámetros de resistencia.

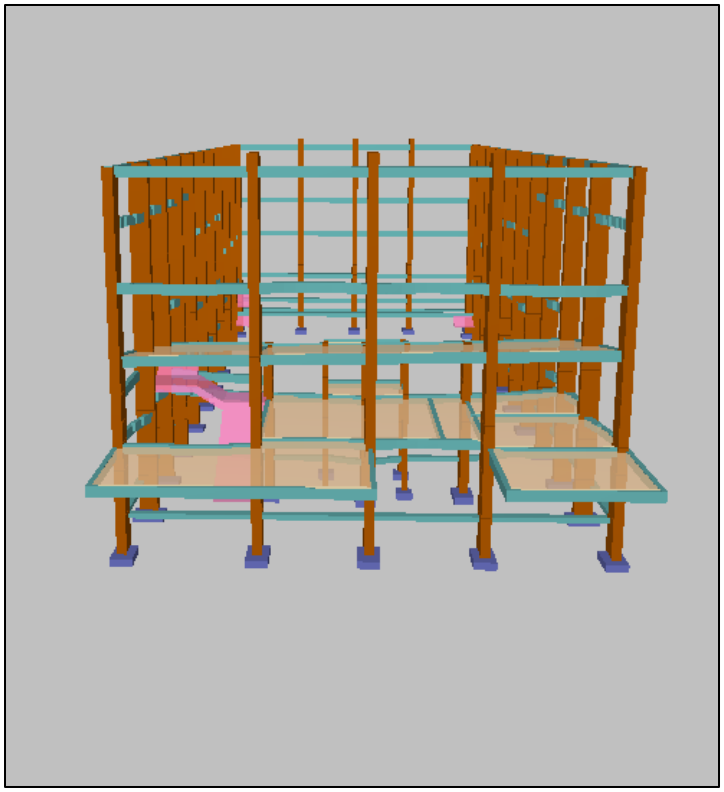
Figura 59. *Resistencia de la cubierta del teatro*



Nota: *La figura nos muestra el resultado final de la resistencia que tiene las correas y cerchas, cype 2017.*

En la figura se puede observar el resultado final del modelamiento, en donde se evidencia que de todas las cerchas metálicas solo la quinta no cumple con la resistencia, las demás están dentro de los valores establecidos, para la mayoría de las correas tiene una resistencia que no están al 100% y solo una parte cumplen con los lineamientos de la NEC.

Figura 60. *Vista 3D del teatro con la estructura metálica*



Nota: *La figura nos muestra la vista final del teatro con la estructura metálica integrada, cype 2017.*

4.3.Resultado según el Objetivo 3: Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad físico estructural del sistema edificio ante la presencia de sismos, con el apoyo de la inteligencia artificial.

PROPUESTA	Medidas para reducir la vulnerabilidad físico estructural del sistema edificio ante la presencia de sismos, con el apoyo de la inteligencia artificial.			
OBJETIVO	Generar las medidas para reducir la vulnerabilidad físico estructural del teatro ante la presencia de sismos, con el apoyo de la inteligencia artificial.			
RESULTADO POR CADA OBJETIVO	**PROBLEMA IDENTIFICADO**	**MEDIDA PROPUESTA**	**BENEFICIO**	**RESPONSABLE**
Ensayo de laboratorio (Esclerómetro)	Los pilares no cumplen con los requerimientos en la norma NEC actuales	• Realizar pruebas complementarias del tipo de hormigón de los pilares, sin considerar el enlucido • De ser el caso reforzar los pilares	Mejorar la resistencia sísmica de los pilares del teatro	Departamento de Obras Públicas y del GAD local
	Deterioro de los materiales de los pilares	• Revisar la cubierta y los drenajes de aguas lluvias para evitar el deterioro por humedad		Departamento de Obras Públicas y del GAD local
	Discontinuidad en la conexión de las vigas	• Reforzar probablemente con una estructura metálica, para mantener la continuidad de las vigas		Departamento de Obras Públicas y del GAD local

		• Mejorar las conexiones de las vigas para asegurar la unión en base a las placas de acero o hormigón armado y reforzar las cargas sísmicas		
	Efecto de humedad en los pilares	• Agregar una capa de permeabilidad para evitar que la humedad siga desgastando el pilar (silicona) • Revisar permanentemente los drenajes del Nivel+9.30 para evitar posibles colapsos de drenaje • Dar tratamiento a la florescencia de la mampostería inferior, por la presencia de sales minerales	Proteger toda la estructura del sistema edificio para evitar su deterioro y en consecuencia reducir su vulnerabilidad	Departamento de Obras Públicas y del GAD local
Software CYPECAD	Torsión	• Realizar encamisado metálico en los ejes (5 cercha metálica y las correas 1,2,3,4,5 es decir todas)	Reducir el riesgo de torsión para equilibrar las fuerzas sísmicas	Departamento de Obras Públicas y del GAD local
	Vulnerabilidad estructural	• Dar mantenimiento en forma permanente, verificando que no existan fisuras o grietas especialmente después de un evento sísmico • Reforzar las conexiones entre las vigas, pilares y losas	Mejorar la capacidad sísmica reduciendo el riesgo de colapso	Departamento de Obras Públicas y del GAD local

		• Instalar muros y refuerzos con sistemas sísmicos		
Software CY 3D	Las correas no cumplen con la resistencia	• Cambiar la actual estructura de la cubierta por una más dinámica y cubrir con planchas metálicas pre pintadas y en la parte inferior recubierta por espuma aislante • Instalar soportes temporales sobre las correas con problemas para repartir la carga de la cubierta metálica • Instalar una placa metálica galvanizada lisa y acanalada para reforzar las correas que tengan debilitamiento	Reducir el riesgo inmediato de colapso de la cubierta considerando la pronta reparación de la misma	Departamento de Obras Públicas y del GAD local
	Una cercha metálica no cumple con la resistencia	• Colocar soportes para reducir la carga sobre la cercha metálica que no presenta una buena resistencia • Cambiar las cerchas de acuerdo a las recomendaciones	Identificar las cerchas que requieren una pronta reparación o sustitución	Departamento de Obras Públicas y del GAD local

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se determinó el estado actual del teatro que pese a los dos eventos sísmicos del 16 de Abril y el 06 de septiembre ocurridos en el Ecuador, no ha existido afectaciones en su sistema estructural, sino más bien debido al abandono de la edificación, ya que existe un deterioro en la mayoría de los elementos estructurales que conforman la misma, por eso se ha visto la necesidad de conocer un valor aproximado de la resistencia de compresión de los elementos estructurales expuestos mediante la aplicación del ensayo de laboratorio con el esclerómetro que permite realizar un análisis para obtener el número de rebotes mediante un martillo de impacto, con esto se pudo obtener los valores finales de cada elemento estructural evaluado dándonos como resultados los siguientes: para los pilares 1-5 y 11-16 son datos del rebote menores al rango establecido y el valor obtenido de estos nos da **201,86** $\boldsymbol{kg/cm^2}$como no aceptado en el ensayo esto debido a la presencia de humedad y sobre todo no cumple con el rango establecido de la NEC de 210 kg/cm^2, mientras que para las vigas se considera un valor de **221,58** $\boldsymbol{kg/cm^2}$ y en las escaleras un valor de $\boldsymbol{214,14\ kg/cm^2}$, para los dos elementos expuestos como las vigas y escaleras si cumplen con el rango y se acepta el ensayo aplicado.
- Con el uso de software CYPECAD se logra realizar el modelamiento del teatro que conlleva la introducción de toda la estructura es decir la cimentación, los elementos estructurales expuestos como las vigas, pilares y escaleras, además se añadieron las cargas gravitacionales, los valores de la resistencia del hormigón mediante el esclerómetro. Todos estos datos fueron de mucha importancia para determinar el comportamiento sísmico del teatro en base a un análisis dinámico modal-espectral que

tiene el programa considerando los lineamientos que establece la NEC y logrando obtener los resultados de los 4 parámetros; en los *modos de vibración* se trabajó con los modos: Modo 1 y Modo 3, por lo tanto existe torsión en estos valores de los modos de (0.9248 y 0.669) por que están cercanos a 1, en el *periodo de vibración* se observa que mediante el reemplazo de la fórmula se obtuvo un valor del periodo de vibración del cortante basal elástico en X y Y de 0.59 lo que tiene una variación con el valor del modo 1 que es de 0.636 s, en el *desplazamiento* se muestra que los valores de la distorsión de los pilares cumplen con el 0.02 establecidos por la NEC ya que los resultados arrojados son de 1/63 en X y 1/242 en Y, lo que quiere decir que la estructura del teatro presenta vulnerabilidad considerable y la *torsión* nos refleja que para el Modo 1 en X es rotacional y el Modo 3 en Y es traslacional, por lo que es conveniente verificar como la torsión afecta al sistema estructural, considerando la posición del centro de rigidez en relación con el centro de masa, lo cual es de suma importancia para deducir como se distribuyen las fuerzas durante un evento sísmico.

- . Adicional también se utilizó el CYPE 3D para modelar la cubierta metálica donde se obtuvo que la mayoría de las correas no cumplen con la resistencia establecida y con respecto a las cerchas, la 5 cercha metálica presenta un nivel bajo de resistencia, por lo tanto, la cubierta es vulnerable.
- Las medidas implementadas para reducir la vulnerabilidad físico estructural del teatro con el apoyo de la IA, permite generar acciones y mecanismos en cuanto a los resultados obtenidos del esclerómetro y del CYPECAD en relación a los problemas detectados con el fin de realizar reparaciones en sus elementos estructurales, reforzar los elementos más vulnerables y por ende lograr que las autoridades del GAD del cantón San Miguel de

Bolívar, sigan estas medidas como recomendación para reforzar la estructura del teatro y reducir la vulnerabilidad.

Recomendaciones

- Se recomienda a las autoridades competentes realizar una inspección estructural minuciosa para que de esta manera puedan obtener un adecuado diagnóstico y evaluación del sistema edificio donde se incluya el análisis de los elementos estructurales expuestos para determinar en qué condiciones se encuentra y el nivel de deterioro que presenta. Además, se sugiere realizar la evaluación de la calidad de los materiales utilizados en la edificación e identificar si la misma fue construida bajo alguna normativa de construcción existente.
- Periódicamente se debe monitorear la estructura con la ayuda de testigos para detectar a si con el paso del tiempo se han presentado cambios en el sistema edificio para intervenir con anticipación en caso de ser necesario.
- Que se verifique la resistencia de compresión en los pilares, debido a que el esclerómetro arroja valores aproximado, además en el trabajo de campo se realizó la prueba del martillo en el enlucido ya que no permitieron picar el hormigón.
- Se debe realizar un estudio más profundo de los elementos estructurales del sistema edificio para dar solución a los problemas identificados.
- Se recomienda que se realice una intervención estructural en la cubierta metálica del teatro haciendo un modelamiento más específico con el apoyo de ingenieros estructurales que dominen el diseño sismo resistente, estos están en la capacidad de dar soluciones adecuadas de acuerdo a las condiciones en que se encuentra la cubierta.

- Las autoridades competentes deben tomar en consideración las medidas creadas para reducir la vulnerabilidad que tiene el teatro y de esta manera tengan en cuenta que la edificación debe ser evaluada por un profesional en el área estructural.
- Con respecto al humedecimiento de pilares se requiere realizar un sistema de drenaje de aguas lluvias para evitar la filtración de agua a los muros laterales.
- Refiriéndonos al interior del teatro se recomienda reemplazar el tipo de piso por uno que disminuya la resonancia, que sea antideslizante y estético.

BIBLIOGRAFÍA

Amangandi, G. L. C., & Chimborazo, F. M. P. (2017). *Análisis de la vulnerabilidad física espacial de las edificaciones, frente a sismos, en el centro parroquial La Magdalena, cantón Chimbo, provincia Bolívar, período 2017* [Universidad Estatal de Bolívar]. https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/1897

Azcona, M., Manzini, F., & Dorati, J. (2013). *Precisiones metodológicas sobre la unidad de análisis y la unidad de observación a la investigación en psicología*.

Badilla, V., & Zamora, J. L. (2015). Correlación de diferentes métodos no destructivos de detección superficial de anomalías en el hormigón armado. *CONPAT*, 1–8.

Caicedo, M. D. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, *8*(2), 1–13.

Carreño, M. L. T., Cardona, O. D. A., Marulanda, M. C. F., & Barbat, A. H. (2007). Herramienta computacional para la evaluación post-sísmica de daños en edificios. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, *7*(1), 3–24.

Caspi, K. E. A., Lazoario, E. M. Y., & Aroca, G. B. (2019). Análisis de riesgos ante eventos sísmicos en las edificaciones de la parroquia Santa Fe, cantón Guaranda, provincia Bolívar, Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, *4*(3), 50–88. https://doi.org/10.24133/rcsd.V4N3.2019.04

Cevallos, C. A. L. (2017). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica y diseño del reforzamiento estructural del edificio administrativo de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18971/1/CD-8369.pdf

Chata, E. F. M. (2022). *Análisis comparativo del modelamiento y diseño estructural en concreto armado utilizando los Softwares SAP2000, ETABS, CYPECAD Y REVIT ESTRUCTURE, para la infraestructura educativa Soropa* [Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18907

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

Flores, F. L. A., & Panduro, H. E. (2021). *Evaluación de patologías y su influencia en una propuesta de mantenimiento de las edificaciones de concreto armado en el Distrito de Juan Guerra, Provincia y departamento de San Martín*. Universidad Científica del Perú.

Gaibor, M. de L. D. M., Ilijama, 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/https://doi.org/10.51247/st.v6i1.321

Grajales, T. G. (2000). *Tipos de Investigación*. http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf

INEC. (2015). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial No. 449. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/octubre/LA2_OCT_DIJU_Constitucion.pdf

Jaque, J. F. M. (2019). *Estudio comparativo del comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado, Lima 2019* [Universidad César Vallejo]. https://hdl.handle.net/20.500.12692/35351

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. https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf

Mases, M., & González, M. (2003). Riesgo Sísmico. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, *1*(11), 44–53. https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/88860/133048

Mejía, R. M., & Julcahuanca, H. G. R. (2022). *Evaluación del comportamiento sísmico de una edificación de 05 niveles incrementando la resistencia a comprensión del concreto (210, 280, 240 kg/cm2) mediante el análisis estadístico no lineal* [Universidad Tecnológica del Perú]. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6794/R.Marino_H.Ramirez_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MIDUVI. (2014). *Acuerdo Ministerial-0028*. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.orellana.gob.ec%2Fdocs%2FLOTAIP%2Fliteral-a2%2FACUERDO-0028-NORMAS-NEC2.pdf&psig=AOvVaw31BHr_73B7Issvq-dGRDfD&ust=1719366906891000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAQQn5wMahcKEwig5PD-0vWGAxUAAAAAHQAAAAAQBA

MIDUVI. (2015). *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. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION.pdf

Miranda, E. (1999). *Respuesta de edificios al movimiento sísmico*.

Moncayo, T. M., Vargas, J. J., Moncayo, V. G., & Barzola, Z. I. (2017). Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador. *PRISMA Tecnológico, 8*(1), 12–17. https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1526

Morales, l G. W., Santamaría, J. C. L., Caicedo, B. W., & Tipán, Q. F. (2019). Hormigón estructural de baja densidad para edificaciones. *INGENIO*, *2*(2), 58–70. https://doi.org/https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1704

NEC. (2014a). *Cargas (no sísmicas)* (MIDUVI). Norma Ecuatoriana de Construcción. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

NEC. (2014b). *Peligro sísmico diseño sismo resistente* (MIDUVI). Norma Ecuatoriana de Construcción. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

NEC. (2014a). NEC-SE-DS-Peligro Sísmico parte-2. In *Peligro Sísmico Diseño sismo resistente*. MIDUVI. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/3.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-2.pdf

NEC. (2014b). *Peligro sísmico diseño sismo resistente* (MIDUVI). Norma Ecuatoriana de Construcción. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

Palacios, R. M. (2006). *Investigación cualitativa y cuantitativa. Diferencias y limitaciones*. https://www.insp.mx/resources/images/stories/Centros/nucleo/docs/dip_lsp/investigacion.pdf

Palma, C. J. R., Gavilanes, P. D. Z., & Baquerizo, E. S. (2012). Utilización del software Cypecad en el diseño sismo resistente de un edificio de cinco pisos utilizando como material el hormigón armado. *ESPOL*, 1–6.

PDOT. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial San Migue de Bolívar 2020-2023*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Bolívar. https://drive.google.com/file/d/1CS-NmKfcv1Uk3RGq5yWibWAgDWa7tFHI/view

Pessiki, S. P., Farhad, S., Hermenegildo, A., Nicholas, C., Carino, J., Choi, K., Cumming, N. A., Davis, A. G., Delahaza, A., Dilly, R. L., Dixon, D. E., Dragunsky, B., Ghorbanpoor, A., Heidbrink, F. D., Hertlein, B. H., Hindo, K. R., Jenkins, R. S., Kesner, K. E., Lew, H. S., … Zoob, A. B. (2003). *Métodos in situ para estimar la resistencia del hormigón*. https://pdfcoffee.com/espaol-aci-2281r-03-in-place-methods-to-estimate-concrete-strength-mycivil-iren-es-3-pdf-free.html

Ponce, R. M. G., Cedeño, G. P. J., Andrade, L. S. J., Albia, M. C. M., & Bravo, A. J. M. (2020). Vulnerabilidad del hormigón en sismos. *ResearchGate,* 1–6. https://www.researchgate.net/publication/343921243

Quispe, S. J. D. (2019). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en el distrito de Chilca en el 2017* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6924

Roman, N. J. B. (2023). *Modelamiento estructural de una edificación de concreto armado usando el Software CYPECD, Trujillo 2022* [Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33579

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

Ruiz, L. R., & Alvarado, F. A. C. (2020). *La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio*. https://bonga.unisimon.edu.co/bitstreams/2af35a4b-2abf-4f78-a550-0a4e4764e674/download

Sánchez, E. A. C., & Nuñez, M. J. G. (2019). *Modelamiento informático del comportamiento de la estructura del edificio de Ciencias de la Salud y del Ser Humano de la Universidad Estatal de Bolívar ante amenaza sísmica* [Universidad Estatal de Bolívar]. http://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/3175

SGR. (2018). *Informe de Situación-Sismo, Provincia Chimborazo, sur de Cumandá*. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/09/SITREP-11-Sismo-13092018.pdf

Soucase, C. P., & Ochoa, E. V. (2013). Manual del ingeniero de edificación: Guía para el cálculo de estructuras con Cypecad. In *Manual del ingeniero de edificación: Guía para el cálculo de estructuras con Cypecad* (pp. 1–20). Editorial Universidad Politécnica de Valencia. https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72008/TOC_0523_04_01.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Taco, M. B., & Camacho, A. P. (2024). Zonas geotécnicas con condiciones favorables y desfavorables para construcciones desde ensayos geofísicos de sismicidad en la ciudad de Guaranda, Ecuador. *Journal of Science and Research*, *9*(1), 80–95. https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10463672

Theurer, M. M., G, V., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería*, *21*(2), 55–64. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46753192005

Trujillo, C. H. P., Lopez, R. O., & Lara, H. P. (2010). Los terremotos: una amenaza natural latente. *Scientia et Technica Año XVI*, *16*(45), 303–308. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249056

Yaguache, E. P. D., Riofrío, C. F. Q., & Oviedo, J. D. C. (2022a). Evaluación del comportamiento dinámico en edificaciones de baja altura en la ciudad de Loja-Ecuador. *CEDAMAZ*, *12*(1), 59–67. https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i1.1320

Yaguache, E. P. D., Riofrío, C. F. Q., & Oviedo, J. D. C. (2022b). Evaluación del comportamiento dinámico en edificaciones de baja altura en la ciudad de Loja-Ecuador. *CEDAMAZ*, *12*(1), 59–67. https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i1.1320

ANEXOS

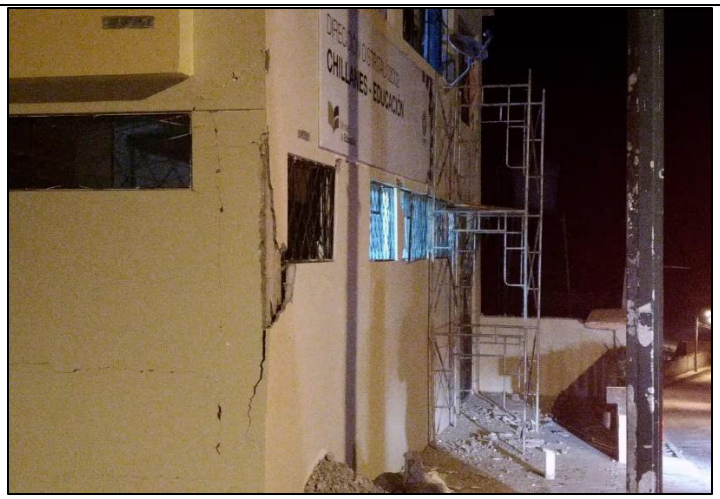
Anexo 1. Afectaciones en las edificaciones a causa de los sismos ocurridos del 16 de abril del 2016 y el 06 de septiembre del 2018 en el Ecuador

Fotografía 1. Edificaciones colapsadas en la ciudad de Manabí a causa del sismo del 16 de abril del 2016



Fuente: (Ecuavisa, 2016)

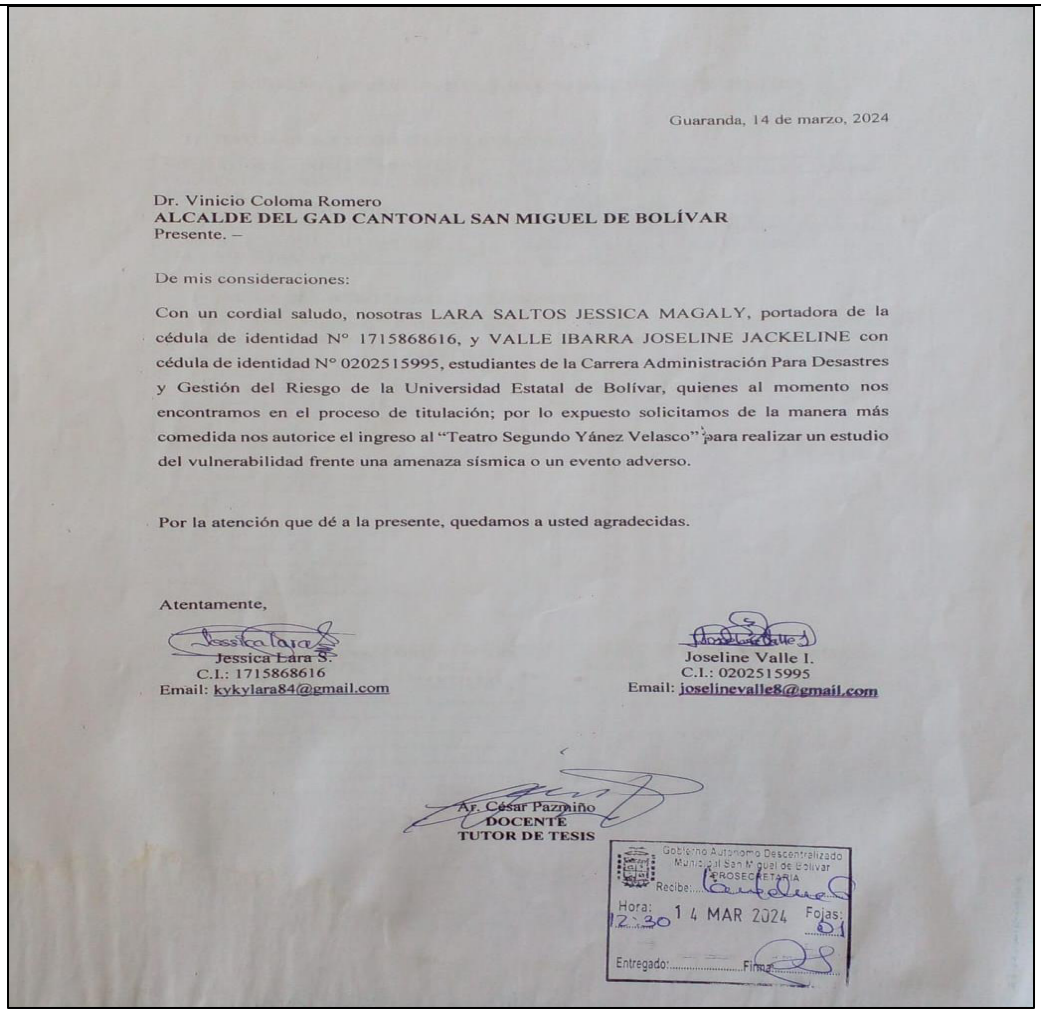
Fotografía 2. Afectación a la fachada del Distrito de Educación en Chillanes por el sismo del 06 de septiembre del 2018



Fuente: (El Universo, 2018)

Anexo 2. Entrega de oficio para el Levantamiento de información del teatro al Municipio del cantón San Miguel de Bolívar

Fotografía 3. Oficio entregado al GAD Municipal para realizar el levantamiento de información del estudio de vulnerabilidad de los elementos estructurales expuestos frente a una amenaza sísmica en el teatro



Guaranda, 14 de marzo, 2024

Dr. Vinicio Coloma Romero
ALCALDE DEL GAD CANTONAL SAN MIGUEL DE BOLÍVAR
Presente. –

De mis consideraciones:

Con un cordial saludo, nosotras LARA SALTOS JESSICA MAGALY, portadora de la cédula de identidad N° 1715868616, y VALLE IBARRA JOSELINE JACKELINE con cédula de identidad N° 0202515995, estudiantes de la Carrera Administración Para Desastres y Gestión del Riesgo de la Universidad Estatal de Bolívar, quienes al momento nos encontramos en el proceso de titulación; por lo expuesto solicitamos de la manera más comedida nos autorice el ingreso al "Teatro Segundo Yánez Velasco" para realizar un estudio del vulnerabilidad frente una amenaza sísmica o un evento adverso.

Por la atención que dé a la presente, quedamos a usted agradecidas.

Atentamente,

Jessica Lara S.
C.I.: 1715868616
Email: kykylara84@gmail.com

Joseline Valle I.
C.I.: 0202515995
Email: joselinevalle8@gmail.com

Ar. César Pazmiño
DOCENTE
TUTOR DE TESIS

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Bolívar
SECRETARÍA
Recibe:
Hora: 12:30
14 MAR 2024
Fojas: 01
Entregado: Firma:

Fuente: (Ecuavisa, 2016)

Anexo 3. Vistita de campo en el Teatro

Fotografía 4. Parte frontal de la edificación del teatro



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 5. Reconocimiento de la edificación del teatro



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Anexo 4. Levantamiento de información en el teatro

Fotografía 6. Estado actual del teatro



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 7. Presencia de humedad en los elementos estructurales expuestos



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 8. Deterioro de la cubierta del teatro



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 9. Medición de los elementos estructurales expuestos para la elaboración de los planos en el AUTOCAD



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

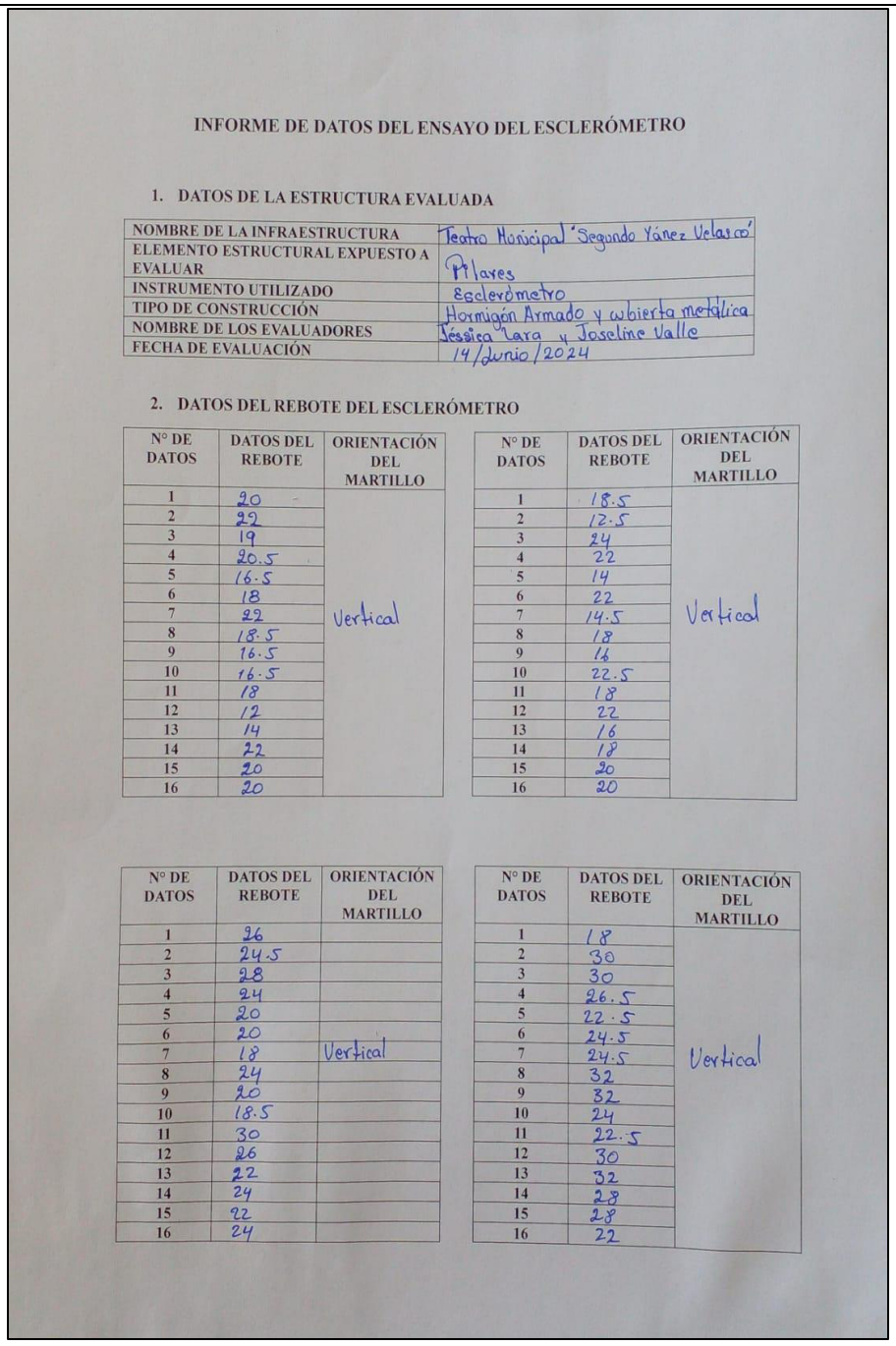
Anexo 5. Recolección de datos para el Ensayo de Laboratorio con el Esclerómetro

Fotografía 10. Equipo utilizado del Esclerómetro



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 11. Formulario del Informe de datos aplicado en el Ensayo del Esclerómetro



INFORME DE DATOS DEL ENSAYO DEL ESCLERÓMETRO

1. DATOS DE LA ESTRUCTURA EVALUADA

NOMBRE DE LA INFRAESTRUCTURA	Teatro Municipal "Segundo Yánez Velasco"
ELEMENTO ESTRUCTURAL EXPUESTO A EVALUAR	Pilares
INSTRUMENTO UTILIZADO	Esclerómetro
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Hormigón Armado y cubierta metálica
NOMBRE DE LOS EVALUADORES	Jéssica Lara y Joseline Valle
FECHA DE EVALUACIÓN	14/Junio/2024

2. DATOS DEL REBOTE DEL ESCLERÓMETRO

N° DE DATOS	DATOS DEL REBOTE	ORIENTACIÓN DEL MARTILLO
1	20	Vertical
2	22	
3	19	
4	20.5	
5	16.5	
6	18	
7	22	
8	18.5	
9	16.5	
10	16.5	
11	18	
12	12	
13	14	
14	22	
15	20	
16	20	

N° DE DATOS	DATOS DEL REBOTE	ORIENTACIÓN DEL MARTILLO
1	18.5	Vertical
2	12.5	
3	24	
4	22	
5	14	
6	22	
7	14.5	
8	18	
9	16	
10	22.5	
11	18	
12	22	
13	16	
14	18	
15	20	
16	20	

N° DE DATOS	DATOS DEL REBOTE	ORIENTACIÓN DEL MARTILLO
1	26	Vertical
2	24.5	
3	28	
4	24	
5	20	
6	20	
7	18	
8	24	
9	20	
10	18.5	
11	30	
12	26	
13	22	
14	24	
15	22	
16	24	

N° DE DATOS	DATOS DEL REBOTE	ORIENTACIÓN DEL MARTILLO
1	18	Vertical
2	30	
3	30	
4	26.5	
5	22.5	
6	24.5	
7	24.5	
8	32	
9	32	
10	24	
11	22.5	
12	30	
13	32	
14	28	
15	28	
16	22	

Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 12. Limpieza de porosidad del elemento estructural evaluado mediante la piedra abrasiva



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 13. Trazado de la cuadricula para realizar el rebote del martillo para cada elemento estructural evaluado



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 14. Prueba del martillo aplicado a los Pilares



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 15. Anotación del valor del rebote obtenido en la prueba del martillo en los Pilares



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 16. Prueba del martillo aplicado a las Vigas



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 17. Anotación del valor del rebote obtenido en la prueba del martillo en las Vigas



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 18. Prueba del martillo aplicado a los Vigas de la Escalera



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Fotografía 19. Prueba del martillo aplicado a las Escaleras



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

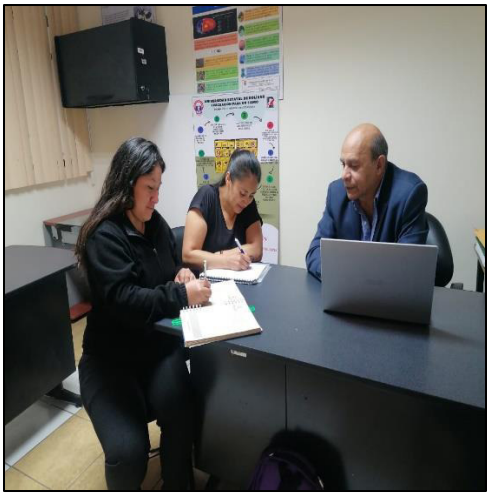
Fotografía 20. Medición de la huella y contrahuella de la escalera



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Anexo 6. Elaboración en los programas de AUTOCAD y CYPECAD

Fotografía 21. Elaboración de los planos en conjunto con el tutor de tesis



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

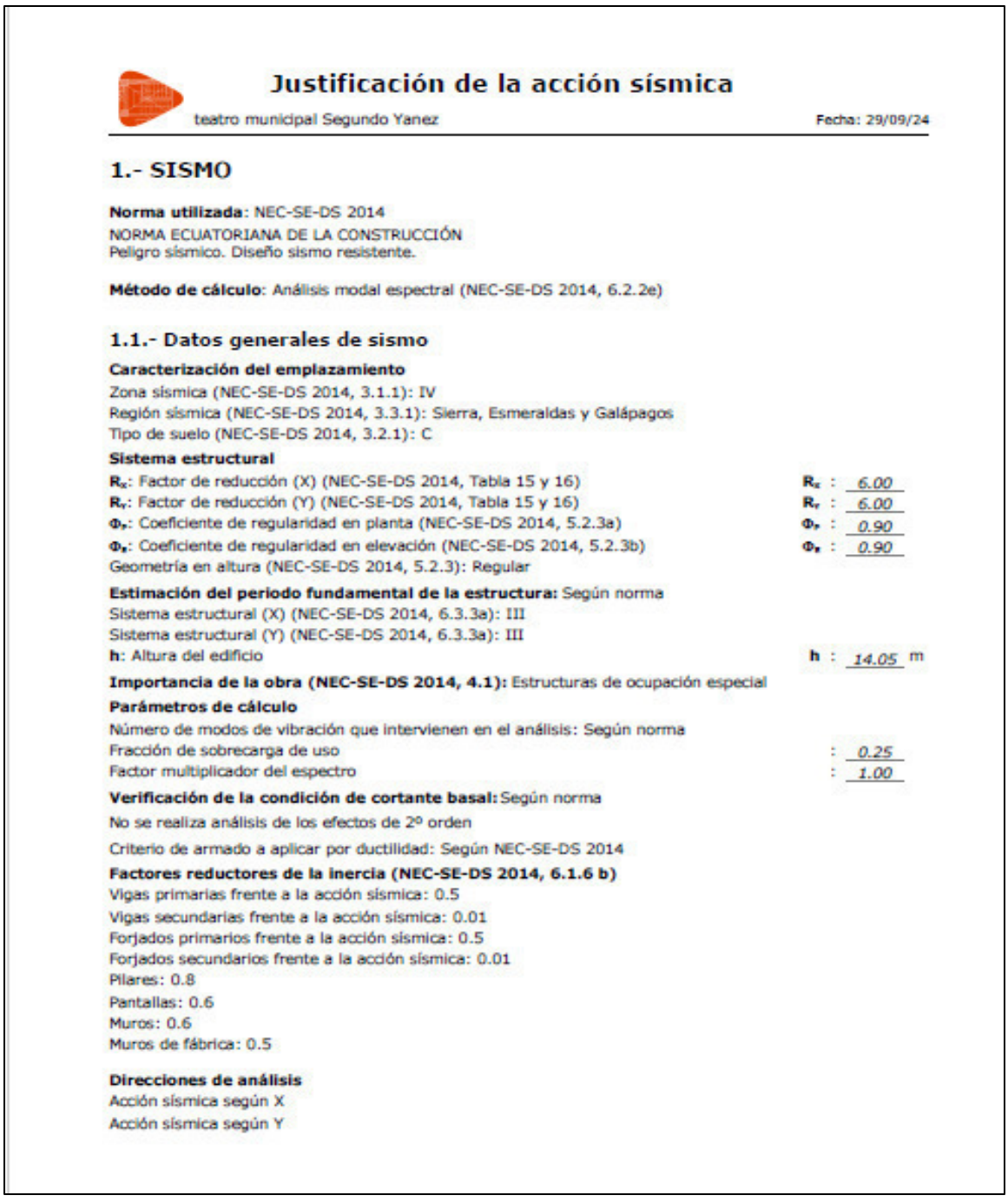
Fotografía 22. Elaboración del modelamiento del teatro en el programa CYPECAD



Responsable: (Lara J & Valle J, 2024)

Anexo 7. Reportes finales del software CYPECAD

Fotografía 23. Reporte de la Justificación de la acción sísmica del software CYPECAD



Justificación de la acción sísmica

teatro municipal Segundo Yanez — Fecha: 29/09/24

1.- SISMO

Norma utilizada: NEC-SE-DS 2014
NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN
Peligro sísmico. Diseño sismo resistente.

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

1.1.- Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento
Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV
Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1): Sierra, Esmeraldas y Galápagos
Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

Sistema estructural

R_x: Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16)	R_x : 6.00
R_y: Factor de reducción (Y) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16)	R_y : 6.00
Φ_p: Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3a)	Φ_p : 0.90
Φ_e: Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b)	Φ_e : 0.90

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

Estimación del periodo fundamental de la estructura: Según norma
Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III
Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III
h: Altura del edificio — h : 14.05 m

Importancia de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1): Estructuras de ocupación especial

Parámetros de cálculo
Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma
Fracción de sobrecarga de uso : 0.25
Factor multiplicador del espectro : 1.00

Verificación de la condición de cortante basal: Según norma
No se realiza análisis de los efectos de 2º orden
Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Según NEC-SE-DS 2014

Factores reductores de la inercia (NEC-SE-DS 2014, 6.1.6 b)
Vigas primarias frente a la acción sísmica: 0.5
Vigas secundarias frente a la acción sísmica: 0.01
Forjados primarios frente a la acción sísmica: 0.5
Forjados secundarios frente a la acción sísmica: 0.01
Pilares: 0.8
Pantallas: 0.6
Muros: 0.6
Muros de fábrica: 0.5

Direcciones de análisis
Acción sísmica según X
Acción sísmica según Y

Fuente: cype, 2017

Fotografía 23. Reporte de la Distorsión de pilares del software CYPECAD

Distorsiones de pilares

Nombre Obra: n6 Fecha:29/09/24

teatro municipal Segundo Yanez

- 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
P1	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.45	0.0001	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +9.30	9.10	2.70	0.0000	----	G	0.0002	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0002	h / 7000	G
	Nivel +5.00	5.00	1.10	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +3.90	3.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	NIvel +3.10	2.90	1.00	0.0000	----	G	0.0002	h / 5000	G
	Nivel +2	1.90	1.01	0.0000	----	G	0.0002	h / 5028	G
	Nivel +1.06	0.89	0.79	0.0000	----	G	0.0001	h / 7945	G
	Nivel +0.18	0.10	1.60	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Cimentación	-1.50							
	Total		14.85	0.0001	----	G	0.0012	----	G
P2	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.25	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +9.30	9.30	2.90	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +5.00	5.00	1.10	0.0000	----	G	0.0002	h / 5500	G
	Nivel +3.90	3.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	NIvel +3.10	2.90	1.00	0.0000	----	G	0.0002	h / 5000	G
	Nivel +2	1.90	1.15	0.0000	----	G	0.0002	h / 5744	G
	Nivel +1.06	0.75	0.65	0.0000	----	G	0.0001	h / 6513	G
	Nivel +0.18	0.10	1.60	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Cimentación	-1.50							
	Total		14.85	0.0001	----	G	0.0012	----	G
P3	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.25	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +9.30	9.30	2.90	0.0000	----	G	0.0002	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0002	h / 7000	G
	Nivel +5.00	5.00	1.10	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +3.90	3.90	1.00	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	NIvel +3.10	2.90	0.90	0.0000	----	G	0.0001	h / 9000	G
	Nivel +2	2.00	1.61	0.0000	----	G	0.0002	h / 8051	G
	Nivel +1.06	0.39	0.29	0.0000	----	G	0.0001	h / 2900	G
	Nivel +0.18	0.10	1.60	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Cimentación	-1.50							
	Total		14.85	0.0001	----	G	0.0012	----	G
P4	Nivel +13.55	13.35	1.80	0.0000	----	G	0.0000	----	G
	Nivel + 11.55	11.55	2.25	0.0000	----	G	0.0001	----	G
	Nivel +9.30	9.30	2.90	0.0000	----	G	0.0002	----	G
	Nivel+6.60	6.40	1.40	0.0000	----	G	0.0002	h / 7000	G

Fuente: cype, 2017