



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA
PROYECTOS DE INGENIERÍA”**

I N F O R M E E S C R I T O

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

SERGIO DAVID DE LA CRUZ GARCÍA



ASESOR:

M.I. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VEGA

MÉXICO, D.F., 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/128/15

Señor
SERGIO DAVID DE LA CRUZ GARCÍA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento que ha sido aprobado el tema que usted propuso, mismo que será asesorado por el profesor M.I. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VEGA para ser desarrollado como informe escrito, conforme a la opción VI. "Titulación mediante trabajo profesional" para obtener su título de INGENIERO CIVIL.

"ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. GRADAS DEL AUTÓDROMO HERMANOS RODRÍGUEZ
- III. PLAZA CARSO III – TORRE VIVIENDA 2 Y TORRE VIVIENDA 3
- IV. CONJUNTO NASA – TORRE DE OFICINAS
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 9 de diciembre del 2015.
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a largo de mi carrera, por darme fortaleza y salud en momentos en que más los necesitaba, y por los aprendizajes y experiencias que se han presentado en mi vida para poder culminar con esta etapa tan importante. Le agradezco por brindarme una extraordinaria familia.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ofrecerme clases y profesores con excelente calidad durante los 5 años en que lleve a cabo mi carrera.

Agradezco a mis padres, Lourdes y Facundo, por su apoyo incondicional, por los valores que me han inculcado, por la oportunidad tan valiosa de tener una educación, por su tolerancia, respeto y estímulo hacia mis pendientes escolares. Y, sobre todo, por ser un excelente e incomparable ejemplo a seguir.

A mis hermanos, Berenice y Óscar, por ser parte fundamental en mi vida, por sus buenos consejos, su ayuda, comprensión, confianza, y sus ánimos, que fueron de gran ayuda para concluir mis estudios de licenciatura.

A Amairani, por su enorme e invaluable paciencia, por haberme acompañado en la parte final de esta etapa, por alentarme a dar más de lo necesario para poder seguir adelante, por creer en mí y en mis aptitudes para poder llegar a ser una persona de éxito en la vida. Por su cariño y comprensión que me ha brindado por todo este tiempo.

A mi asesor, M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega, por haber sido un excelente profesor y haberme transmitido tan valiosos conocimientos, mismos que me sirvieron como motivo para encontrar un gusto e inmenso interés hacia las estructuras. Agradezco su atención y tiempo dedicado a la realización de este reporte, así como el desarrollo de los trámites de titulación.

A mis amigos de la carrera, no sólo por el apoyo, la confianza, atención, solidaridad y el desempeño académico para impulsarnos a concluir con la licenciatura, sino también por la sincera amistad que hemos generado dentro y fuera de la universidad.

Al capítulo estudiantil American Society of Civil Engineers de la Facultad de Ingeniería, y a nuestro asesor facultativo Josué Garduño Chávez, por los trabajos que realizamos juntos, el esfuerzo y las ganas de querer aprender a través de nuevas experiencias, y así obtener una formación académica más completa.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
INTRODUCCIÓN	II
I. ANTECEDENTES	1
1.1 Colinas de Buen.....	1
1.2 Trabajos desarrollados por la empresa.....	1
1.3 Servicios que la empresa ofrece.....	2
1.4 Ingeniería experimental	3
1.4.1 Servicios que ofrece Ingeniería Experimental.....	3
1.4.2 Trabajos de mecánica de suelos realizados por Ingeniería Experimental.....	3
1.5 Periodo de trabajo.....	4
II. GRADAS DEL AUTÓDROMO HERMANOS RODRÍGUEZ	5
2.1 Descripción de la obra.....	5
2.1.1 Actividades realizadas.....	5
2.1.2 Plantas y cortes esquemáticos.....	7
2.2 Estudios analíticos.....	10
2.2.1 Análisis de cargas	10
2.2.1.1 Cargas muertas.....	10
2.2.1.2 Cargas vivas.....	11
2.2.2 Materiales empleados.....	12
2.2.3 Factores de carga y resistencia.....	12
2.2.4 Análisis estructural.....	13
2.2.4.1 Modos de vibrar, frecuencias, y periodos de la estructura.....	17
2.2.4.2 Parámetros sísmicos.....	18
2.2.5 Combinaciones de carga.....	19
2.3 Análisis de resultados.....	20
2.3.1 Revisión de los estados límite de servicio.....	20
2.3.2 Revisión de los estados límite de falla	24
2.4 Cimentación.....	24
III. PLAZA CARSO III – TORRE VIVIENDA 2 Y VIVIENDA 3	25
3.1 Descripción de la obra	25
3.1.1 Descripción estructural.....	25
3.1.1.1 Torre Vivienda 1.....	25
3.1.1.2 Torre Vivienda 2.....	25
3.1.1.3 Torre Vivienda 3.....	25
3.1.1.4 Torre de Oficinas.....	26

3.1.2	Tipificación de las estructuras.....	27
3.1.3	Actividades realizadas	27
3.1.4	Plantas y cortes esquemáticos	28
3.2	Estudios analíticos	34
3.2.1	Análisis de cargas.....	34
3.2.1.1	Cargas muertas	34
3.2.1.2	Cargas vivas.....	35
3.2.2	Materiales empleados.....	36
3.2.3	Factores de carga y resistencia.....	37
3.2.4	Análisis estructural.....	37
3.2.4.1	Modos de vibrar, frecuencias y periodos de las estructuras	44
3.2.4.2	Parámetros sísmicos.....	46
3.2.5	Combinaciones de carga.....	47
3.3	Análisis de resultados.....	48
3.3.1	Revisión de los estados límite de servicio.....	48
IV.	CONJUNTO NASA – TORRE DE OFICINAS	53
4.1	Descripción de la obra	53
4.1.1	Descripción estructural	53
4.1.1.1	Torre Vivienda A y B	53
4.1.1.2	Torre de Oficinas	53
4.1.2	Tipificación de la estructura.....	55
4.1.3	Actividades realizadas.....	55
4.1.4	Plantas y cortes esquemáticos.....	56
4.2	Estudios analíticos.....	60
4.2.1	Análisis de cargas	60
4.2.1.1	Cargas muertas.....	60
4.2.1.2	Cargas vivas.....	61
4.2.2	Materiales empleados.....	62
4.2.3	Factores de carga y resistencia.....	63
4.2.4	Análisis estructural.....	63
4.2.4.1	Modos de vibrar, frecuencias y periodos de la estructura.....	68
4.2.4.2	Parámetros sísmicos.....	69
4.2.5	Combinaciones de carga.....	70
4.3	Análisis de resultados.....	71
4.3.1	Revisión de los estados límite de servicio.....	71
4.3.2	Revisión de los estados límite de falla	75
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA.....		77

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se desarrolla la parte estructural de proyectos de edificación en los que he trabajado como empleado en la empresa Colinas de Buen S.A. de C.V., haciendo énfasis al análisis y diseño de estructuras de acero y concreto-acero, con estructuraciones que varían según las solicitudes de los contratistas. Lo anterior con el objetivo de evaluar el comportamiento de las estructuras analizadas en este documento, y, a su vez, estimar sus condiciones de seguridad conforme a las disposiciones del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF04).

El contenido de este reporte está dividido en cinco capítulos, tres de ellos destinados al desarrollo y breve explicación de proyectos que se han o están trabajando en la empresa.

En el capítulo uno, se describe a la empresa Colinas de Buen S.A. de C.V., las áreas que la conforman, y los trabajos que se han realizado, así como los servicios que cada disciplina ofrece.

El capítulo dos desarrolla la parte de ingeniería estructural del proyecto Gradas del Autódromo Hermanos Rodríguez, englobando los temas de análisis de carga, materiales empleados, análisis estructural, diseño estructural, análisis de resultados, entre otros.

En el capítulo tres, se describe el proyecto Plaza Carso III, orientado a las Torres Vivienda 2 y Vivienda 3. Se engloban los mismos temas desarrollados en el capítulo 2, pero con una perspectiva preliminar, es decir, este proyecto es analizado, por el momento, con información arquitectónica no definitiva, para plantear una posible estructuración y dimensiones de elementos estructurales, esto con el fin de obtener la licencia de construcción.

El capítulo cuatro contiene el desarrollo estructural del proyecto Conjunto NASA, enfocado a la Torre de Oficinas. Es, al igual que capítulo tres, un análisis y diseño estructural preliminar para emitir la licencia de construcción, pero con una elaboración de tipo proyecto ejecutivo, a petición de los contratistas; por lo tanto, su presentación y detallado se asemeja mucho al capítulo 2.

Cabe mencionar que los proyectos Plaza Carso III y Conjunto NASA se siguen trabajando con información que se ha ido actualizado.

Para finalizar, en el capítulo V se encuentran las conclusiones y recomendaciones elaboradas desde mi punto de vista como estudiante y trabajador.

I. ANTECEDENTES

1.1 Colinas de Buen

Colinas de Buen inicia sus actividades en la década de los años 50, dedicándose fundamentalmente a la prestación de servicios relativos al diseño estructural de todo tipo de edificaciones.

A partir de entonces se ha ido diversificando creando las empresas filiales: Ingeniería Experimental, Cálculo Electrónico, Proyectos de Ingeniería Civil de la Laguna y Decatec Asesores. Colinas de Buen, S.A. de C.V. ha participado desde su fundación y en forma ininterrumpida en el desarrollo de México al intervenir en gran número de los edificios más importantes tanto del interior del país como de su ciudad capital, buscando siempre conjuntar la mejor ingeniería con la máxima economía. Además ha extendido su ámbito de actuación más allá de las fronteras nacionales.

1.2 Trabajos desarrollados por la empresa

La empresa se caracteriza por su buen desempeño en materia de diseño estructural de todo tipo de edificaciones. A continuación se mencionan algunas de las obras que Colinas de Buen ha desarrollado:

- Torre de Pemex, en el D.F. con 52 pisos
- La Central de Abasto, el de mayor extensión en el área metropolitana de la Ciudad de México, 500,000 m² de superficie
- Estadio Azteca
- Palacio legislativo en San Lázaro
- Basílica de Nuestra Señora de Guadalupe
- Museo de Arte Moderno en Chapultepec, D.F.
- Museo de Antropología e Historia en Chapultepec, D.F.
- Cubierta del Palacio de Los Deportes
- El nuevo museo de Sitio en el Centro Histórico de la Ciudad de México
- Sala de conciertos Nezahualcóyotl de la UNAM
- Torre de Mexicana de Aviación
- Torre del Instituto Mexicano del Petróleo
- Torre del Instituto Mexicano de Comercio Exterior (IMCE)
- El nuevo edificio de la Lotería Nacional
- Torre de Funcionamiento de Televisa
- Edificio Omega en el Paseo de la Reforma
- Edificio Parque Reforma en Polanco
- 8 Puentes en Circuito Interior del Distrito Federal; la Línea "A" Pantitlan-La Paz, del metro de la Ciudad de México, con 13.3 Km, con sus 6 puentes vehiculares transversales al eje del metro

- Vialidad e Infraestructura de lo que será el desarrollo urbano más importante de Latinoamérica, la zona especial de desarrollo controlado 'Zedec' Santa Fe en el D.F.
- La planta VOLKSWAGEN en Puebla, Pue.
- La refinería electrolítica de zinc para MET-MEX, Peñoles en Torreón, Coah.
- Numerosas naves industriales para diversas empresas.
- Más de 300 centrales telefónicas y más de 100 hospitales, así como numerosos conjuntos habitacionales localizados a lo largo y ancho del territorio nacional
- Además de Hospitales y edificaciones en el sector industrial, entre otros.

1.3 Servicios que la empresa ofrece

Algunos de los servicios que la Colinas de Buen ofrece son:

- Mecánica de Suelos
- Estudios Geotécnicos y Geológicos
- Análisis y Diseño Estructural
- Ingeniería Hidráulica e Hidrosanitaria
- Topografía
- Ingeniería Mecánica y Eléctrica
- Ingeniería de Vialidad y Transporte
- Supervisión de Obras
- Control de Calidad de Materiales
- Director Responsable de Obra
- Corresponsable en Seguridad Estructural
- Instrumentación y Excavación para edificaciones
- Diseño y Control de Calidad de terracerías, pavimentos y materiales de construcción
- Dentro del área de restauración de inmuebles catalogados como monumentos históricos y artísticos

La empresa, a lo largo de su trayectoria, capacita su personal a través programas establecidos por instituciones y dependencias como:

- La División de Educación Continua de la UNAM
- El Colegio de Ingenieros Civiles
- La Cámara Nacional de la Industria de la Construcción
- El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
- La Cámara Nacional de Empresas de Consultoría

1.4 Ingeniería experimental

Además de especializarse en el área de Ingeniería Estructural, Colinas de Buen ha desempeñado trabajos en el área de Geotecnia desde la década de los 60's, creando lo que hoy se conoce como Ingeniería Experimental, con el fin de dar apoyo técnico especializado en Verificación y Control de Calidad de Materiales de Construcción y en el campo de la Geotecnia, así como Asesoría en Construcción, y en la implementación de Sistemas de Obra Especializado.

1.4.1 Servicios que ofrece Ingeniería Experimental

A continuación se mencionan algunos de los servicios que Ingeniería Experimental ofrece.

- Control de calidad de terracerías y pavimentos.
- Evaluación de calidad de materiales en estructuras.
- Mecánica de Suelos
- Exploración Directa e Indirecta de suelos
- Pruebas índice, Mecánicas e hidráulicas de campo.
- Laboratorio de mecánica de suelos.
- Estudios geotécnicos especializados de todo tipo.
- Evaluación y diseño de pavimentos.
- Diseño de recimentaciones
- Diseño de estructuras geotécnicas
- Mecánica de Rocas.

1.4.2 Trabajos de mecánica de suelos realizados por Ingeniería Experimental

A continuación se mencionan algunos de los trabajos realizados por Ingeniería Experimental.

- Museo de Antropología e Historia en Chapultepec, D.F.
- Museo de Arte Moderno en Chapultepec, D.F.
- Edificios de la Sede del Poder Legislativo en San Lázaro, D.F.
- Edificios de los Tribunales de la Suprema Corte en San Lázaro, D.F.
- Museo del Sitio, junto al Templo Mayor en el Centro Histórico de la Ciudad de México.
- Torre del Instituto Mexicano del Petróleo.
- Torre de 30 pisos de la Cía. Mexicana de Aviación.
- Central de Abastos en Iztapalapa.
- Desarrollo Controlado ZEDEC, Santa Fé, México, D.F.
- Estudio del Subsuelo, solución geotécnica y procedimientos de construcción para 6 km de la Línea 8 del Metro, tramo sur de la Línea 7 del Metro y para el Metro Línea "A".

- 8 puentes en el Circuito Interior del Distrito Federal; la Línea "A" Pantitlán-La Paz, del Metro de la Ciudad de México, con 13.3 Km, con sus 6 puentes vehiculares transversales al eje del Metro.
- Entre muchas otras obras.

1.5 Periodo de trabajo

Habiendo descrito algunas de las actividades a las que Colinas de Buen se dedica, cabe mencionar que comencé mis labores profesionales en la empresa a partir del 3 de Marzo del 2015, colaborando de manera activa en la actualidad, desempeñando actividades en el área enfocada a las estructuras, participado en diversos proyectos en los que se me ha encomendado el dibujo de planos, cálculo y diseño de elementos estructurales, generación de boletines con detalles específicos por modificaciones durante la construcción de las estructuras, así como la revisión y corrección de planos de taller generados en obra por los Directores Responsables de Obra (D.R.O.).

II. GRADAS DEL AUTÓDROMO HERMANOS RODRÍGUEZ

2.1 Descripción de la obra

Como parte de los trabajos de remodelación y ampliación del Autódromo “Hermanos Rodríguez”, ubicado en la Av. Río Churubusco y el Viaducto Río de la Piedad, en la colonia Granjas México, de la Delegación Iztacalco, en México, D.F., se tiene proyectado unir los dos cuerpos de gradas existentes mediante la continuación de las mismas. Constará de un primer, segundo y tercer nivel que alojará suites y terrazas, el siguiente nivel servirá como cubierta para la terraza.

Las gradas quedarán delimitadas por los ejes X' a Y' en un sentido y por los ejes A, B y C en el otro sentido, estos últimos coinciden con los ejes de las columnas de las gradas existentes; las gradas en planta ocuparán un área de 11.55 m por 18.65 m y alcanzarán una altura de 17.05 m; La estructura de apoyo será de losacero, constituida por traveses y nueve columnas dispuestas en los cruces de los ejes.

La estructuración general se resolvió a base de marcos rígidos formados por traveses y 9 columnas de acero, en sus dos direcciones ortogonales, dispuestas en los cruces de los ejes. El sistema de piso para las suites y terrazas, es a base de losacero; la gradería será básicamente de lámina antiderrapante calibre 16 con un espesor de ¼”

Con base en el estudio de mecánica de suelos, se eligió un cajón de cimentación, formado por losas de fondo, contratraveses y losa tapa.

2.1.1 Actividades realizadas

El proyecto inicial comenzó a trabajarse en abril del 2015, en donde se me encargó proponer las traveses que se utilizarían en la estructura, basándome en las armaduras de las gradas aledañas recién construidas. Se optó por usar perfiles de acero de sección I, en vez de armaduras, porque el proceso tanto de cálculo como constructivo de perfiles laminados resulta más rápido, ya que la obra requería estar lista para el evento de Fórmula 1 en noviembre.

Seguido de tener las secciones de acero posibles a utilizar, procedí a la generación del modelo representativo de la estructura, en el programa STAAD.Pro para obtener descargas, desplazamientos, y elementos mecánicos para el diseño de conexiones, así como relaciones de esfuerzos para determinar si las secciones de acero propuestas son las óptimas.

El proceso de cálculo y diseño estructural, tuvo una duración aproximada de 2 meses, entregando planos, memoria descriptiva y memoria de cálculo finales el 15 de junio del 2015.

Dos semanas después, comenzando a trabajar y modelar edificios para un proyecto denominado Plaza Carso III, el ingeniero/arquitecto a cargo del proyecto en el Autódromo, propuso cambios fuertes en las gradas para el uso de piso en cada nivel, dichos cambios necesitaban de una nueva estructuración, análisis, cálculo y diseño de los elementos estructurales a utilizar, así como el dibujo de nuevos planos de plantas estructurales y conexiones pertinentes.

Este proyecto se complicó ya que estábamos limitados a usar los perfiles laminados que en un principio se mandaron a fabricar, para evitar el desperdicio, además de haber estado bajo presión esas semanas, dado que la empresa constructora ya se encontraba construyendo. Dicha situación generó algunas equivocaciones de parte de los constructores, por haber hecho consideraciones erróneas que después tuvimos solucionar con propuestas alternas a lo que ya se estaba mandando en los nuevos planos.

La cimentación no se vio afectada, ya que las cargas consideradas resultaron ligeramente mayores a las que se tuvieron en un principio.

Se puede decir que no hubo una fecha específica de entrega final de planos, pues éstos se fueron enviando en cuanto se tenían completos y revisados, para agilizar el proceso de construcción.

2.1.2 Plantas y cortes esquemáticos

A continuación se muestran plantas y cortes esquemáticos.

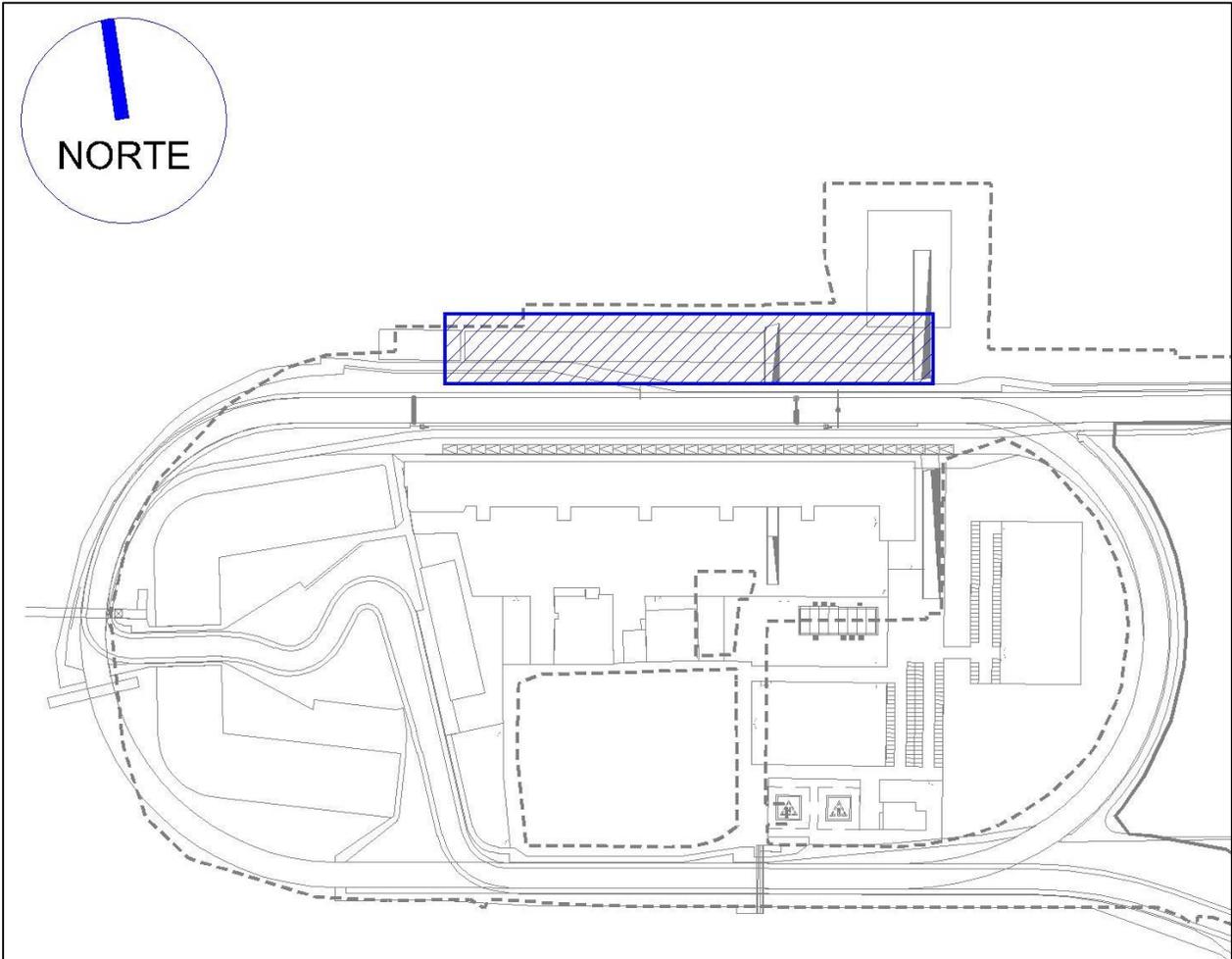


Fig. 2.3 Croquis de localización

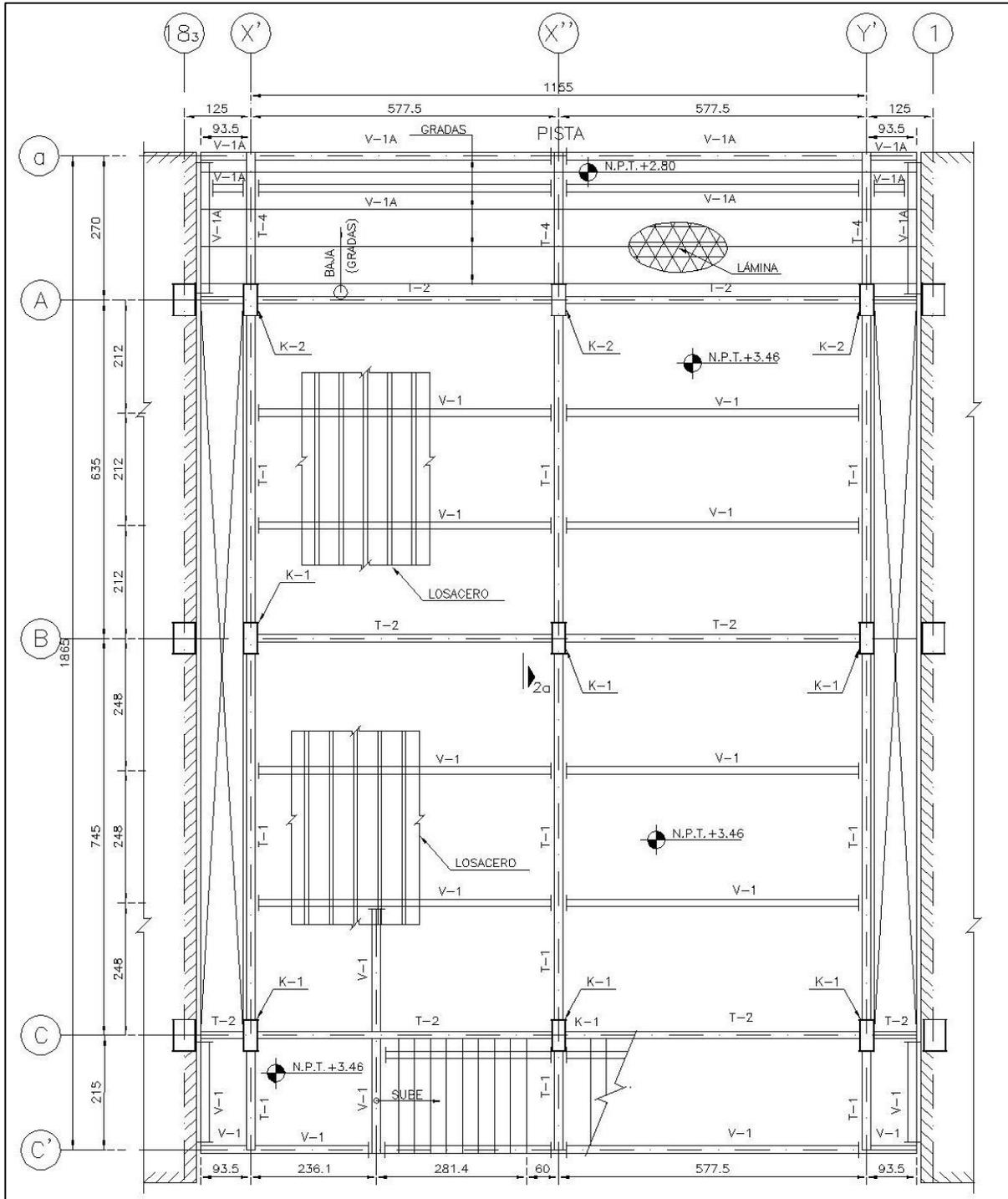


Fig. 2.1 Planta esquemática

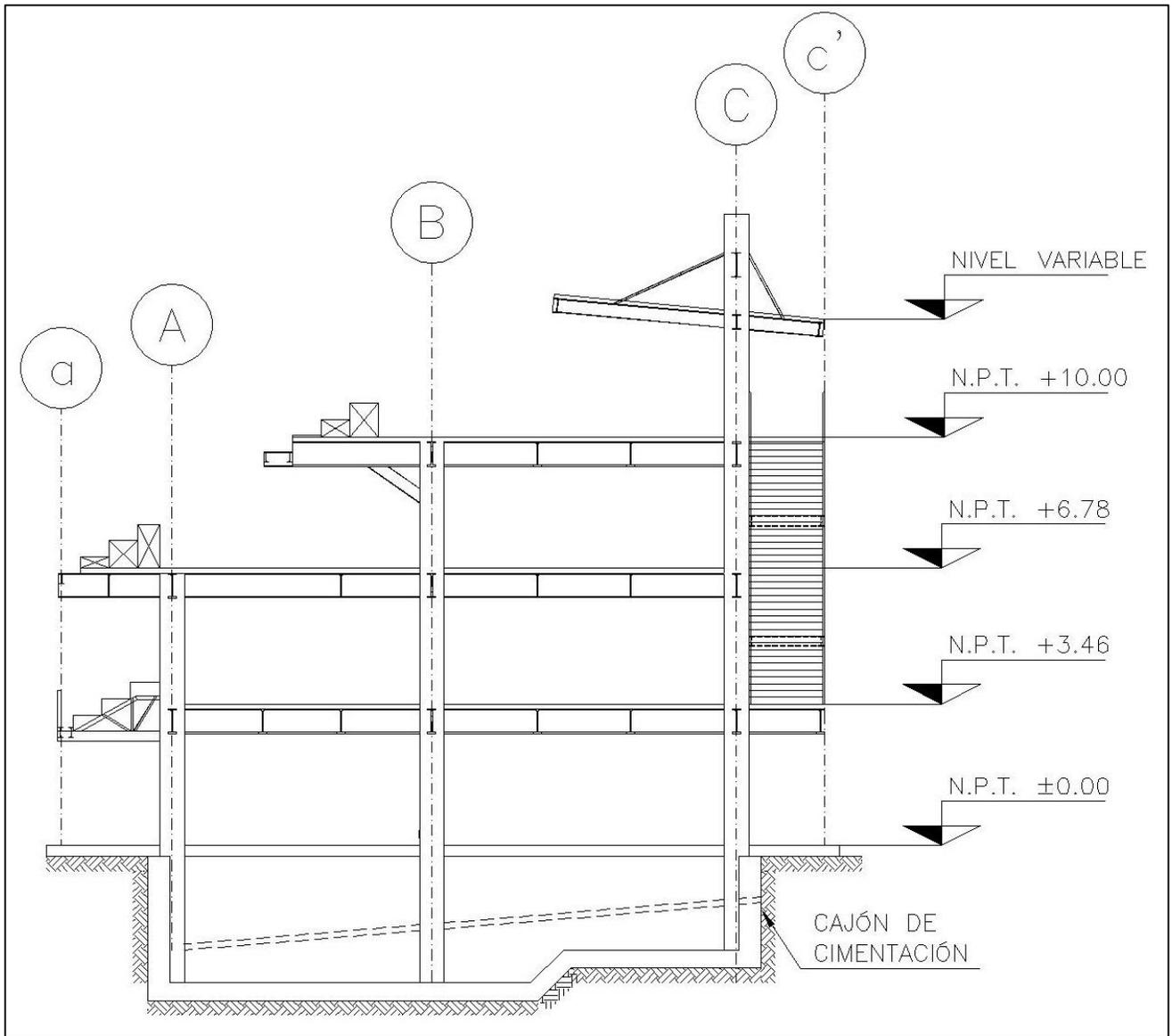


Fig. 2.2 Corte esquemático

2.2 Estudios analíticos

2.2.1 Análisis de cargas

2.2.1.1 Cargas muertas

Se definieron las cargas muertas con base en el peso propio de los miembros estructurales y al de los elementos arquitectónicos, considerando los pesos unitarios de los materiales que los constituyen.

PLANTA DE SUITES (N.P.T. +3.46 Y N.P.T. +6.78)	
CONCEPTO	kg/m²
Losacero (Capa de compresión h= 6 cm)	230
Sobrecarga RCDF04	40
Instalaciones	10
Cancelería	70
Peso ligero sin mortero	40
TOTAL	390

PLANTA DE SUITES Y TERRAZA CUBIERTA (N.P.T. +10.00)	
CONCEPTO	kg/m²
Losacero (Capa de compresión h= 5 cm)	200
Sobrecarga RCDF	40
Instalaciones	10
Enladrillado + mortero	120
Relleno para pendiente	60
Impermeabilizante	10
TOTAL	440

GRADAS (NIVEL VARIABLE)	
CONCEPTO	kg/m²
Lámina (placa 1/4")	50
Armadura portante	45
Butacas	50
TOTAL	145

ESCALERA	
CONCEPTO	kg/m ²
Lámina (placa 1/2")	100
Peso de enjaulado	50
TOTAL	150

CUBIERTA DE TERRAZA	
CONCEPTO	kg/m ²
Losacero (Capa de compresión h= 3 cm)	155
Sobrecarga RCDF	20
Impermeabilizante	10
Plafond durock	20
TOTAL	205

Tabla 2.1 Cargas muertas consideradas

2.2.1.2 Cargas vivas

Se consideran como cargas vivas, a las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de la estructura, y no estén de carácter permanente. Las cargas utilizadas para el modelo fueron las que se especifican en el RCDF04. Este reglamento establece que se deberá emplear la carga viva máxima para el diseño estructural por fuerzas gravitacionales, la carga viva instantánea para el diseño sísmico y por viento y la carga viva media para el cálculo de asentamientos y flechas diferidas.

CARGA VIVA MÁXIMA	
CONCEPTO	kg/m ²
Planta de suites (N.P.T. +3.46 Y N.P.T. +6.78)	350
Planta de suites y terraza (N.P.T. +10.00)	350
Gradas (nivel variable)	450
Escalera	350

CARGA VIVA INSTANTÁNEA	
CONCEPTO	kg/m ²
Planta de suites (N.P.T. +3.46 Y N.P.T. +6.78)	250
Planta de suites y terraza (N.P.T. +10.00)	250
Gradas (nivel variable)	350
Escalera	250

CARGA VIVA MEDIA	
CONCEPTO	kg/m²
Planta de suites (N.P.T. +3.46 Y N.P.T. +6.78)	40
Planta de suites y terraza (N.P.T. +10.00)	40
Gradas (nivel variable)	40
Escalera	40

CARGA VIVA ACC. (GRANIZO)	
Cubierta de terraza (nivel variable)	100 kg/m ²

Tabla 2.2 Cargas vivas consideradas

2.2.2 Materiales empleados

Concreto $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en losas, trabes, contratrabes, muros y dados.
Clase 1, P.V. (peso volumétrico) fresco igual o mayor a 2.2 Ton/m^3

Acero de Refuerzo $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Concreto $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en losacero
Clase 1, P.V. fresco igual o mayor a 2.2 Ton/m^3

Acero estructural A.S.T.M. (American Society of Testing Materials) A-992 con $F_y = 3515 \text{ Kg/cm}^2$ en perfiles W y placas.

Acero estructural A.S.T.M. A-500 con $F_y = 3170 \text{ Kg/cm}^2$ en PTR.

Acero estructural A.S.T.M. A-36 con $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$ en ángulos.

2.2.3 Factores de carga y resistencia

Cargas gravitacionales (carga muerta + carga viva): $F.C. = 1.5$

Flexión: $F.R. = 0.9$

Cortante: $F.R. = 0.8$

Flexocompresión: $F.R. = 0.8$

Aplastamiento: $F.R. = 0.7$

2.2.4 Análisis estructural

Para el análisis se realizó un modelo tridimensional representativo de la estructura, introduciendo los elementos estructurales que la conforman para procesarla mediante el programa de computadora STAAD Pro V8i.

Se consideró el peso propio de la estructura y la carga permanente más la carga viva. Los elementos mecánicos obtenidos en este estudio se combinaron con los resultados obtenidos del análisis sísmico para obtener la condición de carga crítica más desfavorable para los elementos de la estructura y realizar el diseño para esa combinación. Cabe mencionar que las trabes principales y secundarias, se analizaron como trabes de sección compuesta, con el fin de hacerlas actuar en conjunto de la losacero para aumentar las propiedades de la trabe, permitiendo reducir el tamaño y costo, hasta en un 30%, de los elementos de acero a utilizar, y así poder usar perfiles de acero más ligeros, lo que garantiza un menor peso total de la estructura y, a su vez, también disminuir los volúmenes de la cimentación.

En las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 se muestran los isométricos del modelo renderizado en STAAD.Pro

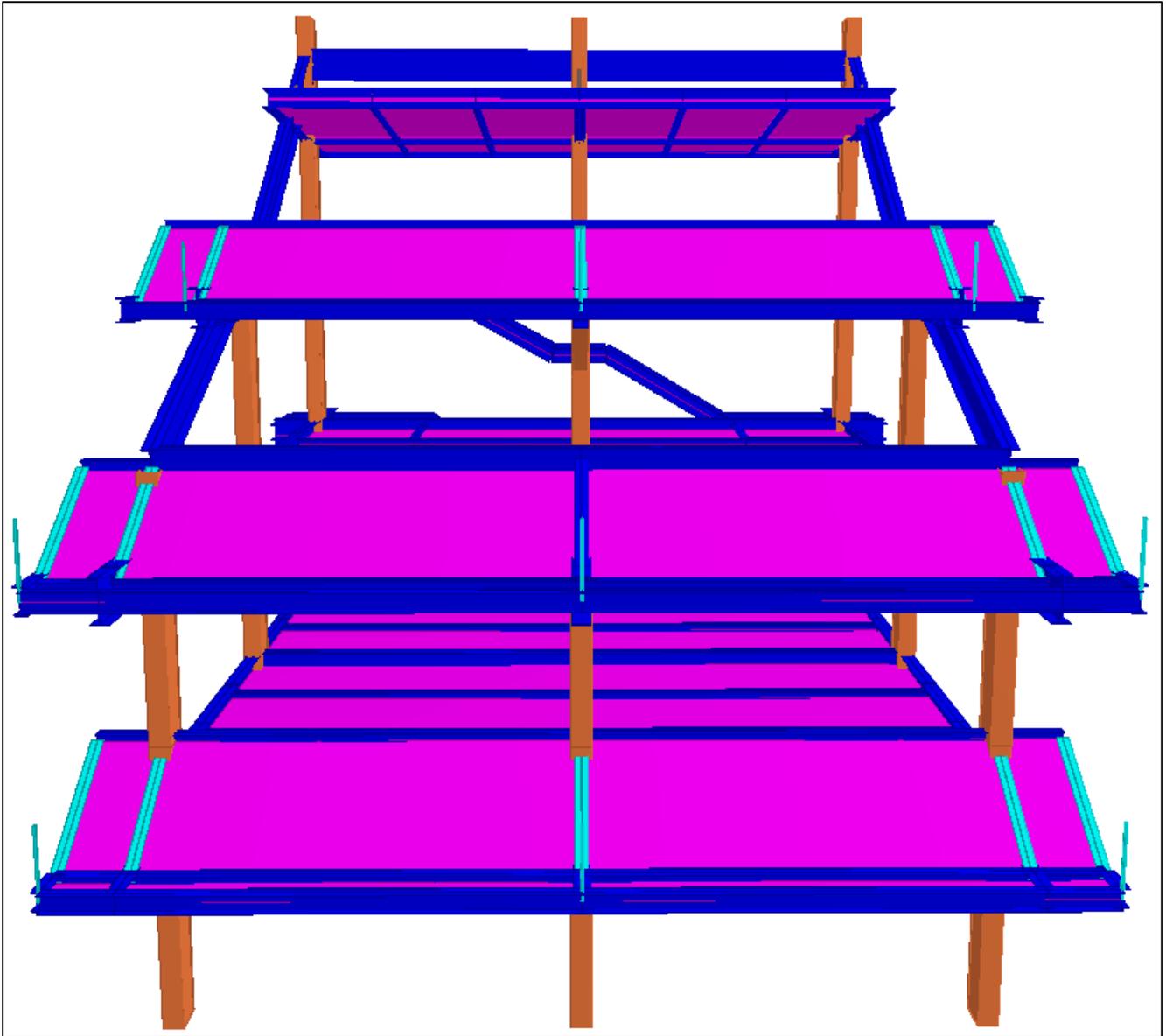


Fig. 2.4 Vista frontal de las Gradas

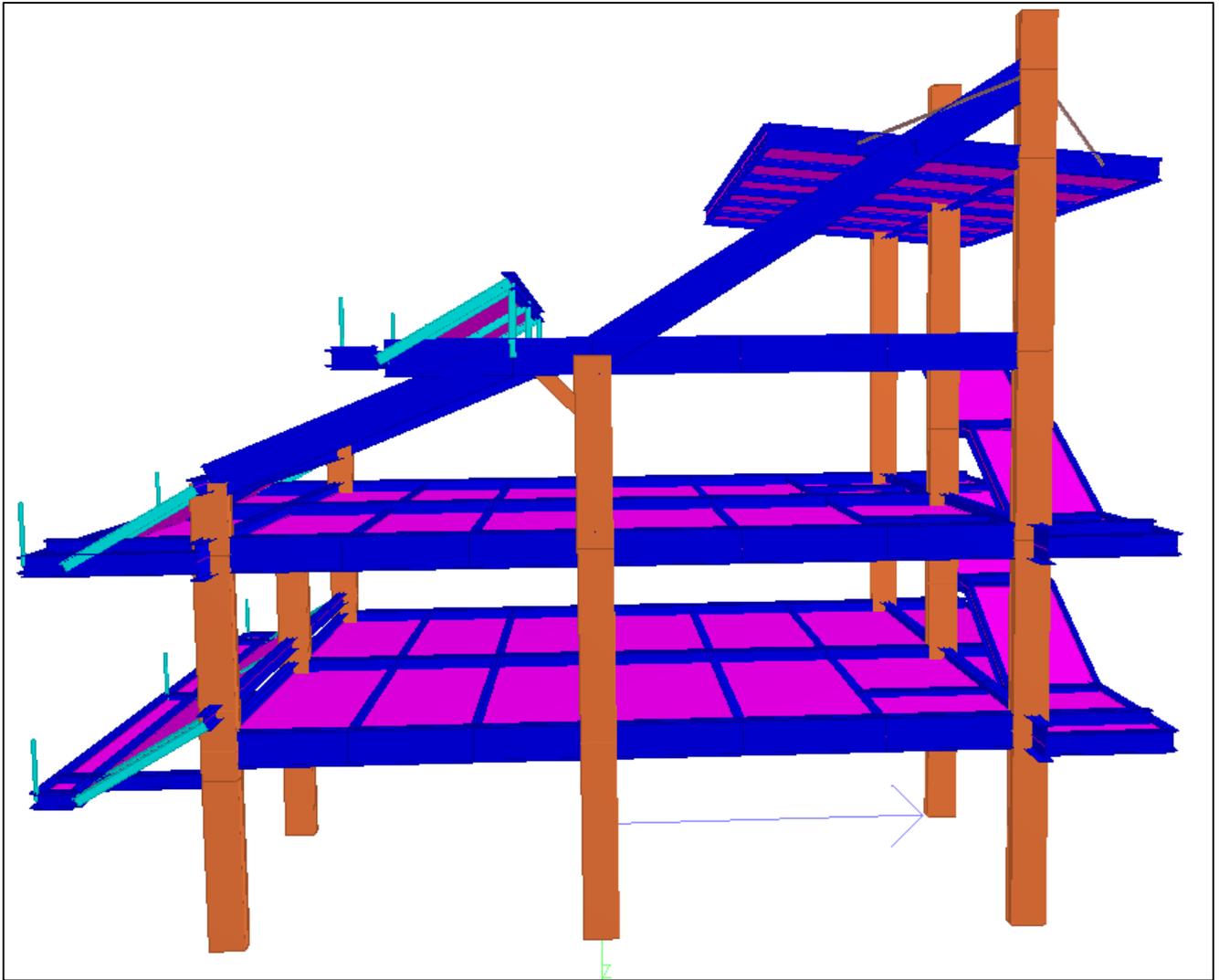


Fig. 2.5 Vista longitudinal de las Gradadas

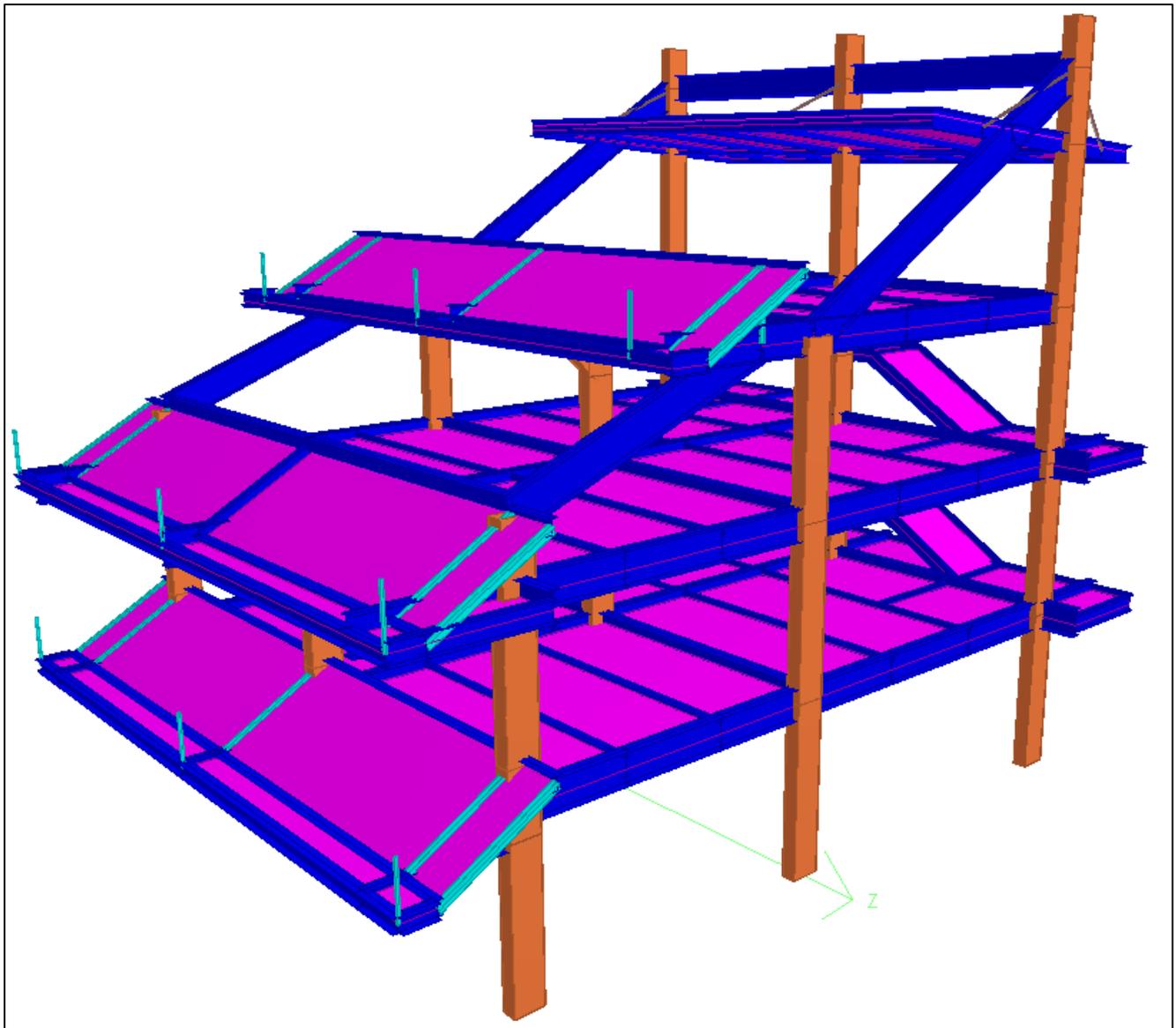


Fig. 2.6 Vista general de las Gradass

2.2.4.1 Modos de vibrar, frecuencias, y periodos de la estructura

Con el análisis de valores introducidos al programa (propiedades geométricas y de materiales), se determinan las propiedades dinámicas de la estructura, en función de la distribución de la rigidez y la masa. Los valores obtenidos son los siguientes:

Modo	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]
1	2.025	0.494
2	2.474	0.404
3	2.663	0.375
4	5.194	0.193
5	6.987	0.143
6	8.963	0.112
7	9.255	0.108
8	10.171	0.098
9	13.698	0.073
10	14.56	0.069
11	14.757	0.068
12	15.05	0.066
13	15.053	0.066
14	15.088	0.066
15	15.291	0.065
16	15.462	0.065
17	15.915	0.063
18	15.952	0.063
19	17.097	0.058
20	17.165	0.058

Tabla 2.3 Modos, frecuencias y periodos de la estructura

2.2.4.2 Parámetros sísmicos

Los siguientes parámetros sísmicos son obtenidos y determinados con base en el tipo de suelo en que se encontrará desplantada la estructura.

Destino	Q	Q'	Factor de importancia
Grupo A	2.0	$Q \times 0.8 = 1.6$	1.5

Zona	C	a ₀	T _a	T _b	r
IIId	0.45	0.1	0.85	4.2	2

Cr
0.1875

Tabla 2.4 Parámetros sísmicos

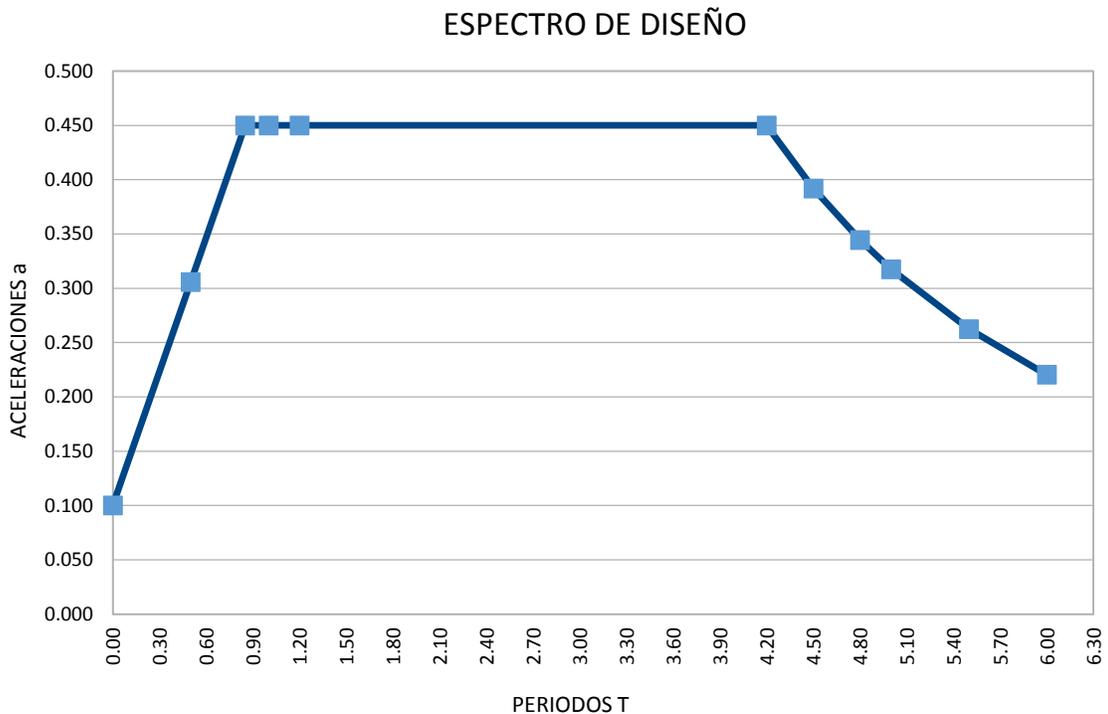


Fig. 2.7 Espectro de diseño

2.2.5 Combinaciones de carga

A continuación se presentan las condiciones y combinaciones de carga utilizados para el análisis y diseño de la estructura.

Combinación	Nombre	Marca
C-01	Carga muerta	CM
C-02	Carga viva máxima	CV máx
C-03	Carga viva instantánea	CV a
C-04	Sismo en dirección X	Sx
C-05	Sismo en dirección Z	Sz
C-06	Torsión por Sx	Tx
C-07	Torsión por Sz	Tz

Tabla 2.5 Condiciones básicas de carga

Combinación	Cargas consideradas
C-08	1.4 (CM + Cvmáx)
C-09	1.1 (CM + CVa) + Q (1.1Sx + 0.33 Sy + 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-10	1.1 (CM + CVa) + Q (1.1Sx - 0.33 Sy + 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-11	1.1 (CM + CVa) + Q (-1.1Sx + 0.33 Sy - 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-12	1.1 (CM + CVa) + Q (-1.1Sx - 0.33 Sy - 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-13	1.1 (CM + CVa) + Q (0.33Sx + 1.1 Sy + 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-14	1.1 (CM + CVa) + Q (0.33Sx - 1.1 Sy + 0.33Tx - 1.1 Ty)
C-15	1.1 (CM + CVa) + Q (-0.33Sx + 1.1 Sy - 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-16	1.1 (CM + CVa) + Q (-0.33Sx - 1.1 Sy - 0.33Tx - 1.1 Ty)

Tabla 2.6 Combinaciones de carga para la revisión de estados límite de servicio

Combinación	Cargas consideradas
C-17	1.4 (CM + Cvmáx)
C-18	1.1 (CM + CVa) + (1.1Sx + 0.33 Sy + 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-19	1.1 (CM + CVa) + (1.1Sx - 0.33 Sy + 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-20	1.1 (CM + CVa) + (-1.1Sx + 0.33 Sy - 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-21	1.1 (CM + CVa) + (-1.1Sx - 0.33 Sy - 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-22	1.1 (CM + CVa) + (0.33Sx + 1.1 Sy + 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-23	1.1 (CM + CVa) + (0.33Sx - 1.1 Sy + 0.33Tx - 1.1 Ty)
C-24	1.1 (CM + CVa) + (-0.33Sx + 1.1 Sy - 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-25	1.1 (CM + CVa) + (-0.33Sx - 1.1 Sy - 0.33Tx - 1.1 Ty)

Tabla 2.7 Combinaciones de carga para la revisión de estados límite de falla

2.3 Análisis de resultados

El artículo 147 del RCDF04 establece que toda edificación debe contar con un sistema estructural que permita el flujo adecuado de las fuerzas que generan las distintas acciones de diseño, para que dichas fuerzas puedan ser transmitidas de manera continua y eficiente hasta la cimentación. Además indica que toda estructura y cada una de sus partes deben diseñarse para cumplir con los requisitos básicos siguientes:

- a) Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada;
- b) No rebasar ningún estado límite de servicio ante combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación.

2.3.1 Revisión de los estados límite de servicio

El RCDF04 define los límites de servicio como la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas.

El índice más importante para determinar la magnitud de los posibles daños, es la distorsión de entrepiso ψ , definida como el desplazamiento relativo entre dos pisos sucesivos, Δ , dividido entre la altura del entrepiso, H. Las deformaciones obtenidas deben ser multiplicadas por el factor de comportamiento sísmico reducido (Q').

$$\Psi = \frac{\Delta}{H}$$

$$\Delta = \Delta_c * Q'$$

Ψ : Distorsión de cada entrepiso

Δ : Desplazamientos

H: Altura de entrepiso

Δ_c : Desplazamientos calculados

Q' : Factor de comportamiento sísmico reducido

Las distorsiones se calcularon a partir de los desplazamientos que se presentan en los diferentes niveles de la estructura, producidos por las combinaciones de carga.

Las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para Diseño por Sismo limitan las distorsiones admisibles a 0.012 por lo que cualquier distorsión que sea mayor a este valor límite será considerado como un comportamiento no satisfactorio.

En la tabla 2.8 se muestran los desplazamientos por nivel, así como sus respectivas distorsiones.

		DIRECCIÓN X			DIRECCIÓN Z		
Entrepiso	H [m]	δ_x [cm]	Δ_x [cm]	ψ_x	δ_z [cm]	Δ_z [cm]	ψ_z
Nivel 1	3.46	1.872	1.87	0.0054	2.9664	2.97	0.0086
Nivel 2	3.32	4.1994	2.3274	0.0070	5.2632	2.2968	0.0069
Nivel 3	3.22	5.5494	1.35	0.0042	6.9156	0.918	0.0029
Nivel 4	3.19	4.5954	0.954	0.0030	8.226	0.728	0.0023
Nivel 5	2.41	5.4414	0.846	0.0035	8.5698	0.191	0.0008

Tabla 2.8 Revisión de desplazamientos

- Desplazamiento máximo registrado:

8.57 cm

-Desplazamiento permisible:

Altura total de la estructura x 0.012

1560 cm x 0.012 = **18.72 cm**

La estructura cumple con los desplazamientos permisibles, según el RCDF04.

A continuación se muestran los isométricos de la configuración deformada de la estructura, producida por la combinación de carga más desfavorable en cada dirección de las gradas. Para ambos casos, los desplazamientos se amplificaron 4 veces de la configuración deformada original.

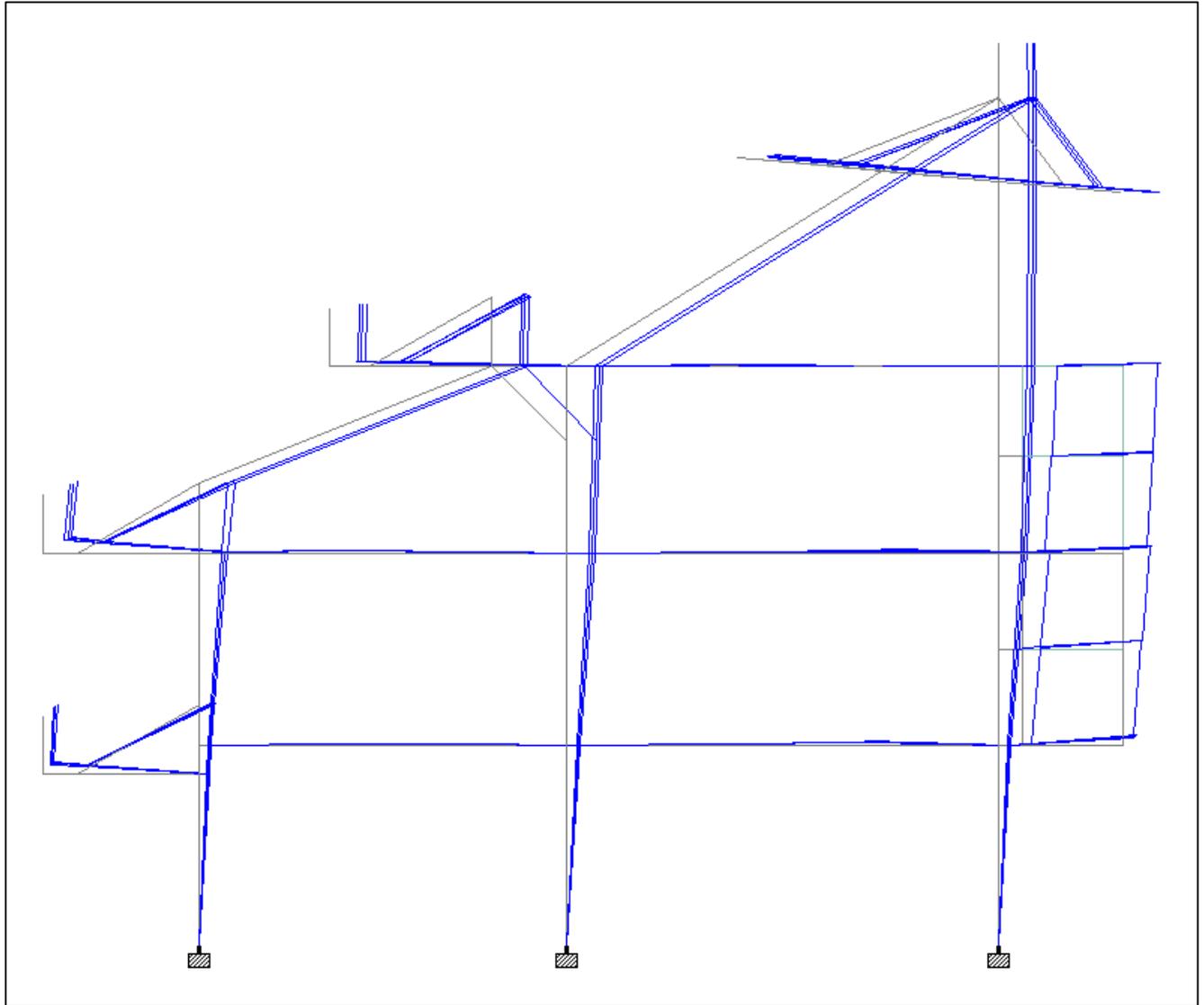


Fig. 2.8 Desplazamiento por sismo en dirección X

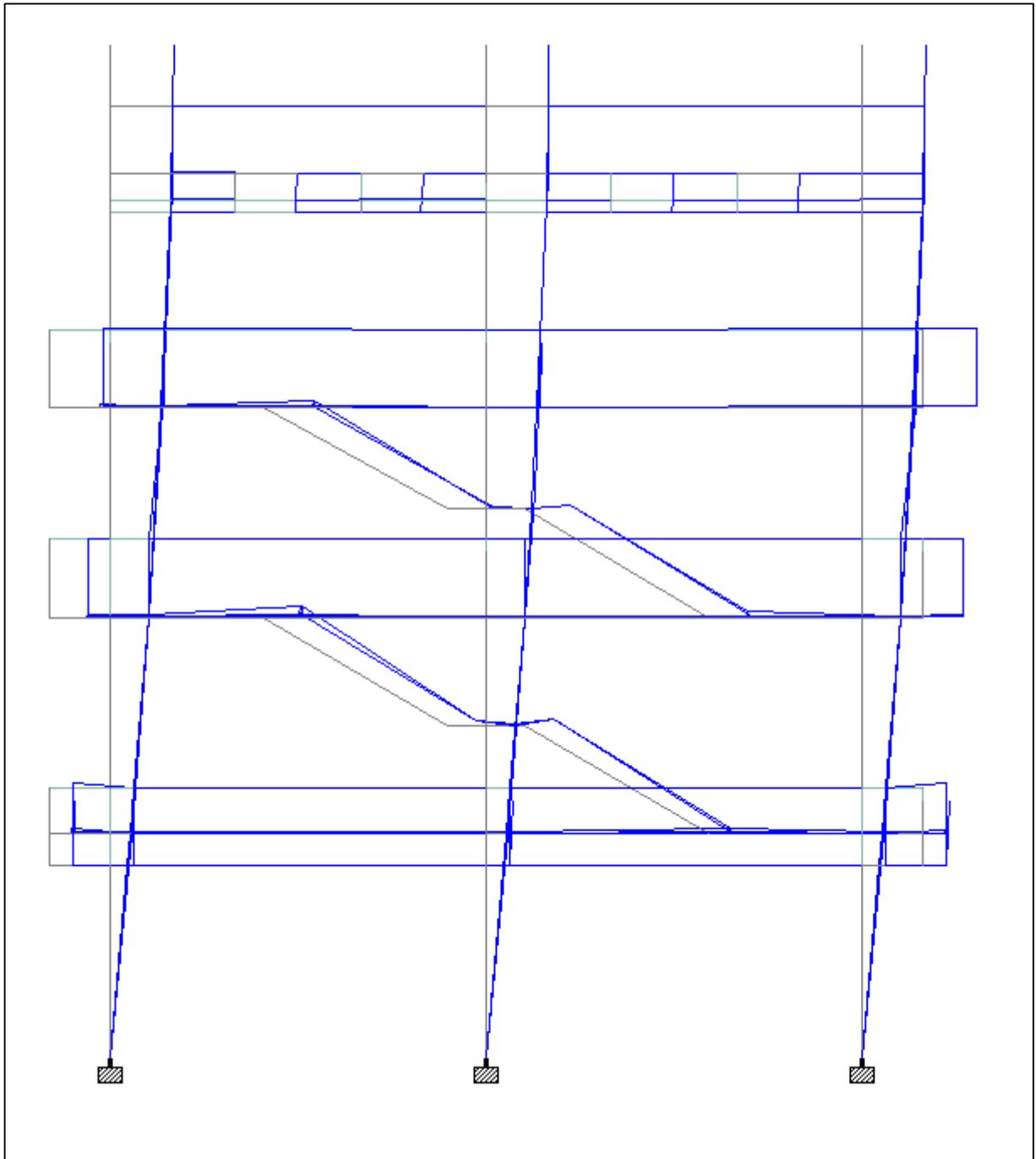


Fig. 2.9 Desplazamiento por sismo en dirección Z

2.3.2 Revisión de los estados límite de falla

En todos los casos, los miembros de la estructura se diseñaron utilizando los valores de los elementos mecánicos más desfavorables, ya fuera por cargas gravitacionales o por combinación de éstas con los efectos sísmicos.

El diseño de los elementos, columnas, traveses y conexiones, de acero se realizó conforme al método Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) del American Institute of Steel Construction (AISC) y los elementos de concreto se diseñaron de acuerdo con las actuales NTC para estructuras de concreto del RCDF04

La relación de esfuerzos actuantes y esfuerzos admisibles es un índice del estado de esfuerzos, inducido en cada elemento como porcentaje de su capacidad, éste se define como:

$$\frac{\sigma_{act}}{\sigma_{adm}} = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Se busca que la relación de esfuerzos en cada elemento de acero de la estructura, no exceda la unidad; si es así, se dice que ese elemento fallaría si se presentara la combinación de carga más crítica con la que fue evaluado el miembro.

2.4 Cimentación

Con objeto de definir la solución de cimentación más conveniente para las nuevas gradas, se encomendó a Ingeniería Experimental hacer la propuesta más óptima.

Para determinar la solución de cimentación se consideraron, entre otros factores mecánicos, los siguientes aspectos:

- La presencia de la rampa que existía en donde se desplantarán las gradas, la cual representa una compensación diferencial
- La cercanía y profundidad de desplante de la cimentación de las gradas actuales
- La diferencia de las cargas que transmite la estructura, por tratarse de tribunas
- La presencia del nivel freático a 2.7 m de profundidad
- La baja resistencia y alta deformabilidad del suelo del sitio

Bajo estas consideraciones la solución de la cimentación más conveniente para la ampliación de las gradas, es un cajón de compensación, desplantado en forma escalonada a 4.6 m de profundidad.

III. CONJUNTO PLAZA CARSO III – TORRE VIVIENDA 2 Y VIVIENDA 3

3.1 Descripción de la obra

Son edificios proyectados en un predio localizado en la Colonia Ampliación Granada, dentro del perímetro de la Delegación Miguel Hidalgo de la Ciudad de México. Se delimita por las calles Presa Falcón al poniente, Lago Zúrich al oriente, al sur por la Plaza Carso I y al norte con propiedad privada. A continuación se indican las características.

Estos edificios pertenecientes al conjunto Plaza Carso III, están destinados para estacionamiento, vivienda departamental, oficinas y comercio.

3.1.1 Descripción estructural

3.1.1.1 Torre Vivienda 1

Consta con 25 niveles, distribuido en 24 niveles tipo y un nivel azotea. Se destinarán para albergar el uso habitacional plurifamiliar. La estructura será a base de marcos formados por columnas de sección compuesta de concreto reforzado y acero estructural; y trabes de concreto alojados en dos direcciones ortogonales. Existirán, además de los marcos, muros de concreto reforzado que contribuyen a la rigidez lateral del edificio.

Los sistemas de piso son a base de una losacero que se apoya en las trabes principales o de los marcos y en otras secundarias.

3.1.1.2 Torre Vivienda 2

Consta con 33 niveles, distribuido en 32 niveles tipo y un nivel azotea. Se destinarán para albergar el uso habitacional plurifamiliar. La estructura será a base de marcos formados por columnas de sección compuesta de concreto reforzado y acero estructural; y trabes de acero alojados en dos direcciones ortogonales. Existirán, además de los marcos, muros de concreto reforzado que contribuyen a la rigidez lateral del edificio.

Los sistemas de piso son a base de una losacero que se apoya en las trabes principales o de los marcos y en otras secundarias.

3.1.1.3 Torre Vivienda 3

Consta con 20 niveles, distribuido en 19 niveles tipo y un nivel azotea. Se destinarán para albergar el uso habitacional plurifamiliar. La estructura será a base de marcos formados por columnas de sección compuesta de concreto reforzado y acero estructural; y trabes de concreto alojados en dos direcciones ortogonales. Existirán, además de los marcos, muros de concreto reforzado que contribuyen a la rigidez lateral del edificio.

Los sistemas de piso son a base de una losacero que se apoya en las trabes principales o de los marcos y en otras secundarias.

3.1.1.4 Torre de Oficinas

Consta con 24 niveles, distribuido en 23 niveles tipo y un nivel azotea. Se destinarán para albergar el uso habitacional plurifamiliar. La estructura será a base de marcos formados por columnas de sección compuesta de concreto reforzado y acero estructural; y traveses de acero alojados en dos direcciones ortogonales. Existirán, además de los marcos, muros de concreto reforzado que contribuyen a la rigidez lateral del edificio.

Los sistemas de piso son a base de una losa de concreto que se apoya en las traveses principales o de los marcos y en otras secundarias.

Para las 4 torres, la distribución de las columnas permanece constante en todos los niveles. Además de los marcos, la torre cuenta con dos núcleos o cubos de elevadores y escaleras, situados estratégicamente al centro del edificio. Dichos núcleos de concreto contribuyen a la rigidez general de la estructura, tomando gran parte de las fuerzas sísmicas.

El conjunto cuenta con 7 sótanos destinados a estacionamientos

Las torres cuentan con cubos de elevadores de concreto reforzado que se desplantan en el sótano 7 y rematan en el sobrepaso, es decir, abarcan toda la altura de cada torre.

Las actividades empleadas en este proyecto, Plaza Carso III, fueron enfocadas a las torres Vivienda 2, y Vivienda 3.

3.1.2 Tipificación de las estructuras

De acuerdo a la normatividad vigente, el RCDF04 conforme al artículo 139, clasifica las edificaciones en grupo, descrito en el Título Sexto referente a la Seguridad Estructural de las Construcciones.

El edificio está clasificado dentro del grupo B1, edificio de con más de 15 m de altura ubicado en la zona I.

3.1.3 Actividades realizadas

Este proyecto comenzó a trabajarse en Junio del 2015, con la solicitud de una estructuración preliminar para poder generar planos con elementos estructurales propuestos y sujetos a cambios debido a un mejor análisis y/o cambios estructurales impuestos por el cliente.

Tomando en cuenta lo anterior, comencé a plantear los modelos en el programa STAAD.Pro v8i para la Torre Vivienda 2 y Vivienda 3 para tener una visión muy aproximada de las secciones a utilizar en las torres y poder mandar propuestas preliminares en planos que justifiquen el trabajo que se está haciendo en el proyecto, y así obtener su licencia para construir. Dicho modelo fue revisado por desplazamientos y esfuerzos en el acero para las trabes, los cuales cumplían con los lineamientos del RCDF04 y el AISC respectivamente.

El proyecto ha estado teniendo cambios estructurales que modifican la estructuración o propuesta de secciones prevista, por lo que sólo se ha generado un modelo para cada torre, en espera de recibir planos últimos de parte del cliente, para poder comenzar a diseñar columnas, trabes, muros y la cimentación.

3.1.4 Plantas y cortes esquemáticos

A continuación se muestran plantas y cortes esquemáticos.

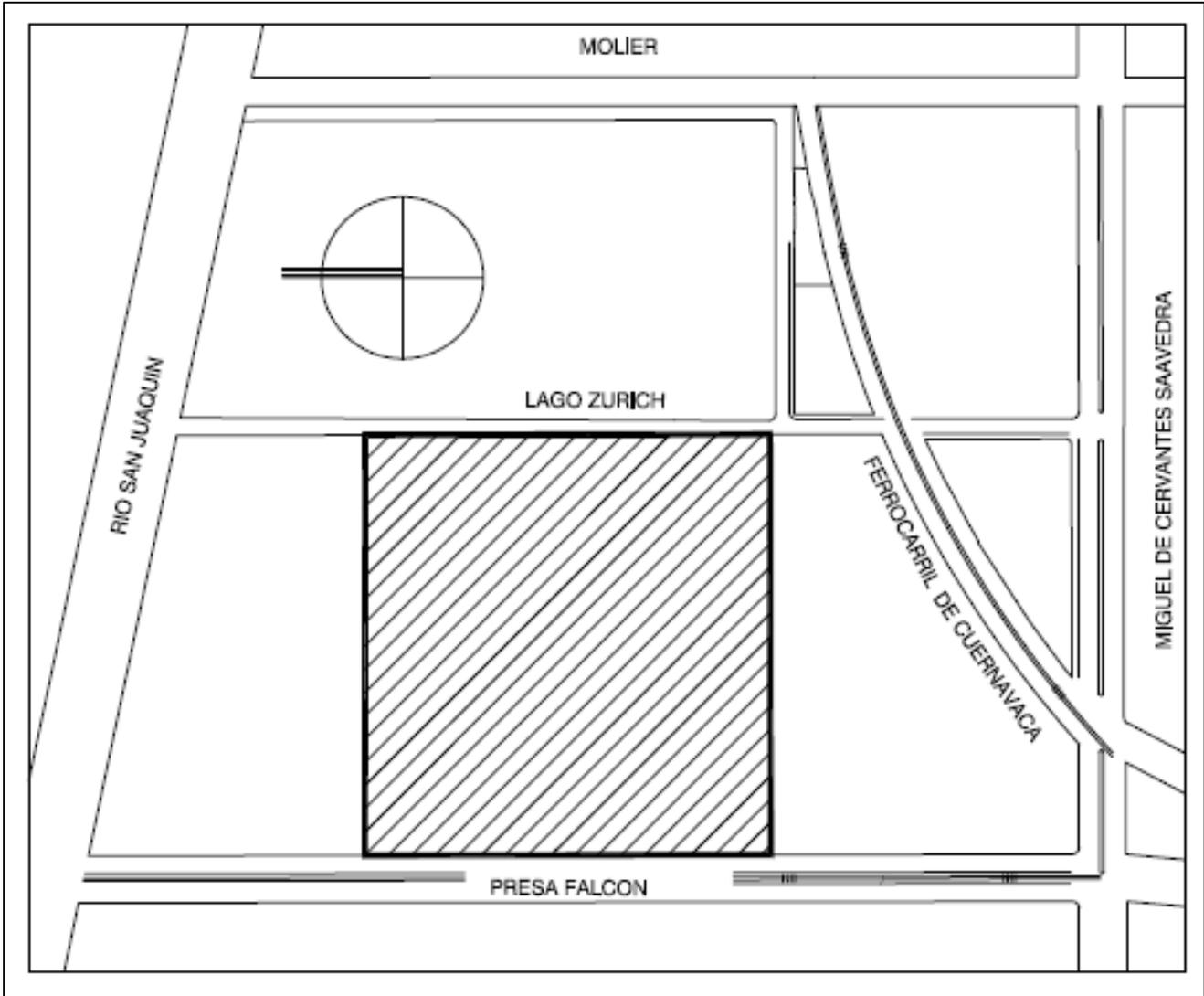


Fig. 3.1 Croquis de localización

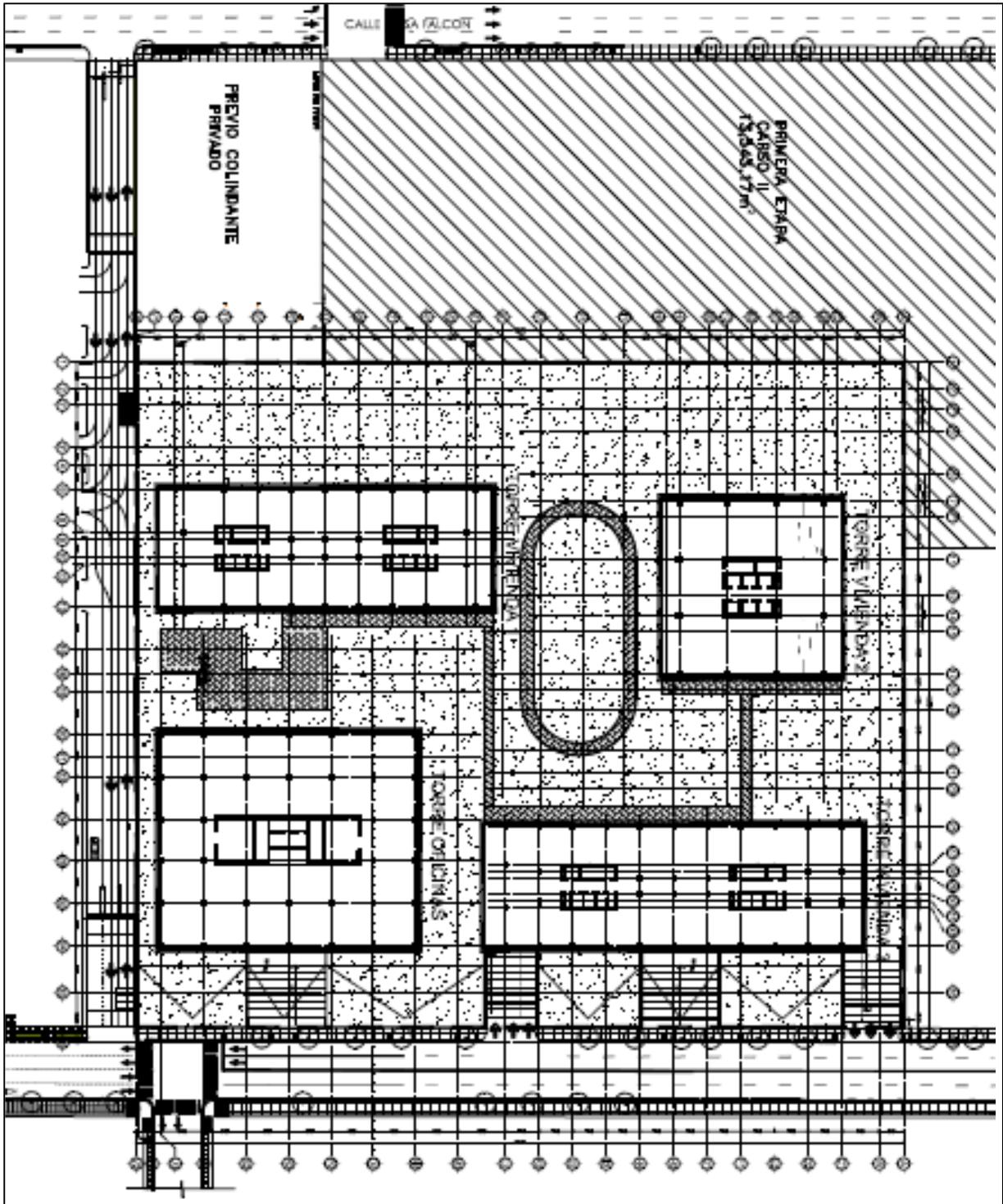


Fig. 3.2 Planta esquemática

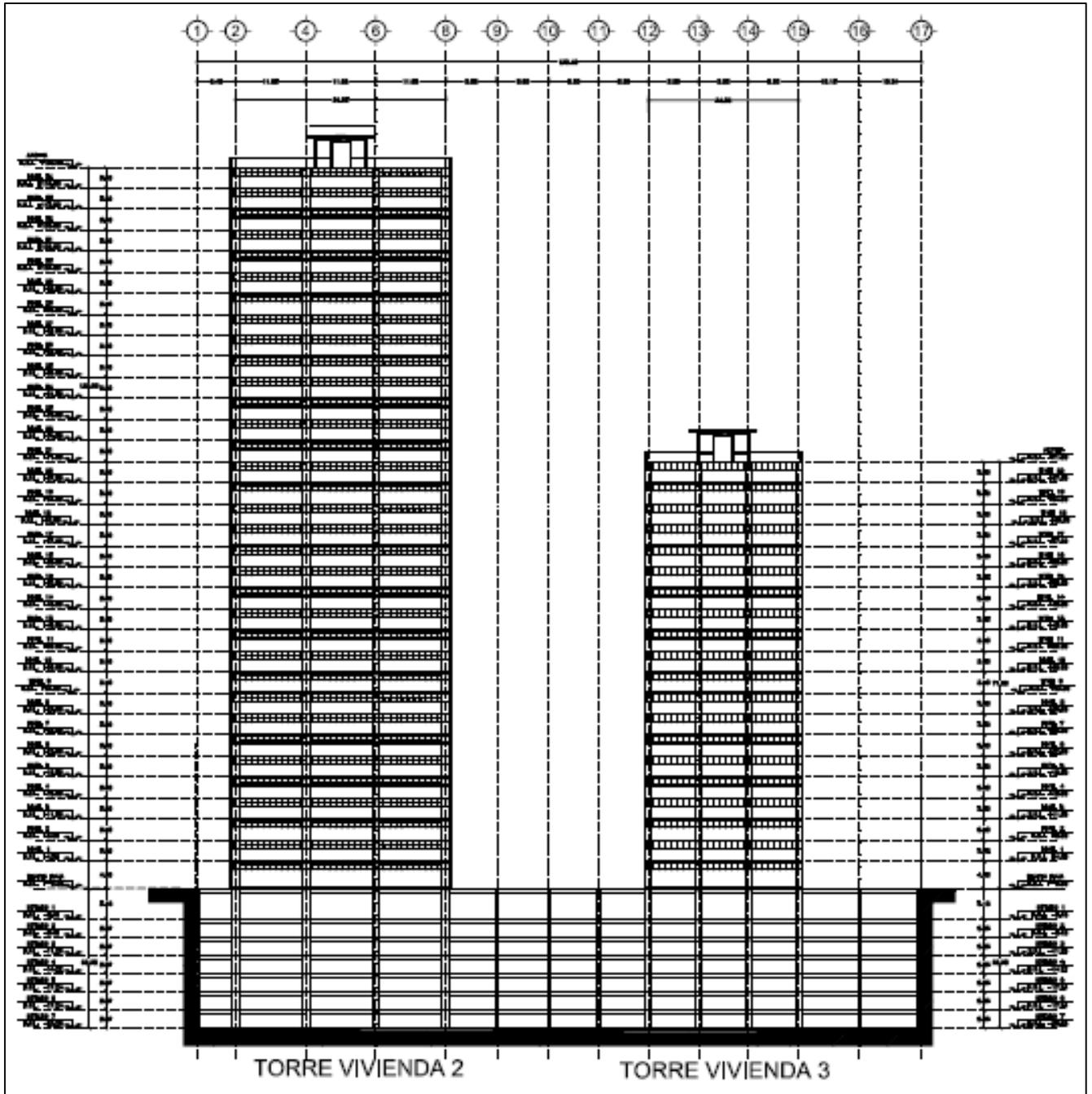


Fig. 3.3 Corte esquemático

NIVELES DE TORRE VIVIENDA 2		
Sótano 7	N.S.L.	-23.28
Sótano 6	N.S.L.	-20.26
Sótano 5	N.S.L.	-17.24
Sótano 4	N.S.L.	-14.22
Sótano 3	N.S.L.	-11.20
Sótano 2	N.S.L.	-8.18
Sótano 1	N.S.L.	-5.16
Planta Baja	N.S.L.	0.00
Nivel 1	N.S.L.	+4.50
Nivel 2	N.S.L.	+8.00
Nivel 3	N.S.L.	+11.50
Nivel 4	N.S.L.	+15.50
Nivel 5	N.S.L.	+18.50
Nivel 6	N.S.L.	+22.00
Nivel 7	N.S.L.	+25.50
Nivel 8	N.S.L.	+29.00
Nivel 9	N.S.L.	+32.50
Nivel 10	N.S.L.	+36.00
Nivel 11	N.S.L.	+39.50
Nivel 12	N.S.L.	+43.00
Nivel 13	N.S.L.	+46.50
Nivel 14	N.S.L.	+50.00
Nivel 15	N.S.L.	+53.50
Nivel 16	N.S.L.	+57.00
Nivel 17	N.S.L.	+60.50
Nivel 18	N.S.L.	+64.00
Nivel 19	N.S.L.	+67.50
Nivel 20	N.S.L.	+71.00

Tabla 3.1 Niveles en Torre Vivienda 2

Nivel 21	N.S.L.	+74.50
Nivel 22	N.S.L.	+78.00
Nivel 23	N.S.L.	+81.5
Nivel 24	N.S.L.	+85.00
Nivel 25	N.S.L.	+88.50
Nivel 26	N.S.L.	+92.00
Nivel 27	N.S.L.	+95.5
Nivel 28	N.S.L.	+99.00
Nivel 29	N.S.L.	+102.50
Nivel 30	N.S.L.	+106.00
Nivel 31	N.S.L.	+109.50
Nivel 32	N.S.L.	+113.00
Nivel Azotea	N.S.L.	+116.50
Nivel Sobrepasso	N.S.L.	+120.00

Tabla 3.1 Niveles en Torre Vivienda 2 (continuación)

NIVELES DE TORRE VIVIENDA 3		
Sótano 7	N.S.L.	-23.28
Sótano 6	N.S.L.	-20.26
Sótano 5	N.S.L.	-17.24
Sótano 4	N.S.L.	-14.22
Sótano 3	N.S.L.	-11.20
Sótano 2	N.S.L.	-8.18
Sótano 1	N.S.L.	-5.16
Planta Baja	N.S.L.	0.00
Nivel 1	N.S.L.	+4.50
Nivel 2	N.S.L.	+8.00
Nivel 3	N.S.L.	+11.50
Nivel 4	N.S.L.	+15.50
Nivel 5	N.S.L.	+18.50
Nivel 6	N.S.L.	+22.00
Nivel 7	N.S.L.	+25.50
Nivel 8	N.S.L.	+29.00
Nivel 9	N.S.L.	+32.50
Nivel 10	N.S.L.	+36.00
Nivel 11	N.S.L.	+39.50
Nivel 12	N.S.L.	+43.00
Nivel 13	N.S.L.	+46.50
Nivel 14	N.S.L.	+50.00
Nivel 15	N.S.L.	+53.50
Nivel 16	N.S.L.	+57.00
Nivel 17	N.S.L.	+60.50
Nivel 18	N.S.L.	+64.00
Nivel 19	N.S.L.	+67.50
Nivel Azotea	N.S.L.	+71.00
Nivel Sobrepasso	N.S.L.	+74.50

Tabla 3.2 Niveles en Torre Vivienda 3

3.2 Estudios analíticos

3.2.1 Análisis de cargas

3.2.1.1 Cargas muertas

Se definieron las cargas muertas con base en el peso propio de los miembros estructurales y al de los elementos arquitectónicos, considerando los pesos unitarios de los materiales que los constituyen.

ESTACIONAMIENTOS	
CONCEPTO	kg/m²
Losa	315
Instalaciones	50
Superficie de rodamiento	120
Sobrecarga R.C.D.F.	40
TOTAL	525

RAMPA Y VIALIDAD INTERNA	
CONCEPTO	kg/m²
Losa (capa compresión 12cm)	360
Instalaciones	50
Sobrecarga R.C.D.F.	20
TOTAL	430

P. BAJA ZONA COMERCIAL	
CONCEPTO	kg/m²
Losa	315
Piso y acabados	120
Plafond	40
Instalaciones	10
Muros y cancelería	60
Sobrecarga R.C.D.F.	40
TOTAL	585

OFICINAS	
CONCEPTO	kg/m ²
Losa	220
Piso y acabados	120
Muros y cancelería	60
Plafond	40
Sobrecarga R.C.D.F.	40
Instalaciones	10
TOTAL	490

AZOTEA	
CONCEPTO	kg/m ²
Losa	220
Rellenos	150
Enladrillado y mortero	120
Plafond	20
Sobrecarga R.C.D.F.	40
Impermeabilizante	10
Instalaciones	10
TOTAL	570

FACHADA	60 kg/m ²
---------	----------------------

Tabla 3.3 Cargas muertas consideradas

3.2.1.2 Cargas Vivas

CARGA VIVA MÁXIMA	
CONCEPTO	kg/m ²
Estacionamientos	250
Rampa y vialidad interna	800
P.B. y zona comercial	350
Oficinas	250
Azotea	200

CARGA VIVA INSTANTÁNEA	
CONCEPTO	kg/m²
Estacionamientos	100
Rampa y vialidad interna	650
P.B. y zona comercial	250
Oficinas	180
Azotea	100

CARGA VIVA MEDIA	
CONCEPTO	kg/m²
Estacionamientos	40
Rampa y vialidad interna	40
P.B. y zona comercial	40
Oficinas	40
Azotea	15

Tabla 3.4 Cargas vivas consideradas

3.2.2 Materiales empleados

Concreto $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en losacero

Concreto $f'c = 450 \text{ Kg/cm}^2$ en columnas y muros de sótano 8 a planta baja.

Concreto $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ en columnas y muros de planta baja a azotea

Clase 1, P.V. fresco igual o mayor a 2.2 Ton/m^3

Acero de Refuerzo $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Acero estructural A.S.T.M. A-992 con $F_y = 3515 \text{ Kg/cm}^2$ en perfiles W y placas.

3.2.3 Factores de carga y resistencia

Cargas gravitacionales (carga muerta + carga viva): F.C. = 1.4

Flexión: F.R. = 0.9

Cortante: F.R. = 0.8

Flexocompresión: F.R. = 0.8

Aplastamiento: F.R. = 0.7

3.2.4 Análisis estructural

Para el análisis se realizó un modelo tridimensional representativo de la estructura, introduciendo los elementos estructurales que la conforman para procesarla mediante el programa de computadora STAAD Pro V8i, además se consideró la hipótesis de un comportamiento elástico-lineal de la estructura con el cual se determina, en primera instancia, el periodo fundamental de la estructura, seguido de evaluar los efectos sísmicos con el método de análisis sísmico dinámico espectral.

El sistema de piso se idealiza como un diafragma rígido que permite sólo desplazamientos horizontales y verticales, así como el giro alrededor de su eje vertical, sin permitir deformaciones significativas en su plano.

Se consideró el peso propio de la estructura y la carga permanente más la carga viva. Los elementos mecánicos obtenidos en este estudio se combinaron con los resultados obtenidos del análisis sísmico para obtener la condición de carga crítica más desfavorable para los elementos de la estructura, y realizar el diseño para esa combinación. Cabe mencionar que las trabes principales y secundarias, se analizaron como trabes de sección compuesta, con el fin de hacerlas actuar en conjunto de la losacero para aumentar las propiedades de la trabe, permitiendo reducir el tamaño y costo, hasta en un 30%, de los elementos de acero a utilizar, y así poder usar perfiles de acero más ligeros, lo que garantiza un menor peso total de la estructura y, a su vez, también disminuir los volúmenes de la cimentación.

A continuación se muestran los isométricos del modelo renderizado en STAAD.Pro

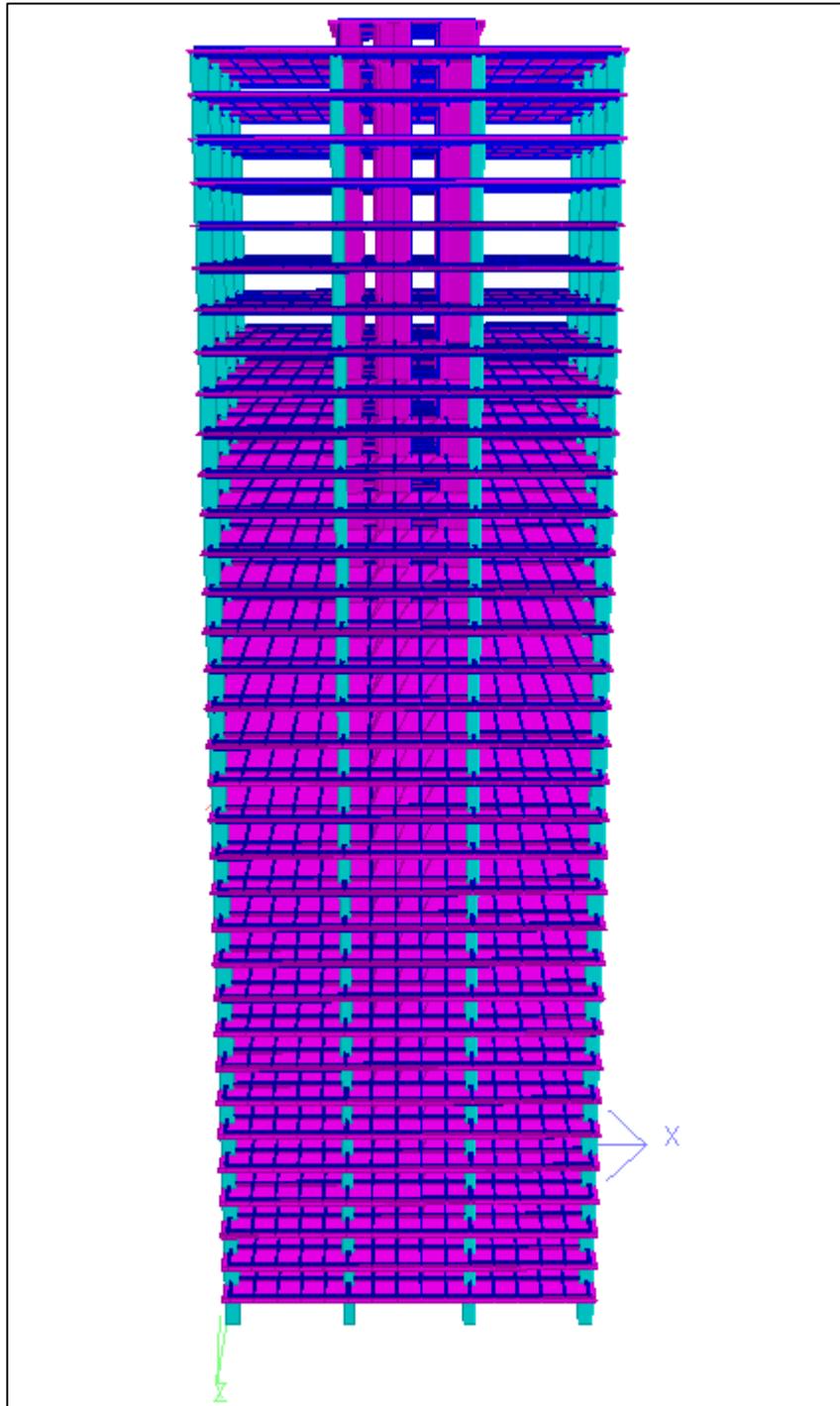


Fig. 3.4 Vista frontal de Torre Vivienda 2

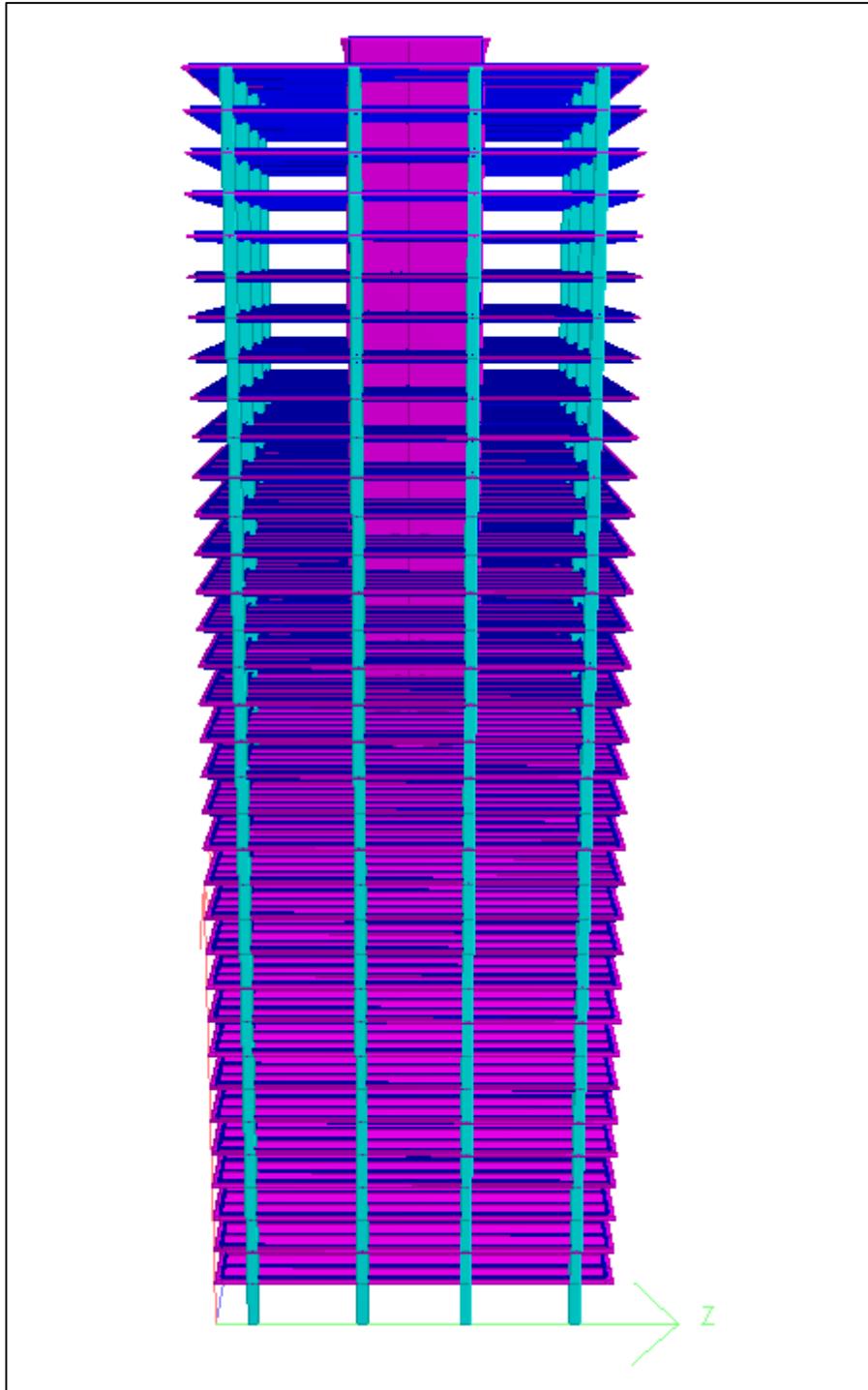


Fig. 3.5 Vista longitudinal de Torre Vivienda 2

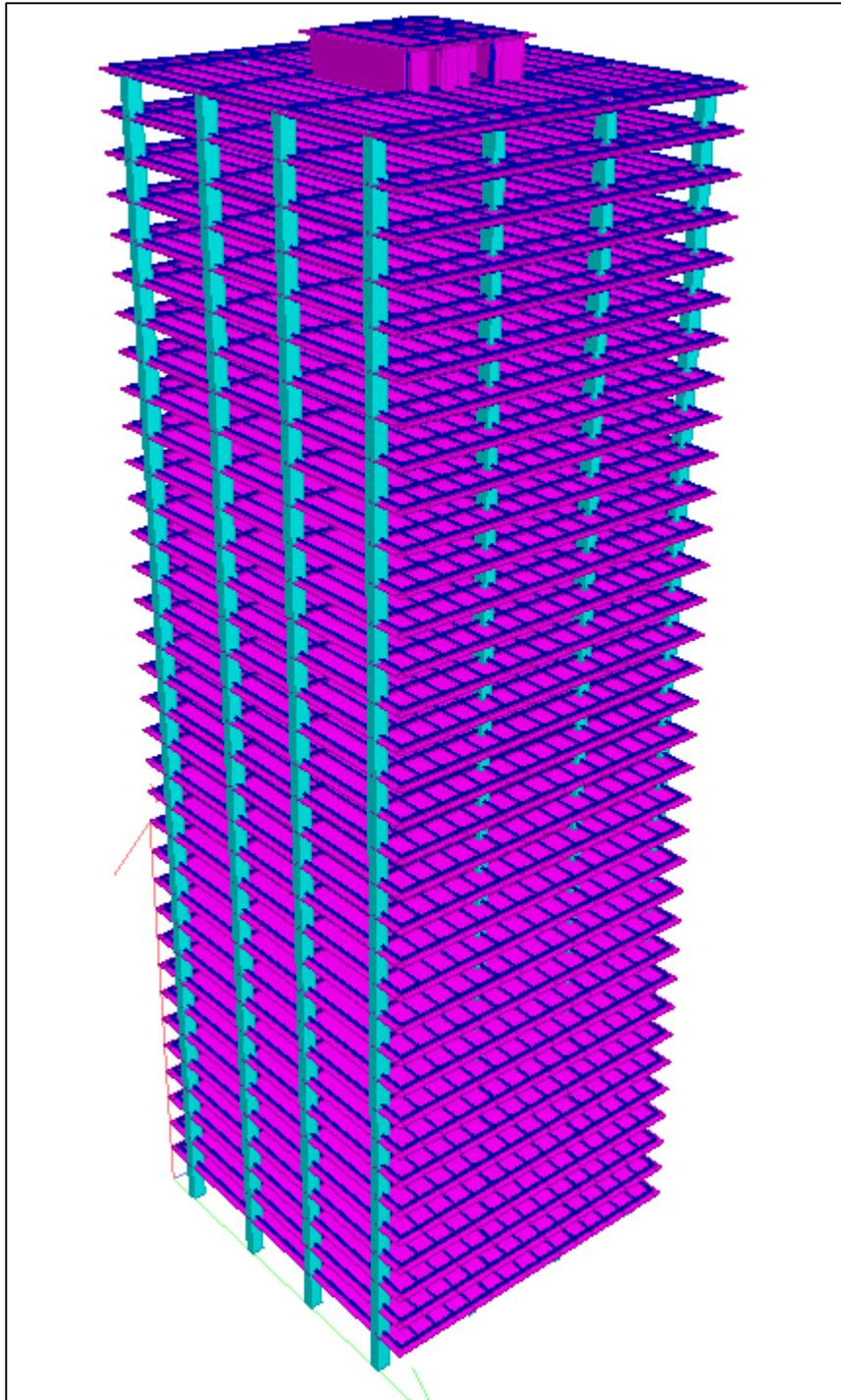


Fig. 3.6 Vista general de Torre Vivienda 2

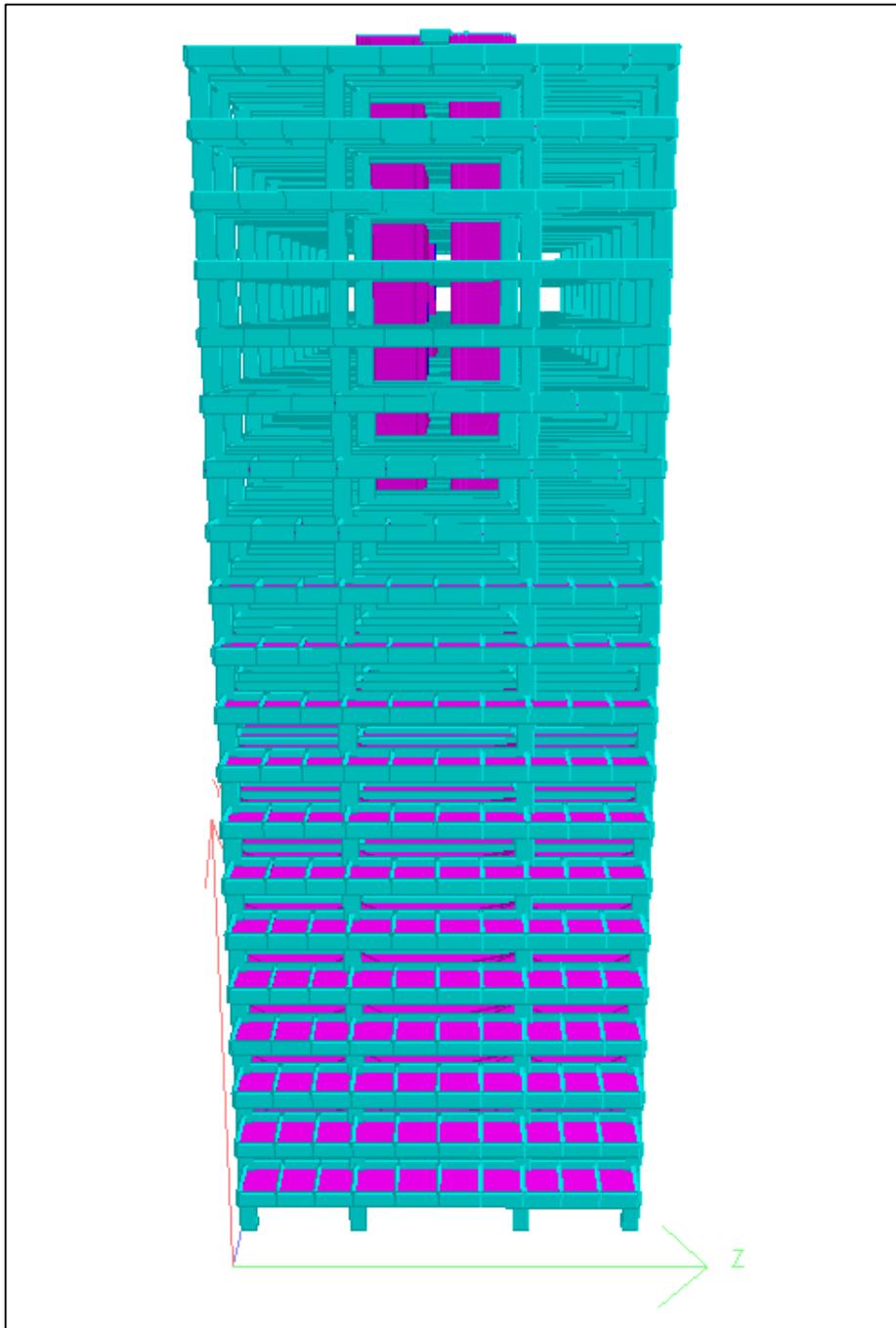


Fig. 3.7 Vista frontal de Torre Vivienda 3

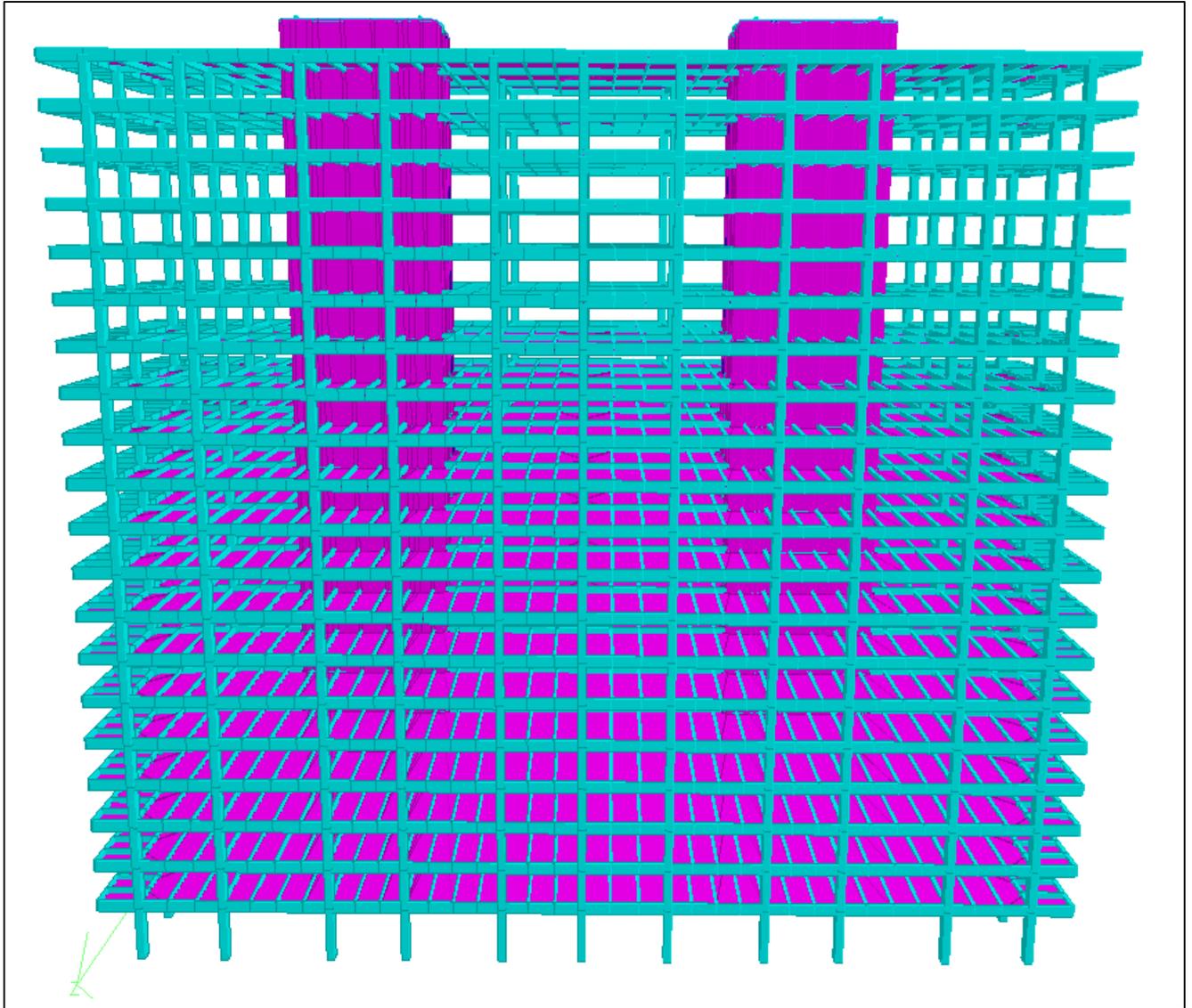


Fig. 3.8 Vista longitudinal de Torre Vivienda 3

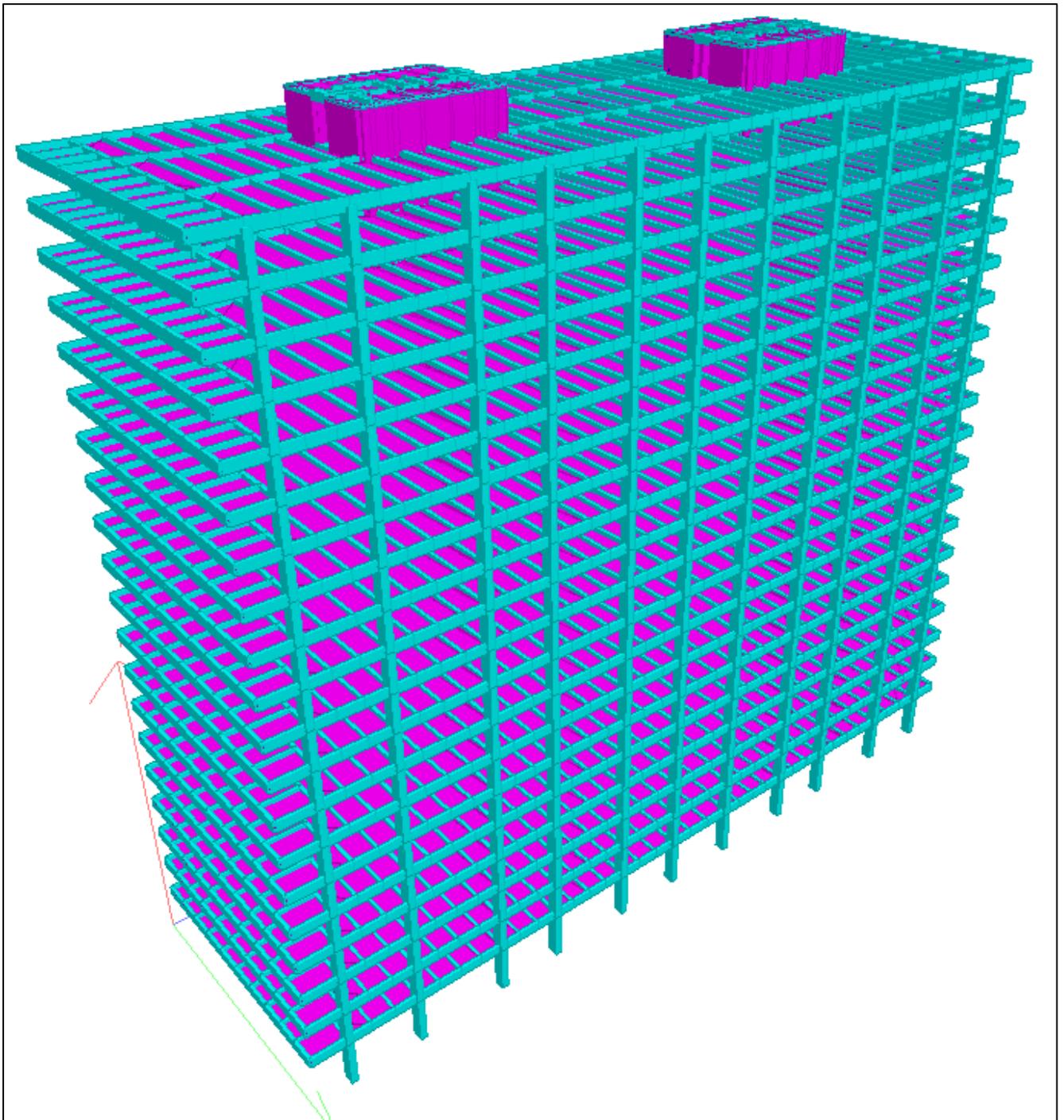


Fig. 3.9 Vista general de Torre Vivienda 3

3.2.4.1 Modos de vibrar, frecuencias y periodos de las estructuras

Con el análisis de valores introducidos al programa (propiedades geométricas y de materiales), se determinan las propiedades dinámicas de la estructura, en función de la distribución de la rigidez y la masa. Los valores obtenidos son los siguientes:

VIVIENDA 2		
Modo de Vibrar	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]
1	0.263	3.807
2	0.33	3.028
3	0.392	2.549
4	0.962	1.039
5	1.312	0.762
6	1.762	0.567
7	2.007	0.498
8	2.577	0.388
9	3.244	0.308
10	4.065	0.246
11	4.61	0.217
12	4.745	0.211
13	5.475	0.183
14	6.468	0.155
15	6.642	0.151
16	7.574	0.132
17	8.308	0.12
18	8.39	0.119
19	8.401	0.119
20	9.175	0.109

Tabla 3.5 Modos, frecuencias y periodos de la Torre Vivienda 2

VIVIENDA 3		
Modo de Vibrar	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]
1	0.586	1.707
2	0.612	1.633
3	0.788	1.269
4	2.067	0.484
5	2.113	0.473
6	3.388	0.295
7	3.975	0.252
8	4.3	0.233
9	5.904	0.169
10	5.936	0.168
11	6.285	0.159
12	6.474	0.154
13	7.07	0.141
14	7.274	0.137
15	7.559	0.132
16	7.947	0.126
17	8.408	0.119
18	8.836	0.113
19	9.029	0.111
20	9.888	0.101

Tabla 3.6 Modos, frecuencias y periodos de la Torre Vivienda 3

3.2.4.2 Parámetros sísmicos

Los siguientes parámetros sísmicos son obtenidos y determinados con base en el tipo de suelo en que se encontrará desplantada la estructura

Destino	Q	Q'	Factor de importancia
Grupo B	2.0	$Q \times 0.8 = 1.6$	1.4

Zona	C	a_0	Ta	Tb	r
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1

Cr
0.1875

Tabla 3.7 Parámetros sísmicos

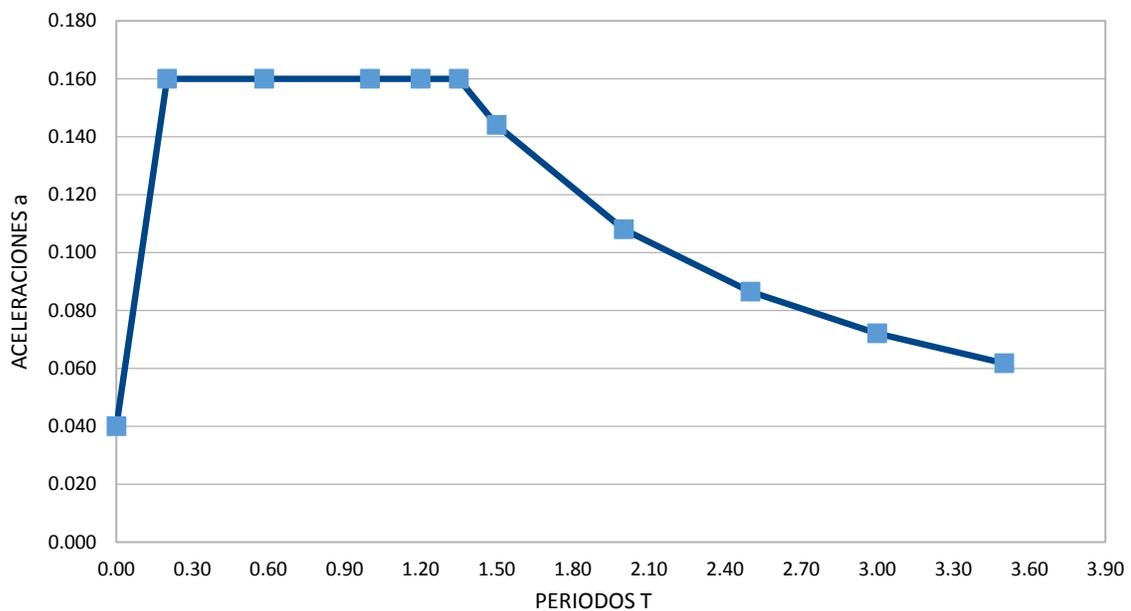


Fig. 3.10 Espectro de diseño para zona 1

3.2.5 Combinaciones de carga

A continuación se presentan las condiciones y combinaciones de carga utilizados para el análisis y diseño de la estructura.

Combinación	Nombre	Marca
C-01	Carga muerta	CM
C-02	Carga viva máxima	CV máx
C-03	Carga viva instantánea	CV a
C-04	Sismo en dirección X	Sx
C-05	Sismo en dirección Z	Sz
C-06	Torsión por Sx	Tx
C-07	Torsión por Sz	Tz

Tabla 3.8 Condiciones básicas de carga

Combinación	Cargas consideradas
C-08	1.4 (CM + Cvmáx)
C-09	1.1 (CM + CVa) + Q (1.1Sx + 0.33 Sy + 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-10	1.1 (CM + CVa) + Q (1.1Sx - 0.33 Sy + 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-11	1.1 (CM + CVa) + Q (-1.1Sx + 0.33 Sy - 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-12	1.1 (CM + CVa) + Q (-1.1Sx - 0.33 Sy - 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-13	1.1 (CM + CVa) + Q (0.33Sx + 1.1 Sy + 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-14	1.1 (CM + CVa) + Q (0.33Sx - 1.1 Sy + 0.33Tx - 1.1 Ty)
C-15	1.1 (CM + CVa) + Q (-0.33Sx + 1.1 Sy - 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-16	1.1 (CM + CVa) + Q (-0.33Sx - 1.1 Sy - 0.33Tx - 1.1 Ty)

Tabla 3.9 Combinaciones de carga para la revisión de estados límite de servicio

Combinación	Cargas consideradas
C-17	1.4 (CM + Cvmáx)
C-18	1.1 (CM + CVa) + (1.1Sx + 0.33 Sy + 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-19	1.1 (CM + CVa) + (1.1Sx - 0.33 Sy + 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-20	1.1 (CM + CVa) + (-1.1Sx + 0.33 Sy - 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-21	1.1 (CM + CVa) + (-1.1Sx - 0.33 Sy - 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-22	1.1 (CM + CVa) + (0.33Sx + 1.1 Sy + 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-23	1.1 (CM + CVa) + (0.33Sx - 1.1 Sy + 0.33Tx - 1.1 Ty)
C-24	1.1 (CM + CVa) + (-0.33Sx + 1.1 Sy - 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-25	1.1 (CM + CVa) + (-0.33Sx - 1.1 Sy - 0.33Tx - 1.1 Ty)

Tabla 3.10 Combinaciones de carga para la revisión de estados límite de falla

3.3 Análisis de resultados

Como se mencionó antes, los trabajos que se realizaron en esta etapa del proyecto, son preliminares para emitir la licencia de construcción. Tomando esto en cuenta, el análisis de resultados consistió, para fines prácticos, en verificar que los desplazamientos máximos registrados en cada torre no excedan lo permisible indicado en el RCDF04, así como cuidar que las secciones principales propuestas en los modelos estén sobradas al menos un 15%, con la finalidad de poder adaptar las secciones cuando se tenga la información y planos arquitectónicos definitivos.

3.3.1 Revisión de los estados límite de servicio

– Torre Vivienda 2

-Desplazamiento máximo registrado:

62.439 cm (dirección Z)

-Desplazamiento permisible:

Altura total de la torre x 0.012

12,000 cm x 0.012 = 144.00 cm

– Torre Vivienda 3

-Desplazamiento máximo registrado:

48.023 cm (dirección X)

-Desplazamiento permisible:

Altura total de la torre x 0.012

7,100 cm x 0.012 = 85.20 cm

Las estructuras cumple con los desplazamientos permisibles, según el RCDF04.

A continuación se muestran los isométricos de la configuración deformada de las estructuras, producida por la combinación de carga más desfavorable en cada dirección de las torres. Para ambos casos, los desplazamientos se amplificaron 4 veces de la configuración deformada original.

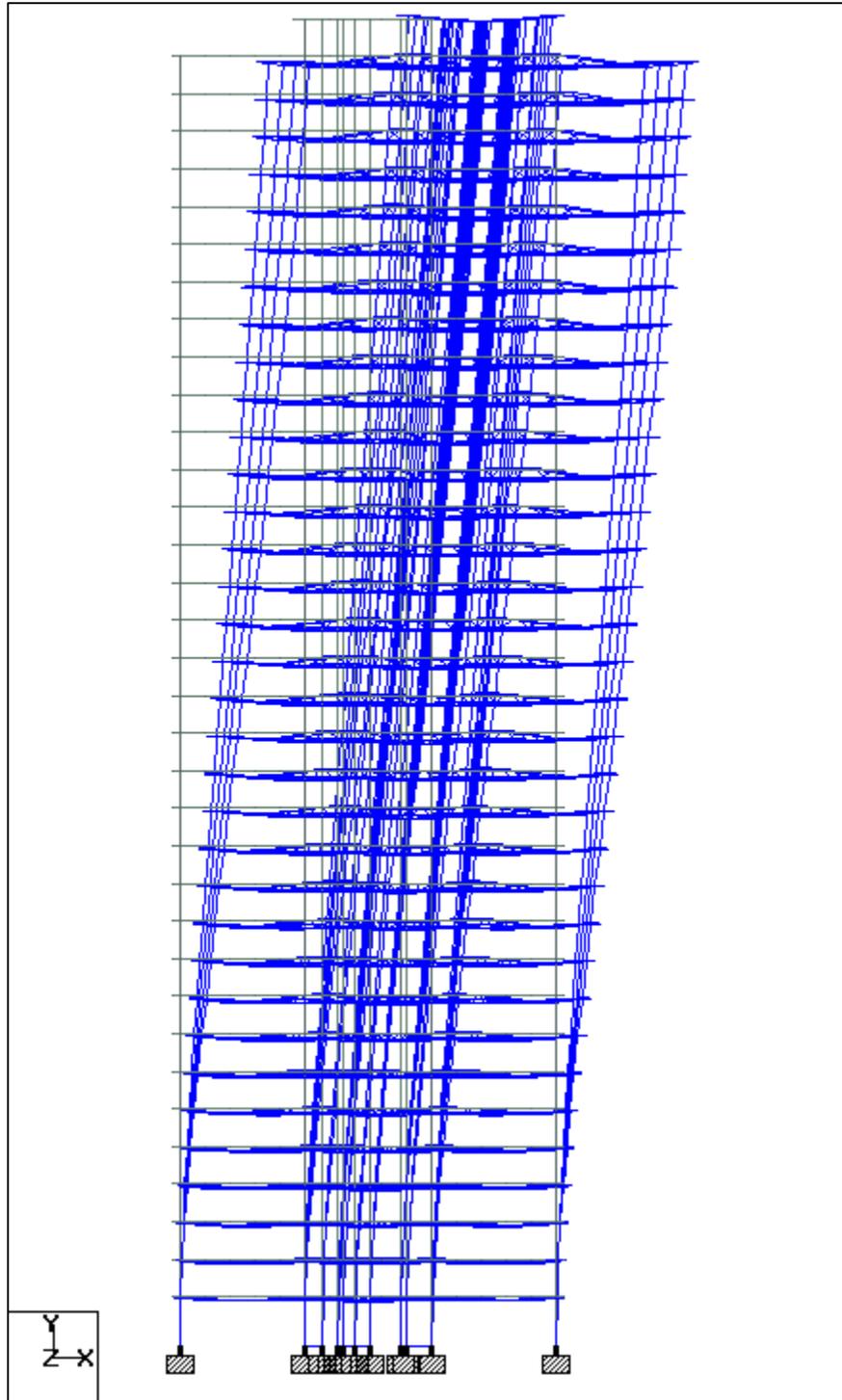


Fig.3.11 Desplazamiento de Torre Vivienda 2 por sismo en dirección X

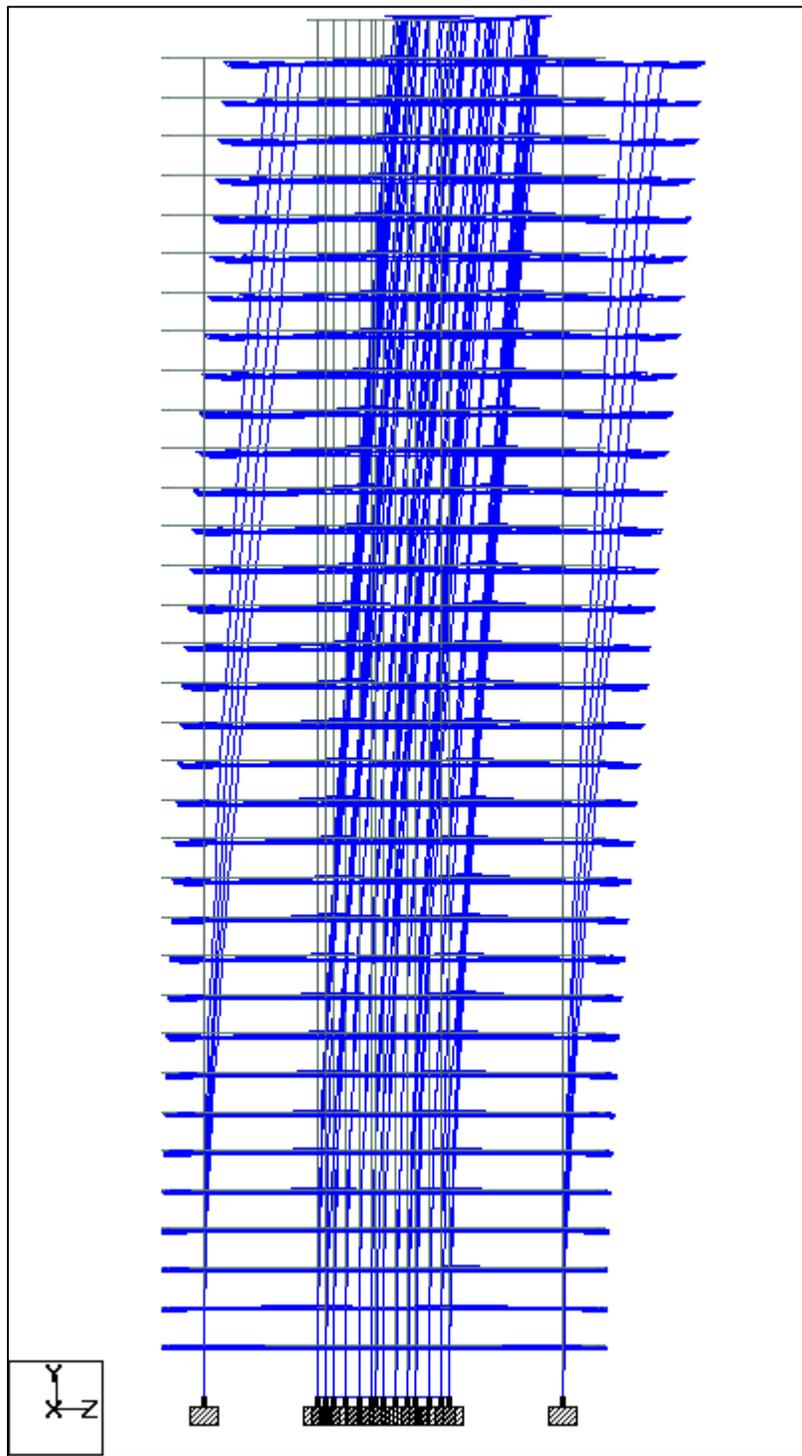


Fig. 3.12 Desplazamiento de Torre Vivienda 2 por sismo en dirección Z

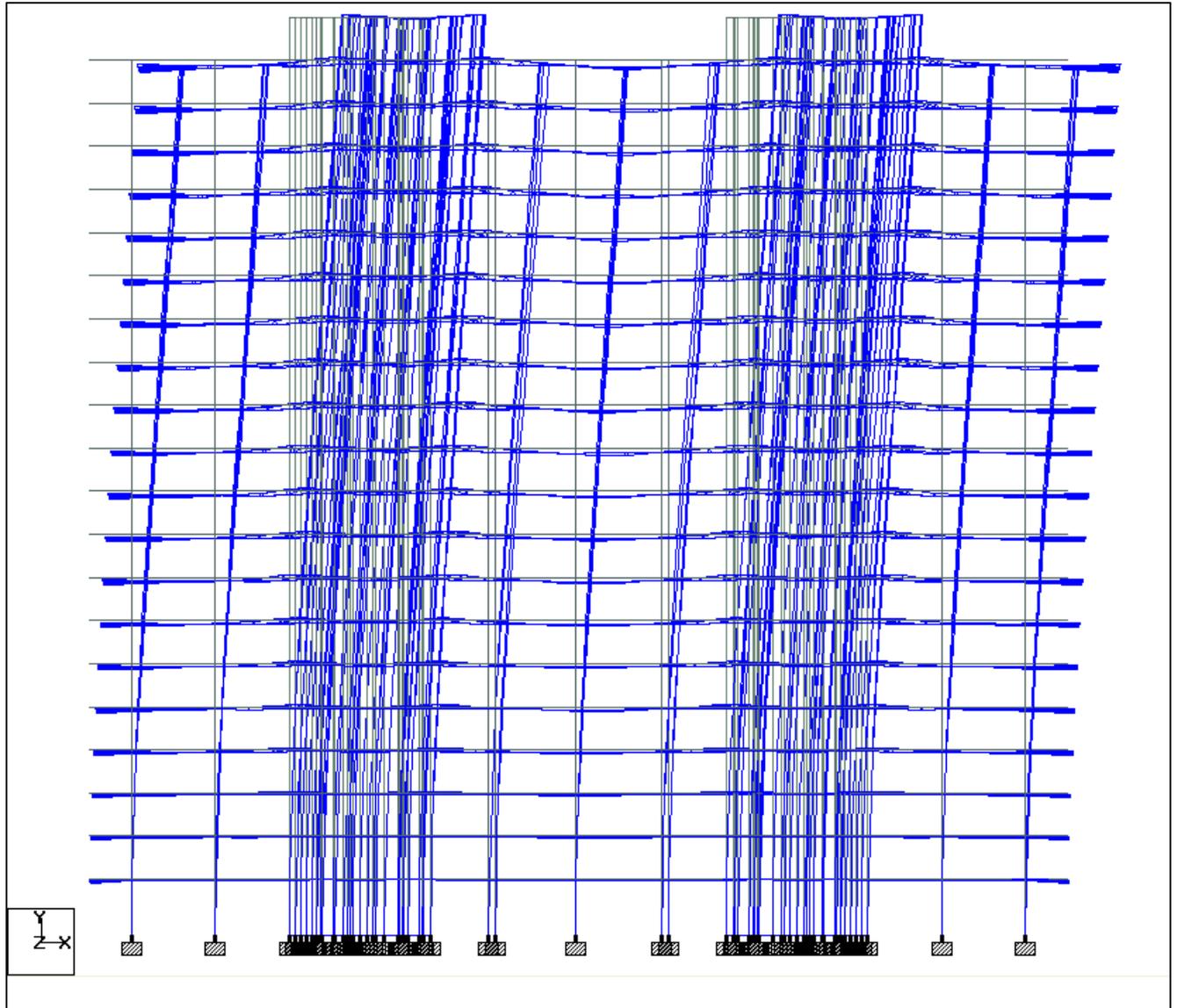


Fig. 3.13 Desplazamiento de Torre Vivienda 3 por sismo en dirección X

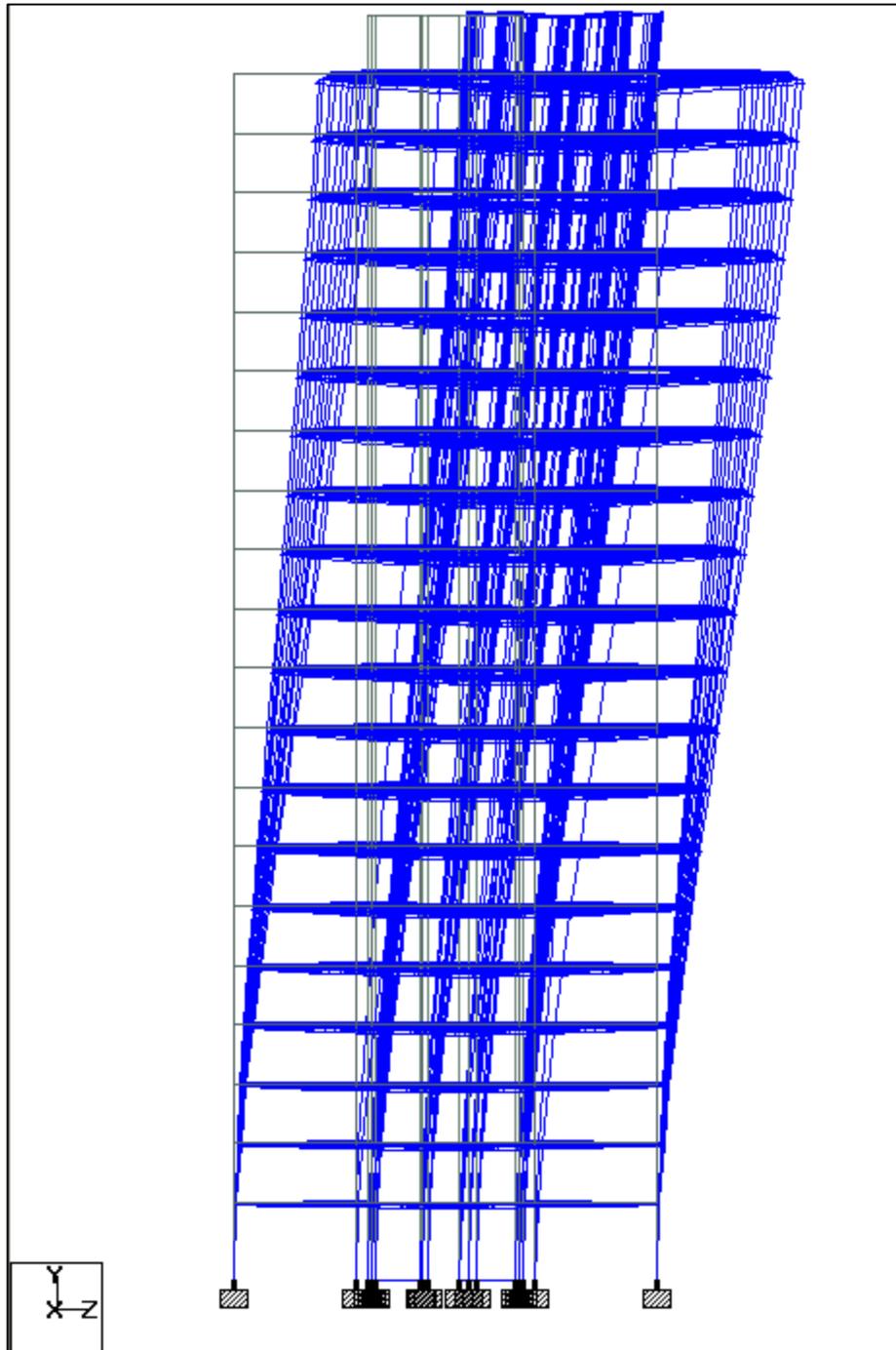


Fig. 3.14 Desplazamiento de Torre Vivienda 3 por sismo en dirección Z

IV. CONJUNTO NASA – TORRE DE OFICINAS

4.1 Descripción de la obra

El predio se encuentra localizado en la Colonia Periodistas, dentro del perímetro de la Delegación Miguel Hidalgo de la Ciudad de México, Distrito Federal. Se delimita por las calles Rafael Reyes Espíndola al norte, boulevard Manuel Ávila Camacho al este, al sur por Dolores Jiménez y al este con Rafael Alducin.

Este conjunto consta de ocho niveles destinados a estacionamientos, dos torres para vivienda departamental, una torre destinada a oficinas y una planta baja comercial.

4.1.1 Descripción estructural

4.1.1.1 Torre Vivienda A y B

Consta con 22 niveles, distribuido en 20 niveles tipo y un nivel azotea. Se destinarán para albergar el uso habitacional plurifamiliar. La estructura será a base de marcos formados por columnas de sección compuesta de concreto reforzado y acero estructural; y trabes de acero estructural alojados en dos direcciones ortogonales. Existirán, además de los marcos, muros de concreto reforzado que contribuyen a la rigidez lateral del edificio.

Los sistemas de piso son a base de una losacero que se apoya en las trabes principales o de los marcos y en otras secundarias.

4.1.1.2 Torre de Oficinas

Consta de 22 niveles, distribuido 20 plantas tipo y un nivel de azotea. Se destinará para albergar oficinas.

La estructura será a base de marcos formados por columnas compuestas de concreto reforzado y acero estructural, el cual consiste en perfiles W embebidos en la columna misma. Las secciones de las columnas son de 90 cm en los 8 sótanos, y 80 cm en toda la altura de la torre a partir de la planta baja.

La distribución de las columnas permanece constante en todos los niveles.

Las trabes de acero estructural son alojadas en dos direcciones ortogonales. Las principales serán perfiles W24"x55 lb/ft y W24"x62 lb/ft en el otro sentido de los ejes, más resistentes debido a que son las que soportan a las trabes secundarias.

Las trabes secundarias serán de perfil W18"x35 lb/ft en todos los entre-ejes, excepto dentro y alrededor de los cubos de elevadores, éstas serán de W16"x26 lb/ft.

Además de los marcos, la torre cuenta con dos núcleos o cubos de elevadores y escaleras, situados estratégicamente al centro del edificio. Dichos núcleos de concreto contribuyen a la rigidez general de la estructura, tomando gran parte de las fuerzas sísmicas.

Estos muros se desplantan en el sótano 8 y rematan en el sobrepaso, es decir, abarcan toda la altura de la torre.

NIVELES	ESPESOR [cm]
De sótano 8 a planta baja	60
De planta baja a nivel 10	50
De nivel 10 a nivel 22	40

Tabla 4.1 Espesor de muros de concreto en cubo de elevadores

El sistema de piso es a base de una losacero calibre 22 que se apoya en las traveses principales o de los marcos y en otras secundarias, con una capa de compresión de 6 cm, reforzada con una malla electrosoldada de 6x6-4/4.

4.1.2 Tipificación de la estructura

De acuerdo a la normatividad vigente, el RCDF04 conforme al artículo 139, clasifica las edificaciones en grupo, descrito en el Título Sexto referente a la Seguridad Estructural de las Construcciones.

El edificio está clasificado dentro del grupo B1, edificio con más de 15 m de altura ubicado en la zona I.

4.1.3 Actividades realizadas

El proyecto inicial comenzó a trabajarse en Agosto del 2015, generándose planos de la *Torre de Oficinas* para solicitar y aprobar la licencia para construir la obra. El proyecto ya había sido iniciado por dos ingenieros, quienes se dieron a la tarea de estructurar y plantear el modelo en STAAD.Pro. Dicho modelo fue revisado por desplazamientos y esfuerzos en el acero para las traveses, los cuales cumplían con los lineamientos del RCDF04 y el AISC respectivamente.

Como con frecuencia sucede, fue solicitada una nueva propuesta estructural de la torre de oficinas, debido a que se agregó un eje de columnas en cada sentido, con la finalidad de acortar los claros tipo que se tenían, de 10.7 m a 8.7 m. La tarea de proponer una geometría reducida de los elementos estructurales debido los cambios antes mencionados, se me fue encomendada, así como la generación del nuevo modelo en el programa STAAD.Pro.

Seguido de haber realizado el modelo en STAAD.Pro, se hizo la revisión de desplazamientos, esfuerzos en traveses de acero, elementos mecánicos en muros y columnas de concreto, y las descargas en la cimentación con la finalidad de cumplir con las limitantes que se estipulan en el RCDF04 y el AISC.

La cimentación, en un principio fue propuesta con una losa de 30 cm de espesor, pero después de haber hecho un estudio de mecánico de suelos, se consideró que la resistencia del suelo era mayor que la que se estaba contemplando por la zona en la que se encuentra el predio. Dicho estudio ayudó a resolver la cimentación con zapatas ligadas en sus dos direcciones.

Se comenzaron a generar los planos tipo de la estructura, abarcando cimentación, columnas, traveses principales y secundarias, muros de cortante y de contención, conexiones tipo, refuerzo de losa en ductos, escaleras, cisternas y plantas de tratamiento, entre otros. Es importante aclarar que estos planos se usarán únicamente para emitir la licencia de construcción.

4.1.4 Plantas y cortes esquemáticos

A continuación se muestran plantas y cortes esquemáticos.

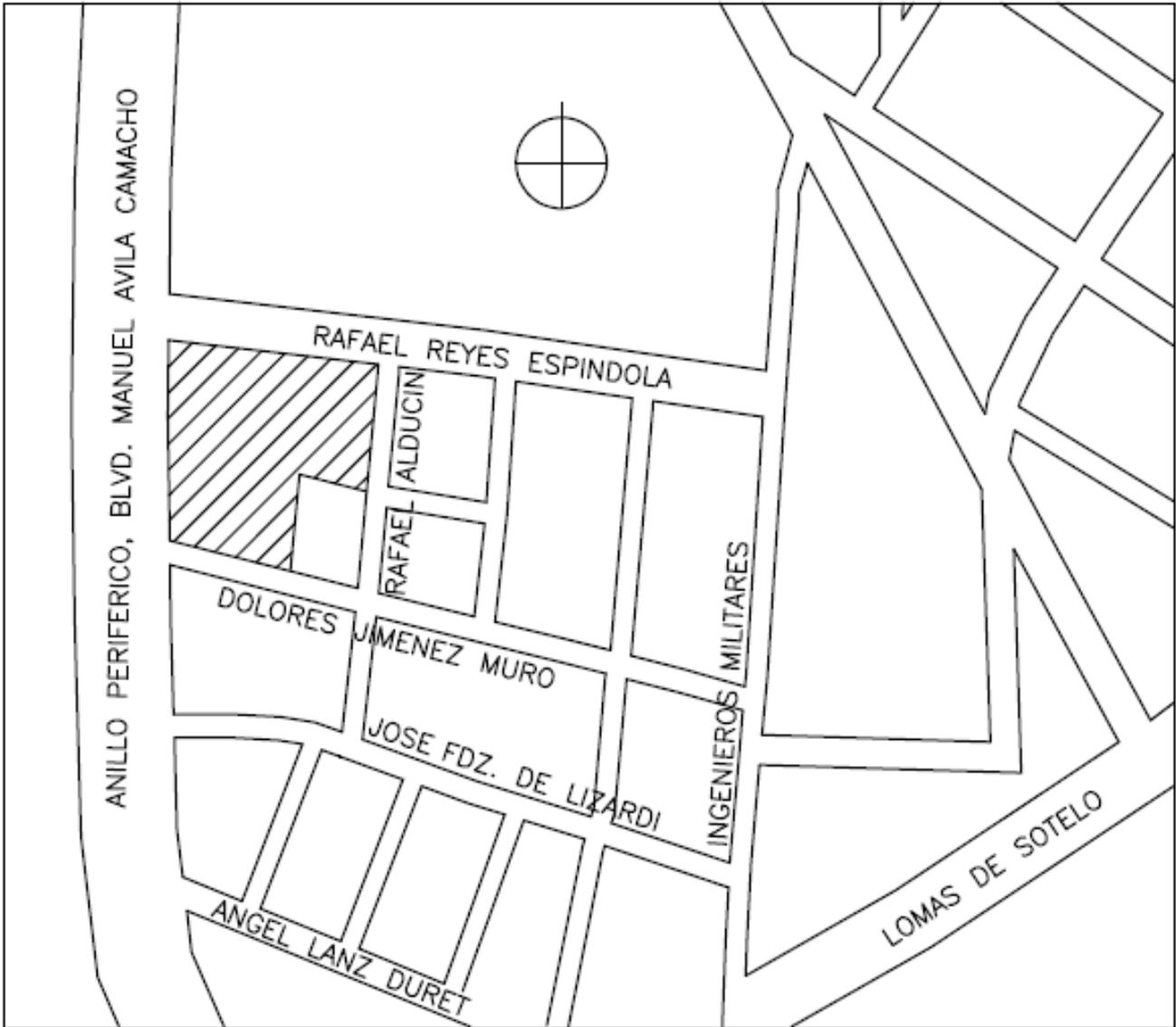


Fig. 4.3 Croquis de localización

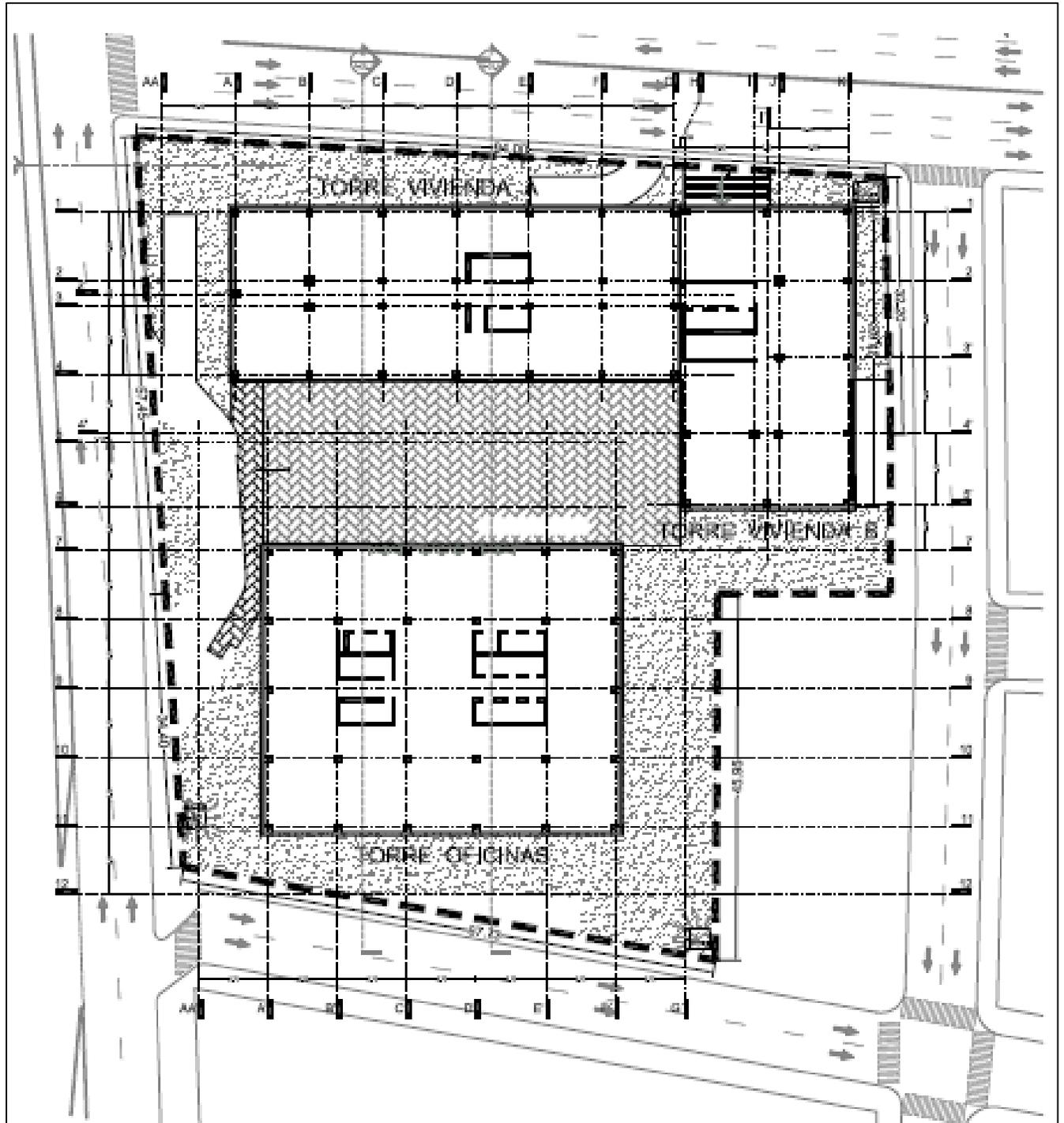
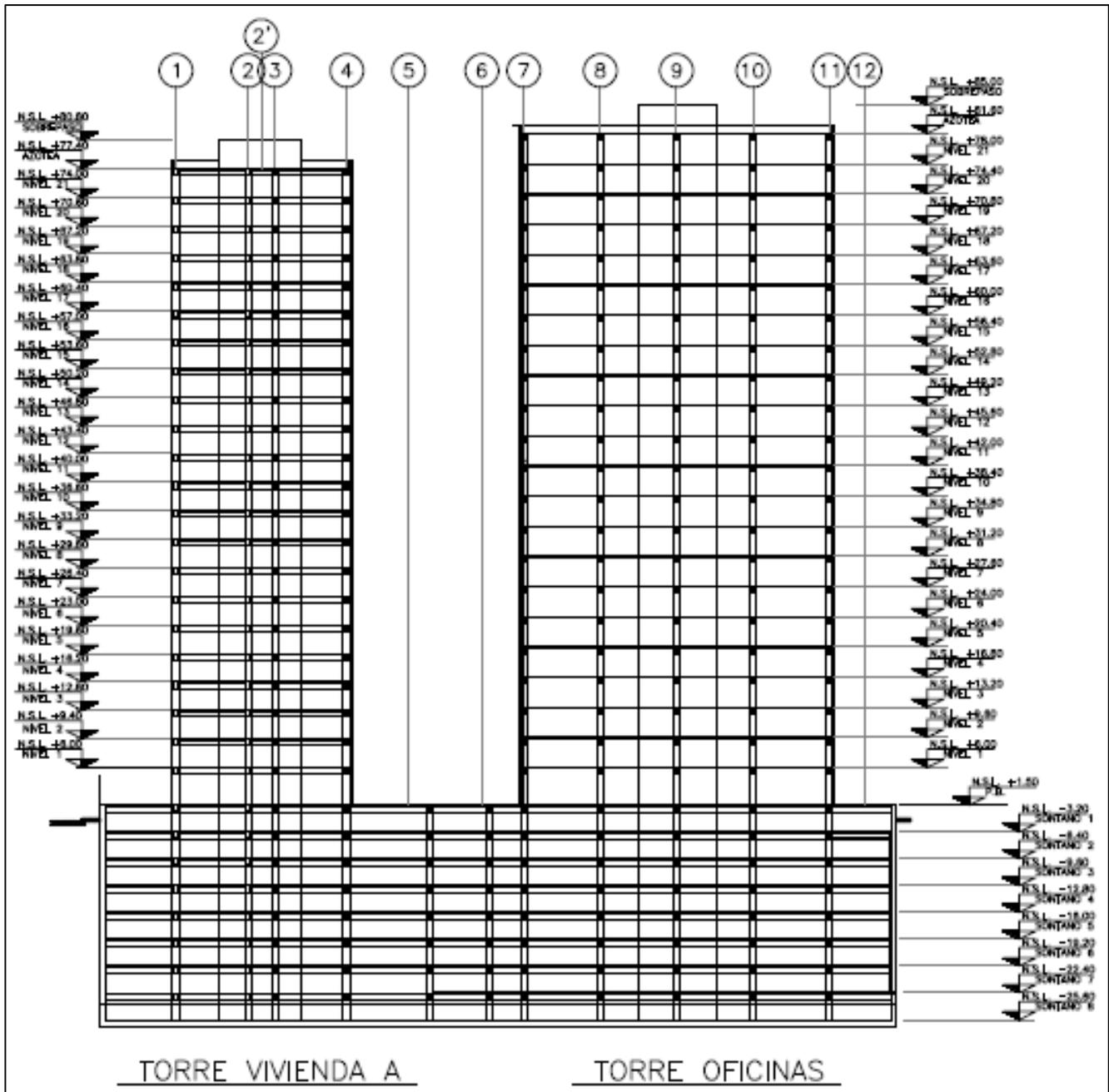


Fig. 4.1 Planta esquemática



NIVELES DE TORRE DE OFICINAS		
NIVEL	N.S.L.	m
Sótano 1	N.S.L.	-25.60
Sótano 2	N.S.L.	-22.40
Sótano 3	N.S.L.	-19.20
Sótano 4	N.S.L.	-16.00
Sótano 5	N.S.L.	-12.80
Sótano 6	N.S.L.	-9.60
Sótano 7	N.S.L.	-6.40
Sótano 8	N.S.L.	-3.20
Planta Baja	N.S.L.	+1.50
Nivel 1	N.S.L.	+6.00
Nivel 2	N.S.L.	+9.60
Nivel 3	N.S.L.	+13.20
Nivel 4	N.S.L.	+16.80
Nivel 5	N.S.L.	+20.40
Nivel 6	N.S.L.	+24.00
Nivel 7	N.S.L.	+27.60
Nivel 8	N.S.L.	+31.20
Nivel 9	N.S.L.	+34.80
Nivel 10	N.S.L.	+38.40
Nivel 11	N.S.L.	+42.00
Nivel 12	N.S.L.	+45.60
Nivel 13	N.S.L.	+49.20
Nivel 14	N.S.L.	+52.80
Nivel 15	N.S.L.	+56.40
Nivel 16	N.S.L.	+60.00
Nivel 17	N.S.L.	+63.60
Nivel 18	N.S.L.	+67.20
Nivel 19	N.S.L.	+70.80
Nivel 20	N.S.L.	+74.40
Nivel 21	N.S.L.	+78.00
Nivel 22 (Azotea)	N.S.L.	+81.60
Nivel Sobrepaso	N.S.L.	+85.00

Tabla 4.2 Niveles en Torre de Oficinas

4.2 Estudios analíticos

4.2.1 Análisis de cargas

4.2.1.1 Cargas muertas

Se definieron las cargas muertas con base en el peso propio de los miembros estructurales y al de los elementos arquitectónicos, considerando los pesos unitarios de los materiales que los constituyen.

ESTACIONAMIENTOS	
CONCEPTO	kg/m²
Losa	315
Instalaciones	50
Superficie de rodamiento	120
Sobrecarga RCDF	40
TOTAL	525

RAMPA Y VIALIDAD INTERNA	
CONCEPTO	kg/m²
Losa (capa compresión 12cm)	360
Instalaciones	50
Sobrecarga RCDF	20
TOTAL	430

P. BAJA ZONA COMERCIAL	
CONCEPTO	kg/m²
Losa	315
Piso y acabados	120
Plafond	40
Instalaciones	10
Muros y cancelería	60
Sobrecarga RCDF	40
TOTAL	585

OFICINAS	
CONCEPTO	kg/m ²
Losa	220
Piso y acabados	120
Muros y cancelería	60
Plafond	40
Sobrecarga RCDF	40
Instalaciones	10
TOTAL	490

AZOTEA	
CONCEPTO	kg/m ²
Losa	220
Rellenos	150
Enladrillado y rellenos	120
Plafond	20
Sobrecarga RCDF	40
Impermeabilizante	10
Instalaciones	10
TOTAL	570

Fachada	60 kg/m ²
---------	----------------------

Tabla 4.3 Cargas muertas consideradas

4.2.1.2 Cargas Vivas

Se consideran como cargas vivas, a las fuerzas que se producen por el uso y ocupación del edificio y no estén de carácter permanente. Las cargas utilizadas para el modelo fueron las que se especifican en el RCDF04. Este reglamento establece que se deberá emplear la carga viva máxima para el diseño estructural por fuerzas gravitacionales, la carga viva instantánea para el diseño sísmico y por viento y la carga viva media para el cálculo de asentamientos y flechas diferidas.

CARGA VIVA MÁXIMA	
CONCEPTO	kg/m²
Estacionamientos	250
Rampa y vialidad interna	800
Planta baja y zona comercial	350
Oficinas	250
Azotea	200

CARGA VIVA INSTANTÁNEA	
CONCEPTO	kg/m²
Estacionamientos	100
Rampa y vialidad interna	650
Planta baja y zona comercial	250
Oficinas	180
Azotea	100

CARGA VIVA MEDIA	
CONCEPTO	kg/m²
Estacionamientos	40
Rampa y vialidad interna	40
Planta baja y zona comercial	40
Oficinas	40
Azotea	15

Tabla 4.4 Cargas vivas consideradas

4.2.2 Materiales empleados

Concreto $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en losacero

Concreto $f'c = 450 \text{ Kg/cm}^2$ en columnas y muros de sótano 8 a planta baja.

Concreto $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ en columnas y muros de planta baja a azotea

Clase 1, P.V. fresco igual ó mayor a 2.2 Ton/m^3

Acero de Refuerzo $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Acero estructural A.S.T.M. A-992 con $F_y = 3515 \text{ Kg/cm}^2$ en perfiles W y placas.

4.2.3 Factores de carga y resistencia

Cargas gravitacionales (carga muerta + carga viva): F.C. = 1.4

Flexión: F.R. = 0.9

Cortante: F.R. = 0.8

Flexocompresión: F.R. = 0.8

Aplastamiento: F.R. = 0.7

4.2.4 Análisis estructural

En proyectos de ingeniería no siempre es posible obtener resultados matemáticos exactos, pues se involucran muchos factores como las propiedades de los materiales, distribuciones de carga y condiciones del entorno en que se ubica cada estructura; tomando esto en cuenta, se introducen idealizaciones para reducir ciertos problemas que pudieran presentarse, dichas idealizaciones o modelos matemáticos han sido aceptadas desde el punto de vista de seguridad y de economía.

El movimiento sísmico del suelo consta de vibraciones horizontales y verticales, las cuales son transmitidas a los edificios que se apoyan sobre éste. Cuando esto ocurre la base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo, mientras que, por inercia, la masa de la estructura se opone a ser desplazada y seguir el movimiento de su base. Esto genera fuerzas de inercia que producen esfuerzos y deformaciones que pueden poner en peligro la estabilidad de la construcción.

Para el análisis se realizó un modelo tridimensional representativo de la estructura, introduciendo los elementos estructurales que la conforman para procesarla mediante el programa de computadora STAAD.Pro V8i.

Además se consideró la hipótesis de un comportamiento elástico-lineal de la estructura con el cual se determina, en primera instancia, el periodo fundamental de la estructura, seguido de evaluar los efectos sísmicos con el método de análisis sísmico dinámico espectral.

El sistema de piso se idealiza como un diafragma rígido que permite sólo desplazamientos horizontales y verticales, así como el giro alrededor de su eje vertical, sin permitir deformaciones significativas en su plano.

Se consideró el peso propio de la estructura y la carga permanente más la carga viva. Los elementos mecánicos obtenidos en este estudio se combinaron con los resultados obtenidos del análisis sísmico para obtener la condición de carga crítica más desfavorable para los elementos de la estructura, y realizar el diseño para esa combinación. Cabe mencionar que las trabes principales y secundarias, se analizaron como trabes de sección compuesta, con el fin de hacerlas actuar en conjunto de la losacero para aumentar las propiedades de la trabe, permitiendo reducir el tamaño y costo, hasta en un 30%, de los elementos de acero a utilizar, y así poder usar perfiles de acero más ligeros, lo que garantiza un menor peso total de la estructura y, a su vez, también disminuir los volúmenes de la cimentación.

A continuación se muestran los isométricos del modelo renderizado en STAAD.Pro

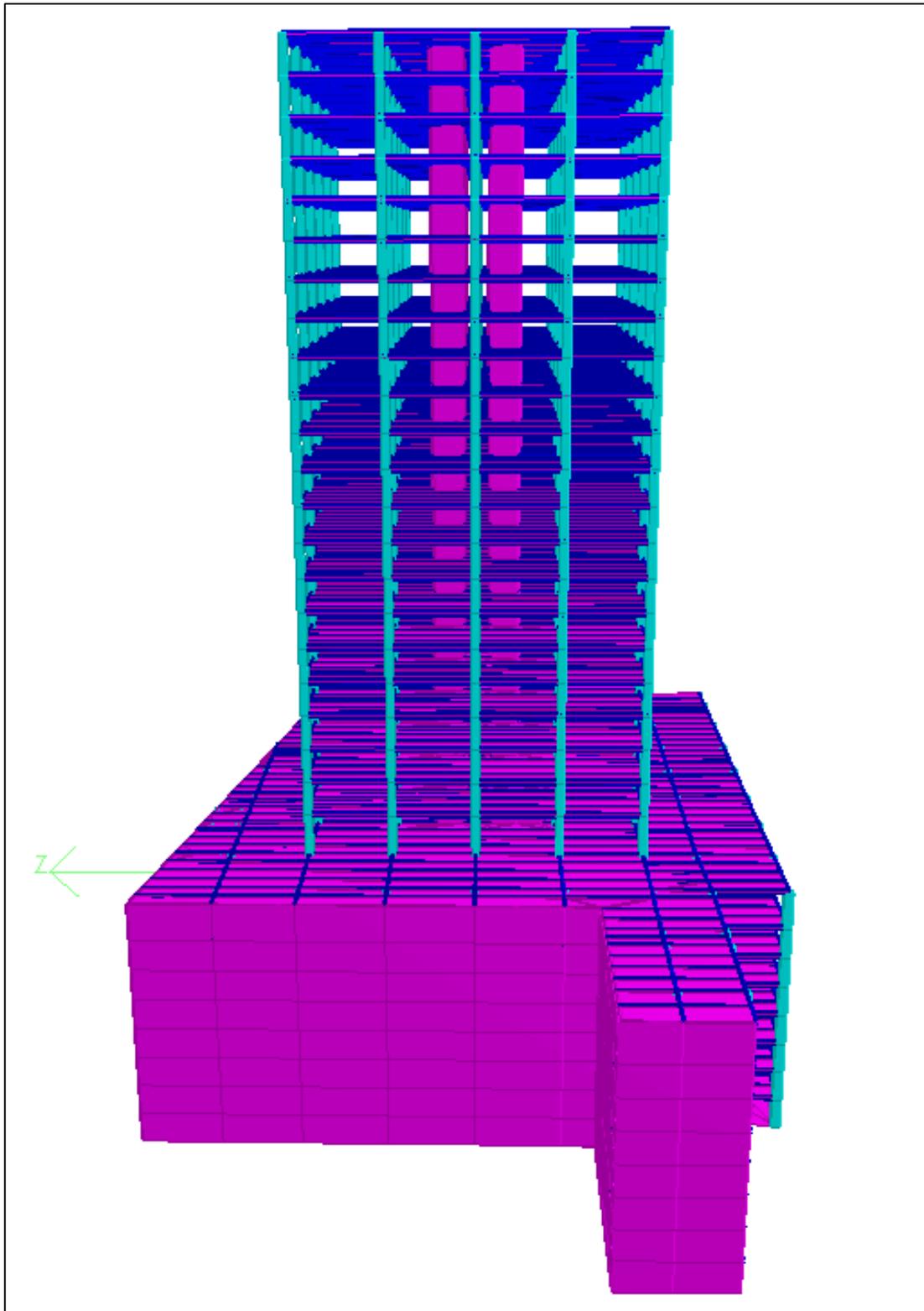


Fig. 4.4 Vista frontal de Torre de Oficinas

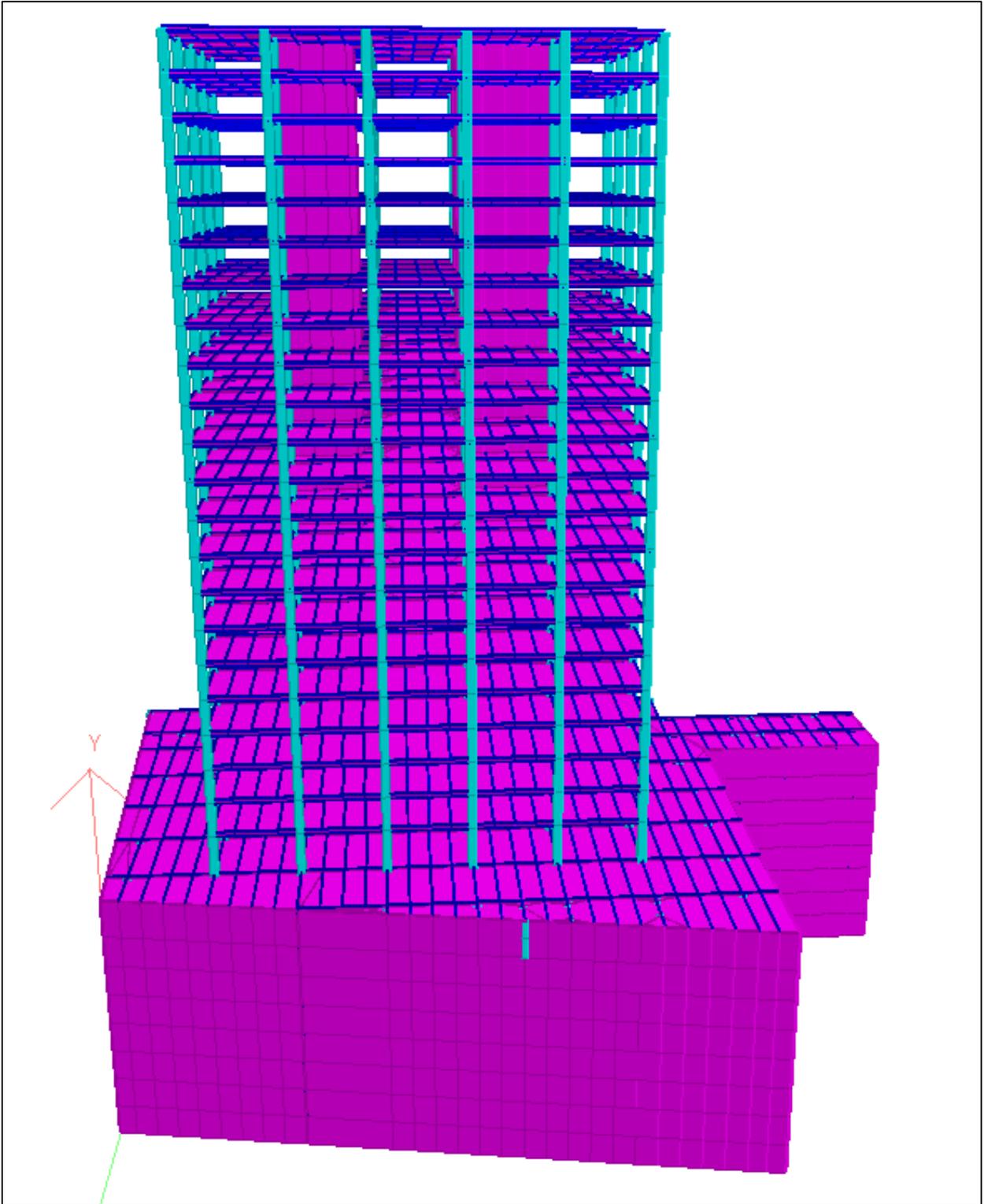


Fig. 4.5 Vista longitudinal de Torre de Oficinas

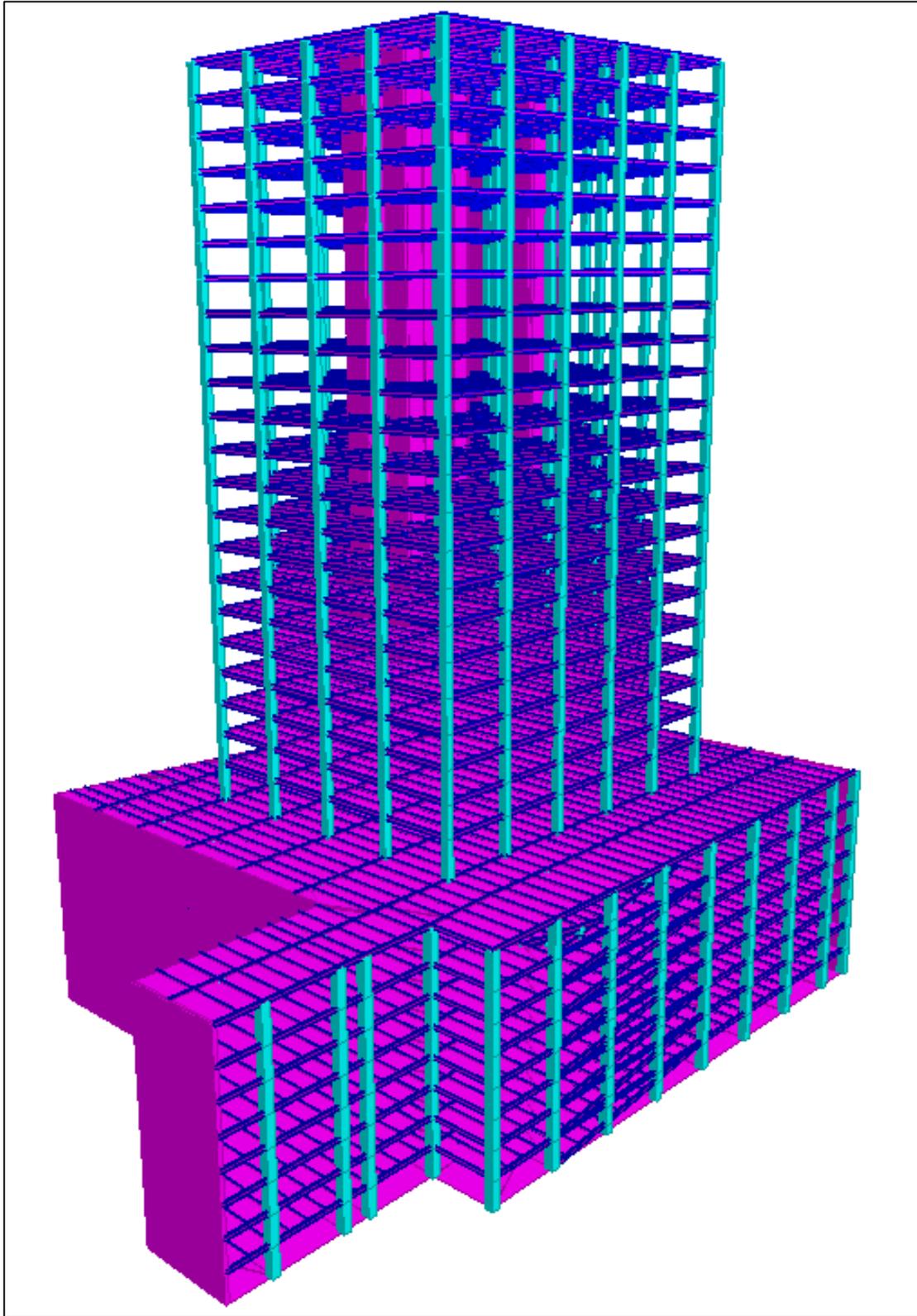


Fig. 4.6 Vista general de Torre de Oficinas

4.2.4.1 Modos de vibrar, frecuencias y periodos de la estructura

Con el análisis de valores introducidos al programa (propiedades geométricas y de materiales), se determinan las propiedades dinámicas de la estructura, en función de la distribución de la rigidez y la masa. Los valores obtenidos son los siguientes:

Modo de Vibrar	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]
1	0.25	4.001
2	0.279	3.581
3	0.306	3.267
4	0.91	1.099
5	1.076	0.930
6	1.226	0.816
7	1.883	0.531
8	2.251	0.444
9	2.737	0.365
10	3.054	0.327
11	3.572	0.280
12	4.282	0.234
13	4.523	0.221
14	4.854	0.206
15	5.55	0.180
16	5.923	0.169
17	6.075	0.165
18	6.769	0.148
19	7.259	0.138
20	7.408	0.135

Tabla 4.5 Modos, frecuencias y periodos de la estructura

4.2.4.2 Parámetros sísmicos

Los siguientes parámetros sísmicos son obtenidos y determinados con base en el tipo de suelo en que se encontrará desplantada la estructura.

Destino	Q	Q'	Factor de importancia
Grupo B	2.0	$Q \times 0.8 = 1.6$	1.4

Zona	C	a_0	Ta	Tb	r
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1

Cr
0.1875

Tabla 4.6 Parámetros sísmicos

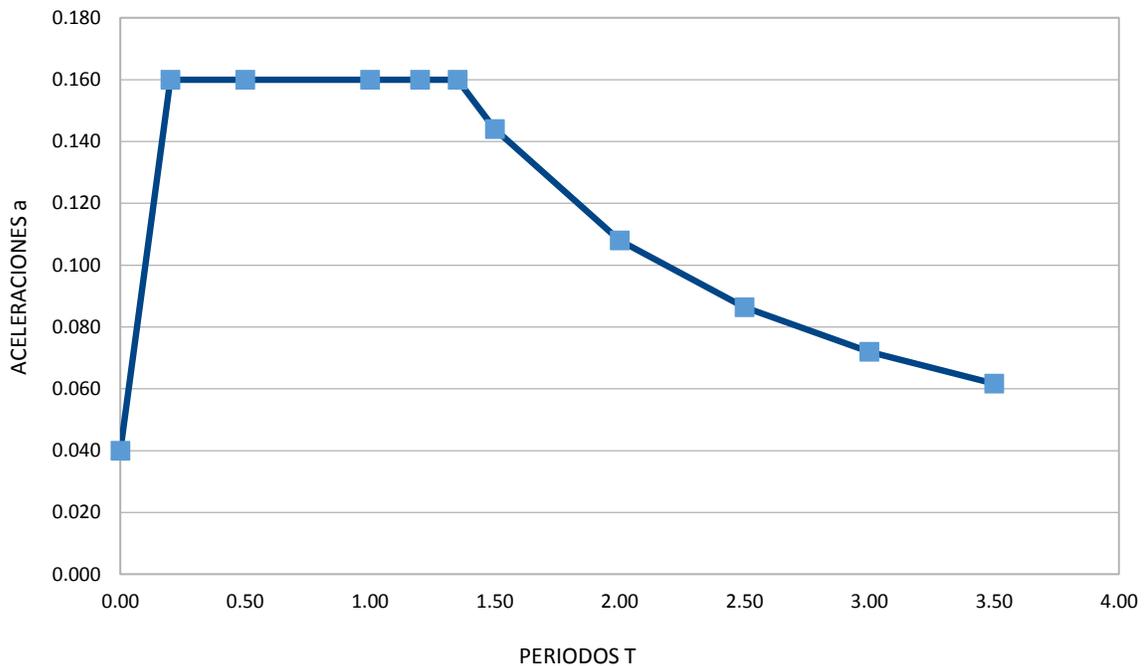


Fig. 4.7 Espectro de diseño para zona 1

4.2.5 Combinaciones de carga

A continuación se presentan las condiciones y combinaciones de carga utilizados para el análisis y diseño de la estructura.

Combinación	Nombre	Marca
C-01	Carga muerta	CM
C-02	Carga viva máxima	CV máx
C-03	Carga viva instantánea	CV a
C-04	Sismo en dirección X	Sx
C-05	Sismo en dirección Z	Sz
C-06	Torsión por Sx	Tx
C-07	Torsión por Sz	Tz

Tabla 4.7 Condiciones básicas de carga

Combinación	Cargas consideradas
C-08	1.4 (CM + Cvmáx)
C-09	1.1 (CM + CVa) + Q (1.1Sx + 0.33 Sy + 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-10	1.1 (CM + CVa) + Q (1.1Sx - 0.33 Sy + 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-11	1.1 (CM + CVa) + Q (-1.1Sx + 0.33 Sy - 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-12	1.1 (CM + CVa) + Q (-1.1Sx - 0.33 Sy - 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-13	1.1 (CM + CVa) + Q (0.33Sx + 1.1 Sy + 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-14	1.1 (CM + CVa) + Q (0.33Sx - 1.1 Sy + 0.33Tx - 1.1 Ty)
C-15	1.1 (CM + CVa) + Q (-0.33Sx + 1.1 Sy - 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-16	1.1 (CM + CVa) + Q (-0.33Sx - 1.1 Sy - 0.33Tx - 1.1 Ty)

Tabla 4.8 Combinaciones de carga para la revisión de estados límite de servicio

Combinación	Cargas consideradas
C-17	1.4 (CM + Cvmáx)
C-18	1.1 (CM + CVa) + (1.1Sx + 0.33 Sy + 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-19	1.1 (CM + CVa) + (1.1Sx - 0.33 Sy + 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-20	1.1 (CM + CVa) + (-1.1Sx + 0.33 Sy - 1.1Tx + 0.33 Ty)
C-21	1.1 (CM + CVa) + (-1.1Sx - 0.33 Sy - 1.1Tx - 0.33 Ty)
C-22	1.1 (CM + CVa) + (0.33Sx + 1.1 Sy + 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-23	1.1 (CM + CVa) + (0.33Sx - 1.1 Sy + 0.33Tx - 1.1 Ty)
C-24	1.1 (CM + CVa) + (-0.33Sx + 1.1 Sy - 0.33Tx + 1.1 Ty)
C-25	1.1 (CM + CVa) + (-0.33Sx - 1.1 Sy - 0.33Tx - 1.1 Ty)

Tabla 4.9 Combinaciones de carga para la revisión de estados límite de falla

4.3 Análisis de resultados

El artículo 147 del RCDF04 establece que toda edificación debe contar con un sistema estructural que permita el flujo adecuado de las fuerzas que generan las distintas acciones de diseño, para que dichas fuerzas puedan ser transmitidas de manera continua y eficiente hasta la cimentación. Además indica que toda estructura y cada una de sus partes deben diseñarse para cumplir con los requisitos básicos siguientes:

- a) Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada;
- b) No rebasar ningún estado límite de servicio ante combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación.

4.3.1 Revisión de los estados límite de servicio

El RCDF04 define los límites de servicio como la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas.

El índice más importante para determinar la magnitud de los posibles daños, es la distorsión de entrepiso ψ , definida como el desplazamiento relativo entre dos pisos sucesivos, Δ , dividido entre la altura del entrepiso, H. Las deformaciones obtenidas deben ser multiplicadas por el factor de comportamiento sísmico reducido (Q').

$$\Psi = \frac{\Delta}{H}$$

$$\Delta = \Delta_c * Q'$$

Ψ : Distorsión de cada entrepiso

Δ : Desplazamientos

H: Altura de entrepiso

Δ_c : Desplazamientos calculados

Q' : Factor de comportamiento sísmico reducido

Las distorsiones se calcularon a partir de los desplazamientos que se presentan en los diferentes niveles de la estructura, producidos por las combinaciones de carga.

Las NTC (Normas Técnicas Complementarias) para Diseño por Sismo limitan las distorsiones admisibles a 0.012 por lo que cualquier distorsión que sea mayor a este valor límite será considerado como un comportamiento no satisfactorio.

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA

En la siguiente tabla se muestran los desplazamientos por nivel, así como sus respectivas distorsiones.

Entrepiso	H [m]	DIRECCIÓN X			DIRECCIÓN Z		
		δ_x [cm]	Δ_x [cm]	ψ_x	δ_z [cm]	Δ_z [cm]	ψ_z
Nivel 1	4.5	4.896	4.9	0.0109	4.52	4.52	0.0100
Nivel 2	3.6	7.164	2.268	0.0063	6.894	2.374	0.0066
Nivel 3	3.6	9.576	2.412	0.0067	9.162	1.26	0.0035
Nivel 4	3.6	12.168	2.592	0.0072	11.79	1.46	0.0041
Nivel 5	3.6	14.958	2.79	0.0078	14.616	1.57	0.0044
Nivel 6	3.6	17.892	2.934	0.0081	17.604	1.66	0.0046
Nivel 7	3.6	20.952	3.06	0.0085	20.718	1.73	0.0048
Nivel 8	3.6	24.138	3.186	0.0089	23.922	1.78	0.0049
Nivel 9	3.6	27.396	3.258	0.0091	27.216	1.83	0.0051
Nivel 10	3.6	30.708	3.312	0.0092	30.528	1.84	0.0051
Nivel 11	3.6	34.056	3.348	0.0093	33.858	1.85	0.0051
Nivel 12	3.6	37.404	3.348	0.0093	37.152	1.83	0.0051
Nivel 13	3.6	40.716	3.312	0.0092	40.392	1.8	0.0050
Nivel 14	3.6	44.01	3.294	0.0092	43.596	1.78	0.0049
Nivel 15	3.6	47.232	3.222	0.0090	46.71	1.73	0.0048
Nivel 16	3.6	50.382	3.15	0.0088	49.752	1.69	0.0047
Nivel 17	3.6	53.478	3.096	0.0086	52.686	1.63	0.0045
Nivel 18	3.6	56.466	2.988	0.0083	55.548	1.59	0.0044
Nivel 19	3.6	59.4	2.934	0.0081	58.302	1.53	0.0043
Nivel 20	3.6	62.262	2.862	0.0080	60.966	1.48	0.0041
Nivel 21	3.6	64.998	2.736	0.0076	63.522	1.42	0.0039
Nivel 22	3.6	67.482	2.484	0.0069	65.898	1.32	0.0037

Tabla 4.10 Revisión de desplazamientos

-Desplazamiento máximo registrado:

67.48 cm

-Desplazamiento permisible:

Altura total de la torre x 0.012

8010 cm x 0.012 = **96.12 cm**

La estructura cumple con los desplazamientos permisibles, según el RCDF04.

A continuación se muestran los isométricos de la configuración deformada de la estructura, producida por la combinación de carga más desfavorable en cada dirección de la torre. Para ambos casos, los desplazamientos se amplificaron 4 veces de la configuración deformada original.

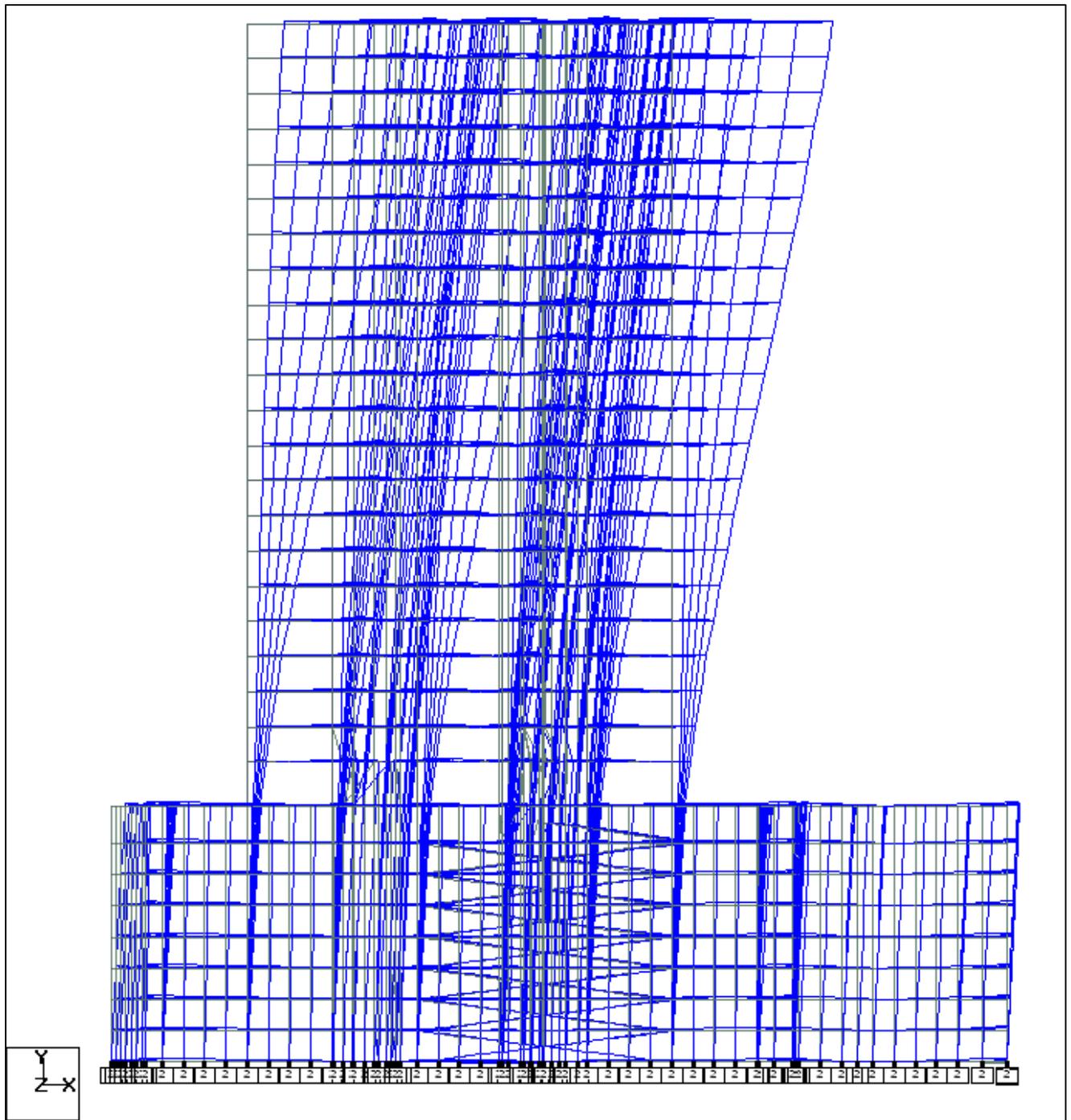


Fig. 4.8 Desplazamiento por sismo en dirección X

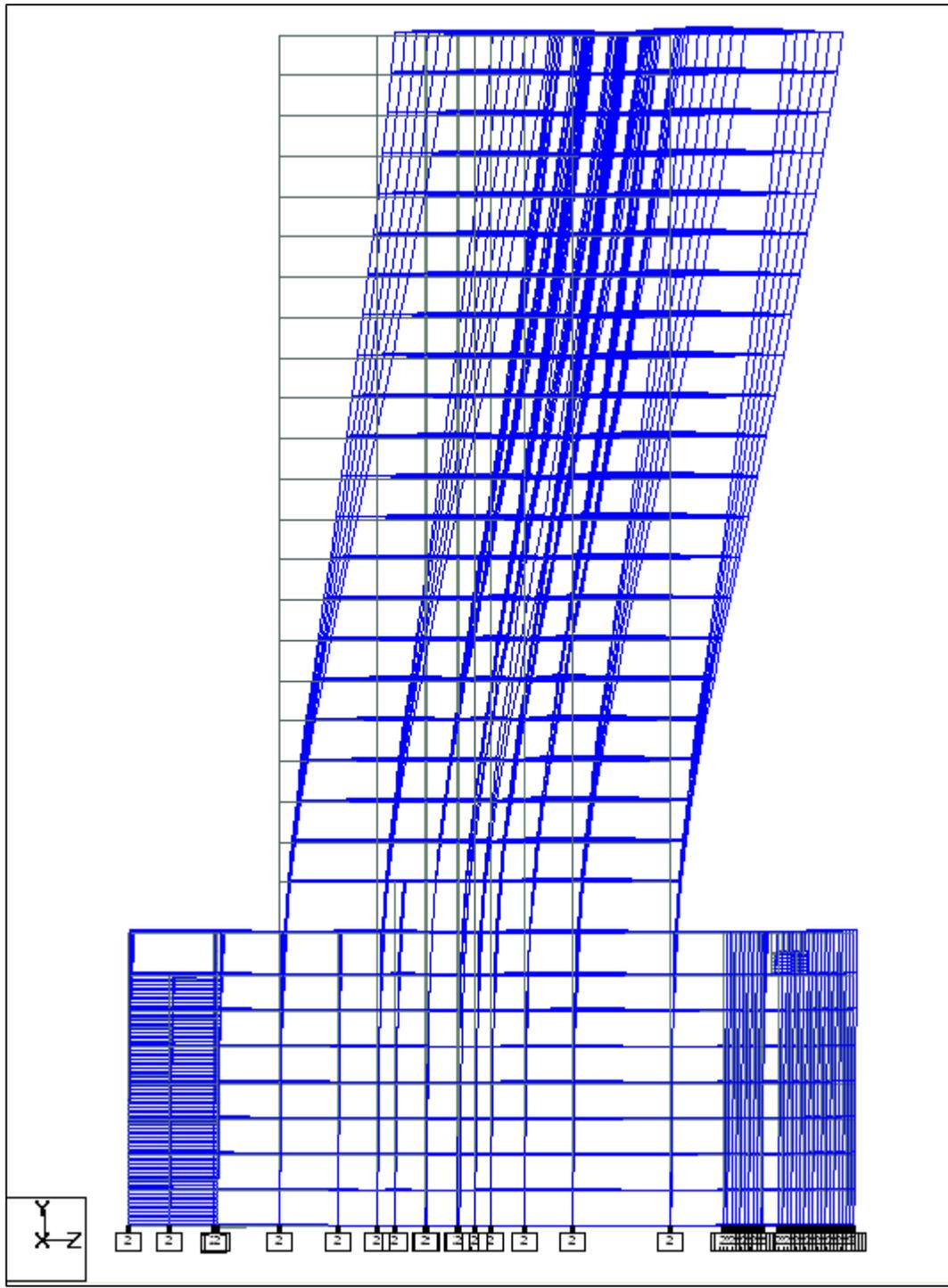


Fig. 4.9 Desplazamiento por sismo en dirección Z

4.3.2 Revisión de los estados límite de falla

En todos los casos, los miembros de la estructura se diseñaron utilizando los valores de los elementos mecánicos más desfavorables, ya fuera por cargas gravitacionales o por combinación de éstas con los efectos sísmicos.

El diseño de los elementos, columnas, trabes y conexiones de acero se realizó conforme al método LRFD del AISC; los elementos de concreto se diseñaron de acuerdo con las actuales NTC para estructuras de concreto del RCDF04

La relación de esfuerzos actuantes y esfuerzos admisibles es un índice del estado de esfuerzos, inducido en cada elemento como porcentaje de su capacidad, éste se define como:

$$\frac{\sigma_{act}}{\sigma_{adm}} = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Se busca que la relación de esfuerzos en cada elemento de acero de la estructura, no exceda la unidad; si es así, se dice que ese elemento fallaría si se presentara la combinación de carga más crítica con la que fue evaluado.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusión de este reporte de proyectos, puedo mencionar que en mi estancia en Colinas de Buen como calculista-estructurista, he aplicado frecuentemente los conocimientos que he adquirido en la carrera de Ingeniería Civil, ya que a diario se solicitan soluciones específicas, cada una diferente, lo que mantiene al proyecto como un desafío interesante y singular. Además que, en este tipo de profesión, uno se va enfrentando a situaciones en las que no sólo se aplican conocimientos de un área en específico, es decir, los proyectos de edificación van demandando planteamientos o propuestas de soluciones integrales que pueden involucrar, además de las estructuras, la geotecnia (cimentaciones), hidráulica (cisternas y tanques), sanitaria y ambiental (plantas de potabilización de agua, tuberías y ductos de ventilación), construcción (procedimientos constructivos, separación de colindancias), etc.

Recomiendo ampliamente a las personas que tienen la posibilidad de hacerlo así, inviertan tiempo en trabajar o relacionarse en el campo laboral antes de concluir la carrera, ya que en muchos puestos o vacantes de ingeniería o de cualquier otra carrera, exigen al menos 3 años de experiencia, lo cual se vuelve un conflicto para muchos egresados.

Como es bien sabido, no se puede aprender todo sobre las estructuras durante la carrera, considero importante seguir estudiando, aun cuando ya se está ejerciendo, aprender cosas nuevas y actuales sobre temas que se relacionen con proyectos de ingeniería, para poder tener presencia en la solución de éstos, ser más eficiente, y aportar cada vez más y algo diferente.

BIBLIOGRAFÍA

1. *“Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”*, México, Diario Oficial, 29 Enero 2004 .
2. *“Notas Técnicas para Diseño por Sismo”*, México, Gaceta Oficial, 6 Octubre 2004.
3. *“Análisis Estructural”*, Hibbeler, R.C., México, Pearson Education, 2012.
4. *“Diseño Sísmico de Edificios”*, Enrique Bazán, Editorial Limusa, 2013.
5. *“Manual de Construcción en Acero, Diseño por Factores de Carga y Resistencia”*, Editorial Limusa, 2014.
6. *“Structural Steel Design”*, Jack C. McCormac, Pearson Education, 2012.
7. *“Steel Construction Manual”*, AISC, EUA, 2005.
8. *“Estructuras de Concreto Reforzado”*, R. Park y T. Paulay, Editorial Limusa.
9. *“Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado”*, Óscar M. González Cuevas, Editorial Limusa, 2005.
10. *“Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado Conforme al Reglamento ACI-318”*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
11. *“Manual de STAAD.Pro”*, Bentley