



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIÓN CON
ESTRUCTURA METÁLICA DE CUATRO NIVELES PARA SERVICIO
PÚBLICO EN PORTOVIEJO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTOR:

Carlos Alberto Masabanda Moposita

TUTOR:

Ing. Fabián Alberto Macas Jaramillo. MGS.

Guayaquil - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Alberto Masabanda Moposita, portador del documento de identidad 1804450912, declaro que:

Reconozco ser el autor y responsable único de mi proyecto técnico de titulación. Así mismo, doy firmeza de mi consentimiento para que la Universidad Politécnica Salesiana, de manera gratuita y sin fines de lucro, pueda utilizarlo, compartirlo, reproducirlo o publicarlo total o parcialmente, conforme a los fines académicos e institucionales.

Guayaquil, 4 de agosto de 2025

Atentamente,



Carlos Alberto Masabanda Moposita

C.I. 1804450912

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Carlos Alberto Masabanda Moposita, con documento de identificación 1804450912, expreso mi voluntad y por medio del presente documento autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico:

"ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIÓN CON ESTRUCTURA METÁLICA DE CUATRO NIVELES PARA SERVICIO PÚBLICO EN PORTOVIEJO", desarrollado para optar por el título de Ingeniero Civil en la Universidad Politécnica Salesiana.

Queda la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento al entregar el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 4 de agosto del 2025.

Atentamente,



Carlos Alberto Masabanda Moposita

C.I. 1804450912

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabián Alberto Macas Jaramillo, con documento de identificación C.I. 0704808625, en calidad de docente de la Universidad, certifico que bajo mi dirección se desarrolló el proyecto de titulación titulado:

“ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIÓN CON ESTRUCTURA METÁLICA DE CUATRO NIVELES PARA SERVICIO PÚBLICO EN PORTOVIEJO”, elaborado por Carlos Alberto Masabanda Moposita, con documento de identificación C.I. 1804450912, habiendo culminado el desarrollo del trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto Técnico. El presente trabajo cumple con los lineamientos académicos y requisitos exigidos por la Universidad Politécnica Salesiana para la obtención del título de Ingeniero Civil.

Guayaquil, 4 de agosto del 2025.

Atentamente,



Ing. Fabián Alberto Macas Jaramillo
C.I. 0704808625

4. Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a Dios, por ser mi guía en cada paso, por darme la recompensa. Sin su presencia constante, este logro no habría sido posible.

A mi hijo y mi esposa, fuente de inspiración incansable de mis días. Su sonrisa y su existencia me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos difíciles.

A mi familia, pilar fundamental en mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, por sus consejos sabios y por enseñarme que el sacrificio y la humildad abren caminos donde antes no los había. A aquellos que, sin importar la distancia o las circunstancias, me brindaron siempre su apoyo moral.

A mis amigos verdaderos, aquellos que entendieron mis ausencias y celebraron cada pequeño avance como si fuera suyo. Gracias por acompañarme en silencio y en palabra.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, se sumaron a este proceso con apoyo, palabras de aliento, gestos y acciones. Este trabajo se los dedico a ustedes.

5. Agradecimientos

A la Universidad Politécnica Salesiana, por abrirme las puertas del conocimiento y brindarme una formación académica basada en valores, ciencia y compromiso social. Gracias por ser el espacio donde adquirí el conocimiento necesario no solo para ser un buen profesional, sino también ser excelente ser humano.

Mi agradecimiento fraternal al Ing. Pedro Gerardo Peña Montoya, catedrático universitario, quien me brindó su apoyo incondicional en el momento en que tuve que retomar este sueño de convertirme en profesional. Su respaldo fue una luz en el camino y una muestra de verdadera vocación docente.

A mi tuto, Ing. Fabián Alberto Macas Jaramillo, por su orientación de por compartir su experiencia y su acompañamiento firme, fue claro durante el desarrollo de este trabajo. Su compromiso con la excelencia académica fue una guía fundamental para culminar esta etapa.

A los docentes que dejaron huella con sus enseñanzas, a mis compañeros por compartir el camino, y a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible este logro. A cada uno, gracias infinitas.

RESÚMEN

En los últimos años, los desastres naturales, especialmente los sismos, han dejado en evidencia la vulnerabilidad de muchas construcciones en el país. Portoviejo no ha sido la excepción, enfrentando la necesidad de contar con edificaciones más seguras y resistentes. Ante esta realidad surge la presente investigación titulada “Análisis sismorresistente de edificación con estructura metálica de cuatro niveles para servicio público en Portoviejo”, cuyo objetivo principal es diseñar y evaluar una estructura metálica que pueda brindar un servicio público seguro y confiable para la comunidad local.

El estudio se centró en una edificación de cuatro niveles, utilizando como material principal el acero estructural, conocido por su resistencia y rapidez en construcción. Para ello, se realizó el modelado y análisis de la estructura incorporando cargas muertas, vivas y sísmicas representativas de la zona. Se aplicaron análisis estáticos lineales y dinámicos espectrales para evaluar con detalle el comportamiento de la edificación frente a movimientos sísmicos, considerando derivas, desplazamientos y esfuerzos internos.

Los análisis realizados mostraron que la estructura responde de forma adecuada ante los movimientos sísmicos propios de la zona, manteniendo su estabilidad y seguridad. Se verificó que las deformaciones y esfuerzos internos se mantienen dentro de los límites que garantizan la integridad del edificio, asegurando que la edificación pueda soportar las cargas y proteger a quienes la utilizan. Esto confirma que el diseño es sólido y confiable para su uso en construcciones públicas en Portoviejo y zonas similares.

Finalmente, esta investigación contribuye a fortalecer la ingeniería civil en Ecuador, proponiendo soluciones prácticas y adaptadas a las necesidades locales, que permitan mejorar la resistencia de las edificaciones frente a eventos sísmicos y proteger a las personas que hacen uso de ellas.

Palabras claves: diseño sísmico, análisis estructural, esfuerzos internos, normativas, seguridad estructural.

ABSTRACT

In recent years, natural disasters, especially earthquakes, have exposed the vulnerabilities of many buildings in the country. Portoviejo has not been the exception, facing the need for safer and more resistant constructions. In response to this situation, this research titled “Seismic Analysis of a Four-Story Metal Structure Building for Public Service in Portoviejo” was carried out, with the main objective of designing and evaluating a metal structure that can provide a safe and reliable public service for the local community.

The study focused on a four-story building, using structural steel as the main material, known for its strength and quick construction. The structural model and analysis incorporated dead loads, live loads, and seismic loads representative of the area. Linear static and spectral dynamic analyses were applied to thoroughly evaluate the building’s behavior under seismic movements, considering drifts, displacements, and internal forces.

The analyses showed that the structure responds adequately to the seismic movements typical of the area, maintaining stability and safety. It was verified that deformations and internal forces remain within limits that guarantee the building’s integrity, ensuring it can withstand loads and protect its users. This confirms that the design is solid and reliable for use in public buildings in Portoviejo and similar zones.

Finally, this research contributes to strengthening civil engineering in Ecuador by proposing practical solutions adapted to local needs, improving building resistance to seismic events, and protecting the people who use them.

Keywords: seismic design, structural analysis, internal forces, codes, structural safety.

Índice

Capítulo I

Generalidades

1.1	Título	1
1.2	Antecedentes.....	1
1.3	Objetivos del proyecto:.....	2
1.4	Justificación	2
1.5	Alcance y limitaciones del proyecto.....	3

Capítulo II

Marco Teórico

2.1	Concepto de sismos	5
2.2	Clasificación de los sismos.....	5
2.3	Origen de los sismos.....	6
2.4	Ondas sísmicas	7
2.5	Historial sísmico en Ecuador.....	9
2.6	Estudios sísmicos en Ecuador.....	12
2.7	Comportamiento del acero estructural.....	13
2.8	Principios del Comportamiento Sísmico en Estructuras de Acero.....	15
2.9	Importancia del diseño estructural.....	17
2.10	Normativas sísmicas y códigos de diseño aplicables	28

Capítulo III

Marco Metodológico

3. 1	Resumen del marco metodológico de estudio	31
3.1.1	Software para análisis estructural.....	31
3.1.2	Aplicación en la investigación:	32
3.1.3	Software AutoCAD	32
3.2	Descripción detallada de la edificación en estudio.....	32
3.2.1	Ubicación del proyecto.....	32
3.2.2	Uso de la edificación	33
3.2.3	Características generales	33
3.2.4	Sistema estructural	33
3.2.5	Elementos estructurales.....	33
3.2.6	Sistema de entrepiso.....	34
3.2.7	Cimentación	34

3.2.8 Criterio de diseño estructural.....	34
3.2.9 El dimensionamiento.....	34
3.2.10 La ductilidad.....	35
3.3 Consideraciones sobre las cargas aplicadas.....	36
3.3.1 Cargas permanentes (muertas).....	36
3.3.2 Cargas variables (vivas).....	38
3.3.3 Combinación de carga.....	40
3.3.4 Cargas generadas por sismos.....	41

Capítulo IV

Diseño y detalle de elementos estructurales

4.1 Concepto de diseño y detalle de elementos.....	43
4.2 Área tributaria.....	45
4.3 Prediseño de columnas metálicas.....	48
4.4 Prediseño de vigas metálicas.....	54
4.5 Prediseño de modelación con ETABS.....	58
4.6 Zona sísmica y factor z.....	68
4.7 Tipo de suelo.....	69

Capítulo V

Análisis de resultados

5.1 Periodo de vibración.....	74
5.2 Derivas de piso.....	77
5.3 Desplazamientos.....	78
5.5 Esfuerzos internos.....	81
5.6 Reporte estructural.....	84

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones.....	89
6.2 Recomendaciones.....	90

7. Índice de imágenes

Imagen 1 / Clasificación de los sismos	17
Imagen 2 / Clasificación de zonas sísmicas	18
Imagen 3 / Conexiones de edificación en estructura metálica	25
Imagen 4 / Tipo de cargas	28
Imagen 5 Tipo de materiales usados para la construcción	31
Imagen 6 / Deformaciones en edificaciones	33
Imagen 7 / NEC	36
Imagen 8 / Forma geométrica del edificio	43
Imagen 9 / Diagrama esfuerzo -deformación del acero	43
Imagen 10 / Carga aplicada a estructura	45
Imagen 11 / Resumen de aplicación de carga	50
Imagen 12 / plano arquitectónico	52
Imagen 13 / Carga y combianciones.....	53
Imagen 14 / Ecuación para control de pandeo lateral.....	54
Imagen 15 / Resistencia máxima de columna.....	55
Imagen 16 / Dimensiones de viga tipo I	56
Imagen 17 / Planta baja arquitectónica del proyecto	57
Imagen 18/ Ejes de edificio	58
Imagen 19 / Predimensionamiento de columnas y vigas	60
Imagen 20 / vista corte de edificio del proyecto	71
Imagen 21 / Edificio 3D	72
Imagen 22 / Estructura de edificio	75
Imagen 23 / Factor z	67
Imagen 24 / Tipo de suelo	68
Imagen 25 / factor Fa	70
Imagen 26 / factor Fd	71
Imagen 27 / factor Fs	72
Imagen 28 / espectro elástico	72
Imagen 30 / derivas de piso	73
Imagen 31 / grafico de modal1	74
Imagen 32 / grafico de modal2	75
Imagen 33 / grafico de modal3	75
Imagen 34 / grafico de modal4	76
Imagen 35 / grafico de modal5	76
Imagen 36 / derivas de piso “X”.....	77
Imagen 37 / derivas de piso “Y”	77
Imagen 37 / desplazamientos “X”.....	79
Imagen 39 / desplazamientos “Y”.....	79
Imagen 40 / flexión “X”	80
Imagen 41 / flexión “Y”	80
Imagen 42 / momento shear “X”.....	81
Imagen 43 / momento shear “X”.....	81

Imagen 44 / cortante	82
Imagen 45 / Grafica Base Shear "X".....	84
Imagen 46 / Grafica Base Shear "Y".....	84

7. Índice de tablas

Tabla 1 / Clasificación de sismos	18
Tabla 2 / Peso para carga muerta	46
Tabla 3 / Peso para carga viva.....	47
Tabla 4 / Combinación de carga	48
Tabla 5 / Datos arquitectónicos	54
Tabla 6 / Propiedades de columnas centrales y laterales.....	58
Tabla 7 / Propiedades del acero	59
Tabla 8 / Formulario de elementos a compresión	59
Tabla 9 / Resistencia máxima de columna	60
Tabla 10 / Capacidad máxima de resistencia.....	62
Tabla 11 / material para viga de acero	63

CAPÍTULO I

1.1 Título

Análisis sismorresistente de edificación con estructura metálica de cuatro niveles para servicio público en Portoviejo.

1.2 Antecedentes

Hace varios años atrás en Ecuador, muchas edificaciones destinadas a fines comerciales han sido construidas sin un previo análisis estructural sismorresistente o utilizando normativas anteriores de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Este tipo de edificaciones representa un riesgo significativo, especialmente en regiones de alta actividad sísmica como el Cantón Portoviejo, ubicado en la provincia de Manabí.

Las entidades públicas, al ser centros de concentración masiva de personas, requieren un nivel de seguridad estructural estricto. Portoviejo, por su ubicación geográfica y antecedentes sísmicos, demanda una atención especial en la evaluación de infraestructuras esenciales.

Por tanto, surge la necesidad de realizar un análisis sismorresistente de una edificación de cuatro plantas destinada al funcionamiento como entidad pública en el cantón Portoviejo. Este estudio permitirá evaluar el comportamiento estructural de la edificación frente a eventos sísmicos, identificando posibles vulnerabilidades y formulando recomendaciones técnicas que garanticen la seguridad de sus ocupantes.

En Ecuador la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones han sido objeto de un amplio estudio esto debido a la frecuencia e intensidad de los movimientos telúricos que se han presentado en los últimos años afectando seriamente al país. En particular la creciente urbanización en las ciudades consideradas como las más grandes como Quito, Guayaquil, Cuenca han impulsado la construcción de edificios de mediana altura en la cual se considera aquellas de cuatro, cinco o seis niveles, los cuales requieren un análisis estructural profundo para asegurar su utilidad ante un evento sísmico.

Desde hace varios años atrás la Ingeniería Civil en el Ecuador ha ido aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), este proceso ha evolucionado para incorporar normas internacionales, pero su aplicación en proyectos a mediana escala ha tenido sus limitaciones, en especial en zonas con menor supervisión técnica.

Diversos estudios realizados han llegado a la conclusión que los edificios ya existentes frente a las acciones sísmicas presentan fallas comunes por su mal diseño estructural, secciones inadecuadas, materiales de baja calidad y los errores constructivos. Sin embargo, existe una necesidad de abordar el diseño desde el inicio del proyecto con el fin de garantizar que los principios de resistencia, ductilidad y estabilidad sean considerados desde sus inicios.

En este marco, la presente investigación se enfoca en el análisis y diseño estructural de una edificación metálica de cuatro niveles, considerando las exigencias establecidas por la NEC-15 y el comportamiento dinámico del acero estructural, con el objetivo de garantizar su seguridad ante un eventual sismo.

1.3 Objetivos del proyecto:

1.3.1 Objetivo General:

-Realizar el análisis sismorresistente de una edificación con estructura metálica de cuatro niveles destinada al uso del sector público, aplicando la NEC-15 con la finalidad de garantizar el comportamiento estructural que garantice la seguridad de todos sus ocupantes.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar los parámetros geométricos, propiedades de los materiales, secciones y cargas necesarias para definir el modelo estructural del edificio.

-Modelar estructuralmente la edificación mediante un software avanzado tomando en cuenta las cargas gravitacionales y sísmicas de acuerdo con las normativas vigentes.

-Efectuar el análisis estático lineal y dinámico espectral para evaluar sus formas modales, derivas de piso, desplazamientos y esfuerzos internos.

1.4 Justificación

La presente investigación tiene como finalidad realizar un análisis estructural detallado de un edificio perteneciente a una entidad pública de siete pisos de altura, ubicado en una zona de alta actividad sísmica del Ecuador. Este tipo edificación representa una infraestructura de uso crítico, ya que es utilizada para actividades económicas, equipos tecnológicos de alto valor y un constante movimiento de personas, entre clientes y trabajadores.

Independientemente del uso, todas las edificaciones deberán garantizar la resistencia, estabilidad y rigidez de cargas a las cuales está sometida bajo las normas y reglamentos vigentes que brinden seguridad a sus usuarios. El incumplimiento de estos principios no solo puede derivar pérdidas humanas y materiales sino, sino también un impacto económico y funcional para la sociedad.

Cabe destacar que, debido a la ubicación geográfica de nuestro país esta caracterizado por una intensa actividad sísmica causada por las placas tectónicas, este factor es esencial realizar a detalle el comportamiento estructural de las edificaciones.

Finalmente, este tipo de estudios contribuye al desarrollo de estructuras más seguras y resistente, permitiendo mejorar los diseños futuros y generar conciencia sobre la importancia de la evaluación estructural periódica, especialmente en edificaciones estratégicas y de uso público.

1.5 Alcance y limitaciones del proyecto

El alcance de este proyecto se enfoca en el análisis y diseño estructural sismorresistente de un edificio de estructura metálica, el objetivo principal es evaluar el comportamiento de la estructura frente a cargas gravitacionales y sísmicas de acuerdo con las normas y criterios establecidos por la NEC.

Para ello se desarrollará un modelo estructural tridimensional mediante un software especializado tomando en cuenta las características geométricas de la edificación los materiales de empleados y las condiciones de descarga respectivamente del uso actual del inmueble.

El proceso de modelación incluirá la recopilación de información relevante sobre las secciones de los elementos resistentes las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, así como las definiciones de las cargas permanentes variables y sísmicas. Esta información permitirá construir un esquema estructural preciso que refleje el comportamiento dinámico del edificio, considerando su configuración en planta, altura y posibles irregularidades.

Los análisis estructurales se llevarán a cabo bajo dos enfoques principales: análisis estático lineal y análisis dinámico espectral, estas metodologías permitirán obtener información detallada sobre el desempeño de la edificación ante los eventos sísmicos, evaluando parámetros claves como las derivas entrepiso, los desplazamientos

laterales, las formas modales de vibración y las sollicitaciones internas de los elementos estructurales. Los resultados serán presentados con los límites de establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Este enfoque permitirá posibles deficiencias en la capacidad sismorresistente de la estructura y proponer lineamientos generales para su optimización.

Los procedimientos adaptados para el cálculo y simulación se sustentan con las disposiciones vigentes de la NEC y en literatura técnica especializada, así mismo se emplearán criterios de diseño por capacidad y principios de análisis sísmicos reconocidos internacionalmente con el fin de garantizar la rigurosidad del estudio y la validez de sus resultados.

Finalmente, este estudio se enmarca en el interés por fortalecer la seguridad estructural del edificio de uso público, implementando la prevención de riesgos y fomentando la cultura de revisión técnica periódica especialmente en zonas de alta actividad sísmica, con ello se busca contribuir a la protección de la vida humana y la resiliencia de la infraestructura ante los eventos naturales de gran magnitud en Ecuador.

Las limitaciones del presente estudio se circunscriben al análisis estructural de una edificación específica, por lo que los resultados obtenidos no deben extrapolarse a otras construcciones sin un examen técnico individualizado. El enfoque está centrado exclusivamente en el comportamiento estructural ante cargas sísmicas y gravitacionales, dejando fuera del alcance aspectos como el diseño arquitectónico, instalaciones complementarias, consideraciones ambientales o el análisis económico detallado del proyecto.

Asimismo, las conclusiones estarán influenciadas por la disponibilidad y precisión de la información técnica recopilada, así como por las capacidades del software de modelación empleado. Cabe mencionar que el modelo estructural se basa en ciertos supuestos idealizados avalados por normativa vigente que, si bien permiten un análisis riguroso, no siempre logran reflejar de forma exacta el comportamiento real de la edificación frente a un evento sísmico.

Capítulo II

2.1 Concepto de sismos

Un sismo es un desplazamiento generado por procesos geológicos naturales o también provocado por actividades humanas en alguna una zona determinada de la tierra. Este fenómeno se manifiesta mediante la propagación de ondas sísmicas que se expanden de forma concéntrica desde el punto de origen, conocido como epicentro. Estas ondas producen vibraciones y movimientos oscilatorios en la corteza terrestre, afectando todo lo que se encuentra sobre ella en distintas direcciones, causando impactos que pueden variar en intensidad y alcance según las características del suelo y la magnitud del evento.

Los eventos sísmicos pueden clasificarse según su intensidad y sus efectos en la superficie. Cuando la magnitud del movimiento es considerable y produce daños estructurales severos, suele denominarse terremoto. Por el contrario, si el fenómeno es leve y solo se percibe sin consecuencias materiales, se lo identifica como temblor. Debido al impacto que generan, las investigaciones en el ámbito sísmico suelen centrarse en los terremotos, ya que representan un mayor riesgo para las poblaciones y las infraestructuras.

2.2 Clasificación de los sismos

En general es posible clasificar a los sismos en tres categorías, cada uno tiene sus propios procesos subyacentes:

Plutónicas

Sismo que se clasifica como tipo tres, su origen se da a profundidades grandes debajo de la tierra y se caracteriza por la gran cantidad de energía que libera internamente con alcances de gran extensión, pero no causa daños graves debido a que sus ondas provocadas en el interior de la corteza terrestre ya llegan muy amortiguadas a la superficie.

Volcánicas:

Un sismo volcánico es un tipo de movimiento sísmico que se origina a causa de los procesos internos asociados a la actividad de un volcán. Estos eventos son provocados principalmente por el ascenso de magma, la acumulación de presión de

gases o el movimiento de fluidos hidrotermales dentro de la corteza terrestre. A medida que estos materiales se desplazan, generan tensiones que fracturan las rocas circundantes, liberando energía en forma de ondas sísmicas.

Los sismos volcánicos suelen registrarse en las cercanías del edificio volcánico, y su frecuencia, profundidad y magnitud pueden variar en función del tipo de actividad magmática presente. Su monitoreo es fundamental, ya que representan una señal temprana de posibles erupciones o cambios en la dinámica interna del volcán.

Tectónicos

Los sismos tectónicos son considerados de categoría uno, su principal característica implican una deformación en la corteza terrestre en forma de pliegues o fracturas, este tipo de sismo es de mayor consideración tomando en cuenta que la energía liberada es extraordinariamente mayor a comparación de los otros tipos por su origen poseen características de terremoto, está asociado constantemente a la fractura o deformación de la corteza terrestre por lo que los estudios que se realizan para entender a este fenómeno natural pueden complementarse con un análisis de teorías tectónicas para comprender sobre las placas y rebote este elástico.

2.3 Origen de los sismos

Existen muchas teorías formuladas para explicar el origen de los sismos, pero se toma en prioridad y a manera de información científica los siguientes:

- La posible contracción de la Tierra desde que se originó hasta el día de hoy también por los procesos de radiación de la conductividad, la conexión del calor que ocasiona un gran dual enfriamiento y una consiguiente contracción del interior de la Tierra produciendo así un arrugamiento seguido de un desplome abrupto que causa la ruptura a lo largo de una zona débil,
- La teoría termal cíclica que parte como los principios de los minerales radiactivos que existen al interior de la Tierra, estos producen más calor del normal al exterior ocasionando así una expansión o dilatación de las rocas, este proceso hace que sufran tensiones o esfuerzos extralimitados produciendo así fracturas abruptas en la superficie.

- El último punto podría hablarse de los derrumbes de cavernas, deslizamientos y en general las fallas estructurales dentro de lo cual está conformado por la corteza terrestre, así como la actividad volcánica para dar luz de origen a un sismo, aunque no se logra dar una explicación completamente satisfactoria si no hasta disponer de una teoría explosiva.

2.4 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son ondas elásticas que transmiten vibraciones originadas por la liberación súbita y brusca de energía acumulada en el interior de la Tierra.

Generalmente causada por los movimientos tectónicos como rupturas de fallas o explosiones subterráneas, estas ondas se propagan desde el foco sísmico hacia la superficie y se dispersan en todas las direcciones desde su epicentro extendiéndose como rayos que divergen en el subsuelo. A medida que avanzan por debajo de la superficie estos atraviesan distintos materiales con características físico-variadas esto hace se varíe su velocidad, dirección y energía provocando su comportamiento.

Las ondas sísmicas son responsables de las vibraciones durante un terremoto y su comportamiento determina el impacto que tiene sobre las estructuras y el terreno dónde se sienten los movimientos sísmicos.

Comportamiento de las ondas

Las ondas sísmicas naturales son suficientemente potentes como para atravesar el planeta y ser registradas por un sismógrafo situada a kilómetros del epicentro aportan datos muy valiosos de las zonas profundas del planeta que son inaccesibles

Su velocidad y comportamiento varían según el tipo de suelo o material que estén atravesando, su propagación es más rápido en materiales de rígidos y más lentos en materiales blandos o saturados de agua. Su recorrido puede cambiar de dirección o rebotar al encontrar diferentes capas o características del subsuelo, su energía y amplitud disminuyen a medida que se alejan del epicentro, aunque en ciertos terrenos blandos pueden ampliarse causando daños mayores.

Además del movimiento generado por las ondas tienen distintas frecuencias y direcciones lo que influye el tipo de la severidad del daño producidas en las estructuras

Tipo de ondas

Las pueden clasificarse en tipos de ondas superficiales que son las que se propagan en la corteza de la Tierra.

Osciladores libres ocurren solamente durante los terremotos extremadamente fuertes y son vibraciones de la Tierra entera.

Las ondas masivas se pueden clasificar en ondas primarias P las ondas secundarias S.

Ondas P

Son ondas son las que se propaga de forma longitudinales e implican cambios de volúmenes cuando hay un movimiento sísmico.

Ondas S

Son ondas transversales y se propagan sin cambio de volumen, la característica principal de este tipo no se puede propagar en partes donde existen fluido terrestre.

Una diferencia en éste entre el tipo de ondas P y S es la variación de su velocidad.

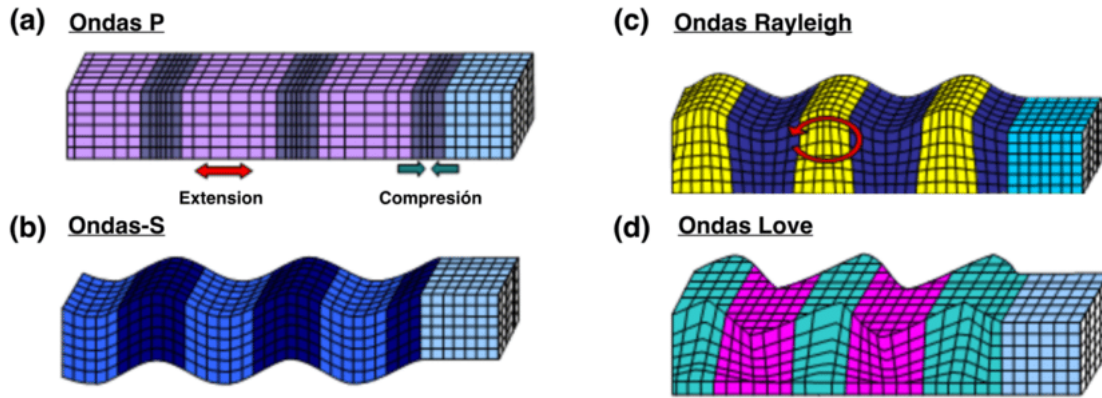
Las ondas superficiales pueden ser de 2 tipos las ondas Raleigh y las ondas Love

Ondas Raleigh

Las ondas Raleigh se las podría definir como el mismo tipo de ondas p son las que se propagan mediante el cambio de volumen causando así el desastre total de todo lo que se encuentra sobre la superficie de la Tierra.

Ondas Love

Son ondas sísmicas superficiales que se propagan por la corteza terrestre con movimientos horizontales y perpendiculares a la dirección del avance de la onda no provocan desplazamientos verticales, pero si un movimiento va y ven lateral muy violento lo que se podría suponer que es altamente destructiva para las estructuras que se encuentran en su superficie.



Nota: Ilustración, comportamiento de las ondas durante un evento sísmico. Fuente: Saez, M. (2016).

Tabla1

Clasificación de los sismos.

Magnitud (Richter)	Clasificación	Percepción y Efectos
Menos de 2.0	Micro	No se siente. Solo detectado por sismógrafos.
2.0 – 2.9	Muy menor	Rara vez se siente. Sin daños.
3.0 – 3.9	Menor	A veces se siente, especialmente en edificios altos. Sin daños.
4.0 – 4.9	Ligero	Se siente como vibración fuerte, ventanas pueden sacudirse. Daños menores si los hay.
5.0 – 5.9	Moderado	Se siente claramente. Posibles daños en estructuras débiles.
6.0 – 6.9	Fuerte	Puede causar daños graves en áreas pobladas y mal construidas.
7.0 – 7.9	Mayor	Daños serios en zonas amplias. Derrumbes, colapso de estructuras.
8.0 – 8.9	Gran	Terremoto catastrófico. Amplios daños en cientos de kilómetros.
9.0 o más	Excepcional (Megaquake)	Desastre total. Puede alterar la geografía, provocar tsunamis y efectos globales.

Nota: Tabla de las escalas de Richter se presenta el resumen de los daños durante un evento sísmico. Fuente:

Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

2.5 Historial sísmico en Ecuador

Según el instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador se encuentra situado en el cinturón de fuego del pacífico esta zona se ha calificado con una mayor actividad sísmica del planeta debido al proceso de subducción entre las placas de nazca y Sudamérica.

Los riesgos de relacionados a los fenómenos naturales que se presentan periódicamente en el Ecuador han sido por los terremotos sin duda el mayor de los impactos puede causarse en su población y afectar su economía Ecuador.

Terremoto de Riobamba (1797)

El sismo fue considerado uno de los terremotos más devastadores de la historia ecuatoriana ocurrió el 4 de febrero de 1797 su magnitud fue de 8.3, su epicentro fue en la antigua ciudad de Riobamba provincia del Chimborazo esto causó la muerte de aproximadamente 12000 personas, aunque reportes posteriores se estimaron que fueron 40000. Este sismo fue considerable ya que destruyó la ciudad completa también afectó gravemente a varias provincias del centro del país.

Terremoto en la Frontera Colombia–Ecuador (1979)

Este evento sucedió el 31 de enero de 1906, cuando el sismo de magnitud 8.8 sacudió la región costera con el epicentro en el océano Pacífico frente a las fronteras de Ecuador, el terremoto generó un tsunami que afectó severamente a las costas de Esmeraldas y al sur de Colombia destruyó poblaciones de enteras de la costa y causó numerosas muertes nunca se pudo verificar el número exacto de muertos.

El Terremoto de la Ciudad de Ambato (1949)

Ocurrió un 05 de agosto de 1949 un terremoto de magnitud 6.8 sacudió la región central del país particularmente en la ciudad de Ambato, este evento sísmico causó la muerte de aproximadamente 5000 a 6000 personas y más de 10000 personas se quedaron sin su hogar, los daños que sufrieron las infraestructuras fueron grandes. Este sismo fue considerado uno de los más catastróficos del siglo 20 en el país de Ecuador.

Terremoto en la provincia de Manabí y Esmeraldas (2026)

El 16 de abril del 2016 un sismo de magnitud 7.8 con su epicentro entre Pedernales y Cojimíes ubicado en la provincia de Manabí dejó como saldo al menos 670 muertes y aproximadamente 1'000000 de afectados, considerado uno de los más destructivo desde el año 1987, esto evento afectó gravemente a la provincia donde sus consecuencias eran visibles con calles destruidas, colapso de viviendas en su totalidad y daños severo en las infraestructuras de edificaciones.

Ecuador quedó devastado con este terremoto en los últimos tiempos lo cual debió intervenir incluso ayuda del exterior.

Impactos de los terremotos en Ecuador

Los sismos han afectado a Ecuador de manera profunda en varios ámbitos algunos de ellos son:

Impacto económico

El terremoto del 2016 fue uno de los más fuertes en décadas, causó pérdidas económicas que se estiman fueron entre 2000 y 3000 millones de dólares y para su reconstrucción se calculó entre 3300 millones, esto afectó a sectores claves como las infraestructuras el comercio y el turismo de Manabí.

Fuentes de trabajo

El terremoto causó la destrucción de edificaciones, hoteles y centros comerciales, lugares donde el movimiento comercial era intenso provocando pérdidas de al menos 21823 empleos lo cual generó un desempleo local total y afectó a la economía de muchas familias del sector.

Infraestructura

Los daños causados fueron aproximadamente del 60% en infraestructuras de viviendas, así como edificios institucionales, hoteles, negocios comerciales, vías. Esto condujo a la demolición de cientos de edificios en las zonas más golpeadas.

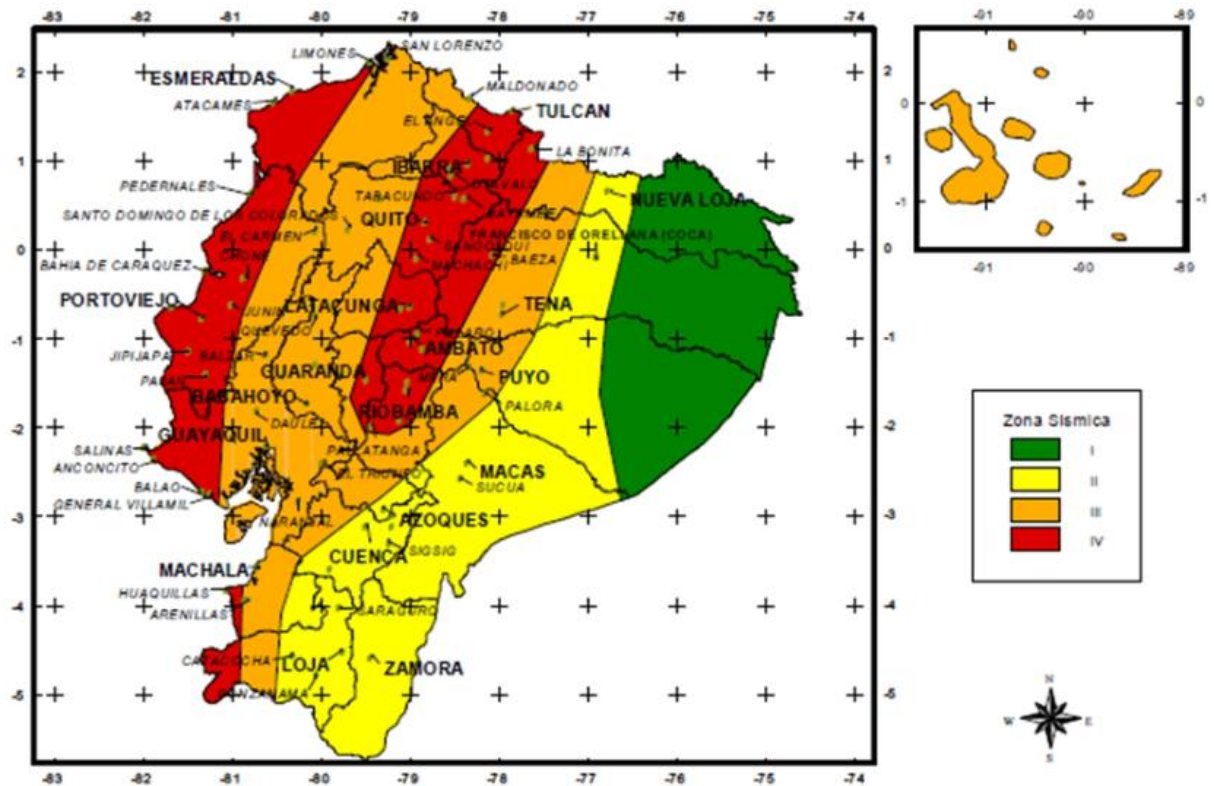
La calidad de vida y la sociedad

El terremoto provocó desplazamientos de familias enteras, tuvieron que acomodarse en albergues, por la situación que afrontaban aumentó la pobreza, afectó la alimentación y el acceso a los servicios básicos; claramente esto sufrió un impacto en la calidad de vida de sus residentes, la recuperación económica fue muy lenta lo que experimentó cambios en la demanda y precios.

Los sismos han tenido efectos devastadores en Ecuador causando pérdidas humanas, pérdidas económicas y sociales significativas afectando la infraestructura, el empleo y la vida diaria de miles de personas.

Imagen2

Regiones sísmicas en Ecuador:



Nota: Se muestra la clasificación de zonas sísmicas dentro del territorio ecuatoriano, para tomar en consideración un diseño sismorresistente. Fuente: NEC-15, 2015

2.6 Estudios sísmicos en Ecuador.

Los estudios sísmicos en Ecuador deben ser realizado con vital importancia por la ubicación de nuestro país dentro del cinturón de fuego y expuesto a riesgos que pueden causar pérdidas humanas, materiales y económicas significativamente, el resultado de estos estudios nos permite realizar un análisis determinado y qué medidas podemos tomar ante un evento sísmico.

Evaluación de la vulnerabilidad estructural permite determinar el comportamiento de las edificaciones existentes ante un sismo, esto nos ayudará a identificar cuáles son los que tienen mayor riesgo de daño con esta evaluación se realizará un reforzamiento o su demolición total esto con el fin que pueda reducir su vulnerabilidad.

Planificar y mitigar la gestión de los riesgos nos permite la elaboración de mapas dónde se podrá señalar el peligro sísmico, los planes de emergencia que permitan que

las autoridades en conjunto con los habitantes puedan estar preparados ante futuros eventos sísmicos que se puedan presentar.

Reducir los impactos sociales y económicos nos permite anticipar y mitigar daños estructurales y pérdidas humanas, así como también se minimiza el impacto económico -social ya que en tiempos pasados y según la historia de los sismos en Ecuador han afectado de una manera considerable a nuestro país durante grandes terremotos.

Magnitudes probables de un sismo a través de estos análisis probabilísticos y modelos estadísticos como la teoría de valores extremos nos ayudan a proyectar o estimar la frecuencia y su magnitud de sí mismos que pueda haber en un futuro esto es fundamental para una prevención,

El diseño de edificaciones sismorresistentes constituye una herramienta fundamental para la recopilación de información técnica y la ejecución de estudios en conjunto con profesionales de la ingeniería civil. Este enfoque permite analizar y desarrollar infraestructuras con la capacidad de soportar eventos sísmicos inesperados, minimizando los daños estructurales, protegiendo la integridad de las edificaciones y, sobre todo, salvaguardando la vida humana.

2.7 Comportamiento del acero estructural

El acero estructural es uno de los materiales más utilizados en la construcción de obras a nivel mundial, especialmente en estructuras que requieren alta resistencia y durabilidad. Se compone principalmente de una aleación de hierro aproximadamente 98% con un pequeño porcentaje de carbono alrededor del 1%, además de otros elementos como manganeso, fósforo, azufre, silicio y vanadio. Esta combinación mejora significativamente sus propiedades mecánicas, como la resistencia, la ductilidad y la soldabilidad.

La inclusión de estos minerales permite que el acero estructural sea más resistente a la intemperie, soportando mejor las condiciones climáticas adversas. Por esta razón, se utiliza frecuentemente en infraestructuras expuestas como torres de transmisión eléctrica, edificios de gran altura con estructuras metálicas, puentes y otras obras que demandan gran desempeño estructural.

Entre las principales ventajas del acero estructural se destacan su elevada resistencia tanto a la tracción como a la compresión, su facilidad de montaje, que permite optimizar los tiempos de construcción, y su relación costo-beneficio, ya que ofrece una solución estructural eficiente y competitiva. No obstante, también presenta algunas desventajas, como su vulnerabilidad ante altas temperaturas si no se protege adecuadamente contra el fuego, y su susceptibilidad a la corrosión cuando no se emplean recubrimientos o tratamientos adecuados.

2.6.1 Propiedades del acero estructural

El acero estructural posee una serie de propiedades físico-mecánicas que lo hacen ideal para su aplicación en construcciones metálicas. A continuación, se describen las más relevantes:

- **Resistencia mecánica:**

El acero estructural ofrece una elevada resistencia frente a esfuerzos de tracción, compresión, corte y flexión. Esta característica permite que soporte grandes cargas sin experimentar deformaciones significativas ni fallas estructurales.

- **Ductilidad:**

Una de las propiedades más valoradas del acero es su ductilidad, es decir, su capacidad para deformarse plásticamente antes de fracturarse. Esta cualidad es crucial en zonas sísmicas, ya que permite a las estructuras absorber energía sísmica sin colapsar de forma súbita.

- **Soldabilidad:**

El acero estructural tiene buena soldabilidad, lo que permite realizar uniones firmes y duraderas entre elementos del mismo material, como vigas, columnas o losas. Esta propiedad facilita el ensamblaje eficiente en obra y garantiza una conexión estructural segura.

- **Reciclabilidad:**

El acero es un material completamente reciclable. Puede reutilizarse en múltiples proyectos sin perder sus propiedades esenciales. Este aspecto lo convierte en una opción sostenible, ya que contribuye a la economía circular y minimiza la generación de residuos contaminantes.

2.8 Principios del Comportamiento Sísmico en Estructuras de Acero

Las estructuras metálicas de acero son ampliamente utilizadas en zonas sísmicas debido a sus propiedades mecánicas que lo favorecen como la alta resistencia, la ductilidad y la capacidad de disipar energía, el comportamiento dinámico de estas estructuras bajo la acción de un sismo es complejo y requiere de un análisis detallado esto para garantizar la estabilidad y la seguridad de la estructura.

2.8.1 Análisis de diseño sismorresistente

La ingeniería sismorresistente es una rama de la ingeniería civil que se dedica al estudio y aplicación de técnicas para diseñar estructuras con la capacidad de resistir movimientos sísmicos y evitar su colapso. Esta rama toma en cuenta los principios de dinámica estructural, resistencia de materiales y normativas sísmicas con el fin de minimizar el riesgo de pérdidas humanas y económicas durante un evento sísmico.

Los movimientos sísmicos son eventos naturales que generan fuerzas dinámicas horizontales que producen desplazamientos de estructuras, pandeo, torsión y finalmente colapso estructural. Por esta razón, el análisis y diseño sismorresistente permite garantizar la seguridad estructural mediante criterios como la ductilidad, la disipación de energía y la redundancia

En el caso de las estructuras metálicas, el diseño sismorresistente se basa en el principio del diseño por capacidad. Este enfoque permite que ciertos elementos estructurales se comporten de forma dúctil, es decir, que experimenten deformaciones plásticas controladas, lo cual favorece la disipación de la energía sísmica. A diferencia de otros materiales que tienden a permanecer en el rango elástico, las estructuras metálicas pueden absorber mayores cantidades de energía sin comprometer la estabilidad global de la edificación.

2.8.2 Comportamiento dinámico de las estructuras metálicas

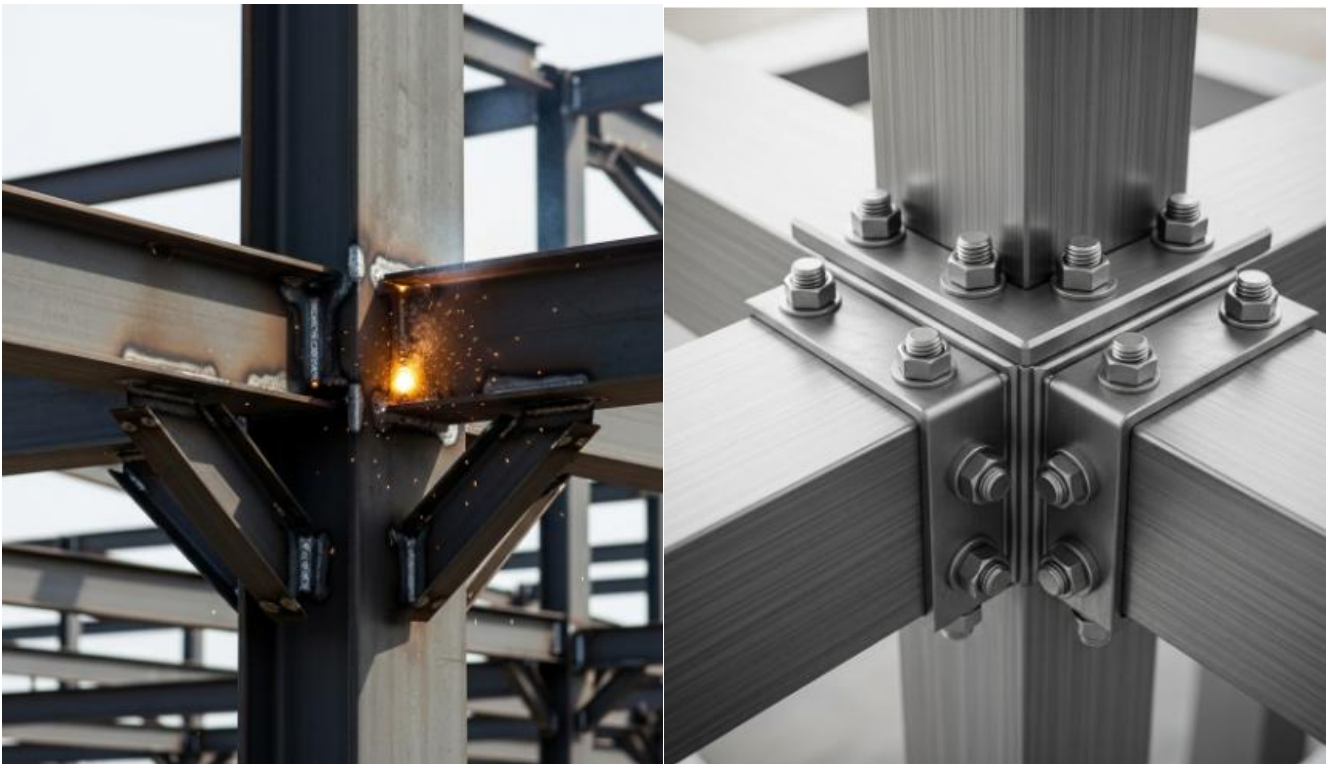
La respuesta dinámica de una estructura metálica frente a un sismo está influenciada por factores como la masa, la rigidez, el amortiguamiento y las frecuencias naturales de vibración. Las edificaciones construidas en acero presentan, por lo general, menor masa y rigidez que aquellas hechas con hormigón armado. Esta característica les otorga una ventaja significativa frente a los movimientos sísmicos, ya que permiten mayores deformaciones sin llegar al colapso, lo que se traduce en un comportamiento más dúctil y eficiente ante cargas dinámicas.

Para evaluar de manera precisa este tipo de comportamiento, es esencial realizar un análisis dinámico no lineal. Este tipo de estudio considera la interacción entre la estructura y el suelo, así como las particularidades del sismo en cuestión. Los resultados permiten identificar puntos críticos de concentración de esfuerzos, como las uniones viga-columna, donde comúnmente se originan las fallas. Diseñar estas zonas con criterios adecuados permite conservar la estabilidad de las columnas y evitar colapsos estructurales.

2.8.3 Conexiones y detalles estructurales

Imagen3

Conexiones de estructuras metálicas



Nota: Detalle de conexiones de una edificación con estructura metálica precalificada con pernos y soldadura. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

En las estructuras metálicas, las conexiones constituyen los elementos clave que permiten unir vigas, columnas y otros componentes estructurales, conformando así un sistema resistente y estable. Estas uniones se realizan comúnmente mediante soldaduras o pernos de alta resistencia, y su correcto diseño es fundamental para garantizar un desempeño estructural adecuado, especialmente en zonas de alta sismicidad. Una

conexión bien diseñada no solo asegura la transmisión efectiva de esfuerzos, sino que también contribuye significativamente a la ductilidad y a la capacidad de disipación de energía de la estructura durante un evento sísmico.

2.8.4 Conexiones rígidas

Las conexiones rígidas en estructuras metálicas son fundamentales en zonas sísmicas, ya que permiten la transmisión de fuerzas internas, como cortantes y momentos flectores, entre los elementos que se conectan —por ejemplo, vigas y columnas. Este tipo de conexión asegura que los componentes no solo se desplacen de forma conjunta, sino que también giren solidariamente, lo cual garantiza la continuidad estructural y refuerza la estabilidad del sistema.

Estas conexiones son esenciales en sistemas estructurales tipo pórtico, ya que proporcionan una alta ductilidad y una notable capacidad de disipación de energía durante un sismo. Gracias a ello, se mejora el desempeño sísmico general de la edificación y se reduce el riesgo de colapso.

2.8.5 Conexiones articuladas

Las conexiones articuladas son un tipo de unión entre dos elementos estructurales, como vigas y columnas, que están diseñadas para permitir la rotación relativa entre ellos sin transmitir momentos flectores significativos. En estas conexiones, las fuerzas que predominan son las axiales y cortantes, lo que evita la generación de momentos rígidos en las uniones. Este comportamiento se logra a través de detalles constructivos específicos que controlan y limitan la dirección y magnitud de la rotación en la unión, otorgando mayor flexibilidad al sistema estructural.

Este tipo de conexión es común en sistemas donde se busca reducir las fuerzas internas inducidas por momentos, facilitando la redistribución de cargas y minimizando concentraciones de tensión. Sin embargo, debido a su capacidad limitada para disipar energía sísmica, las conexiones articuladas se utilizan con mayor precaución en zonas de alta sismicidad, donde se prefieren sistemas con conexiones rígidas que aportan mayor ductilidad y resistencia frente a cargas dinámicas.

2.9 Importancia del diseño estructural

El diseño estructural es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de cualquier edificación. Su principal objetivo es asegurar que la estructura pueda resistir y soportar todas las cargas y fuerzas a las que estará sometida a lo largo de su vida útil,

tales como cargas muertas (peso propio de la estructura), cargas vivas (personas, muebles, equipos) y cargas ambientales (viento, sismos, nieve, entre otras). Un diseño adecuado permite distribuir estas cargas de manera eficiente, evitando fallas o colapsos que pongan en riesgo la integridad de la edificación y la seguridad de sus ocupantes.

Además, un buen diseño estructural considera factores como la durabilidad, la funcionalidad y la economía, asegurando que la estructura no solo sea segura, sino también eficiente y rentable. En zonas sísmicas, este diseño adquiere aún mayor relevancia, ya que debe incluir criterios específicos que permitan a la edificación absorber y disipar la energía generada por los movimientos sísmicos, minimizando daños y protegiendo la vida humana.

2.9.1 Diseño en estructura metálica

Conceptos fundamentales

Una estructura es el esqueleto fundamental del conjunto de elementos físicos que soportan, distribuyen y transmiten las cargas de una construcción hacia el terreno de forma segura y estable.

Su función es mantener la forma y el equilibrio de una edificación, puente, torre, represa u otra obra civil, resistiendo fuerzas internas y externas como el peso propio, viento, sismos, personas, etc. sin fallar ni deformarse de manera peligrosa.

El diseño en estructura metálica es una disciplina de la ingeniería civil que se encarga de realizar diversas actividades tales como calcular, dimensionar y detallar las características de los elementos estructurales que componen una edificación, con el fin de garantizar su estabilidad, funcionalidad y seguridad durante su vida útil. Este proceso es fundamental durante el desarrollo de un proyecto ya que el Ingeniero calculista está obligado a realizar un análisis detallado de cada uno de los elementos que componen la edificación o dependiendo de la obra que se realice, para lo cual este proceso se considera tanto cargas gravitacionales que son su peso propio, uso que se dará y un factor natural como el viento además se toma en cuenta las cargas sísmicas, todo esto debe cumplir con las normativas técnicas vigentes.

En un buen diseño estructural busca seleccionar materiales apropiados la construcción del proyecto que se va a realizar, entre ellos está el hormigón, acero, madera, etc.

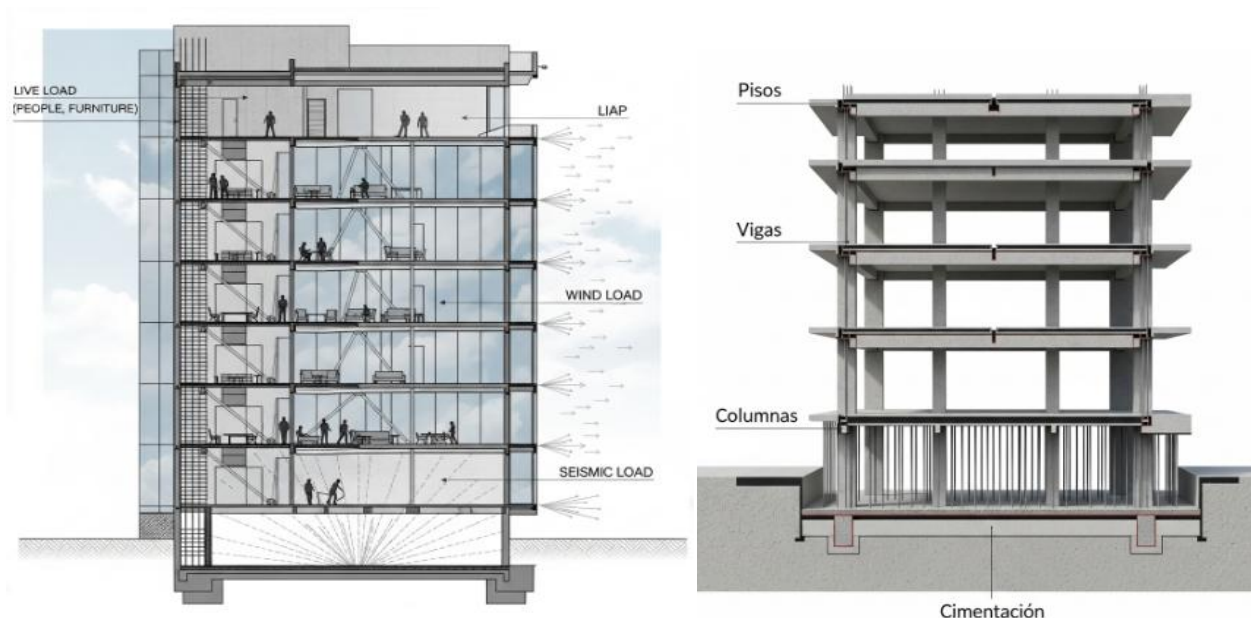
Determinar la resistencia, rigidez y ductilidad son necesarias en cada uno de los elementos así se podrá controlar los desplazamientos y evitar mecanismos de falla frágiles.

Para edificaciones ubicadas en zonas sísmicas, el diseño estructural adquiere un enfoque sismorresistente, considerando no solo la capacidad de carga, sino también la forma en que la estructura disipa energía ante un sismo severo.

2.9.2 Cargas

Imagen4

Tipo de cargas



Nota: Cargas que esta sometidos la edificación para su diseño sismorresistente.

Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

Las cargas estructurales se definen como las acciones, fuerzas o pesos que actúan sobre una edificación y que deben ser adecuadamente soportadas, distribuidas y transmitidas hasta el terreno mediante el sistema estructural. Este sistema está compuesto por elementos como vigas, columnas, losas, muros y cimentaciones, los cuales trabajan en conjunto para resistir dichas solicitaciones sin comprometer la estabilidad ni la integridad estructural de la edificación.

Las cargas pueden clasificarse, según su origen, en tres grandes grupos: permanentes, variables y accidentales o naturales. Las cargas permanentes

comprenden el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales, como acabados, instalaciones fijas y revestimientos. Las cargas variables incluyen aquellas asociadas al uso y ocupación del edificio, como la presencia de personas, mobiliario o equipos. Por su parte, las cargas accidentales o naturales abarcan fenómenos imprevisibles o de baja frecuencia como sismos, viento, nieve o presión hidrostática.

El análisis adecuado de estas cargas, así como su correcta combinación según las disposiciones establecidas en normativas técnicas como la NEC-SE, es fundamental para garantizar que la estructura funcione de manera segura durante toda su vida útil. Una edificación diseñada sin considerar apropiadamente las cargas a las que estará expuesta corre el riesgo de sufrir fallos estructurales, asentamientos diferenciales, o incluso colapsos totales ante eventos extremos. Por ello, el ingeniero estructural debe aplicar criterios rigurosos de ingeniería para prever su efecto y asegurar un diseño óptimo, tanto desde el punto de vista de resistencia como de servicio.

Cargas muertas (permanentes)

Son aquellas cargas que no cambian con el tiempo y están siempre presentes en la estructura, esto incluye el peso propio de todos los elementos estructurales de vigas, columnas, losas, cimentación, el peso de los acabados considerados como los pisos, revestimientos, techos falsos y finalmente los elementos fijos no estructurales como muros divisorios, instalaciones empotradas.

Estas cargas se conocen con anticipación y se calculan con precisión.

Cargas vivas (variables)

Carga viva o recarga de uso, corresponde a las acciones verticales variables que actúan de forma transitoria sobre una estructura en este caso sobre la edificación, excluyendo cargas debidas al viento, sismo o asentamientos diferenciales. Estas cargas son originadas por el uso y ocupación del edificio, e incluyen el peso de personas, mobiliario, equipos móviles y eventualmente cargas accidentales no permanentes.

Desde el punto de vista del análisis estructural, la carga viva es considerada como una acción no permanente, aleatoria y en algunos casos reducible en función de la tributación y área de influencia, según lo establecido en las normativas estructurales.

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, Diseño Sismo Resistente) y la NEC-SE-CG (Cargas), las cargas vivas deben ser consideradas en el diseño como parte de las acciones gravitacionales variables y su magnitud depende del uso específico del recinto

Cargas ambientales o accidentales

Cargas de viento: Actúan lateralmente sobre fachadas, techos o estructuras altas. Pueden generar presión o succión.

Cargas sísmicas: Generadas por movimientos del terreno durante un sismo. Producen fuerzas horizontales y verticales que afectan la estructura dinámica y repetidamente.

Cargas de nieve: El peso de la nieve acumulada en techos. Depende del clima y la forma del techo.

2.9.3 Resistencia de los materiales

La resistencia de los materiales es una rama fundamental de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los cuerpos sólidos deformables frente a la acción de cargas externas. Su objetivo principal es analizar cómo se originan y distribuyen los esfuerzos internos, tales como tensión, compresión, cortante, flexión y torsión, dentro de los elementos estructurales. Este análisis permite evaluar si dichos elementos son capaces de resistir las cargas sin presentar fallas ni deformaciones inadmisibles, garantizando así la seguridad y funcionalidad de la estructura. A partir de leyes físicas y relaciones constitutivas del material, como la ley de Hooke en el régimen elástico, es posible establecer el límite de esfuerzo que puede soportar una sección antes de alcanzar su capacidad última. Por ejemplo, en una viga de acero simplemente apoyada y sometida a una carga puntual en su punto medio, se puede determinar el momento flector máximo en el centro del claro y, a partir de éste, calcular la tensión normal máxima inducida. Este tipo de análisis es esencial para el diseño de componentes estructurales como vigas, columnas, losas y placas, ya que permite dimensionarlos adecuadamente para asegurar su comportamiento estructural dentro de los márgenes de seguridad definidos por la normativa.

2.9.4 Materiales

Se entiende por material a toda sustancia sólida, ya sea de origen natural o artificial, que, debido a sus propiedades físico-mecánicas y químicas, puede ser

empleada en la construcción de estructuras seguras y funcionales. En ingeniería civil, la elección de los materiales estructurales es una decisión crítica que incide directamente en la seguridad, eficiencia y durabilidad de la edificación. Un material adecuado debe ser capaz de resistir las solicitaciones impuestas durante su vida útil, tales como esfuerzos de compresión, tracción, flexión, corte y torsión, además de presentar un comportamiento predecible frente a la acción de cargas cíclicas, como las generadas por eventos sísmicos.

Asimismo, el desempeño de los materiales frente a factores ambientales como la humedad, temperatura, corrosión y exposición prolongada a cargas variables debe ser considerado desde la etapa de diseño. La resistencia, rigidez, ductilidad, peso específico y facilidad constructiva son parámetros esenciales al momento de su selección. Por ejemplo, el acero es altamente dúctil y eficiente para absorber energía sísmica, mientras que el hormigón armado ofrece gran capacidad portante en compresión y estabilidad térmica.

Durante el diseño estructural, se recurre frecuentemente a normas técnicas como la NEC-SE-DS (Norma Ecuatoriana de la Construcción - Sismo Estructural Diseño Sismo Resistente) para verificar que los materiales utilizados cumplan con los criterios mínimos de resistencia y comportamiento establecidos.

De esta forma, la correcta caracterización y aplicación de los materiales garantiza que la estructura responda adecuadamente ante diversas condiciones de carga, asegurando un óptimo desempeño funcional y estructural a lo largo del tiempo.

Imagen5

Tipo de materiales



Nota: Materiales considerados en la construcción de estructuras edificios, puentes, en si todo lo relacionado a la Ing. Civil. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

Los materiales comúnmente utilizados en estructuras incluyen:

- **Concreto armado:** Alta resistencia a la compresión y buena capacidad de absorción de energía con el refuerzo adecuado.
- **Acero estructural:** Gran ductilidad, resistencia a la tracción y excelente desempeño frente a cargas cíclicas.
- **Mampostería confinada:** Utilizada con refuerzos adecuados para mejorar su comportamiento sísmico.

La elección del material influye directamente en el diseño estructural, en los coeficientes de reducción sísmica y en el desempeño global de la edificación ante un sismo.

2.9.5 Estructura Metálica

Una estructura metálica es un sistema resistente conformado por elementos fabricados principalmente en acero estructural, cuyo diseño está orientado a soportar, transmitir y redistribuir de forma eficiente las cargas que actúan sobre una edificación.

Estos elementos como vigas, columnas, cerchas, diagonales y otros perfiles estructurales trabajan en conjunto para formar un esqueleto tridimensional cuyas uniones pueden ser atornilladas o soldadas, permitiendo un ensamblaje preciso y controlado tanto en obra como en taller. El acero estructural presenta una elevada capacidad de resistencia frente a esfuerzos de tracción, compresión, flexión y corte, además de un módulo de elasticidad constante que facilita el cálculo y predicción de su comportamiento bajo cargas.

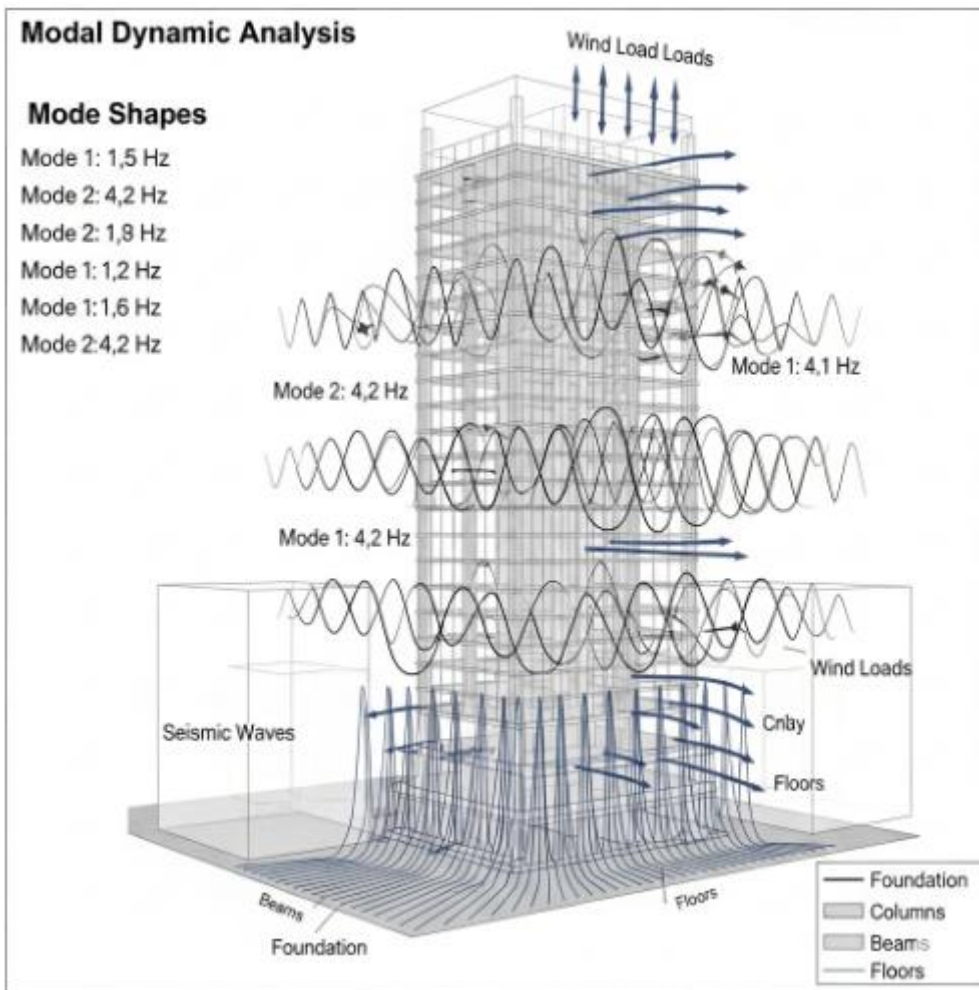
Estas propiedades permiten desarrollar edificaciones de gran altura, con luces amplias y secciones transversales relativamente reducidas, lo cual se traduce en estructuras más livianas y esbeltas, optimizando así el consumo de materiales y los tiempos de construcción. Además, gracias a su ductilidad y capacidad para disipar energía, las estructuras metálicas son altamente recomendables en zonas de alta sismicidad como el territorio ecuatoriano.

Su respuesta ante cargas dinámicas es favorable, ya que pueden deformarse sin perder resistencia de forma repentina, lo que contribuye a mantener la integridad estructural frente a eventos sísmicos severos. Por ello, el uso de acero estructural, bajo normativas como la NEC-SE y los estándares internacionales del AISC, constituye una solución moderna, segura y eficiente para el desarrollo de edificaciones sismorresistentes.

2.9.6 Análisis de deformaciones

Imagen6

Deformaciones en edificación



Nota: Presenta los diferentes análisis para evaluar las deformaciones bajo las cargas sísmicas. Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

Análisis Modal y Dinámico

Para evaluar las deformaciones bajo cargas sísmicas, se utilizan análisis dinámicos, como el análisis modal espectral o el análisis no lineal. Estos análisis permiten obtener la distribución de deformaciones y desplazamientos en la estructura para identificar los puntos críticos. Además, el análisis modal espectral considera la participación de los distintos modos de vibración, lo que permite una evaluación más precisa de la respuesta estructural frente a distintas frecuencias de excitación. Este enfoque resulta fundamental en estructuras irregulares o de varios niveles, ya que facilita el diseño de sistemas que controlen mejor la respuesta sísmica.

Análisis No Lineal

El análisis no lineal es fundamental para evaluar cómo la estructura responde cuando los materiales alcanzan sus límites de deformación elástica. Esto permite simular el comportamiento real de la estructura durante el sismo. A diferencia del análisis lineal, este enfoque considera el comportamiento plástico de los elementos estructurales, permitiendo estudiar el desarrollo de mecanismos de disipación de energía y la redistribución de esfuerzos internos.

Así, se pueden identificar las zonas donde es probable que ocurran daños estructurales, lo cual es clave para garantizar un diseño sismorresistente adecuado.

Deformaciones en función del tiempo

A través del análisis historia en el tiempo, se pueden estudiar las deformaciones en función de los registros sísmicos reales, lo que proporciona una estimación más precisa del comportamiento de la estructura durante un sismo específico.

Este tipo de análisis toma en cuenta la evolución temporal de las fuerzas internas, desplazamientos y aceleraciones en cada punto de la estructura, permitiendo una simulación detallada de la respuesta dinámica. Al trabajar con registros sísmicos representativos del sitio de emplazamiento, se puede calibrar mejor la respuesta estructural y evaluar con mayor certeza la seguridad y funcionalidad del sistema durante todo el evento sísmico.

2.9.7 Sistema isostático

Un sistema isostático es aquel en el que las fuerzas internas y reacciones pueden determinarse únicamente mediante las ecuaciones de equilibrio estático, sin necesidad de recurrir a métodos adicionales.

Esto hace que el análisis estructural sea más sencillo, ya que no se requiere considerar la transferencia de momentos en los nodos. En estos sistemas, las conexiones transmiten principalmente fuerzas cortantes, lo que simplifica el diseño y, a su vez, reduce costos de construcción.

Además, las estructuras isostáticas son menos sensibles a errores de montaje o movimientos diferenciales, ya que los nodos pueden acomodar pequeñas rotaciones sin generar esfuerzos adicionales significativos. Esta característica aporta mayor tolerancia y flexibilidad durante la construcción y en el comportamiento frente a cargas.

2.9.8 Ductilidad y disipación de energía

Las conexiones articuladas, al permitir la rotación relativa entre vigas y columnas, ofrecen ventajas significativas en el comportamiento de las estructuras frente a cargas dinámicas, como los movimientos sísmicos o cargas accidentales. Este tipo de conexiones facilita una mayor capacidad para disipar la energía sísmica, ya que los nodos no concentran grandes momentos flectores, lo que reduce considerablemente el riesgo de fallas frágiles que podrían provocar fracturas en la estructura.

Además, al no estar sometidas a momentos elevados, las conexiones articuladas contribuyen a una mejor distribución de los esfuerzos en toda la estructura, evitando la formación de puntos críticos con altas concentraciones de tensión.

Este comportamiento es especialmente valioso en zonas sísmicas, donde la capacidad de la estructura para deformarse plásticamente sin colapsar resulta fundamental para garantizar la seguridad y protección de los ocupantes.

2.9.9 Facilidad constructiva y económica

Al realizar un proyecto con estructuras metálicas, se destaca la facilidad constructiva, especialmente en las conexiones articuladas. Estas conexiones presentan ventajas significativas, ya que son más sencillas y rápidas de fabricar y montar en comparación con las conexiones rígidas.

Esto se debe a que requieren menos soldaduras, menos tornillos y una menor precisión en las alineaciones, lo que reduce tanto el tiempo de construcción como los costos asociados en mano de obra y materiales.

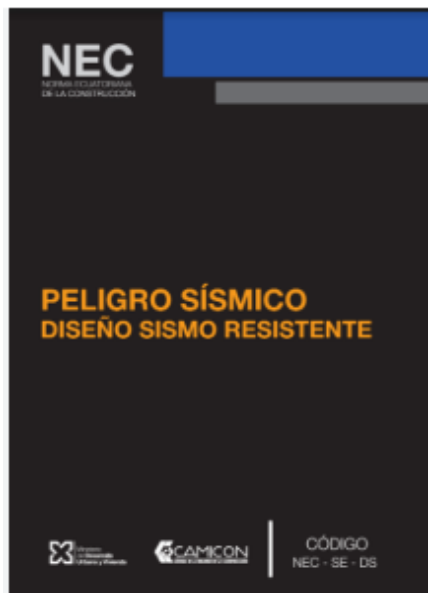
Otra ventaja importante es la versatilidad que ofrecen al momento de desmontar las estructuras. Los elementos estructurales utilizados en conexiones articuladas pueden ser reutilizados en nuevas construcciones temporales o modulares, lo que optimiza los recursos y promueve la sostenibilidad.

En contraste, las conexiones rígidas demandan una ejecución más precisa y rigurosa durante la obra, donde cualquier ajuste o error puede afectar la integridad estructural y la durabilidad del sistema.

2.10 Normativas sísmicas y códigos de diseño aplicables

Imagen7

NEC



Nota: Norma Ecuatoriana de la Construcción. Fuente: NEC-15, 2015

Ecuador, como país con alta actividad sísmica, regula el diseño sismorresistente de edificaciones principalmente mediante la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15). Esta normativa establece los requisitos y metodologías que garantizan la seguridad estructural de edificaciones pequeñas, medianas y grandes frente a eventos sísmicos, teniendo en cuenta el alto nivel de riesgo presente especialmente en zonas vulnerables del país.

Para el diseño de estructuras metálicas, es necesario aplicar estas normativas nacionales, pero también es común complementar con normas internacionales que aseguren el cumplimiento de los mínimos requerimientos durante el desarrollo del proyecto. Estas regulaciones externas permiten incorporar mejores prácticas y criterios técnicos actualizados, esenciales para garantizar un diseño eficiente y seguro.

Los códigos de diseño proporcionan directrices claras para controlar y manejar las deformaciones que ocurren durante eventos sísmicos, facilitando que las estructuras tengan la capacidad de disipar energía y deformarse sin colapsar, aspectos fundamentales para la seguridad y durabilidad de las edificaciones.

2.10.1 NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción Sismo Resistente)

Establece los criterios para controlar las deformaciones, especialmente en cuanto a los desplazamientos inter-piso, las deformaciones en muros de corte y las restricciones para la deformación en las conexiones estructurales.

2.10.2 Deformaciones permitidas y límites de desplazamiento

- Desplazamientos máximos inter-piso: En la NEC-15, el desplazamiento relativo entre pisos es un criterio fundamental. Para edificios en zonas sísmicas, se establece que los desplazamientos inter-piso no deben superar un 1.5% a 2% de la altura entre pisos. Esto asegura que las estructuras no sufran deformaciones excesivas que puedan dañar las conexiones o los elementos no estructurales (como paredes y ventanas).
- Deformaciones en muros de corte: Los muros de corte deben ser diseñados para resistir deformaciones significativas sin perder su capacidad de carga. La NEC-15 permite que estos muros experimenten deformaciones plásticas en ciertas condiciones, siempre que estas deformaciones sean controladas y no comprometan la estabilidad de la estructura.
- Comportamiento de la estructura: La norma admite que las estructuras dúctiles (como aquellas con vigas y columnas de acero) experimenten deformaciones plásticas en elementos específicos, como las conexiones o los extremos de los muros de corte. Sin embargo, se deben evitar deformaciones plásticas globales que puedan conducir al colapso.

2.10.3 Análisis dinámico y no lineal

- Análisis espectral: La NEC-15 recomienda realizar un análisis espectral para determinar las fuerzas sísmicas y desplazamientos en la estructura. Este análisis permite calcular los desplazamientos esperados durante un sismo y asegura que los elementos estructurales no superen las deformaciones permitidas.
- Análisis no lineal: Para edificaciones más complejas o de gran altura, se recomienda realizar un análisis no lineal que simule el comportamiento de la estructura bajo grandes deformaciones, lo cual es fundamental para prever el colapso de elementos no estructurales en caso de un sismo de alta magnitud.

2.10.4 Normas internacionales

Según lo establecido por la norma AISC 360, toda estructura de acero debe ser diseñada y verificada conforme a sus disposiciones, las cuales regulan el comportamiento de los elementos sometidos a diferentes solicitaciones internas como tracción, compresión, flexión y corte. Esta normativa exige que los miembros estructurales cumplan con criterios de resistencia y estabilidad, tanto global como local, considerando factores como esbeltez, longitud efectiva y propiedades geométricas. Asimismo, la AISC 360 obliga a emplear uno de sus dos métodos aceptados de diseño: el método de los factores de carga y resistencia (LRFD) o el método de cargas de servicio (ASD), según la naturaleza del proyecto. Además, estipula requisitos precisos para el diseño de conexiones, control de deformaciones y análisis estructural ante cargas sísmicas y gravitacionales.

La AISC 360 (siglas de *American Institute of Steel Construction*) es una norma técnica desarrollada por el Instituto Americano de la Construcción en Acero, con reconocimiento internacional en el ámbito del diseño estructural. En el contexto ecuatoriano, esta normativa se encuentra referenciada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), específicamente en el capítulo referente al diseño de estructuras metálicas, donde se establece que el diseño deberá regirse por los lineamientos de la AISC 360 en su versión más reciente o vigente. De esta forma, su aplicación asegura la compatibilidad con los requisitos sísmicos, de cargas gravitacionales y de diseño estructural establecidos en la NEC, proporcionando un marco técnico sólido y coherente para garantizar la seguridad y funcionalidad de edificaciones en zonas sísmicamente activas como el Ecuador.

Capítulo III

3. 1 Resumen del marco metodológico de estudio

El marco metodológico del presente trabajo de titulación se lo desarrolla en base a la evaluación sísmica de una estructura metálica. Este proceso es fundamental y tiene que realizarse bajo una serie de etapas técnicas y analíticas que nos permitirán identificar modelar y verificar el comportamiento estructural de esta estructura cuando se presente un evento sísmico.

Para la elaboración de este estudio, se tomaron como referencia las normativas técnicas vigentes basadas en la NEC, así como avances recientes de investigaciones y prácticas reconocidas en el campo de la ingeniería estructural. Estas fuentes permitieron establecer una base sólida y actualizada para la selección de metodologías, procedimientos de análisis y criterios de evaluación, asegurando que el proceso se lleve a cabo con rigor técnico conforme a los estándares más exigentes del sector.

3.1.1 Software para análisis estructural

ETABS (Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems) es un software especializado de análisis y diseño estructural desarrollado por CSI (Computers and Structures, Inc.), utilizado principalmente para el estudio de edificaciones de grandes magnitudes.

Este tipo de herramienta está diseñado específicamente para modelar, analizar y dimensionar estructuras de edificios, tanto en concreto como en acero, bajo diferentes tipos de cargas, incluyendo cargas sísmicas y de viento.

En el contexto de tu proyecto, que consiste en el análisis sismorresistente de una edificación de cinco niveles con estructura metálica para uso de servicio público en el cantón Portoviejo, ETABS te permite modelar digitalmente toda la estructura con sus características geométricas y materiales reales. Con este modelo, puedes aplicar cargas sísmicas según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y obtener resultados detallados como desplazamientos, esfuerzos, reacciones y modos de vibración. Esto facilita un análisis más preciso del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos, permitiendo evaluar la seguridad, estabilidad y eficiencia del diseño. Además, ETABS ofrece herramientas de diseño automatizado que ayudan a dimensionar perfiles metálicos conforme a normativas como la AISC 3, garantizando que la estructura cumpla con los requisitos de ductilidad y resistencia exigidos en zonas sísmicas.

3.1.2 Aplicación en la investigación:

- Modelado completo de vigas, columnas, losas, muros de corte y fundaciones.
- Definición de combinaciones de carga según NEC-15 (muerta, viva, sísmica en X e Y).
- Aplicación de espectros de diseño sísmico normativos.
- Evaluación de desplazamientos inter-piso, deformaciones, cortantes y momentos flectores.
- Verificación de derivas sísmicas y control de deformaciones plásticas.
- Generación de diagramas de fuerza interna para elementos estructurales clave.

3.1.3 Software AutoCAD

Es un software de diseño técnico bidimensional (2D) y tridimensional (3D) desarrollado por Autodesk Inc., utilizado para la elaboración de planos, modelado geométrico y documentación técnica precisa en múltiples disciplinas de la ingeniería y la arquitectura. AutoCAD opera mediante el uso de coordenadas cartesianas absolutas, relativas y polares, lo cual permite crear dibujos exactos en escala real, organizados por capas (layers), tipos de línea, bloques, estilos de cotas y otros elementos que facilitan la estandarización y organización del dibujo técnico. El software admite la personalización mediante comandos, scripts y rutinas automatizadas, así como la integración con otras plataformas BIM y de análisis estructural.

3.2 Descripción detallada de la edificación en estudio

3.2.1 Ubicación del proyecto

El Centro Institucional de Atención al Cliente (CIAC) se encuentra ubicado en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, en la región litoral del Ecuador. Esta zona está clasificada como de alta amenaza sísmica según la zonificación establecida en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. El tipo de suelo predominante es cohesivo, con capacidad portante media, lo que influye directamente en la respuesta dinámica de la estructura.

Este edificio municipal tiene como propósito centralizar y optimizar la atención y servicios que el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Portoviejo ofrece a sus ciudadanos, facilitando trámites y mejorando la gestión administrativa en un espacio moderno, seguro y adaptado a las condiciones sísmicas de la región.

3.2.2 Uso de la edificación

La edificación está destinada primordialmente a fines administrativos, con oficinas de uso permanente. Se estima que el flujo de personas será moderado, correspondiendo a la dinámica propia de un entorno laboral.

Conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, esta estructura se clasifica en el grupo de ocupación tipo III. Dicha categorización demanda un nivel de desempeño estructural más riguroso, lo que asegura una mayor capacidad de resistencia y funcionalidad operativa incluso ante la ocurrencia de sismos severos.

3.2.3 Características generales

La estructura consta de cuatro niveles sobre el nivel del terreno natural. La altura libre entre los pisos es de 3.00 metros, lo que resulta en una altura total de 15 metros, a la cual se añade una losa ligera en el último nivel destinada a funcionar como cubierta de gradas.

La planta presenta una configuración rectangular, con dimensiones de 23.90 metros de longitud por 18.30 metros de ancho. Esto define un área construida de 407.06 m² por cada nivel. Cabe destacar que la geometría regular de la edificación es un factor favorable, ya que contribuye a un comportamiento estructural más eficiente y predecible frente a las cargas sísmicas.

3.2.4 Sistema estructural

La edificación está diseñada con un sistema estructural basado exclusivamente en pórticos especiales resistentes a momento (*Portadores Resistentes Metálicos*) dispuestos en ambas direcciones principales. Esta configuración proporciona rigidez, ductilidad y estabilidad frente a acciones sísmicas. El diseño busca evitar irregularidades torsionales mediante una disposición simétrica de los elementos estructurales.

3.2.5 Elementos estructurales

Las columnas están conformadas por perfiles tubulares HSS y perfiles I laminados en caliente, capaces de resistir cargas gravitacionales y sísmicas. Las vigas principales están constituidas por perfiles tipo IPR, conformando los marcos resistentes a momento. Vigas secundarias conectan transversalmente para soportar el sistema de entrepiso. Las conexiones entre elementos son predominantemente atornilladas, diseñadas bajo el criterio de diseño por capacidad para asegurar la formación de rótulas plásticas controladas.

3.2.6 Sistema de entrepiso

El entrepiso está conformado por losas colaborantes metálicas fabricadas con láminas de acero galvanizado, las cuales son perfiladas y colocadas sobre las vigas de acero estructural. Estas losas están unidas a las vigas mediante conectores de cortantes soldados, permitiendo la interacción entre el acero y el concreto vertido posteriormente. Este sistema actúa de forma compuesta, lo que significa que tanto el concreto como el perfil metálico trabajan conjuntamente para resistir las cargas verticales, incrementando significativamente la rigidez y la capacidad de carga del entrepiso.

Gracias a esta interacción, se logra una reducción en el peso propio del sistema respecto a losas tradicionales, facilitando una construcción más rápida y eficiente, con menores tiempos de montaje y menos uso de cimbras temporales. Desde el punto de vista estructural, este tipo de entrepiso mejora el comportamiento dinámico del edificio, especialmente en zonas sísmicas.

3.2.7 Cimentación

La cimentación, aunque no forma parte directa de la estructura metálica, se proyecta como una losa de cimentación de hormigón armado, diseñada para soportar y distribuir las cargas de la superestructura. En el modelo estructural se considera como un empotramiento ideal, permitiendo centrarse en el análisis del comportamiento de la estructura metálica ante acciones sísmicas.

3.2.8 Criterio de diseño estructural.

El diseño es un proceso de síntesis avanza por pasos con el fin de dar solución a un problema en este caso una estructura determinada la síntesis se manifiestan como la necesidad de contemplar tanto los aspectos propios de la estructura como requerimientos funcionales la habilidad de la capacidad de diseñar para proporcionar una mejor solución.

3.2.9 El dimensionamiento

Al dimensionar los elementos que conforman un pórtico metálico, el diseño está mayormente controlado por los esfuerzos de flexión, dado que los momentos flectores generados por las cargas verticales y horizontales son determinantes para definir las dimensiones principales de columnas y vigas. Aunque el esfuerzo por corte es relevante para el detalle constructivo y la resistencia puntual en conexiones, generalmente no controla la sección principal de los elementos estructurales.

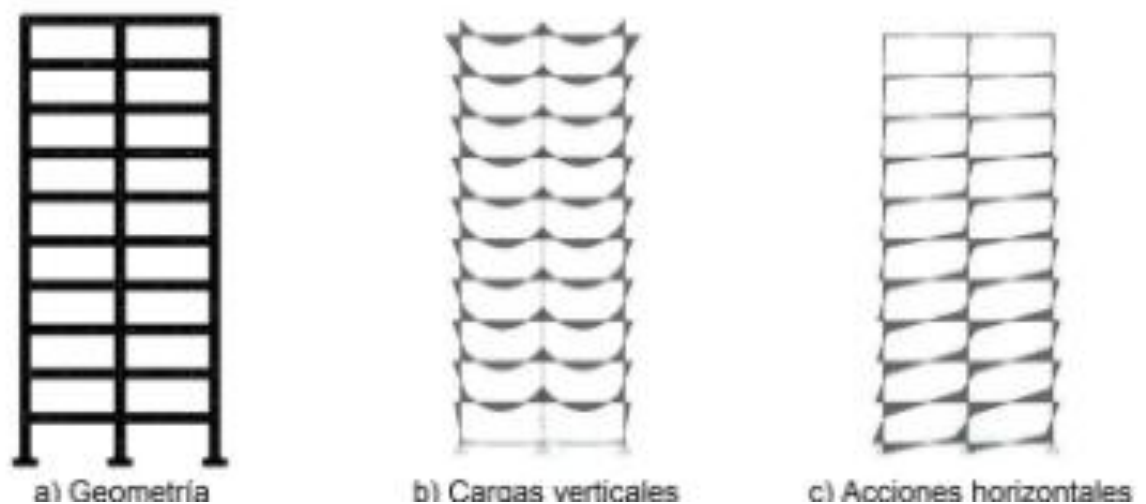
El análisis comparativo de los diagramas de momentos flectores bajo cargas verticales (muertas y vivas) frente a cargas horizontales (sísmicas o de viento) permite identificar los puntos de mayor sollicitación en el marco estructural, orientando un dimensionamiento óptimo y seguro.

Basándose en esta evaluación, se seleccionan perfiles con las secciones adecuadas que aseguren la capacidad resistente y la rigidez requeridas para cumplir con las normativas, garantizando la estabilidad y seguridad estructural bajo condiciones de carga normales y extremas.

Este enfoque integral es fundamental para optimizar el diseño de la estructura metálica, especialmente en zonas sísmicas como Portoviejo, asegurando un comportamiento eficiente y seguro del pórtico.

Imagen8

Forma geométrica de edificio



Nota: La gráfica representa forma geométrica correcta de un edificio con cargas verticales y acciones horizontales. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

3.2.10 La ductilidad

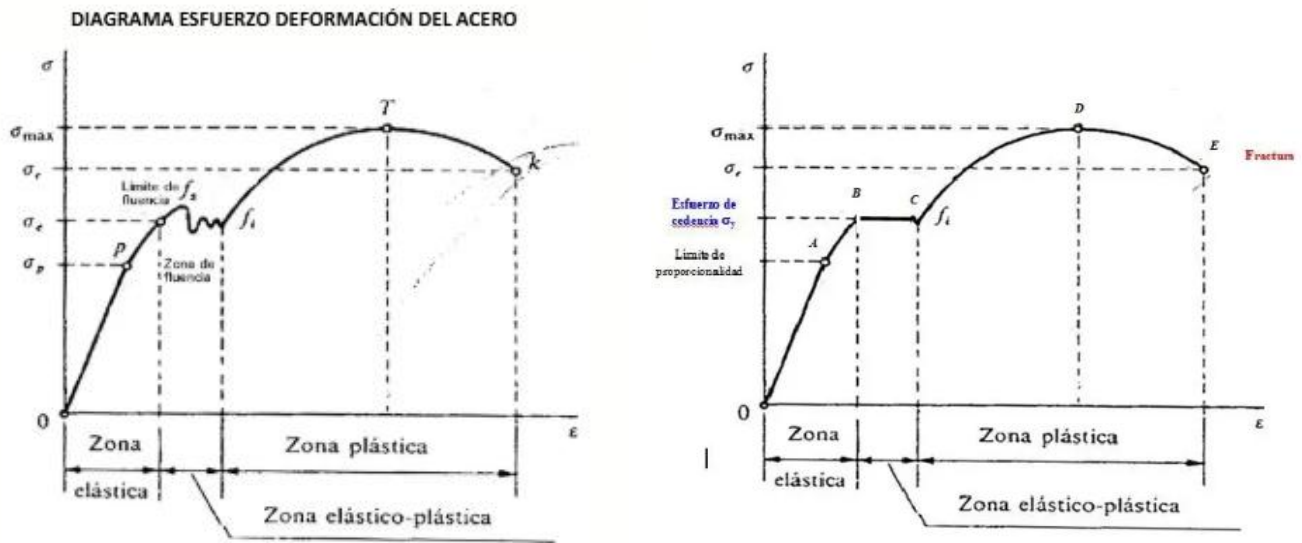
Se define como la capacidad que tiene una estructura para soportar cargas que superan su límite elástico sin perder su resistencia. Esto significa que la estructura puede experimentar deformaciones plásticas que permiten disipar energía acumulada durante eventos extremos, como un sismo.

Este proceso de disipación complementa el amortiguamiento natural del sistema, ayudando a reducir las fuerzas que actúan sobre la estructura, las cuales se mantienen limitadas por el esfuerzo de fluencia del material.

En definitiva, la ductilidad es una característica fundamental y deseable en las estructuras metálicas sometidas a cargas extraordinarias, ya que permite que la estructura sobreviva a sollicitaciones de mayor intensidad que las consideradas en el diseño.

Esta propiedad depende principalmente de tres factores: la capacidad de deformación plástica del material, la naturaleza de la sollicitación crítica y los detalles constructivos que facilitan un comportamiento estable durante las deformaciones.

Imagen 9



Nota: La gráfica representa forma geométrica correcta de un edificio con cargas verticales y acciones horizontales Fuente: Apuntes de física, P. Valera, 2025

3.3 Consideraciones sobre las cargas aplicadas

En el proceso de diseño estructural, resulta indispensable establecer con precisión las cargas que actuarán sobre la edificación a lo largo de su vida útil. Estas fuerzas, tanto permanentes como variables o accidentales, influyen directamente en la estabilidad, seguridad y desempeño sísmico del sistema estructural. A continuación, se detallan las principales consideraciones adoptadas para la evaluación de cargas en el presente proyecto.

3.3.1 Cargas permanentes (muertas)

Las cargas muertas corresponden a las fuerzas permanentes que actúan sobre una estructura durante toda su vida útil. Estas incluyen el peso propio de todos los elementos

que componen la edificación, tales como vigas, columnas, losas, cubiertas, muros, acabados, ventanas y demás componentes estructurales y arquitectónicos integrales.

El cálculo de estas cargas se fundamenta en el peso específico de cada material y el volumen de los distintos elementos estructurales. Sin embargo, en las etapas iniciales del diseño, las dimensiones exactas de los miembros no están aún definidas, por lo que se deben emplear estimaciones preliminares basadas en valores típicos para anticipar adecuadamente la carga muerta.

Controlar con precisión las cargas muertas es esencial para el correcto comportamiento estructural, tanto en sistemas de hormigón como metálicos. Un incremento no previsto en el volumen o peso, por ejemplo, debido a espesores adicionales o cambios en los acabados puede elevar la masa total de la estructura, lo cual afecta directamente la respuesta frente a sollicitaciones dinámicas como los sismos.

En estructuras metálicas, el peso de las cargas muertas puede determinarse con mayor exactitud, ya que los perfiles de acero se producen en fábrica con tolerancias estrictas, lo que reduce la incertidumbre en el cálculo de las masas. En contraste, en estructuras de hormigón el peso puede variar más por las condiciones del proceso constructivo y la mezcla utilizada.

Imagen 10
Cargas aplicadas a estructuras

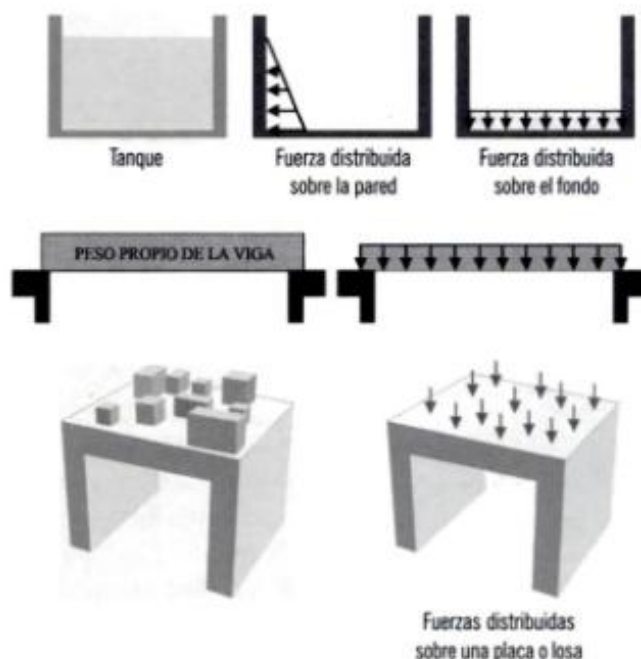


Tabla 2

Peso de materiales por categoría para peso muerto

MATERIAL	PESO (ton/m³ ó ton/m²)	DENSIDAD (kg/m³ ó kg/m²)
Acero estructural	7.85 ton/m ³	7,850 kg/m ³
Viga IPE/IPN/HEA/HEB	7.8 ton/m ³	7,800 kg/m ³
Perfil tubular cuadrado/rectangular	7.85 ton/m ³	7,850 kg/m ³
Chapa metálica (Cubierta/losa)	0.008–0.020 ton/m ²	8–20 kg/m ²
Tornillería y pernos estructurales	0.001–0.005 ton/m ²	1–5 kg/m ²
Pintura anticorrosiva	0.001–0.003 ton/m ²	1–3 kg/m ²
Paneles sándwich metálicos	0.010–0.030 ton/m ²	10–30 kg/m ²
Entrepisos metálicos + concreto	0.350–0.450 ton/m ²	350–450 kg/m ²
Cubierta metálica liviana	0.008–0.015 ton/m ²	8–15 kg/m ²
OTRAS CARGAS MUERTAS (por unidad de área)		
MATERIAL	PESO (ton/m²)	DENSIDAD (kg/m²)
Piso metálico tipo Deck	0.007–0.015 ton/m ²	7–15 kg/m ²
Panel de fachada metálico	0.010–0.030 ton/m ²	10–30 kg/m ²
Cielorraso metálico de perfilería	0.002–0.005 ton/m ²	2–5 kg/m ²
Losa colaborante acero+concreto	0.350–0.450 ton/m ²	350–450 kg/m ²
Pintura intumescente/anticorrosiva	0.001–0.003 ton/m ²	1–3 kg/m ²

Nota: Tabla con los pesos de los de elementos que se consideran para un análisis sísmico. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

3.3.2 Cargas variables (vivas)

Las cargas vivas son aquellas fuerzas que pueden variar en magnitud y posición a lo largo del tiempo sobre una estructura. Estas cargas se originan principalmente debido al uso, la ocupación y las actividades de mantenimiento del edificio, por lo que prácticamente todas las cargas no permanentes aplicadas de forma permanente a una construcción, pero si se las consideran dentro de esta categoría.

Dentro de las cargas vivas también se incluyen las cargas ambientales, las cuales, aunque pueden cambiar con el tiempo, generalmente actúan de forma uniforme hacia abajo sobre pisos o techos.

Las normas y especificaciones para el diseño estructural incluyen tanto cargas vivas uniformemente distribuidas como también cargas concentradas que pueden presentarse en puntos específicos, como equipos pesados o mobiliario localizado. Por ello, es fundamental que los ingenieros consideren el efecto de estas cargas puntuales además de las cargas uniformes durante el proceso de diseño.

En conclusión, las cargas vivas representan todas aquellas cargas variables asociadas al uso real de la edificación y su entorno, y su correcta evaluación es esencial para asegurar la seguridad y desempeño adecuado de la estructura a lo largo de su vida útil.

Tabla 3

Peso por categoría para carga viva

Uso del área	Carga viva (lb/pie²)	Carga viva (kg/m²)
Salas de reunión	100	488.3
Salones de baile	100	488.3
Salas de lectura en bibliotecas	60	293
Cuartos de almacenaje de libros en bibliotecas	150	732.4
Manufactura ligera	125	610.3
Oficinas en edificios de oficinas	50	244.1
Áreas habitacionales	40	195.3
Salones de clase en escuelas	40	195.3
Corredores en pisos superiores de escuelas	80	390.6
Escaleras y salidas de emergencia	100	488.3
Bodegas de almacenamiento pesado	250	1220.6
Tiendas de menudeo, planta baja	100	488.3
Tiendas de menudeo, pisos superiores	75	366.2
Pasillos y plataformas elevadas	60	293

Nota: Tabla con los pesos de los de elementos que se consideran para un análisis sísmico.

Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

3.3.3 Combinación de carga

Las combinaciones de cargas representan un procedimiento normativo esencial para el análisis y diseño estructural. A través de ellas, se integran diferentes tipos de acciones que puede experimentar una estructura, tales como cargas permanentes, variables y excepcionales, entre las que se incluyen las de tipo sísmico, viento, lluvia o nieve, mediante la aplicación de coeficientes de seguridad. El propósito fundamental de estas combinaciones es simular los estados de carga más exigentes que podrían ocurrir durante la vida útil de la edificación, con el fin de verificar su resistencia, estabilidad y desempeño estructural, conforme a lo establecido por los códigos técnicos correspondientes.

El LRFD diseño de factores de carga y resistencia, Es un método de diseño de estructuras que aplica factores para aumentar las cargas de diseño y disminuir las resistencias nominales el fin es incorporar márgenes de seguridad con precisión y confiable este método se basa en el concepto de estado límite donde se define condiciones máximas de carga y resistencia para garantizar que la estructura permanezca segura bajo las solicitudes extremas

Tabla 4

Combinación de carga

Combinación LRFD	Descripción	Símbolos involucrados
$U = 1.4D$	Solo carga muerta mayorada	D
$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	Carga muerta, carga viva y carga variable de techo vivo, nieve o lluvia	D, L, Lr, S, R
$U = 1.2D + 1.6(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + (1.0L \text{ o } 0.5W \text{ o } 0.8W)$	Carga muerta, carga variable (techo vivo, nieve o lluvia) y carga viva o viento	D, Lr, S, R, L, W
$U = 1.2D + (1.0 \text{ o } 1.6)W + 1.0L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	Carga muerta, viento, carga viva y carga variable (techo vivo, nieve o lluvia)	D, W, L, Lr, S, R
$U = 1.2D + (1.0 \text{ o } 1.4)E + 1.0L + 0.2S$	Carga muerta, sísmica, carga viva y carga de nieve	D, E, L, S
$U = 0.9D + (1.0 \text{ o } 1.6)W$	Peso propio reducido y carga de viento	D, W
$U = 0.9D + (1.0 \text{ o } 1.4)E$	Peso propio reducido y carga sísmica	D, E

Nota: Tabla de combinaciones de carga para diseño LRFD. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

3.3.4 Cargas generadas por sismos

Las cargas sísmicas son fuerzas que se generan debido a la actividad sísmica de la Tierra, manifestándose como movimientos bruscos y oscilatorios en el terreno donde se asientan las estructuras. Estos movimientos provocan que los cimientos y componentes de un edificio sean sometidos a esfuerzos adicionales que deben ser resistidos para evitar daños y mantener la estabilidad y seguridad del inmueble.

Durante un sismo, la energía liberada se transmite en forma de ondas que se propagan por la superficie terrestre, generando desplazamientos ondulatorios similares a las olas que se forman en el mar. Estos movimientos afectan tanto horizontal como verticalmente a las edificaciones, aunque normalmente las fuerzas horizontales suelen ser más intensas y críticas para el diseño estructural.

La intensidad del sismo se mide mediante escalas especiales que cuantifican la energía liberada y permiten estimar el grado de daño potencial en las construcciones y en el entorno. Las vibraciones producidas son impredecibles y variables en el tiempo, lo que plantea un gran reto para los ingenieros al momento de diseñar y reforzar las estructuras.

Desde un punto de vista físico, la carga sísmica que actúa sobre un edificio se calcula a partir de la aceleración inducida por el movimiento del suelo multiplicada por la masa de la estructura, de acuerdo con la segunda ley de Newton

$$(F = m \cdot a).$$

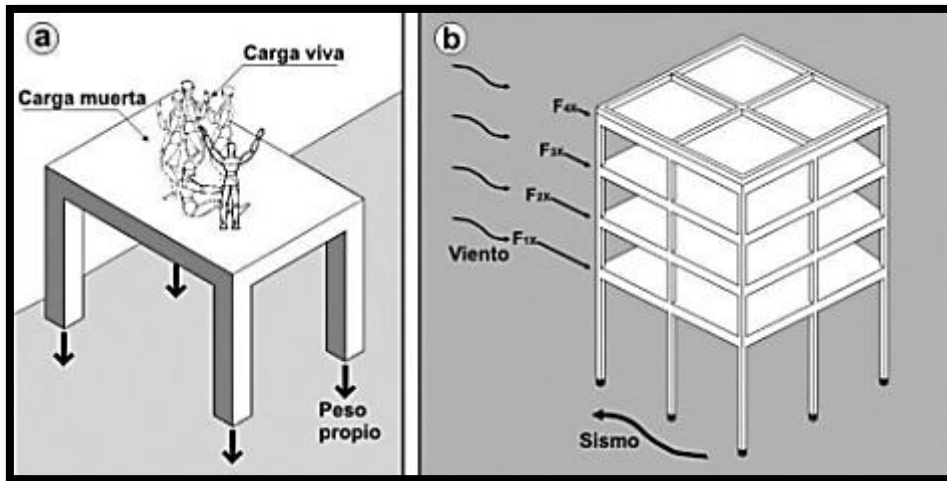
Esta fuerza variable y aleatoria se transmite desde los cimientos hacia los niveles superiores del edificio, donde además puede amplificarse debido a fenómenos dinámicos propios de la estructura, como resonancias o modos vibratorios.

Es importante considerar que la respuesta de una edificación frente a un sismo depende en gran medida de sus propiedades estructurales: el tipo de materiales usados, la rigidez, la ductilidad, la configuración arquitectónica y los sistemas de refuerzo. Por eso, las normativas y códigos de construcción modernos establecen requisitos

específicos de diseño sísmico para garantizar que los edificios puedan soportar estas cargas de manera segura.

Imagen 11

Resumen de aplicación de carga



Nota: Se visualiza el edificio aplicado cargas permanentes, cargas momentáneas y naturales.

Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en IA Gemini, 2025

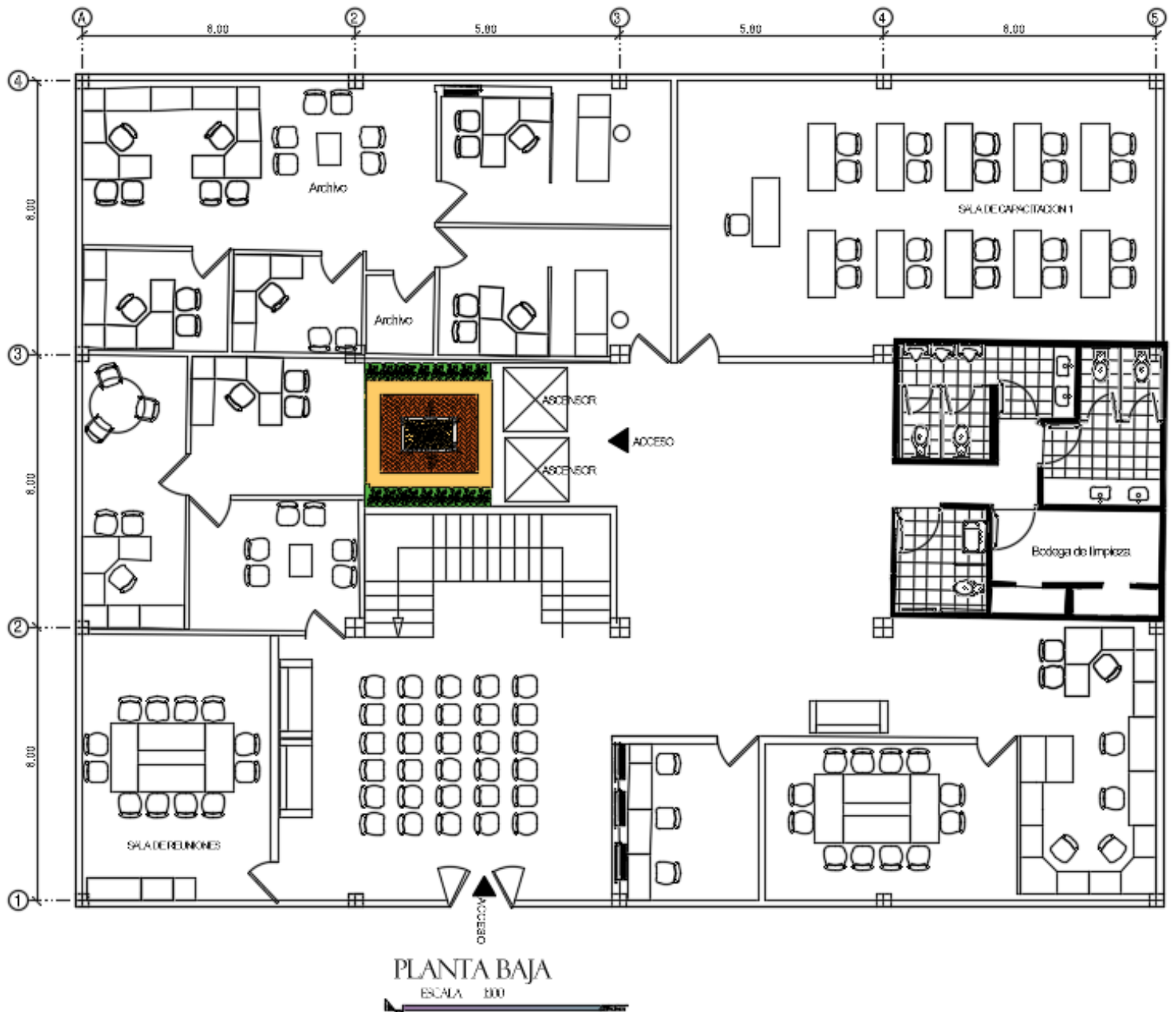
Capítulo IV

4.1 Concepto de diseño y detalle de elementos

El diseño y detallado de los elementos estructurales constituye una etapa esencial dentro del proceso constructivo, ya que define las dimensiones, disposiciones, materiales y conexiones necesarias para que la edificación cumpla con los criterios de resistencia, estabilidad y funcionalidad ante las acciones a las que estará sometida. Esta fase contempla el análisis individual de componentes como columnas, vigas, losas y conexiones, aplicando principios de la ingeniería estructural en cumplimiento con la normativa vigente, en este caso la NEC-15 y la AISC 360-16.

El correcto detallado estructural permite una adecuada transmisión de cargas y un comportamiento sísmico eficiente, optimizando el uso del acero estructural y garantizando la seguridad durante la vida útil de la edificación. En este capítulo se expone el procedimiento seguido para el dimensionamiento de los principales elementos de la estructura metálica, así como los planos y detalles constructivos correspondientes.

Plano arquitectónico



Nota: Plano arquitectónico de edificio del proyecto. Fuente Elaborado por Carlos Masabanda en AutoCAD, 2025

4.2 Área tributaria

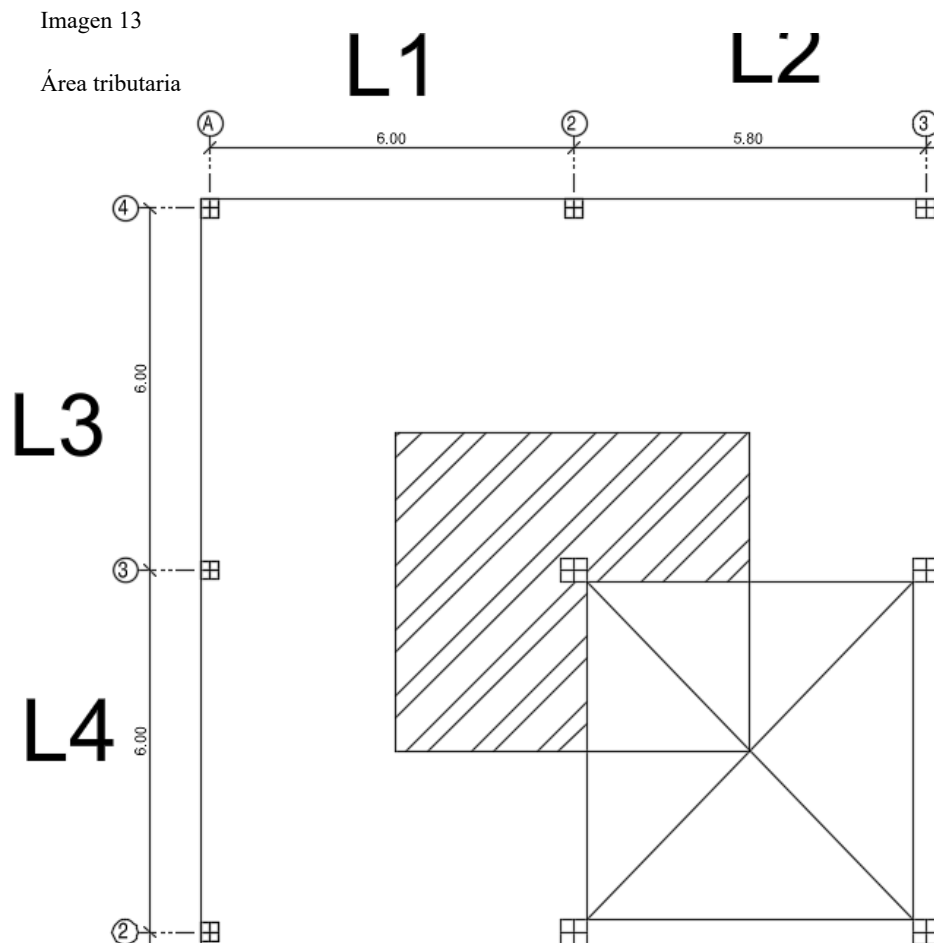
El área tributaria es la superficie cuya carga actúa directamente sobre un elemento estructural, como una viga o columna. Se usa para calcular correctamente las cargas que dicho elemento debe resistir. Para una viga, el área tributaria se obtiene mediante la fórmula:

$$\text{Área tributaria} = L_1 \times L_2$$

Donde:

- L_1 = longitud perpendicular a la viga (mitad de la distancia entre vigas adyacentes)
- L_2 = longitud longitudinal de la viga (tramo que abarca entre apoyos)

En el caso de columnas, el área tributaria se determina como el rectángulo formado entre las mitades de las distancias hacia columnas vecinas en ambas direcciones. Cuando las geometrías son irregulares o complejas, se recomienda usar software estructural para mayor precisión.



4.2.1 Prediseño por módulo de sección

Tabla 5

Datos arquitectónicos

Datos Arquitectónicos			
Longitud1	L1	6.00	m
Longitud2	L2	5.80	m
Longitud3	L3	6.00	m
Longitud4	L4	6.00	m
N. pisos	Pisos	4	u
Carga muerta	Cm	0.57	t/m ²
Carga viva	Cv	0.24	t/m ²
Altura entre piso	He	3.00	m

Nota: Datos extraídos del plano arquitectónico para diseño de elementos estructurales. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Los planos arquitectónicos proporcionan información fundamental para determinar el área tributaria correspondiente a cada columna dentro del sistema estructural. Esta área representa la porción del entrepiso cuya carga se transfiere directamente hacia la columna a través de las vigas, dependiendo de su ubicación dentro de la planta: ya sea en esquinas, bordes o en el centro, la carga que le corresponde varía proporcionalmente.

Una vez establecida esta área tributaria, se procede al cálculo de las cargas verticales que actúan sobre cada columna. Estas incluyen tanto las cargas muertas, que comprenden el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales permanentes, como las cargas vivas, que reflejan el uso variable y ocupación del edificio. La determinación de estas cargas se realiza siguiendo los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-CG.

Posteriormente, se aplican los factores de combinación establecidos por dicha norma para obtener la carga total de diseño. Este valor influye directamente en el dimensionamiento de cada columna, asegurando que la estructura sea capaz de resistir no solo las condiciones habituales de servicio, sino también eventos extraordinarios, como cargas sísmicas, garantizando así seguridad y estabilidad estructural.

Imagen 13

Carga y combinaciones

Edificios de oficinas		
Salas de archivo y computación (se diseñará para la mayor carga prevista)		
Áreas de recepción y corredores del primer piso	4.80	9.00
Oficinas	2.40	9.00
Corredores sobre el primer piso	4.00	9.00
<u>Combinación 1</u>		
1.4 D		
<u>Combinación 2</u>		
1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L_r ; S ; R]		
<u>Combinación 3*</u>		
1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]		
<u>Combinación 4*</u>		
1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; S ; R]		
<u>Combinación 5*</u>		
1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S		
<u>Combinación 6</u>		
0.9 D + 1.0 W		
<u>Combinación 7</u>		
0.9 D + 1.0 E		

Nota: Valor de Carga viva y tabla de combinaciones. Fuente NEC-SE-CG,2015

4.2.2 Cálculo de área tributaria

Determinación del área tributaria

$$At = \left(\frac{l1}{2} + \frac{l2}{2} \right) * \left(\frac{l3}{2} + \frac{l4}{2} \right)$$

$$At = \left(\frac{6.0}{2} + \frac{5.80}{2} \right) * \left(\frac{6.0}{2} + \frac{6.0}{2} \right)$$

$$At = 35.40 \text{ m}^2$$

Determinación de carga última

$$Cu = 1.2 * (cm) + 1.6 * (cv)$$

$$Cu = 1.2 * (0.57) + 1.6 * (0.24)$$

$$Cu = 1.07 \text{ Tn/m}^2$$

$$Cu = 1070.333 \text{ Kgf/m}^2$$

Determinación de carga tributaria

$$Pu = At * Cu * \# \text{ pisos}$$

$$Pu = 35.40 * 1.07 * 4$$

$$Pu = 177.92 \text{ Tn}$$

4. 3 Prediseño de columnas metálicas

Las columnas de acero son componentes estructurales clave en la edificación, cuya principal función es soportar y transferir cargas verticales hacia los cimientos. Estas cargas incluyen tanto el peso propio de la estructura como fuerzas laterales ocasionadas por fenómenos como el viento o los movimientos sísmicos. Por esta razón, deben diseñarse para resistir esfuerzos axiales de compresión y, en determinados casos, sollicitaciones de tracción, flexión o torsión, asegurando así un desempeño eficiente ante distintas condiciones de carga.

Una columna metálica generalmente está conformada por tres elementos principales:

- Placa de base: es el elemento que permite fijar la columna a la zapata o fundación. Su propósito es asegurar la transferencia de cargas y proporcionar estabilidad general a la estructura.

- Fuste de la columna: corresponde a la sección central que recibe y conduce las cargas. Su geometría puede variar según el diseño, siendo comunes las secciones tubulares, en forma de I o prismáticas, dependiendo de los requerimientos estructurales.
- Placa superior: se encarga de transmitir las cargas provenientes de los elementos estructurales superiores hacia la columna, garantizando una conexión adecuada entre vigas y columnas.

Este tipo de configuración permite que las columnas metálicas tengan un alto rendimiento estructural, adaptándose eficientemente tanto a cargas verticales como a sollicitaciones horizontales.

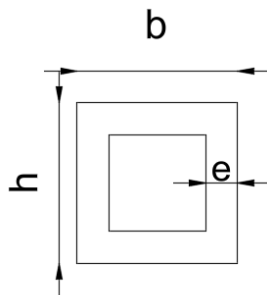
Determinación del área de sección de la columna

$$Pu = At * Cu * \# \text{ pisos}$$

$$Pu = 35.40 * 1.07 * 4$$

$$Pu = 177.82 \text{ tn}$$

Imagen13
Esquema de columna rectangular



Nota: Esquema de columna tubular. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en AutoCAD,2025

Datos:

Para columnas centrales

$$\text{base} = 41 \text{ cm}$$

$$\text{altura} = 41 \text{ cm}$$

espesor = 1.2 cm

Para columnas laterales y esquineras

base = 31 cm

altura = 31 cm

espesor = 1 cm

Propiedades de la columna rectangular central y lateral

Tabla6
Propiedades de columnas

<i>Propiedades</i>			
Área	A	134.00	cm ²
peso	Peso	105.19	kg/m
Inercia X	I _x	16278.67	cm ⁴
Inercia Y	I _y	16278.67	cm ⁴
Módulo de sección X	S _x	1085.24	cm ³
Módulo de sección Y	S _y	1085.24	cm ³
Módulo plástico X	Z _x	1262.00	cm ³
Módulo plástico Y	Z _y	1262.00	cm ³
Radio de giro X	r _x	11.02	cm
Radio de giro Y	r _y	11.02	cm
M_p	64.35		t-m

	<i>Propiedades</i>		
Área	A	209.04	cm ²
peso	Peso	164.10	kg/m
Inercia X	I _x	50481.68	cm ⁴
Inercia Y	I _y	50481.68	cm ⁴
Módulo de sección X	S _x	2462.52	cm ³
Módulo de sección Y	S _y	2462.52	cm ³
Módulo plástico X	Z _x	2852.14	cm ³
Módulo plástico Y	Z _y	2852.14	cm ³
Radio de giro X	r _x	15.54	cm
Radio de giro Y	r _y	15.54	cm
	M_p	101.83	t-m

Nota: Datos de propiedades de columnas para diseño de columnas.

Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Propiedades del acero

Tabla7

Propiedades del acero


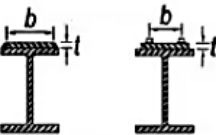

Tipo	A	36	ksi
Módulo elástico	E	2716707	kg/cm2
Hormigón	fc	210	kg/cm2
Acero	fy	4037	kg/cm2

Nota: Propiedades del acero según AISC.

Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Tabla8

Formula elementos a presión para diseño

Elementos Atiesados	6	Paredes de secciones HSS rectangulares y cajones de espesor uniforme	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores o soldadura	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Todo elemento atiesador	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Nota: Tabla de fórmulas para elementos a compresión. Fuente : AISC 360/10

Factor de seguridad (columna compacta)

$$S = \frac{b}{e} = \frac{41}{1.0} = 41$$

$$F_s = 1.4 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_s = 1.4 * \sqrt{\frac{22716707}{2530}} = 36.32$$

Condición para que la columna sea compacta y no falle a pandeo lateral

$S > F_s$ cumple con la resistencia

41 > 36.32 cumple ✓

Imagen 14

Formula elementos a compresión pandeo lateral

La resistencia de compresión nominal, P_n , debe ser determinada basada en el estado límite de pandeo por flexión:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (E3-1)$$

La tensión de pandeo por flexión, F_{cr} , se determina como sigue:

(a) Cuando $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (o $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$)

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (E3-2)$$

(b) Cuando $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (o $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$)

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (E3-3)$$

Nota: . Tabla de fórmulas para elementos a compresión pandeo lateral. Fuente AISC 360/10

Tabla 9

Resistencia máxima de columna

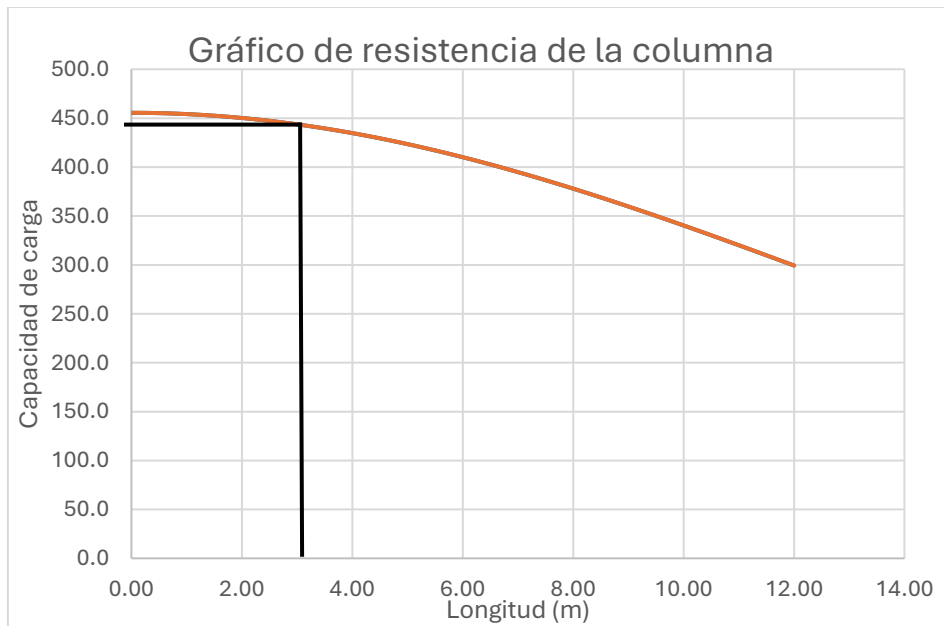
L (m)	L (cm)	kl/rx	kl/ry	fex	fey	fcrx	fcry	Prx	Pry	Pmin
0.00	0	0.0	0.0	3.6322E+17	3.6322E+17	2530	2530	455.5	455.5	455.5
0.10	10	0.8	0.8	36322486	36322486	2530	2530	455.5	455.5	455.5
0.20	20	1.5	1.5	9080621	9080621	2530	2530	455.4	455.4	455.4
0.30	30	2.3	2.3	4035832	4035832	2529	2529	455.3	455.3	455.3
0.40	40	3.0	3.0	2270155	2270155	2529	2529	455.3	455.3	455.3
0.50	50	3.8	3.8	1452899	1452899	2528	2528	455.1	455.1	455.1
0.60	60	4.5	4.5	1008958	1008958	2527	2527	455.0	455.0	455.0
0.70	70	5.3	5.3	741275	741275	2526	2526	454.8	454.8	454.8
0.80	80	6.0	6.0	567539	567539	2525	2525	454.6	454.6	454.6
0.90	90	6.8	6.8	448426	448426	2524	2524	454.4	454.4	454.4
1.00	100	7.6	7.6	363225	363225	2523	2523	454.1	454.1	454.1
1.10	110	8.3	8.3	300186	300186	2521	2521	453.9	453.9	453.9
1.20	120	9.1	9.1	252239	252239	2519	2519	453.6	453.6	453.6
1.30	130	9.8	9.8	214926	214926	2517	2517	453.2	453.2	453.2
1.40	140	10.6	10.6	185319	185319	2515	2515	452.9	452.9	452.9
1.50	150	11.3	11.3	161433	161433	2513	2513	452.5	452.5	452.5
1.60	160	12.1	12.1	141885	141885	2511	2511	452.1	452.1	452.1
1.70	170	12.8	12.8	125683	125683	2509	2509	451.6	451.6	451.6
1.80	180	13.6	13.6	112106	112106	2506	2506	451.2	451.2	451.2
1.90	190	14.4	14.4	100616	100616	2503	2503	450.7	450.7	450.7
2.00	200	15.1	15.1	90806	90806	2501	2501	450.2	450.2	450.2

2.10	210	15.9	15.9	82364	82364	2498	2498	449.6	449.6	449.6
2.20	220	16.6	16.6	75046	75046	2494	2494	449.1	449.1	449.1
2.30	230	17.4	17.4	68663	68663	2491	2491	448.5	448.5	448.5
2.40	240	18.1	18.1	63060	63060	2488	2488	447.9	447.9	447.9
2.50	250	18.9	18.9	58116	58116	2484	2484	447.2	447.2	447.2
2.60	260	19.6	19.6	53731	53731	2480	2480	446.6	446.6	446.6
2.70	270	20.4	20.4	49825	49825	2477	2477	445.9	445.9	445.9
2.80	280	21.2	21.2	46330	46330	2473	2473	445.2	445.2	445.2
2.90	290	21.9	21.9	43190	43190	2469	2469	444.4	444.4	444.4
3.00	300	22.7	22.7	40358	40358	2464	2464	443.7	443.7	443.7

Nota: . Tabla de cálculo resistencia máxima de columna. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Imagen 15

Grafica de resistencia máxima de columna



Nota: Representación gráfica de la resistencia máxima de columna. Fuente: Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Tabla 10

Resistencia máxima de la columna

Capacidad requerida de la columna	P_u	177.92	t
Capacidad máxima de resistencia	P_r	443.67	t

Nota: Representación gráfica de la resistencia máxima de columna. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

4.4 Prediseño de vigas metálicas

Las vigas estructurales son elementos horizontales cuya función principal es soportar las cargas provenientes de los componentes constructivos, para luego transferirlas hacia los elementos verticales de soporte, como columnas o muros.

Para el proyecto se emplearon perfiles IPR del tipo IE 3118 como vigas principales en la estructura metálica de cuatro niveles. Estos perfiles fueron seleccionados por sus características mecánicas que permiten una adecuada resistencia a las solicitaciones de flexión, corte y torsión. En total, se dispusieron 15 vigas principales en el sentido X y 16 en el sentido Y, por cada uno de los 4 niveles del edificio, generando una configuración estructural robusta y eficiente para la transmisión de cargas hacia los elementos verticales.

Además, se incorporaron vigas secundarias tipo V1, dispuestas a razón de tres por cada módulo de entrepiso, con el fin de distribuir de forma uniforme las cargas provenientes del uso habitual de la edificación. Esta disposición no solo permite optimizar el comportamiento estructural del sistema de pisos, sino también mejora la estabilidad global del conjunto, al reducir la luz libre entre vigas principales y, por tanto, controlar las deformaciones.

La selección de los perfiles estructurales se llevó a cabo conforme a lo establecido por la normativa AISC, utilizando como criterio principal el valor del módulo de sección plástico $S_x S_x$, lo cual garantiza una respuesta segura frente a la flexión. No obstante, la elección no se limitó únicamente al cumplimiento técnico, sino que también se evaluaron aspectos económicos relacionados con el presupuesto general del proyecto. Se priorizó el uso de perfiles que ofrecieran un equilibrio entre resistencia

estructural y optimización de material, con el objetivo de asegurar un diseño funcional y rentable.

Este proceso de diseño estructural se desarrolló en armonía con las disposiciones de la normativa NEC aplicable a estructuras de acero en el contexto ecuatoriano, cumpliendo con los parámetros establecidos para garantizar la seguridad, eficiencia y durabilidad del sistema estructural.

Propiedades del acero para diseño de viga

Tabla 11

Materiales para viga de acero

Materiales			
Tipo de acero	A	36	ksi
Módulo elástico	E	2100000	kg/cm ²
Hormigón	fc	210	kg/cm ²

Nota: Detalle de los materiales utilizados para diseño de viga. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Determinación del ancho tributario

$At = \text{longitud de viga principal} / \text{numero de vigas} + 1$

$$At = Lt / (3 + 1) = 6 / (3 + 1) = 1.50 \text{ m}$$

Determinación carga ultima

$$Cu = 1.2 * (cm) + 1.6 * (cv)$$

$$Cu = 1.2 * (0.57) + 1.6 * (0.24)$$

$$Cu = 1.07 \text{ Tn/m}^2$$

$$Cu = 1070.333 \text{ Kgf/m}^2$$

Determinación de carga sobre viga

$$W = At * Lv * Pu$$

$$W = 1.50 * 6.00 * 1.07$$

$$W = 9.64 \text{ Tn}$$

Determinación de carga repartida

$$Wr = \frac{W}{Lv}$$

$$Wr = \frac{9.64}{6}$$

$$Wr = 1.61 \text{ Tn}$$

Determinación Momento último

$$Mu = \frac{Wr l^2}{8}$$

$$Mu = \frac{1.61 * (6)^2}{8}$$

$$Mu = 7.30 \text{ t - m}$$

Tabla 12
Cálculo de requerimientos para diseño de viga

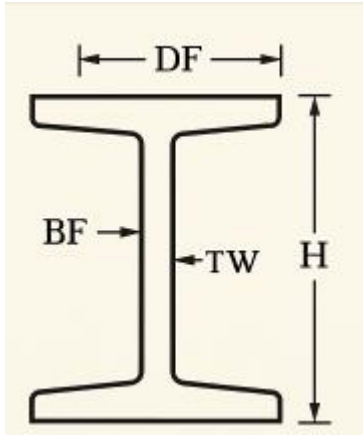
Resumen de cálculos			
Long viga secundaria	Lv	6.00	m
Long viga principal	Lt	6.00	m
Numero de vigas	vigas	3	u
Área tributaria	at	1.00	m
Carga muerta	Cm	0.57	t/m2
Carga viva	Cv	0.24	t/m2
Carga última	Cu	1.07	t/m2
Carga soportar	W	9.64	t
Carga repartida	Wr	1.61	t/m
	Mu	7.30	t-m

Nota: Detalle de los cálculos realizados para prediseño de vigas.
Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Datos de viga perfil tipo I

Imagen 16

Dimensiones de viga tipo I



Datos de viga			
ancho del ala	bf	12	cm
espesor del ala	tf	0.6	cm
altura tota	h	31	cm
espesor del alma	tw	0.3	cm
	Cb	1.0	

Nota: Detalle de dimensiones para diseño de vigas. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Determina valores de viga

Imagen 13

Calculo de componentes de la viga

Nombre	IE	31	18
área	A	23.34	cm ²
Inercia X	I _x	3989.00	cm ⁴
Inercia Y	I _y	172.87	cm ⁴
Módulo de sección X	S _x	257.35	cm ³
Módulo de sección Y	S _y	28.81	cm ³
Radio de giro X	r _x	13.07	cm
Radio de giro Y	r _y	2.72	cm

Nota: Detalle cálculo de componentes de viga. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

4.5 Prediseño de modelación con ETABS

Una vez realizado el análisis estructural preliminar y verificado el cumplimiento de los criterios establecidos por la normativa ecuatoriana NEC-SE-DS y la normativa internacional AISC para estructuras de acero, se procedió con el modelado completo de la edificación metálica en el software ETABS. Este modelado representa con precisión la geometría, las propiedades mecánicas de los elementos y las condiciones de carga a las que estará sometida la estructura durante su vida útil.

El modelo se configuró tomando como base un edificio de cuatro niveles con sistema estructural metálico compuesto por vigas tipo IPR (perfil IE 31×18) y columnas previamente seleccionadas. Estas vigas presentan propiedades seccionales que cumplen los requisitos de resistencia y rigidez para los elementos horizontales, garantizando un comportamiento estructural adecuado frente a cargas gravitacionales y sísmicas.

En el entorno de trabajo de ETABS, se definieron los materiales estructurales, asignando un módulo de elasticidad apropiado para el acero estructural, un coeficiente de Poisson estándar, así como la densidad específica del material, con el fin de que el programa pueda realizar el análisis considerando su peso propio y otras solicitaciones. También se definieron las secciones transversales para cada tipo de elemento (vigas y columnas), configurando adecuadamente sus propiedades geométricas y estructurales.

La configuración del sistema de cargas fue uno de los aspectos clave en el modelado. Se implementaron todas las cargas requeridas por el método de diseño LRFD (Load and Resistance Factor Design), entre ellas:

- Carga muerta (D): correspondiente al peso propio de la estructura, los elementos no estructurales permanentes y otros elementos fijos.
- Carga viva (L): considerando la ocupación y uso típico de cada nivel.
- Cargas sísmicas (E): determinadas conforme al análisis estático equivalente, de acuerdo a la zonificación sísmica del Ecuador.
- Cargas de viento (cuando aplica): según las recomendaciones de la normativa vigente.

La combinación de cargas mayoradas se realizó conforme a los factores establecidos en la NEC-SE-CG y en el enfoque LRFD. Estas combinaciones permiten verificar que los elementos estructurales seleccionados soporten las solicitaciones sin exceder los

estados límites de resistencia y servicio. Adicionalmente, se modelaron las condiciones de apoyo y empotramiento de los elementos verticales en los niveles inferiores, lo cual fue fundamental para obtener una representación precisa del comportamiento estructural.

Con el modelo estructural completamente definido, se llevó a cabo el análisis estructural por computadora, obteniendo resultados como fuerzas internas (cortantes, momentos y axiales), desplazamientos y derivas por piso. Estos resultados permitieron evaluar el comportamiento global de la edificación y validar las decisiones de diseño adoptadas previamente.

Imagen 17

Planta baja



Las dimensiones correspondientes a los ejes estructurales se definen en las direcciones X, Y y Z, las cuales corresponden a las referencias principales del sistema de coordenadas utilizado en el modelado de la edificación.

Estas dimensiones incluyen la especificación precisa de los vanos, claros y distancias entre ejes, así como las alturas o niveles que conforman la estructura, los cuales se determinan con base en el plano arquitectónico aprobado.

Es fundamental que estas medidas se ajusten estrictamente a los planos para garantizar la correcta coordinación entre el diseño estructural y los elementos arquitectónicos.

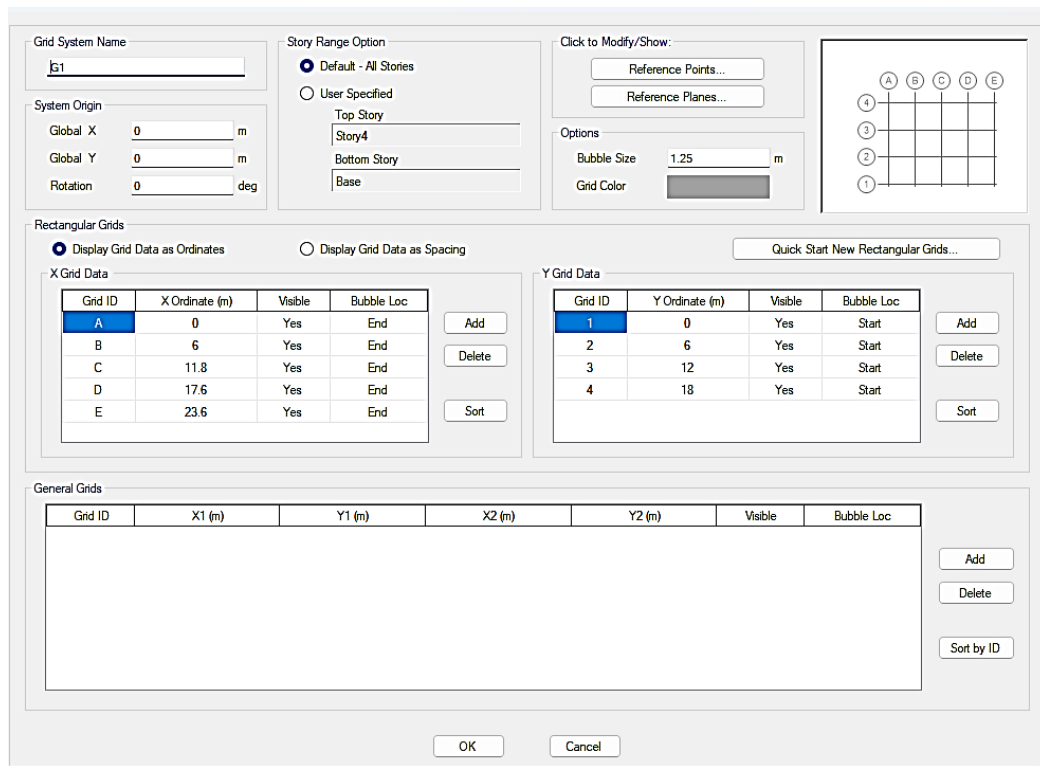
El proceso de diseño se realiza de manera detallada, tomando en cuenta cada uno de estos parámetros para obtener una representación fiel de la estructura en el software de análisis y diseño estructural. Este software permite ingresar las dimensiones exactas, lo que facilita la modelación tridimensional precisa y el análisis bajo las condiciones de carga establecidas.

Además, proporciona herramientas para verificar la consistencia geométrica y dimensional, minimizando errores que puedan afectar la integridad del modelo.

Cabe recalcar que el empleo de este software garantiza que las dimensiones y alturas se obtengan con alta precisión, lo que es fundamental para el posterior análisis estructural y para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes, tales como las relacionadas con la resistencia y estabilidad estructural.

De esta forma, se asegura que el diseño sea confiable y acorde a las especificaciones técnicas requeridas para el proyecto.

Imagen 18
Ejes de edificio



Nota: Determinación y dimensionamiento de ejes del proyecto. . Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

El predimensionamiento de columnas y vigas constituye una fase preliminar esencial en el diseño estructural, en la cual se establecen dimensiones iniciales que aseguran la capacidad portante y estabilidad de la estructura bajo las cargas previstas. Este proceso se realiza en conformidad con las normativas vigentes, entre ellas la norma AISC (American Institute of Steel Construction), la norma ACI para estructuras mixtas y la norma ecuatoriana NEC, para garantizar seguridad y cumplimiento técnico.

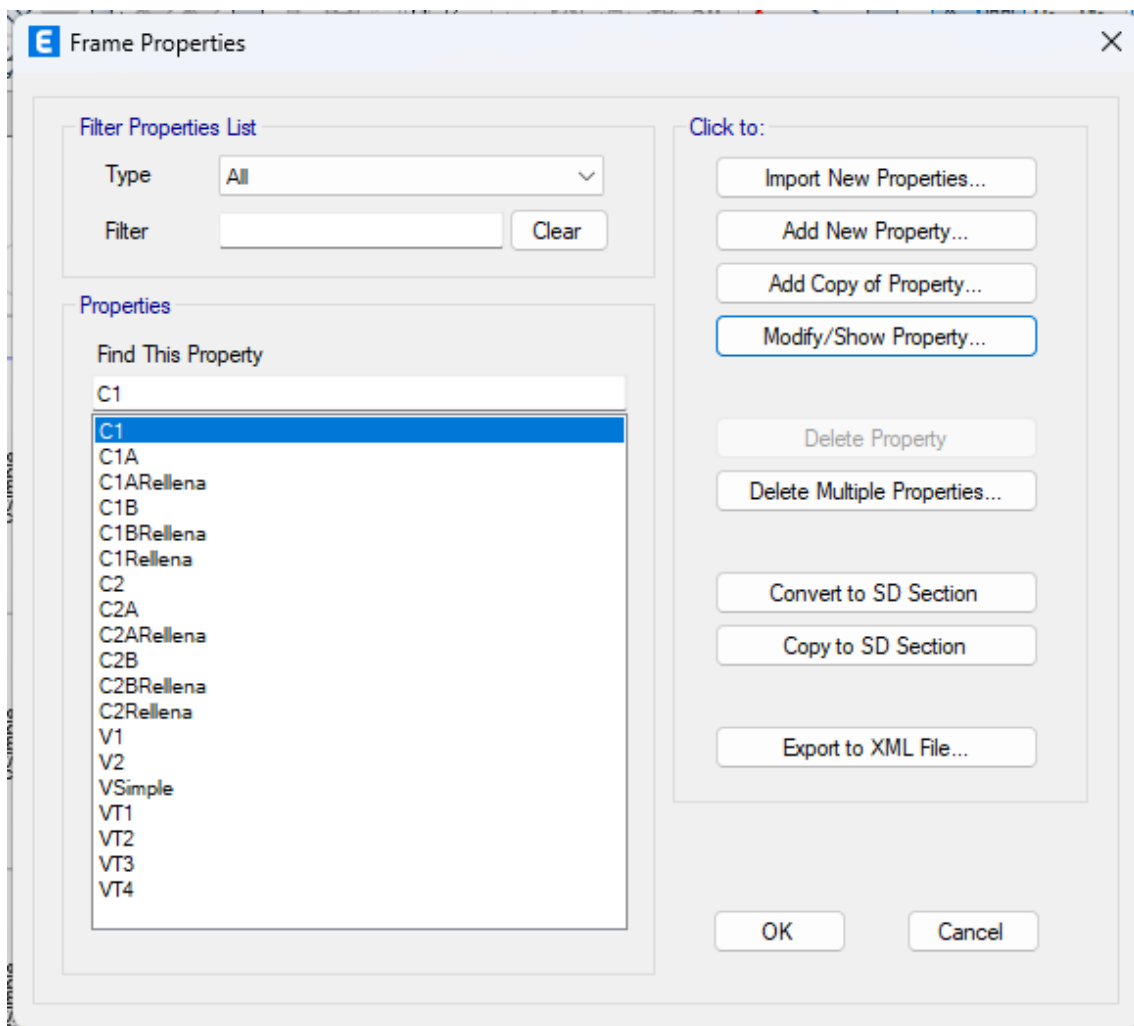
Para las columnas, se emplean columnas tipo O, que son perfiles estructurales metálicos huecos sin relleno de hormigón. Estas columnas están fabricadas con acero estructural tipo A50, que posee una resistencia mínima garantizada de 50 ksi (aproximadamente 345 MPa). La elección del acero A50 garantiza una alta resistencia mecánica y ductilidad, adecuada para soportar esfuerzos axiales y momentos de flexión. Al ser columnas sin relleno de hormigón, se reduce el peso propio y se facilita el montaje, aunque es indispensable realizar un correcto análisis para prevenir fenómenos como el pandeo local o global, de acuerdo con los lineamientos de la norma AISC 360-16.

En cuanto a las vigas, se seleccionan vigas tipo I laminadas en acero A50, que permiten una distribución eficiente de esfuerzos de flexión y corte. Para el diseño se considera la luz entre apoyos, las cargas aplicadas, y la rigidez requerida para limitar deflexiones. Se verifica que la sección escogida cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad conforme a la norma AISC 360-16, además de atender los factores de seguridad establecidos en la NEC.

El proceso se basa en cálculos preliminares de momentos flectores máximos, fuerzas cortantes y esfuerzos normales, lo que permite seleccionar secciones apropiadas para columnas y vigas. Estas dimensiones iniciales serán posteriormente ajustadas y verificadas mediante el modelado y análisis detallado en software estructural, asegurando el cumplimiento con las normativas nacionales e internacionales y optimizando el desempeño estructural del proyecto.

Imagen 19

Predimension de columnas y vigas

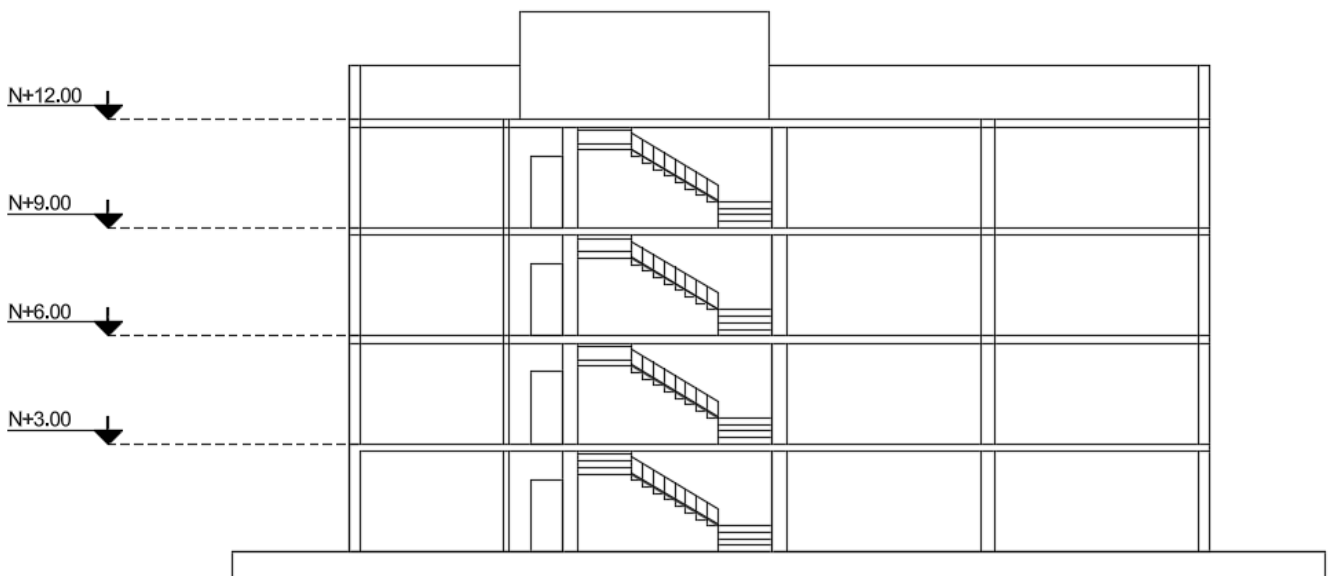


El siguiente paso en el desarrollo del proyecto corresponde a la modelación geométrica, la cual se realiza de manera precisa y detallada en base a la información obtenida durante la fase de investigación y al plano arquitectónico proporcionado. Esta modelación tridimensional permite representar fielmente la configuración estructural de la edificación, considerando cada uno de sus niveles, elementos portantes y condiciones de borde.

Cada nivel se encuentra a una altura de 3,00 metros entre pisos, lo cual incluye la separación vertical entre losas terminadas. Asimismo, se incorpora una losa cubre escalera en el nivel superior, que forma parte del sistema estructural y está integrada correctamente en el modelo. Todos los elementos estructurales, como columnas, vigas y losas, han sido alineados con precisión, garantizando la coherencia geométrica del sistema y permitiendo obtener resultados confiables en los análisis posteriores.

Esta representación exacta en el entorno digital es fundamental para asegurar que los cálculos estructurales se desarrollen con alta fidelidad, reduciendo posibles discrepancias entre el diseño y la ejecución. El modelo será sometido a análisis estructurales cumpliendo con las normativas vigentes, asegurando tanto la resistencia como el comportamiento sísmico adecuado de la edificación.

Imagen 20
Vista corte de edificio

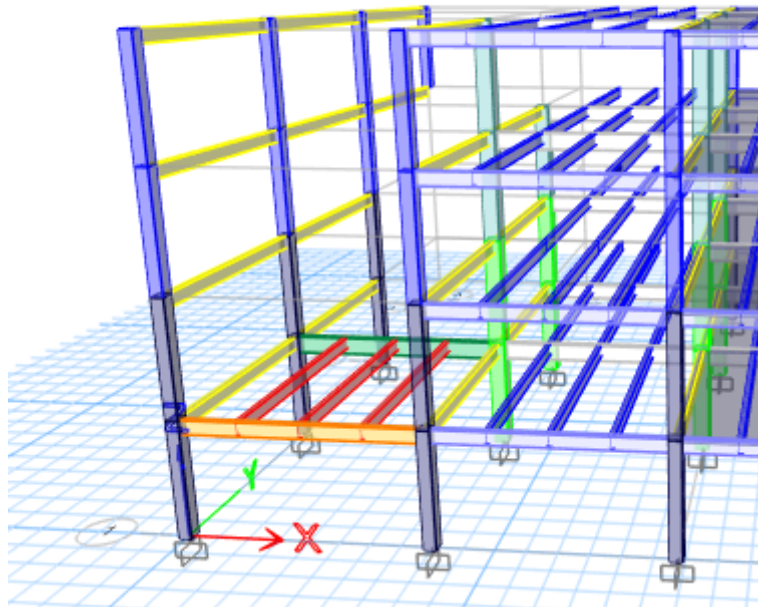


Nota: Detalle Plano arquitectónico referente a corte de la edificación. . Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en AutoCAD, 2025

Se modela la estructura en ETABS utilizando columnas tipo O y vigas tipo I, ambas en acero A50, conforme al predimensionamiento realizado.

Todos los elementos han sido correctamente alineados y definidos según el plano arquitectónico, garantizando una representación precisa del sistema estructural. Además, se simula el empotramiento de todos los elementos en sus conexiones, con el fin de reflejar adecuadamente las condiciones de rigidez y continuidad en el análisis. El modelo se encuentra listo para ser evaluado bajo las normativas estructurales vigentes.

Imagen 21
Edificio 3D



Nota: Edificio 3D modelo estructural. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

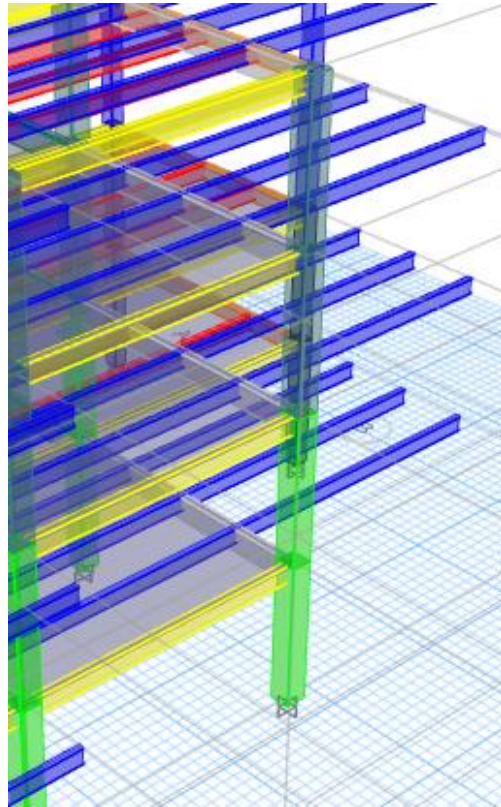
Al realizar el diseño geométrico del modelo estructural detallado, se definen tanto las vigas como las columnas, así como la losa, conformando el esqueleto de la edificación. Este diseño considera las dimensiones exactas y la disposición de cada elemento, asegurando una representación fiel de la estructura.

En esta etapa se incorporan las cargas relevantes al modelo, incluyendo cargas permanentes, cargas variables y cargas sísmicas, aplicadas de acuerdo con las normativas locales y estándares internacionales. La correcta asignación y distribución de estas cargas permite simular con precisión las condiciones reales a las que estará sometida la estructura, garantizando la confiabilidad del análisis estructural.

El modelo resultante es una base fundamental para proceder con los análisis estructurales y la optimización del diseño, asegurando que la estructura cumpla con los requerimientos de seguridad y funcionalidad establecidos.

Imagen 22

Unión viga – columna



Nota: Detalle Unión columna fuerte – viga débil de la edificación. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs , 2025

Los nodos estructurales son elementos clave dentro de cualquier sistema estructural, constituyendo los puntos críticos donde se unen vigas, columnas y otros componentes. Estos puntos actúan como zonas de concentración y transferencia de esfuerzos, incluyendo fuerzas axiales, cortantes y momentos flexores, lo que los convierte en elementos fundamentales para la estabilidad y resistencia global de la estructura.

Por esta razón, el diseño y el detallado de los nodos deben realizarse con especial cuidado, considerando tanto los aspectos geométricos como los materiales involucrados, para asegurar que el comportamiento estructural sea adecuado frente a las diferentes cargas que pueda soportar.

El proceso de diseño de las conexiones se realiza bajo el método de diseño por resistencia a la capacidad (LRFD, por sus siglas en inglés: Load and Resistance Factor Design). Este método consiste en aplicar factores de carga y factores de resistencia para garantizar que los elementos y conexiones estructurales tengan un margen de seguridad adecuado frente a las solicitaciones máximas previstas. El LRFD es ampliamente aceptado por su enfoque racional y confiable para el diseño estructural.

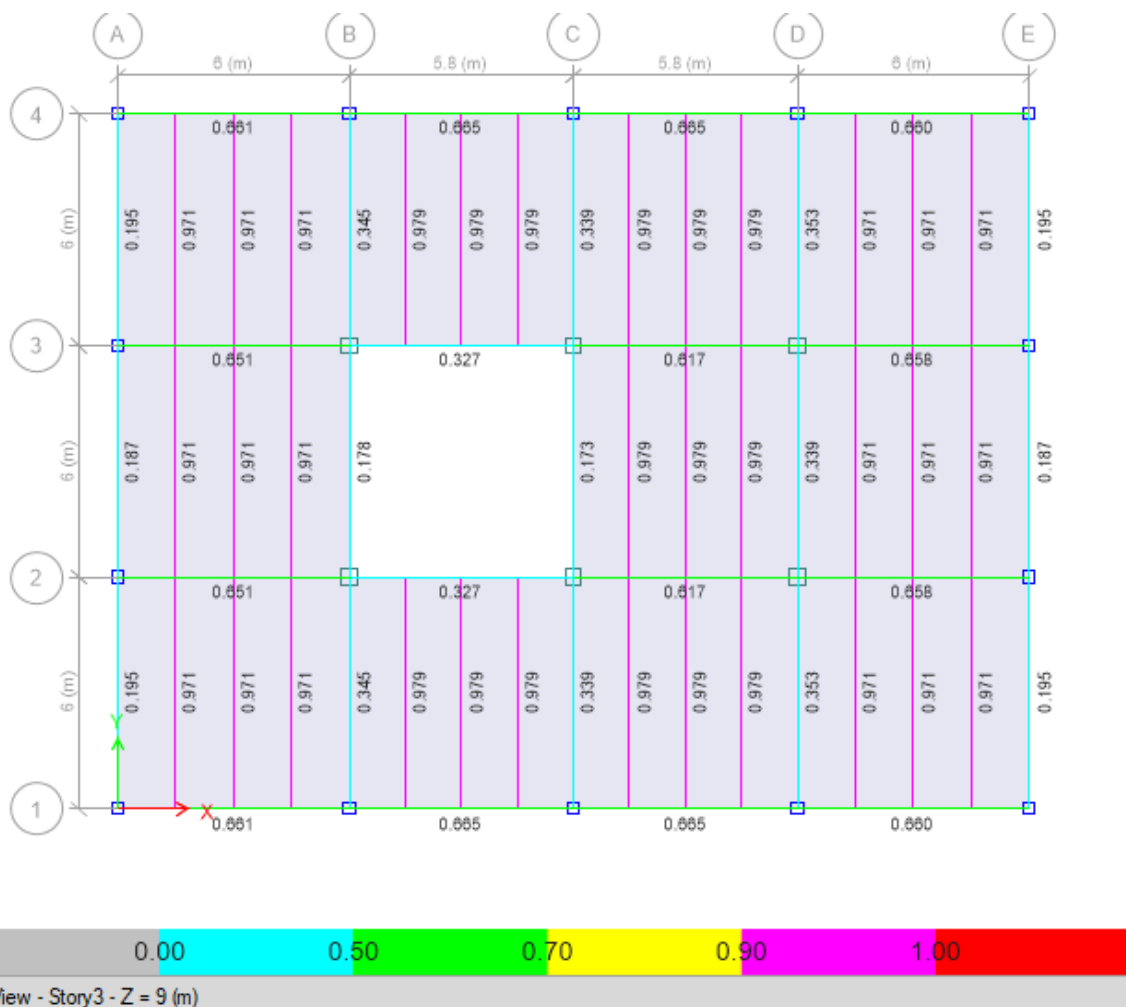
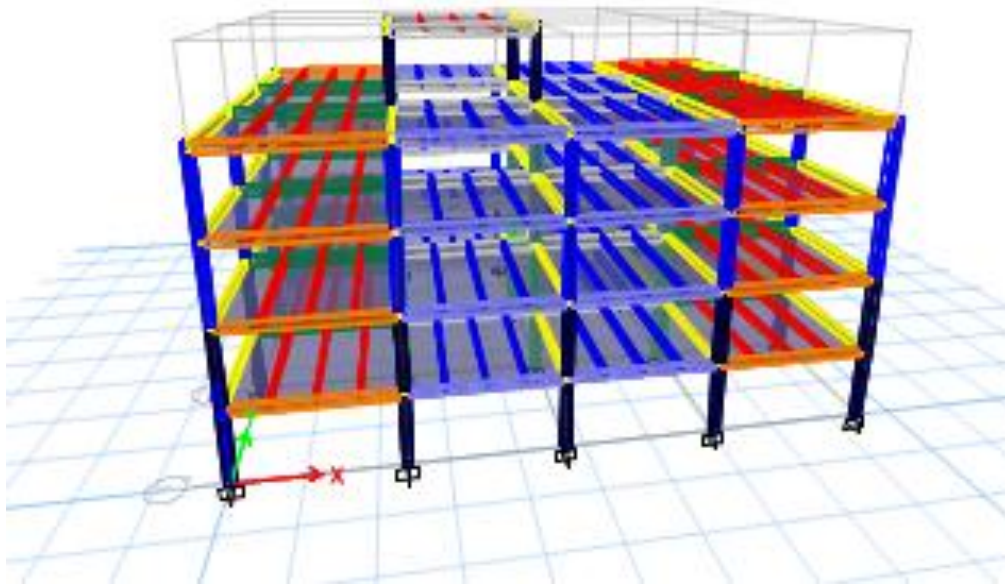
Adicionalmente, el diseño y dimensionamiento de las conexiones en estructuras metálicas debe cumplir con los lineamientos especificados en la norma **AISC 15** (American Institute of Steel Construction, 15ª edición), que establece los criterios técnicos para la selección, dimensionamiento y verificación de las conexiones estructurales soldadas y atornilladas. Esta normativa asegura que las conexiones sean capaces de resistir las cargas estructurales y sismorresistentes, con parámetros claros para la resistencia a tracción, corte, flexión, fatiga, entre otros aspectos.

El cumplimiento de la norma AISC 15 y la aplicación del método LRFD permiten garantizar que los nodos estructurales contribuyan a la integridad, seguridad y durabilidad de la estructura, aspectos vitales en el diseño sismorresistente y en la calidad global del proyecto.

Finalmente, durante la construcción y posterior inspección, es fundamental verificar que las conexiones hayan sido ejecutadas conforme al diseño, mediante ensayos no destructivos y controles de calidad, para asegurar la confiabilidad y el correcto funcionamiento del sistema estructural en su conjunto.

Imagen 22

Modelo estructural completa de edificación



Nota: Estructura completa de edificación Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs , 2025

La unión viga-columna constituye uno de los puntos estructurales más importantes dentro de un sistema constructivo, ya que en ella se concentran esfuerzos significativos derivados de cargas verticales, momentos flectores y fuerzas horizontales, como las sísmicas. Su correcto diseño y ejecución garantiza la estabilidad global de la estructura y la continuidad en la transmisión de cargas entre los elementos.

Estas uniones pueden ejecutarse mediante diferentes métodos, siendo los más comunes la soldadura y el uso de pernos de alta resistencia. En estructuras metálicas, las conexiones soldadas brindan rigidez y continuidad, ideales para estructuras donde se requiere un comportamiento monolítico. Las conexiones atornilladas, por su parte, ofrecen facilidad de montaje, mantenimiento y cierta ductilidad ante acciones dinámicas.

Para asegurar un desempeño adecuado, las uniones viga-columna deben cumplir con los requerimientos establecidos por normativas como la AISC 15, que proporciona criterios de diseño basados en el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Esta normativa contempla factores como la resistencia del material, la distribución de esfuerzos, el tipo de carga aplicada y el comportamiento sísmico esperado.

Además, el diseño debe considerar la capacidad del nodo para evitar mecanismos frágiles, garantizando una jerarquía resistente donde las uniones superen en resistencia a los elementos conectados. Esto permite que, ante eventos extremos, las fallas se presenten en zonas controladas y no comprometan la integridad de la edificación.

4.6 Zona sísmica y factor z

En el contexto del diseño estructural sismorresistente, el coeficiente sísmico Z constituye un parámetro fundamental que representa la aceleración pico esperada en roca firme durante un evento sísmico de referencia, expresada como fracción de la aceleración gravitacional. Este valor no solo cuantifica la amenaza sísmica inherente al emplazamiento del proyecto, sino que también condiciona el nivel de demanda dinámica que deben soportar los elementos estructurales en un análisis de carga lateral.

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), se establece una zonificación sísmica del país basada en estudios de amenaza sísmica probabilística, que divide el territorio ecuatoriano en seis zonas (I a VI), con valores de Z que oscilan

típicamente entre 0.15 y 0.50 o mayores, dependiendo del nivel de actividad tectónica de cada región. Este coeficiente se emplea juntamente con factores de corrección del sitio, como el factor de amplificación sísmica del suelo (F_a), que se deriva del tipo de suelo según su rigidez y características dinámicas, evaluadas mediante parámetros como el V_{s30} o los resultados de ensayos SPT.

La combinación de Z y F_a permite calcular la aceleración máxima horizontal esperada (a_{max}) en el emplazamiento real de la edificación, la cual se incorpora posteriormente en la estimación del coeficiente sísmico horizontal (k_h), utilizado en la generación del espectro de respuesta sísmica elástico de diseño. Este espectro representa la base para los procedimientos de análisis estructural lineal o no lineal, permitiendo modelar adecuadamente el comportamiento dinámico de la edificación.

Además, la NEC-15 exige que la selección de estos parámetros considere la categoría de importancia de la estructura, su uso previsto, la ocupación y el nivel de desempeño estructural requerido, asegurando así que el diseño no solo sea técnicamente adecuado, sino que también cumpla con los criterios de seguridad, funcionalidad y resiliencia frente a eventos sísmicos severos.

Por tanto, el coeficiente Z no debe entenderse como un valor estático, sino como una herramienta de diseño integral que permite adaptar la respuesta estructural al entorno sísmico particular del proyecto, garantizando un comportamiento predecible y seguro durante la acción sísmica.

Imagen 23

Valor de factor Z

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

Nota: Valor z según zona sísmica. Fuente: NEC-15, 2015

4.7 Tipo de suelo

Correspondiente a una edificación metálica de cuatro niveles ubicada en la ciudad de Portoviejo, se ha considerado un perfil de suelo tipo E, de acuerdo con la clasificación establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. Este

tipo de suelo se caracteriza por presentar una velocidad promedio de propagación de ondas de corte (V_{s30}) inferior a 180 m/s, lo cual indica la presencia de materiales de baja rigidez como arcillas blandas, limos sueltos, rellenos no controlados o depósitos aluviales recientes. Desde el punto de vista sismorresistente, el tipo E representa una condición desfavorable, ya que estos suelos tienden a amplificar significativamente las aceleraciones sísmicas, especialmente en el rango de periodos intermedios a largos, lo que puede incrementar las demandas sobre la estructura si no se considera un diseño adecuado.

La NEC-15 exige, para este tipo de perfil, la aplicación del factor de amplificación sísmica F_a con un valor elevado, derivado de espectros normalizados que reflejan el aumento de la respuesta del terreno frente a eventos sísmicos. En el caso de Portoviejo, ciudad que se encuentra en una de las zonas de mayor amenaza sísmica del país (Zona VI), la combinación del coeficiente sísmico $Z \geq 0.50$ con un suelo tipo E genera condiciones críticas de diseño, por lo que es indispensable considerar un análisis estructural que incorpore espectros de diseño modificados, así como una adecuada selección de sistemas resistentes con capacidad de disipación de energía y deformación inelástica controlada.

Esta consideración permite asegurar que la edificación propuesta cumpla con los requisitos de seguridad estructural y desempeño sísmico establecidos por la normativa vigente, garantizando una respuesta estructural acorde al contexto geotécnico y sísmico de la zona de emplazamiento.

Imagen 24
Tipo de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa

Nota: Tipo de suelo según zona sísmica. Fuente: NEC -15, 2015

Factores del perfil de tipo de suelos Fa, Fd y Fs

Con los valores obtenidos de los factores de amplificación sísmica correspondientes al suelo tipo E en la ciudad de Portoviejo, clasificada en la Zona de amenaza sísmica $Z = 0.50$ según la NEC-15, se determina el espectro de diseño que será empleado para el análisis estructural.

Los factores utilizados son:

- $F_a = 0.97$: este factor corrige la aceleración espectral en el rango de periodos cortos, permitiendo ajustar la respuesta dinámica para estructuras rígidas o con baja flexibilidad.

Imagen 25

Factor F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Nota: Tipo de suelo según zona sísmica. Fuente: NEC-15, 2015

- $F_d = 1.50$: modifica la respuesta sísmica para periodos largos, influenciando principalmente a estructuras más flexibles o con mayor altura, adaptando el espectro a las características del suelo y la región.

Imagen 26

Factor Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Nota: Tipo de suelo según zona sísmica. Fuente: NEC-15, 2015

- $F_s = 2.00$: representa los efectos de no linealidad del suelo, considerando posibles incrementos en la ductilidad y deformación del sistema estructural, lo que es fundamental para reflejar comportamientos más realistas bajo cargas sísmicas intensas.

Imagen 27

Factor Fs

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

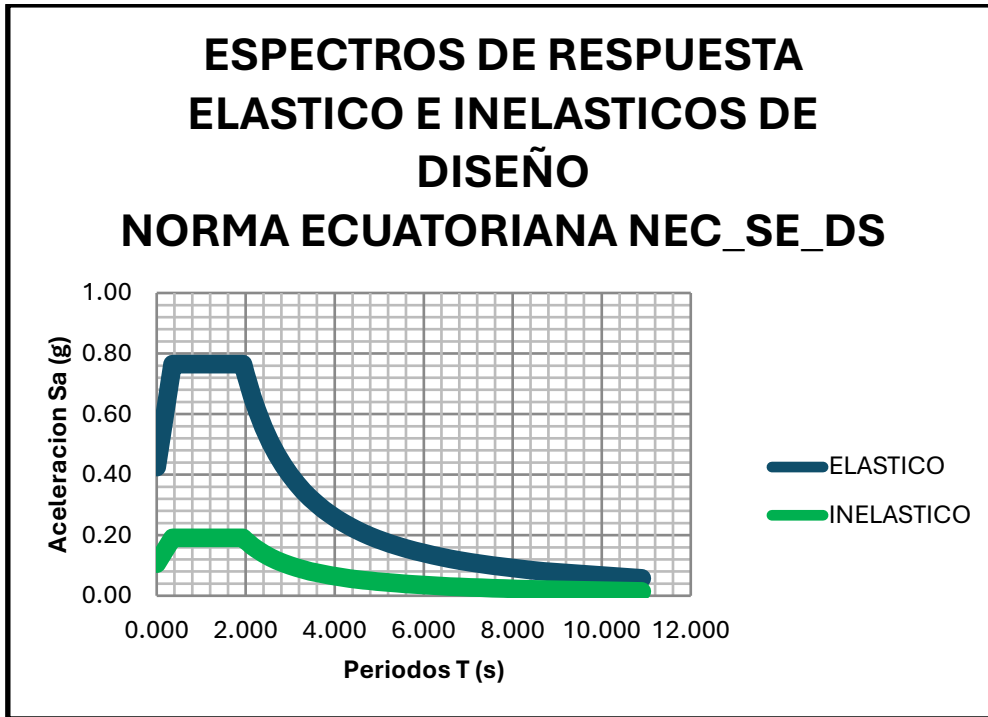
Nota: Tipo de suelo según zona sísmica. Fuente: NEC-15, 2015

La aplicación correcta de estos factores permite generar un espectro de diseño preciso y adecuado a las condiciones locales del terreno, garantizando una evaluación rigurosa del desempeño sísmico de la estructura. Este procedimiento se encuentra en estricto cumplimiento con los lineamientos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la

Construcción (NEC-15) para edificaciones en zonas de alta sismicidad, asegurando así la confiabilidad del modelo estructural y la seguridad del diseño final.

Imagen 28

Espectro de diseño



Nota: Grafica de espectro elástico de diseño. Fuente: Elaborado por Carlos Masabanda en Excel, 2025

Capítulo V

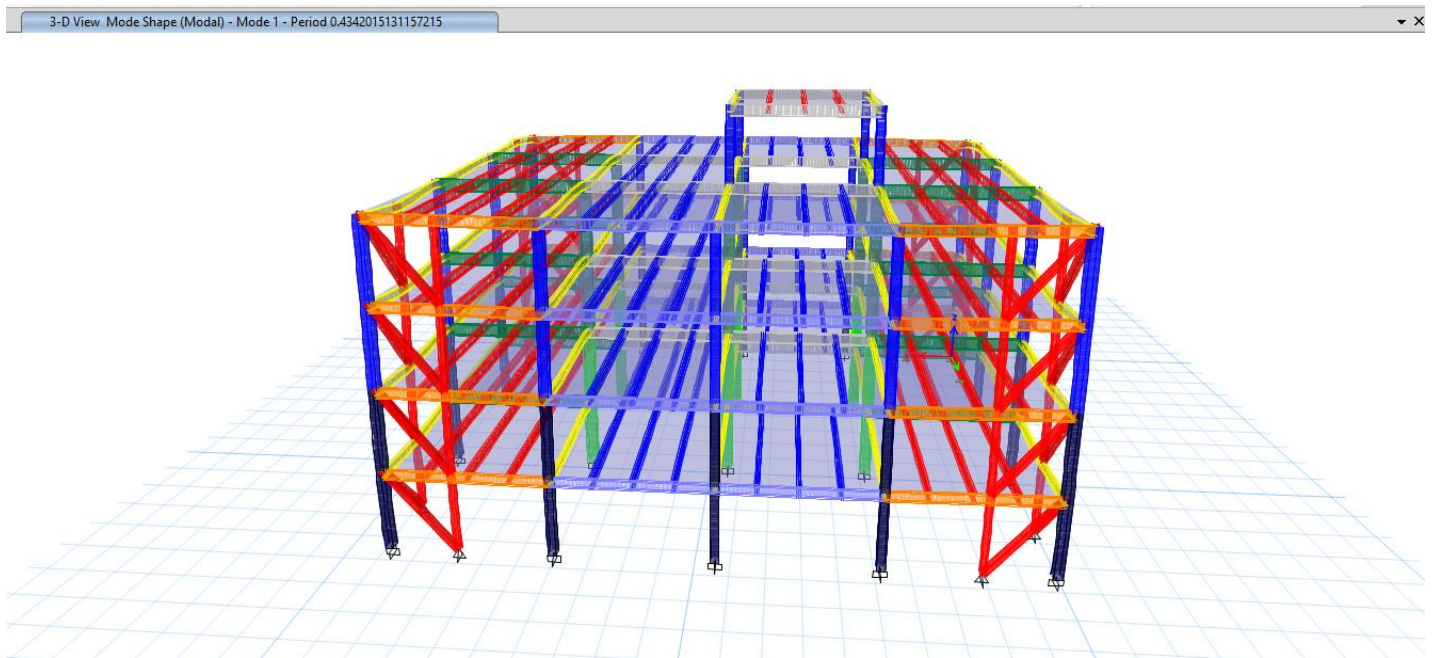
Evaluación de resultados

5.1 Periodo de vibración

El resultado modal de vibración se identificó que el primer modo de vibración tiene un período de 0.4342 segundos. Aunque este valor es ligeramente mayor al período fundamental teórico de la edificación, que es de 0.454 segundos, la normativa NEC-SE-DS (2015) permite una variación del 30 % sobre ese valor, lo que eleva el límite aceptable hasta los 0.59 segundos. Dado que el período obtenido no excede ese rango permitido, se puede afirmar que el modelo cumple con los requisitos normativos. Asimismo, los demás modos analizados también permanecen dentro de los márgenes adecuados, lo cual respalda la validez del comportamiento dinámico de la estructura.

Imagen 30

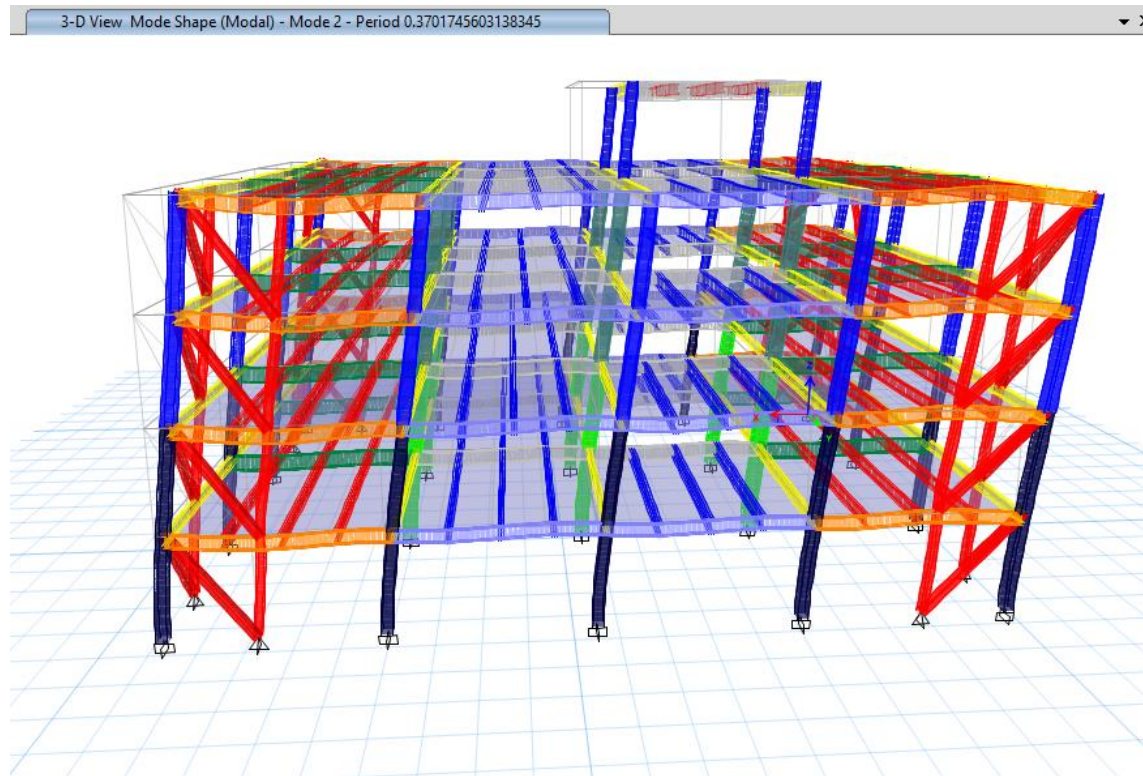
Análisis primer modal de vibración



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 31

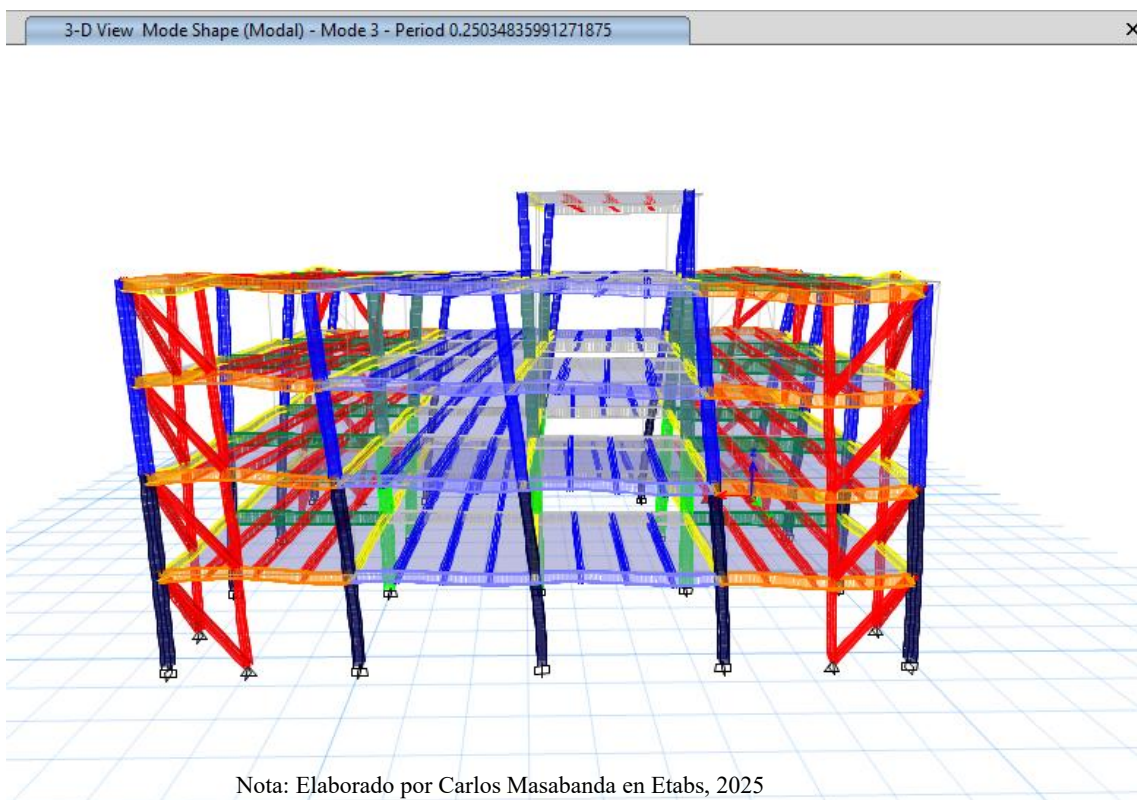
Análisis segundo modal de vibración



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 32

Análisis tercer modal de vibración

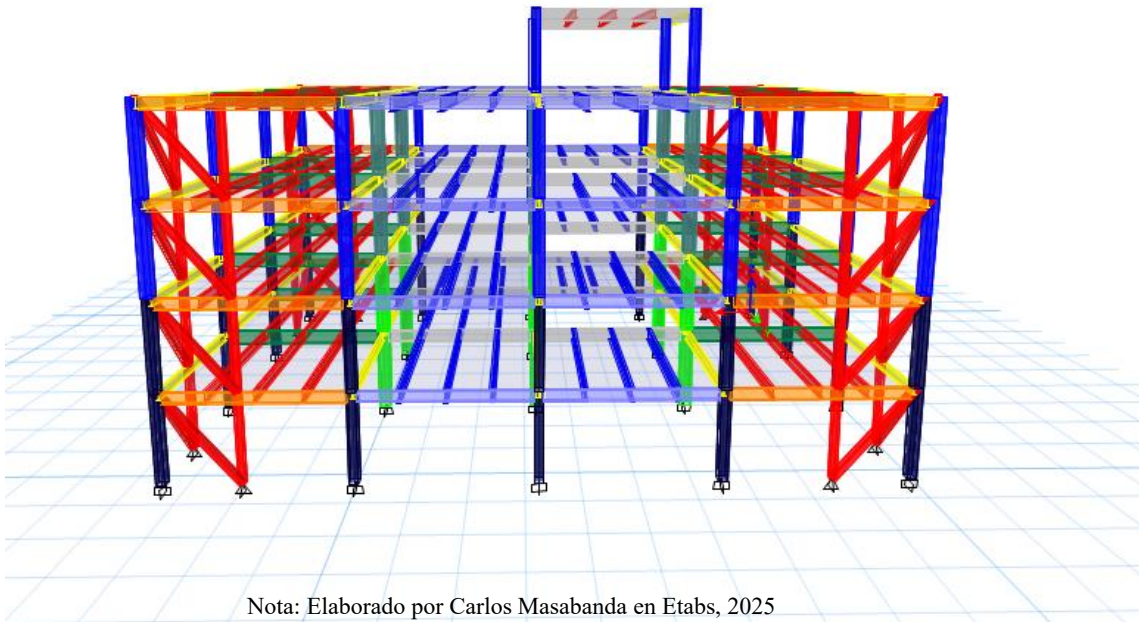


Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 33

Análisis cuarto modal de vibración

3-D View Mode Shape (Modal) - Mode 4 - Period 0.1564773904065984

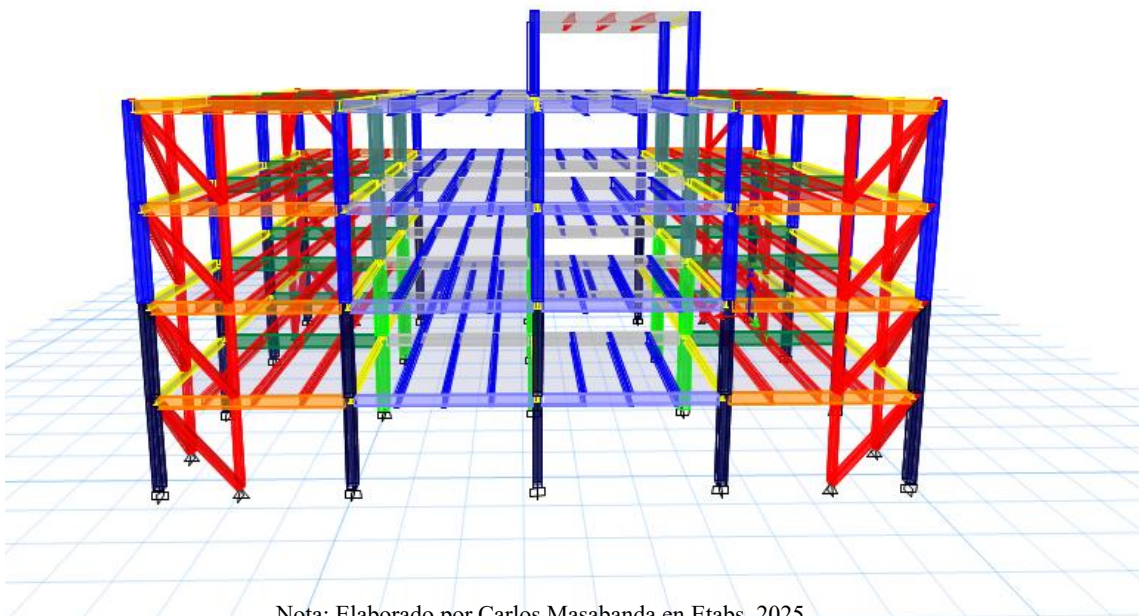


Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 34

Análisis quinto modal de vibración

3-D View Mode Shape (Modal) - Mode 5 - Period 0.12428091205104494



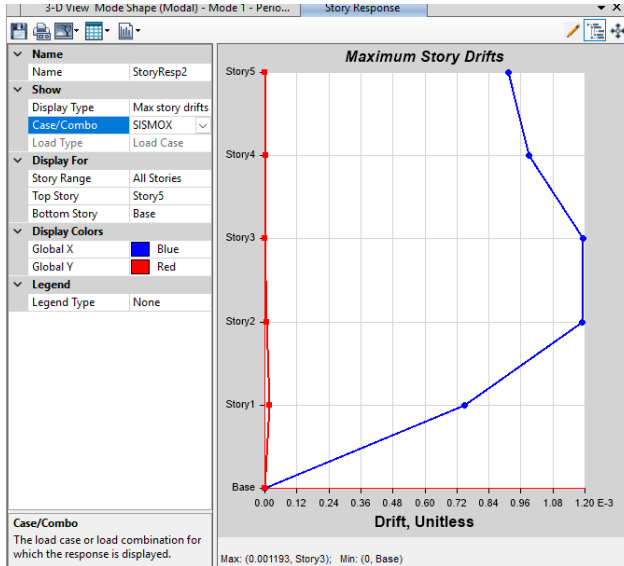
Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

5.2 Derivas de piso

Las derivas de piso muestran que la estructura muestra un comportamiento estable y coherente ante distintos tipos de carga: cargas muertas, vivas, sísmicas tanto en “X” así como en “Y” y combinaciones de estas.

Imagen 35

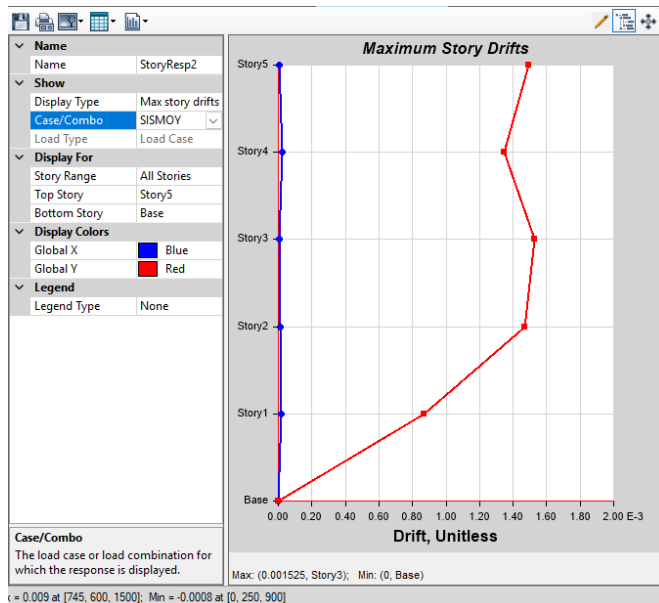
Grafica de derivas “X”



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 36

Grafica de derivas “Y”



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

En la imagen xxxxx se puede verificar que los desplazamientos en el “X” y “Y” con valores que arrojan los siguientes:

$$X=0.0011$$

$$Y=0.0015$$

Realizando la comprobación para y finalmente establecer si están dentro de los parámetros de la (NEC-SE-DS , 2025).

$$\Delta M_{\text{máx}} = 0.02$$

Para eje X

$$\Delta M = 0.75 * 0.0011 * 6$$

$$\Delta M = 0.0005$$

Para eje Y

$$\Delta M = 0.75 * 0.001 * 6$$

$$\Delta M = 0.0005$$

Por consiguiente

$$\Delta M < \Delta M_{\text{máx}}$$

La máxima deriva entre pisos obtenida en el análisis dinámico fue de 0.000495, valor que se encuentra muy por debajo del límite establecido por la normativa NEC-SE-DS, que permite hasta 0.0075 veces la altura entre niveles.

Este resultado refleja un adecuado control de desplazamientos laterales en la estructura, garantizando tanto la estabilidad del sistema portante como la protección de elementos no estructurales.

5.3 Desplazamientos

Los desplazamientos máximos absolutos son coherentes con la rigidez de la estructura y la carga aplicada, y la estructura muestra estabilidad dinámica y buen desempeño bajo diferentes combinaciones de carga muerta, viva, sísmica en ambas direcciones.

$$\Delta m_{\text{máx}} \leq \frac{\text{altura total}}{\text{factor según tipo}}$$

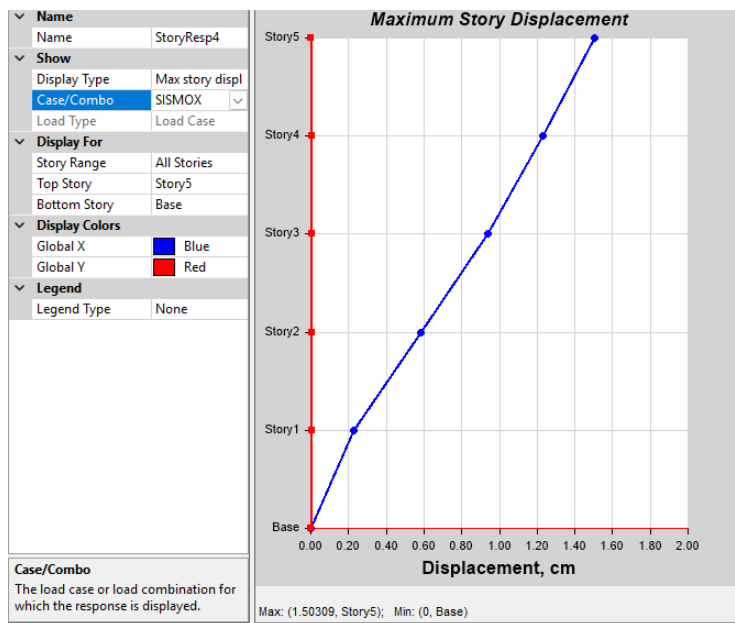
- $\Delta m_{\text{máx}}$: desplazamiento horizontal absoluto del último nivel.
- h : altura total de la edificación (desde la base hasta el último piso).
- Aplica para evaluación en estado límite de servicio.

$$\Delta m_{\text{máx}} \leq \frac{12}{500} = 0.024m$$

$$\Delta m_{\text{máx}} \leq 0.024m = 2.4 \text{ cm}$$

Imagen 37

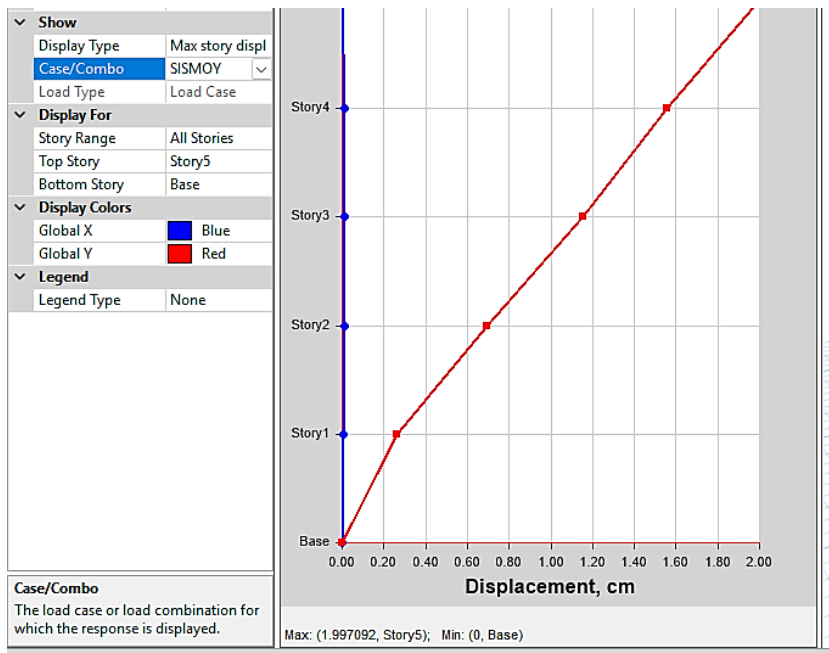
Grafica de desplazamientos “X”



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 38

Grafica de desplazamientos “Y”



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Los desplazamientos laterales máximos obtenidos en el análisis sísmico en estado de servicio fueron de 1.5 cm en dirección “X” y 1.99 cm en dirección “Y”.

Ambos valores se encuentran por debajo del límite permitido por la normativa NEC-SE-DS (2015), que para una edificación de 12.0 m de altura establece un máximo de 2.4 cm. Por lo tanto, se concluye que la estructura cumple con los criterios de desplazamiento admisible en servicio, garantizando estabilidad y confort estructural.

Imagen 39

Grafica deflexión real “Y”

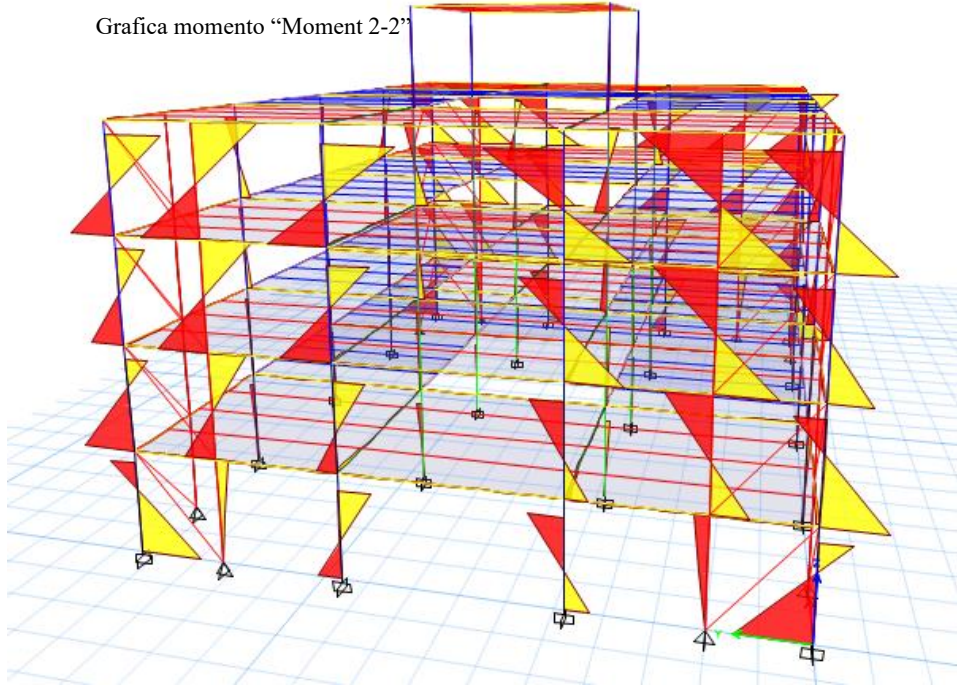
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux cm	Uy cm	Uz cm	Rx rad	Ry rad	Rz rad
Modal	LinModEigen	Mode	1	2.491E-07	-0.0089	-1.297E-05	7E-06	-1.742E-08	-8.894E-06
Modal	LinModEigen	Mode	2	-0.008	-2.081E-07	-2.481E-05	9.284E-09	-3E-06	3.544E-06
Modal	LinModEigen	Mode	3	-0.003	0.0067	1.248E-07	-8E-06	-2E-06	-1E-06
Modal	LinModEigen	Mode	4	0.0005	0.0241	0.0002	-9E-05	1E-06	2E-06
Modal	LinModEigen	Mode	5	-0.0211	-4.498E-06	-0.0004	1.766E-07	-5.3E-05	6.574E-06
Modal	LinModEigen	Mode	6	-0.0006	0.0138	0.0001	-7.9E-05	-2E-06	-2E-06
Modal	LinModEigen	Mode	7	0.024	-0.0226	0.0004	8.7E-05	7.1E-05	7.6E-06
Modal	LinModEigen	Mode	8	0.0191	6.829E-06	0.0005	2.447E-08	7.3E-05	4.047E-06
Modal	LinModEigen	Mode	9	-0.0041	0.0055	-0.0001	-4.1E-05	-1.8E-05	-1.3E-06
Modal	LinModEigen	Mode	10	0.0001	0.0029	0.0001	-3.8E-05	-3.378E-07	1E-06
Modal	LinModEigen	Mode	11	-0.0034	-4.638E-06	-0.0002	-1E-06	-3E-05	-1.184E-07
Modal	LinModEigen	Mode	12	0.0008	-0.0013	9.263E-06	2.7E-05	8E-06	2E-06
SISMO Y	LinStatic			0	0	0	0	0	0
Dead	LinStatic			-0.0016	0.0005	-0.08	-0.000103	0.000291	-6E-06
Live	LinStatic			0	0	0	0	0	0
SISMOX	LinStatic			1.2282	3.294E-05	0.0039	-1E-06	0.000466	-1E-06
SISMOY	LinStatic			0.0004	1.8649	0.0026	-0.001367	4E-06	3E-06
DSIS1	Combination			-0.0022	0.0006	-0.112	-0.000144	0.000408	-9E-06
DSIS2	Combination			-0.0019	0.0006	-0.096	-0.000124	0.000349	-8E-06
DSIS3	Combination			1.2261	0.0006	-0.1001	-0.000135	0.000845	-9E-06
DSIS4	Combination			-1.2303	0.0006	-0.1079	-0.000132	-8.8E-05	-8E-06
DSIS5	Combination			-0.0017	1.8655	-0.1014	-0.001501	0.000382	-5E-06

Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

5.5 Esfuerzos internos

Imagen 40

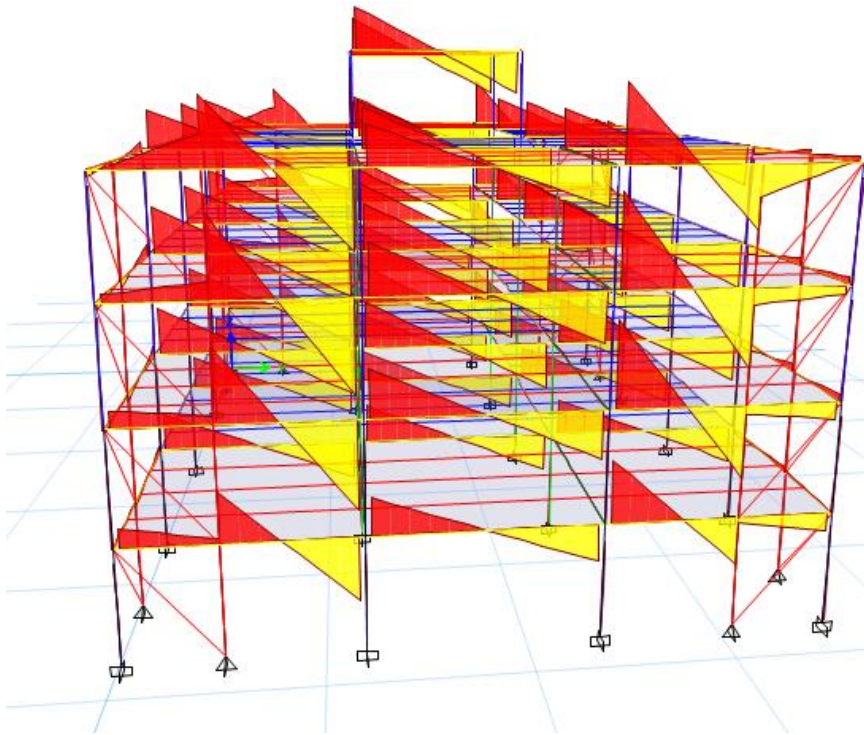
Grafica momento "Moment 2-2"



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 41

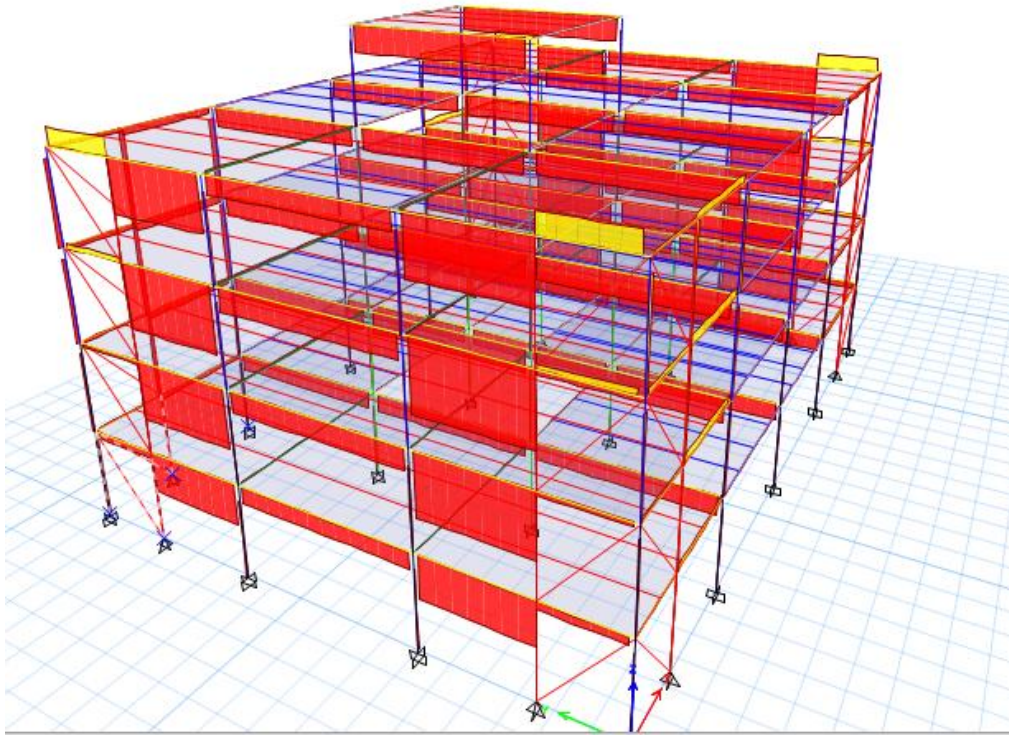
Grafica momento "Moment 3-3"



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 42

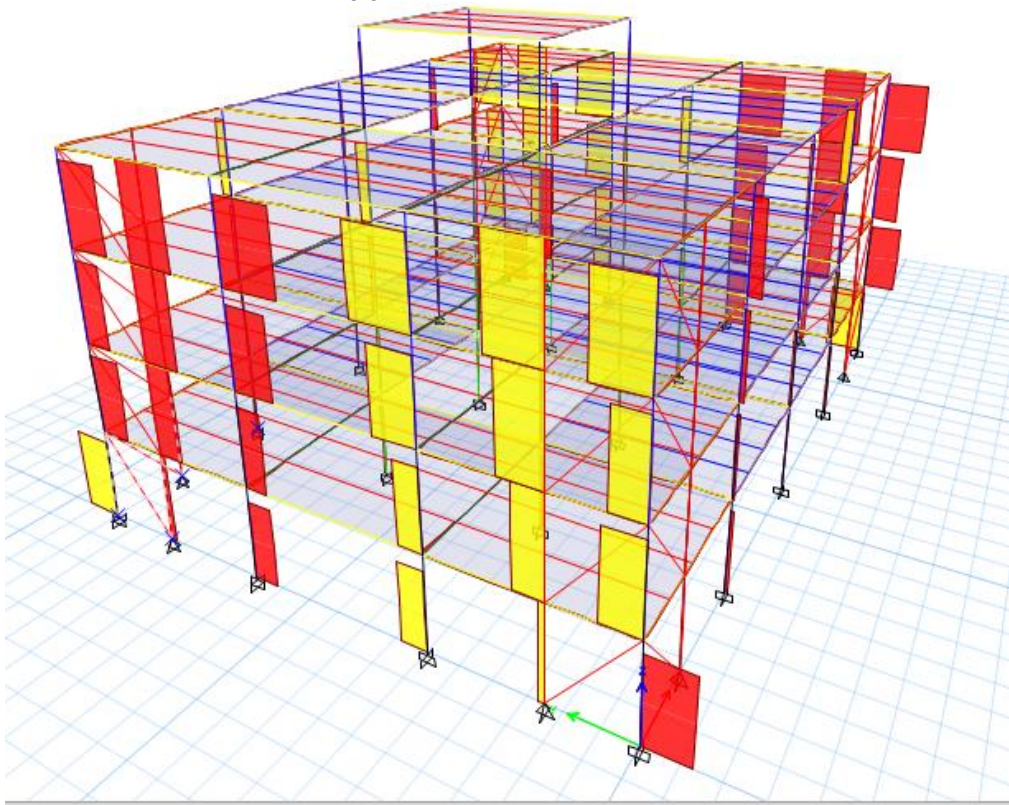
Grafica de cortante "Shear 2-2"



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 43

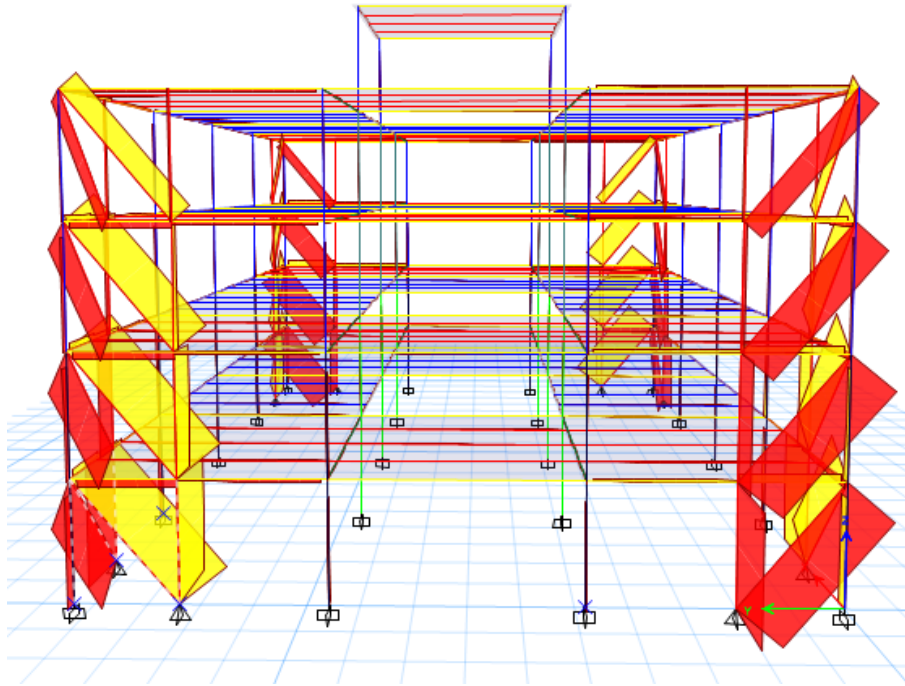
Grafica de cortante "Shear 3-3"



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 44

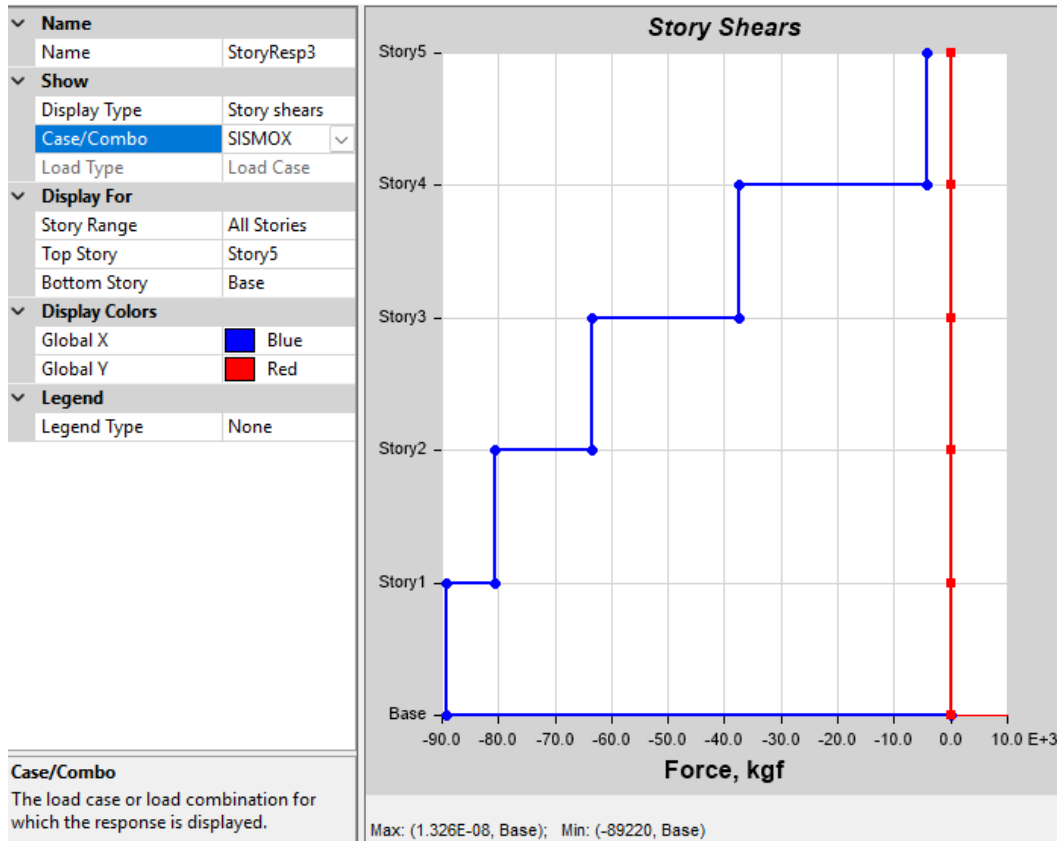
Grafica de fuerza axial



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 45

Grafica de base shear X



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

Imagen 46

Grafica de base shear Y



Nota: Elaborado por Carlos Masabanda en Etabs, 2025

5.6 Reporte estructural

Columna

ETABS Steel Frame Design

AISC 360-16 Steel Section Check (Strength Envelope)

Slenderness Check

Buckling Mode	K Factor	L Length (cm)	r (cm)	KL/r	KL/r Limit	L/r	L/r Limit
Major (3-3)	1	251	16.177	15.516	200	15.516	300
Minor (2-2)	1	251	16.177	15.516	200	15.516	300

Element Details

Level	Element	Unique Name	Section	Combo	Location	Frame Type	Classification
Story1	C2	111	C1	DStIS3	0	Intermediate Moment Frame	Seismic MD

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (cm)	LLRF	Stress Ratio Limit
300.000	0.459	1

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
0.079	0.002	1	0.8	0.8

Seismic Parameters

Ignore Seismic Code?	Ignore Special EQ Load?	Plug Welded?	SDC	I	Rho	S _{DS}	R	Ω_0	C _d
No	No	Yes	D	1	1	0.5	8	3	5.5

Design Code Parameters

ϕ_b	ϕ_b	ϕ_{TY}	ϕ_{TF}	ϕ_v	ϕ_{V-RI}	ϕ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (cm ²)	J (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	A _{v3} (cm ²)	A _{v2} (cm ²)
221.8	88503.1	58031.6	58031.6	107	107

Design Properties

S ₃₃ (cm ³)	S ₂₂ (cm ³)	Z ₃₃ (cm ³)	Z ₂₂ (cm ³)	r ₃₃ (cm)	r ₂₂ (cm)	C _w (cm ⁶)
2830.8	2830.8	3294.5	3294.5	16.177	16.177	Not required

Material Properties

E (N/cm ²)	f _y (N/cm ²)	R _y	C _{pr}	α
20593965.42	24810.83	1.501	1.4	NA

Stress Check forces and Moments

Location (cm)	P _u (N)	M _{u33} (N-cm)	M _{u22} (N-cm)	V _{u2} (N)	V _{u3} (N)	T _u (N-cm)
0	-432719.96	7966794.34	-154507.78	0	0	5224.91

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0.837	1	1	1	1	0.469
Minor Bending	0.837	1	1	1	1	0.393

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0.837	1	2.131

Demand/Capacity (D/C) Ratio

D/C Ratio =	(P _r / 2P _c) + (M _{r33} / M _{c33}) + (M _{r22} / M _{c22})
0.155 =	0.044 + 0.108 + 0.002

Axial Force and Capacities

P _u Force (N)	φP _{nc} Capacity (N)	φP _{nt} Capacity (N)
432719.96	4891307.7	4951843.7

Moments and Capacities

	M _u Moment (N-cm)	φM _n Capacity (N-cm)	φM _n No LTB (N-cm)	φM _n C _b =1 (N-cm)
Major Bending	7966794.34	73565515.32	73565515.32	73565515.32
Minor Bending	154507.78	73565515.32		

Torsion Moment and Capacities

T _u Moment (N-cm)	T _n Capacity (N-cm)	φT _n Capacity (N-cm)
5224.91	65206545.71	58685891.14

Shear Design

	V _u Force (N)	φV _n Capacity (N)	Stress Ratio
Major Shear	0	1433033.55	0.029
Minor Shear	0	1433033.55	0.001

Viga

ETABS Steel Frame Design

AISC 360-16 Steel Section Check (Strength Envelope)

Slenderness Check

Buckling Mode	K Factor	L Length (cm)	r (cm)	KL/r	KL/r Limit	L/r	L/r Limit
Major (3-3)	1	559	13.54	41.284	200	41.284	300
Minor (2-2)	1	204	3.124	65.292	200	65.292	300

Unbraced Length Limit Check

Buckling Mode	K Factor	L _b Length (cm)	L _{pd} Limit (cm)
Major (3-3)	1	559	
Minor (2-2)	1	204	328.358
LTB	1	204	328.358

Element Details

Level	Element	Unique Name	Section	Combo	Location	Frame Type	Classification
Story3	B10	18	VSismica	DStIS5	579.5	Intermediate Moment Frame	Slender

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (cm)	LLRF	Stress Ratio Limit
600.000	1	1

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
2.079E-04	9.664E-05	1	0.8	0.8

Seismic Parameters

Ignore Seismic Code?	Ignore Special EQ Load?	Plug Welded?	SDC	I	Rho	S _{DS}	R	Ω_0	C _d
No	No	Yes	D	1	1	0.5	8	3	5.5

Design Code Parameters

ϕ_b	ϕ_b	ϕ_{TY}	ϕ_{TF}	ϕ_V	ϕ_{V-RI}	ϕ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (cm ²)	J (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	A _{v3} (cm ²)	A _{v2} (cm ²)
33.8	5.2	6189.6	329.6	21.6	12.8

Design Properties

S ₃₃ (cm ³)	S ₂₂ (cm ³)	Z ₃₃ (cm ³)	Z ₂₂ (cm ³)	r ₃₃ (cm)	r ₂₂ (cm)	C _w (cm ⁶)
378.1	47.1	429	74.2	13.54	3.124	79180.3

Material Properties

E (N/cm ²)	f _y (N/cm ²)	R _y	C _{pr}	α
20593965.42	24810.83	1.501	1.4	NA

Stress Check forces and Moments

Location (cm)	P _u (N)	M _{u33} (N-cm)	M _{u22} (N-cm)	V _{u2} (N)	V _{u3} (N)	T _u (N-cm)
579.5	-155.54	-2136147.38	-696.49	12544.7	2.44	0.14

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0.932	1	1	1	1	1
Minor Bending	0.34	1	1	1	1	0.743

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0.34	1	1.516

Demand/Capacity (D/C) Ratio

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
0.224 =	1.444E-04 + 0.223 + 4.203E-04

Axial Force and Capacities

P _u Force (N)	φP _{nc} Capacity (N)	φP _{nt} Capacity (N)
155.54	538642.61	753852.11

Moments and Capacities

	M _u Moment (N-cm)	φM _n Capacity (N-cm)	φM _n No LTB (N-cm)	φM _n C _b =1 (N-cm)
Major Bending	2136147.38	9578923.62	9578923.62	8647875.79
Minor Bending	696.49	1657224.17		

Shear Design

	V _u Force (N)	φV _n Capacity (N)	Stress Ratio
Major Shear	12544.7	165250.98	0.076
Minor Shear	2.44	289393.46	8.435E-06

End Reaction Major Shear Forces

Left End Reaction (N)	Load Combo	Right End Reaction (N)	Load Combo
-22903.21	DSttS10	22903.21	DSttS10

Capítulo VI

6.1 Conclusiones

El diseño de la edificación para el desarrollo de este proyecto permitió llevar a cabo un análisis sismorresistente completo de una edificación metálica de cuatro niveles, cumpliendo con los objetivos planteados desde el inicio del trabajo. Las condiciones se determinaron de forma adecuada, los parámetros geométricos, las propiedades mecánicas de los materiales, las cargas gravitacionales y sísmicas requeridas para construir el modelo estructural. Esta información fue fundamental para garantizar que el sistema propuesto respondiera a las condiciones reales del entorno y del uso previsto.

Con base en estos datos, se procedió al modelado estructural en el software ETABS, incorporando las acciones de carga según lo establecido en la normativa ecuatoriana NEC-15. Este proceso permitió visualizar el comportamiento de la edificación de forma tridimensional, facilitando la verificación del correcto funcionamiento estructural, la ubicación de elementos críticos y la interacción entre pisos. El modelo se ajustó a las condiciones reales del diseño propuesto y sirvió de base para la siguiente etapa.

Finalmente, mediante el análisis estático lineal y dinámico espectral, se evaluó la respuesta estructural ante eventos sísmicos. Los resultados obtenidos reflejan que las derivas de piso, desplazamientos y esfuerzos internos se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa, demostrando que la edificación posee un adecuado desempeño estructural. Esto valida que tanto el diseño adoptado como la configuración estructural propuesta son eficientes y seguros frente a solicitaciones sísmicas, logrando una solución técnica coherente con los principios del diseño sismorresistente.

6.2 Recomendaciones

Es fundamental tomar en cuenta todos los parámetros relevantes en el diseño estructural, tales como la rigidez, la ductilidad, la distribución de masas, y las características del suelo donde se emplazará la edificación. Considerar estos factores permite optimizar la respuesta dinámica de la estructura, asegurando que esta pueda soportar y disipar eficazmente la energía generada por movimientos sísmicos.

Se recomienda utilizar programas avanzados de modelación estructural, ya que estos permiten realizar análisis detallados y precisos que reflejan el comportamiento real de la estructura ante cargas sísmicas. Este tipo de herramientas facilitan la identificación de posibles zonas críticas, así como la evaluación de diferentes escenarios de carga, lo que contribuye a un diseño más seguro y optimizado

Por último, es indispensable verificar que el diseño cumpla estrictamente con las normas y reglamentos vigentes, como la NEC-15, que establecen los criterios mínimos para la seguridad estructural en zonas sísmicas. Asegurar el cumplimiento normativo evita errores en la etapa de construcción y reduce el riesgo de fallos durante el servicio, garantizando la integridad de la estructura y la seguridad de sus ocupantes.

Referencia bibliográfica

- Banco Mundial. (2021, 27 de abril). A cinco años del terremoto, Ecuador sigue trabajando en su resiliencia frente a desastres. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/04/27/a-cinco-a-os-del-terremoto-ecuador-sigue-trabajando-en-su-resiliencia-frente-a-desastres>.
- Barbat, A. H. (2007). *Cálculo sísmico de las estructuras*. Universitat Politècnica de Catalunya. https://www.google.com.ec/books/edition/C%C3%A1lculo_s%C3%ADsmico_de_las_estructuras/jo9MygPvhuMC.
- Bernal, J. (2019). *Diseño de cargas en edificios: Métodos de análisis de las cargas (Reglamentos CIRSOC)*. Ed. de la U.
- Bozzo Rotondo, L. M., & Barbat, A. H. (1999). *Diseño sismorresistente de edificios: Técnicas convencionales y avanzadas* (Ed. Reverté).
- Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (5th ed.). Pearson.
- Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. (2015). *Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito, Ecuador.
- Crespo, J. (2021). *El diseño estructural*. Editorial Reverté. https://www.google.com.ec/books/edition/El_dise%C3%B1o_estructural/irszEAAAQBAJ
- Cruz Roja Colombiana, Seccional Cundinamarca Bogotá. (s.f.). Boletín de Socorros No. 14: Sismos. Jefatura de Socorros. Recuperado de <http://201.130.16.43/bitstream/handle/20.500.11762/18979/1517.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dashti, S., & Bray, J. D. (2021). *Seismic behaviour of ground and geotechnical structures: From ground motion to structural safety*. Springer.
- Diez, G. (2005). Diseño estructural en arquitectura: introducción. [Sitio web].
- El Comercio. (2014, 15 de agosto). Los temblores de los últimos 50 años en Ecuador. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/50-anos-sismos-ecuador-historia/>

- Elghazouli, A. (2016). *Seismic design of buildings to Eurocode 8*. CRC Press.
- Gardner, L., & Bu, Y. (2016). *Structural steel design to Eurocode 3 and AISC specifications* (2nd ed.). CRC Press.
- Guendelman, T. (2018). *Análisis estático y dinámico de estructuras*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Fondo PUCP.
- Jaramillo Jiménez, J. Ó. (2004). *Análisis clásico de estructuras* (1ª ed.). Universidad Nacional de Colombia. https://www.google.com.ec/books/edition/An%C3%A1lisis_cl%C3%A1sico_de_estructuras/mwohfYq9zC8C
- Kerguignas, M., & Caignaert, G. (1980). *Resistencia de materiales*. Reverté.
- McCormac, J. C., & Nelson, J. K. (2010). *Análisis clásico de estructuras* (4ª ed.). Alfaomega. https://www.google.com.ec/books/edition/An%C3%A1lisis_cl%C3%A1sico_de_estructuras/mwohfYq9zC8C
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-SE-AC – Estructuras de acero*. Quito, Ecuador.
- Nobuko.Cnstruproductos. (2023, 23 de junio). ¿Para qué sirve el acero de refuerzo? Recuperado de <https://construproductos.com/noticia/para-que-sirve-el-acero-de-refuerzo-sXrsa>
- Parrales Cantos, G. N., Moreno Ponce, L. A., Álvarez Álvarez, M. J., Cordero Garcés, M. O., Peralta Delgado, J. A., Zavala Vásquez, C. J., Baque Campozano, B. P., & Carvajal Rivadeneira, D. D. (2018). *Conservación de edificaciones. Tomo II*. 3Ciencias (Innovación y desarrollo).
- Paz, M. (1991). *Dinámica estructural: Teoría y cálculo*. Reverté.
- Quinde Martínez, P., & Reinoso Angulo, E. (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://smis.mx/index.php/RIS/article/view/RIS-94-1/395>

Quispe, I. (2020, 1 de septiembre). ¿Qué es AutoCAD y para qué sirve? *Arcux*. Recuperado de <https://arcux.net/blog/que-es-autocad-y-para-que-sirve/>

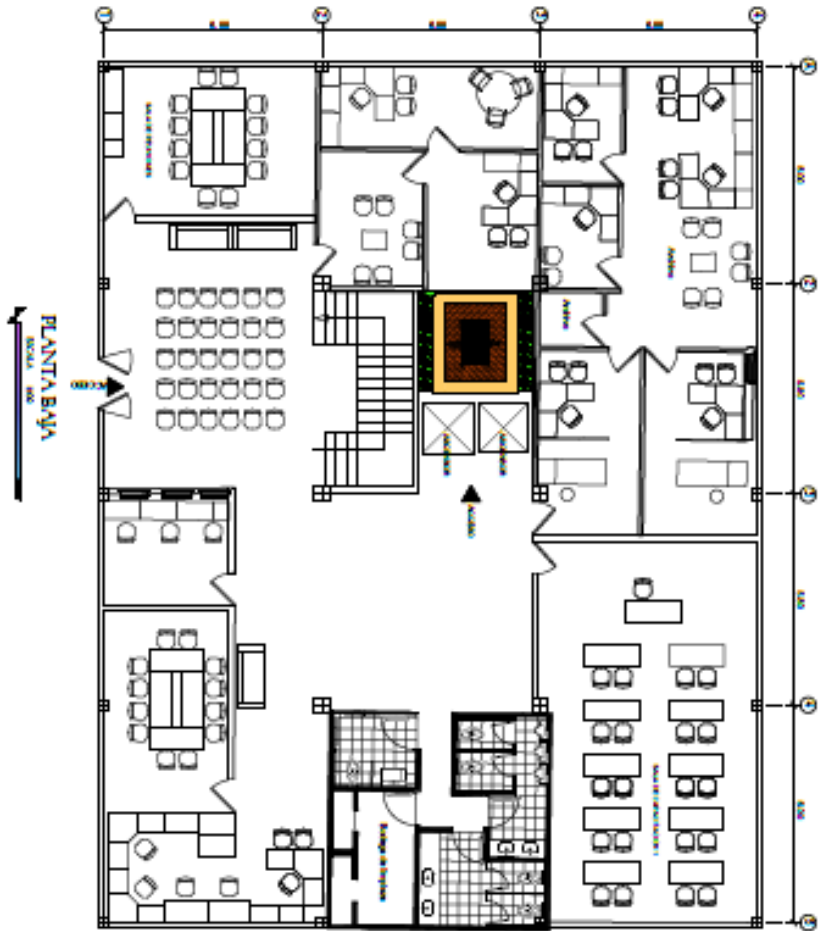
Riddell, R., & Hidalgo, P. (2015). *Fundamentos de ingeniería estructural para estudiantes de arquitectura* (3ª ed.). Ed UC.

Santos, R. (s.f.). Diagrama esfuerzo-deformación del acero [PDF]. Scribd. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/632254879/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACION-DEL-ACERO>

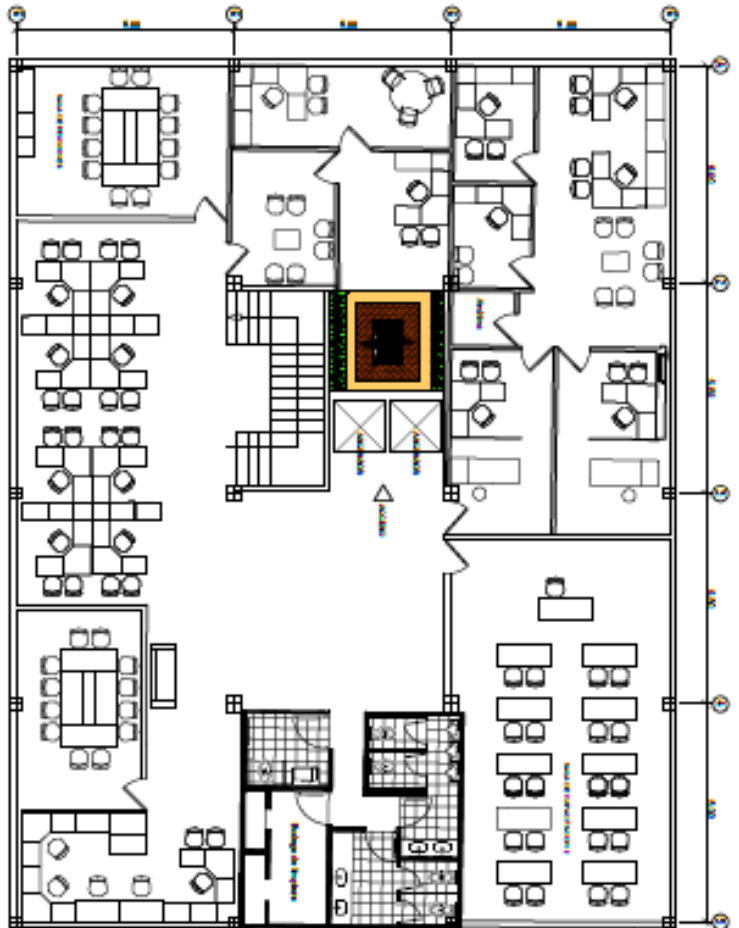
Secretaría de Gestión de Riesgos. (s.f.). El terremoto de 1797 ha sido el más devastador de Ecuador. Recuperado de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/el-terremoto-de-1797-ha-sido-el-mas-devastador-de-ecuador/>

Urbán Brotóns, P. (2015). *Construcción de estructuras metálicas* (5ª ed.). Club Universitario.

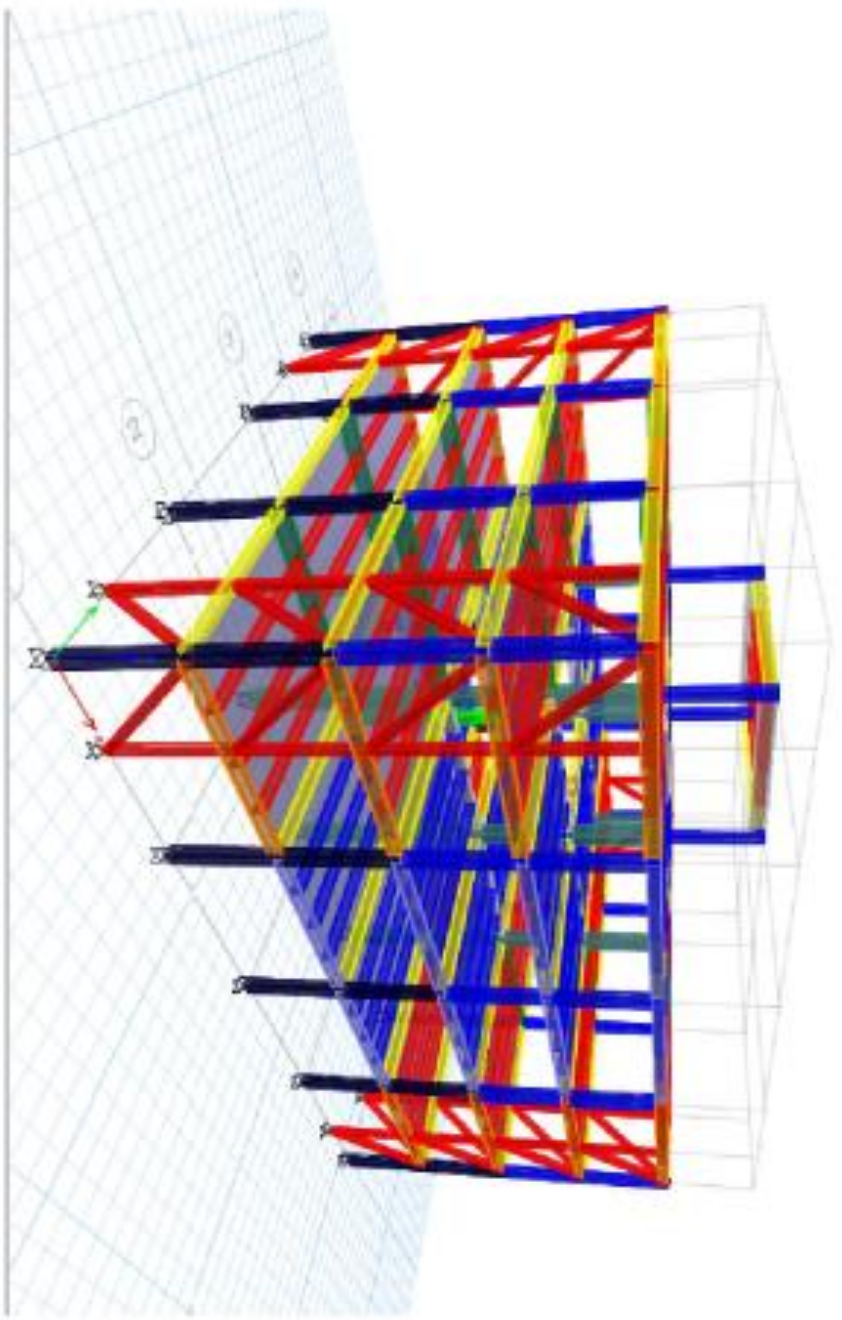
Anexos



PLANTA ALTA NIV+3.00=NIV+6.00=NIV+9.00=NIV+12.00



PROYECTO: ESPINO CAC MUNICIPIO	
UBICACION: PROVINCIA MANABI	CANTON PORTOVELDO
NOMBRE DEL PROYECTO: MUNICIPIO DE PORTOVELDO	
DIRECCION: _____	
FECHA: JULIO 2025	ESCALA: 1 : 100
AREA DE CONSTRUCCION: 896.12 m²	
PROFESIONAL: _____	PROYECTISTA: CARLOS MASHAN



PROYECTO: EDIFICIO OMAC MUNICIPIO			
UBICACION: PROVINCIA MANABI		CANTON: POSTORIELO	
NOMBRE DEL PROPIETARIO:		DISEÑADOR:	
MUNICIPIO DE POSTORIELO			
FECHA: JULIO 2025		ESCALA: 1 : 100	
AUTOR:		AREA DE CONSTRUCCION: 606.12 m ²	
PROYECTISTA:			
PROYECTISTA:		CARLOS MAGUANDA	

