



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Licenciatura en Ingeniería Civil

Proyecto de Graduación

**DISEÑO ESTRUCTURAL PRELIMINAR DE LA NUEVA SEDE DEL MINISTERIO DE
HACIENDA UBICADA EN EL PROYECTO DE CIUDAD GOBIERNO**

Autor: Natalia Porras Elizondo

Tutor: Ing. Olman Elizondo Esquivel

Lector: Ing. Danilo Hernández Guerrero, Msc

Heredia, septiembre de 2019

COMITÉ ASESOR

**ING. OLMAN ELIZONDO ESQUIVEL
TUTOR**

**ING. DANILO HERNANDEZ GUERRERO
LECTOR**

**ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ
REPRESENTANTE DE RECTORÍA**



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "DISEÑO ESTRUCTURAL PRELIMINAR DE LA NUEVA SEDE DEL MINISTERIO DE HACIENDA UBICADA EN EL PROYECTO DE CIUDAD GOBIERNO.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

ING. OLMAN ELIZONDO ESQUIVEL

TUTOR

ING. DANILO HERNANDEZ GUERRERO

LECTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Heredia, 17 de septiembre, de 2019

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título "Diseño Estructural Preliminar de la nueva Sede del Ministerio de Hacienda ubicada en el proyecto de Ciudad Gobierno" por parte del estudiante: Natalia Porras Elizondo, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Olman Elizondo Esquivel

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Heredia, 17 de septiembre, de 2019

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título "Diseño Estructural Preliminar de la nueva Sede del Ministerio de Hacienda ubicada en el proyecto de Ciudad Gobierno" por parte del estudiante: Natalia Porras Elizondo, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Danilo Hernández Guerrero, Msc



“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos. Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con “ y ”

Porras Elizondo Natalia

De la Carrera / Programa: Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo). Proyecto Final de Graduación
titulado:

**DISEÑO ESTRUCTURAL PRELIMINAR DE LA NUEVA SEDE DEL MINISTERIO DE HACIENDA
UBICADA EN EL PROYECTO DE CIUDAD GOBIERNO**

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 11 del mes octubre del año 2019 a las 15:30. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de esta carta:

Carta de filóloga

26 de septiembre, 2019.

Señores
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad N° 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento denominado **“DISEÑO ESTRUCTURAL PRELIMINAR DE LA NUEVA SEDE DEL MINISTERIO DE HACIENDA UBICADA EN EL PROYECTO DE CIUDAD GOBIERNO ”**, de la estudiante **Natalia Porras Elizondo**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente,



Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro
Código del Colegio 35554

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, mi padre y mis dos hermanos por estar conmigo en este proceso, brindarme el apoyo más importante y por siempre creer en mí. Este proyecto lleva el nombre de cada uno de ustedes.

De igual manera agradezco a todos aquellos familiares, amigos y compañeros que estuvieron todos estos años a mi lado.

Dedico este Proyecto de Graduación a los dos pilares más importantes de mi vida, mi madre y mi padre, que siempre estuvieron ahí para mí y que hicieron mi sueño cumplirse realidad, con gran apoyo y cariño.

Resumen

En el presente trabajo de graduación se tiene como objetivo el análisis y diseño preliminar estructural de un edificio para oficinas de diecinueve niveles y dos sótanos para parqueos. El proyecto se ubica en el nuevo proyecto de Ciudad Gobierno, donde los encargados son el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT).

El área del terreno donde se va a construir dicha sede es de $13\,293\text{m}^2$, pero debido a que lo atraviesa un río, y dejando la distancia de protección establecida por la ley el área total aprovechable es de 7370.3986m^2 , y la huella del edificio es de 5933.6279m^2 .

Se decide realizar el diseño en acero estructural porque la institución a cargo sugirió que así fuera, por motivos de acortar el tiempo de construcción. Por lo que se predimensionan los elementos estructurales de secciones W, siguiendo recomendaciones y criterios estipulados en el Código Sísmico de Costa Rica.

El proyecto cuenta con un sistema estructural tipo dual, con muros arriostrados concéntricamente. Los entrepisos entre cada nivel y la azotea son diafragmas rígidos.

Se realizó el modelo estructural con la ayuda del Software ETABS 17, para realizar un análisis sísmico y verificar que se cumplan los requerimientos del código y normas que rigen nuestro país y para obtener las cargas sísmicas de los elementos.

Luego se procedió a optimizar las secciones para su mayor facilidad de manejo a la hora de su construcción, verificando que aún cumplan todas las especificaciones y se procede a diseñar las conexiones entre secciones.

Finalmente, se realizó el diseño en acero estructural de las columnas, vigas, viguetas y conexiones del edificio siguiendo con los requerimientos del Código Sísmico de Costa Rica.

SUMMARY

In this graduation project the objective is the analysis and structural preliminary design of a nineteen-level office building with two basements for parking. The project is located in the new Ciudad Gobierno project, where those in charge are the Ministry of Public Works and Transportation (MOPT, by its acronym in Spanish).

The area of the land where this building is going to be built is 13 293m², but because it is crossed by a river, and when they leave the protection distance established by law, the total usable area is 7370.3986m², and the building footprint is going to be of 5933.6279 m².

It is decided make the design in structural steel because the institution in charge suggested that they wanted this way, for reasons of shortening the construction time. Therefore, we choose the W sections, following recommendations and criteria stipulated in the Seismic Code of Costa Rica (CSCR-10, by its acronym in Spanish).

The project has a dual type structural system, with concentrically braced walls. The mezzanines between each level and the roof are rigid diaphragms.

The structural model was made with the help of the ETABS 17 Software, to perform a seismic analysis and verify that the requirements of the code and standards of Costa Rica are followed and to obtain the seismic loads of the elements.

Then the sections were optimized for ease of handling at the time of construction, verifying that they still meet all specifications and proceed to design the connections between sections.

Finally, the structural steel design of the columns, beams, joists and connections of the building where design following the requirements of the Costa Rica Seismic Code (CSCR-10, by its acronym in Spanish).

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	vii
Resumen.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema de investigación	4
1.3. Objetivo general	4
1.4. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación	5
1.6. Alcance y limitaciones.....	5
1.7. Impacto	6
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Descripción de los elementos que conforman el diseño de una estructura	7
2.4 Fuerza sísmica de la estructura mediante el método dinámico del Código Sísmico de Costa Rica, 2010.....	11
2.4.1. Zonificación sísmica:.....	11
2.4.2. Sitios de cimentación:	11
2.4.5. Sistema estructural tipo dual:	13
2.4.6. Regularidad del edificio.....	13
2.4.7. Irregularidad del edificio.....	13
2.4.8. Factor espectral dinámico:	13
2.4.9. Sobrerresistencia:.....	13
2.4.10. Carga temporal:	14
2.5. Marco Situacional	14
2.3.1. Institución donde se va a realizar	16
MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Enfoque metodológico	19
3.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	19
3.2.1. Datos del tipo de suelo donde se va a construir	19
3.2.2 Demanda sísmica.....	20
3.2.3. Clasificación de la estructura y sus componentes	20
3.2.4. Coeficiente sísmico	21
3.2.5 Cargas y factores de participación	21

3.3. Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos	22
3.3.1. Propuesta del sistema estructural a utilizar	22
3.3.2. Método de análisis por utilizar	22
3.3.3. Determinación de la carga sísmica y combinación modal	22
3.3.4. Cálculo de desplazamientos y derivas	22
3.3.5. Criterios de diseño	22
3.3.6 Diseño y requisitos del acero estructural	22
3.4 Software de diseño	22
3.5 Software para el dibujo de los planos	23
ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
4.1. Requisitos estructurales generales del proyecto	24
4.1.1. Uso principal de la edificación: Oficinas.	24
4.1.2. Parámetros generales:	24
4.1.2.1. Zona sísmica:	24
4.1.2.2. Sitio de cimentación:	24
4.1.2.3. Aceleración pico efectiva de diseño:	24
4.1.2.4. Clasificación de la edificación según su importancia:	24
4.1.2.5. Clasificación del sistema estructural:	24
4.1.2.6. Irregularidad del edificio:	24
4.1.2.7. Ductilidad global asignada:	24
4.1.2.8. Factor Espectral dinámico:	24
4.1.2.9. Coeficiente sísmico:	24
4.2. Descripción del sistema estructural empleado	24
4.3. Cargas generales empleadas	24
4.3.1. Cargas permanentes	24
4.3.2. Cargas temporales	25
4.3.3. Mayoración de cargas	25
4.4. Cargas de viento	25
4.5. Análisis gravitacional	27
4.6. Ejes del edificio	29
4.7. Justificación de los cálculos de diseño	32
4.7.1. Selección preliminar de las secciones de acero para las vigas	32
4.7.2. Selección preliminar de las secciones de acero para las viguetas	37

4.7.3. Selección preliminar de las secciones de acero para los muros de arriostre.....	44
4.7.4. Diseño estructural en concreto para los sótanos de parqueos.....	44
4.7.5. Cálculos para los detalles de las conexiones	45
4.7.6. Modelo en ETABS.....	52
4.7.7. Derivas del modelo	61
4.7.8. Centros de masa y rigidez	63
4.7.9. Peso propio total del edificio	66
4.7.10. Planos constructivos finales de planta.....	66
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	85
A. Para el nivel 1 y 2:.....	85
B. Para el nivel del 3 al 9:.....	109
C. Para el nivel del 10 al 19:.....	113

Índice de figuras

Figura 1. Torres Paseo Colon.....	1
Figura 2. Edificio del Banco Nacional.....	2
Figura 3. Û Nunciatura	3
Figura 4. Torre Latitud Los Yoses.....	4
Figura 5. Zonificación Sísmica	11
Figura 6 Clasificación de edificaciones según importancia.....	12
Figura 7. Cargas temporales unitarias mínimas	14
Figura 8. Ubicación del Proyecto Ciudad Gobierno	15
Figura 9. Hoja de distribución de distritos de San José	16
Figura 10. Ubicación del lote.....	16
Figura 11. Planta de distribución Sótano 1	29
Figura 12. Planta de distribución Sótano 2	30
Figura 13. Planta de distribución Nivel 1	30
Figura 14. Planta de distribución Nivel 2	31
Figura 15. Planta de distribución para los niveles del 3 al 9.....	31
Figura 16.Planta de distribución para los niveles del 10 al 19.....	32
Figura 17. Detalle de arriostre Viga W	48
Figura 18. Detalle Apoyo Columna W en viga de concreto	52
Figura 19. Modelo Estructural sin haberlo corrido	53
Figura 20. Modelo Estructural mostrando diagramas de momento con la combinación 6-3 CSCR-10.....	54
Figura 21. Modelo estructural mostrando el chuequeo de las secciones que se eligieron preliminarmente	55
Figura 22. Segundo modelo Estructural sin haberlo corrido	56
Figura 23, Segundo modelo Estructural mostrando diagramas de momento con la combinación 6-3 CSCR-10.....	57
Figura 24. Segundo modelo estructural mostrando el chuequeo de las secciones que se eligieron preliminarmente	58
Figura 25. Desplazamiento en nivel el nivel 1, eje 9 sobre eje H´.....	59
Figura 26. Desplazamiento en nivel el nivel 19, eje 9 sobre eje H.....	60
Figura 27. Derivas de algunos elementos del nivel 19.....	62
Figura 28. Pesos propios del edificio en acero.....	66
Figura 29. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Sótano 2.....	66
Figura 30.Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Sótano 1.....	67
Figura 31. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 1.....	67
Figura 32. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 2	68
Figura 33. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 3	68
Figura 34. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 4-9.....	69
Figura 35. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 10.....	69
Figura 36. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 11-19.....	70
Figura 37. Planta Estructural Entrepiso Sótano 1	70
Figura 38. Planta Estructural Entrepiso Nivel 1.....	71

Figura 39. Planta Estructural Entrepiso Nivel 2.....	71
Figura 40. Planta Estructural Entrepiso Nivel 3.....	72
Figura 41. Planta Estructural Entrepiso Nivel 4-9	72
Figura 42. Planta Estructural Entrepiso Nivel 10.....	73
Figura 43. Planta Estructural Entrepiso Nivel 11-19	73
Figura 44. Planta Estructural Entrepiso Azotea	74
Figura 45. Detalle Entrepiso Metaldeck.....	74
Figura 46. Detalle Orificio Sísmico	75
Figura 47. Detalle Apoyo Columna W en Viga Concreto.....	76
Figura 48. Detalle Apoyo Arriostre en Viga Concreto	76
Figura 49. Detalle Apoyo Arriostre en Columna y Viga de Concreto	77
Figura 50. Detalle Apoyo Arriostre en Viga W	77
Figura 51. Detalle Arriostre en Columna W en Viga de Concreto.....	78
Figura 52. Elevación entre Ejes a 6.70m	79
Figura 53. Seccion Transversal Esquemática	80

Índice de tablas

Tabla 1. Factor de forma.....	25
Tabla 2. Presión Básica de Diseño.....	26
Tabla 3. Resultados del análisis gravitacional	28
Tabla 4. Resultados de las secciones preliminares para los niveles 1 y 2.....	34
Tabla 5. Resultados de las secciones preliminares para los niveles del 3 al 9.....	35
Tabla 6. Resultados de las secciones preliminares para los niveles del 10 al 19.....	37
Tabla 7. Centros de masa y rigidez del modelo	65

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En el 2004, cuando la Municipalidad de San José empezó a autorizar y otorgar incentivos para que empresas inmobiliarias pudieran realizar construcciones de condominios verticales en el casco metropolitano, fue el inicio del cambio en el panorama de nuestro país. Donde surgieron nuevas edificaciones de altura considerable y que a mediano plazo han ido superando las ya existentes (Falcón, 2018).

Por lo que las construcciones de este tipo cada vez son más fáciles de encontrar y son parte del futuro de Costa Rica, cada vez se impulsan más construcciones de este tipo, y no solo en el sector privado, sino que en el público también, como vamos a ver en este trabajo.

De los edificios más altos que se han construido en nuestro país los que más resaltan son las Torres del Paseo Colón, la primera terminada en el 2012 con 98 metros de altura y 28 niveles. En el 2015 se terminó la segunda torre, siendo considerada el primer rascacielos del país, con 102 metros de altura y 29 niveles. Son condominios verticales, propiedad del Grupo Inmobiliario El Parque y construidas por VAN DER LAAT Y JIMÉNEZ S.A. Fueron el primer proyecto en superar la altura del Banco Nacional (Falcón, 2018).



Figura 1. Torres Paseo Colon

Fuente: VAN DER LAAT Y JIMÉNEZ S.A.

También está el edificio del Banco Nacional, que fue el más alto del país hasta hace pocos años (superado por las Torres del Paseo Colón en el 2011), consta de 22 niveles, su altura es 80m y fue construido en el año de 1982 en concreto reforzado. Está ubicado entre la Avenida 3 y Calle 4 en San José.



Figura 2. Edificio del Banco Nacional

Fuente: Periódico La Prensa Libre

El tercer edificio más alto del país es el proyecto residencial llamado Ñ Nunciatura, ubicado en Rohrmoser y terminado de construir en el 2018 por la firma Civitar Desarrolladores. Tiene 88 metros de altura y 26 niveles de apartamentos con tres sótanos utilizados como parqueos (Falcón, 2018).



Figura 3. Û Nunciatura

Fuente: Revista Mundo Avenida

El complejo residencial Latitud Los Yoses llega a ser el cuarto más alto del país, con 23 pisos y 85 metros de altura. Fue diseñado pensando en estudiantes universitarios y profesionales, ubicado en Los Yoses en San Pedro.



Figura 4. Torre Latitud Los Yoses

Fuente: VAN DER LAAT Y JIMÉNEZ S.A

Como conclusión de los antecedentes se puede ver que la construcción de edificios considerablemente altos en nuestro país cada día es algo más común y que hay muchos proyectos a futuro que van con la misma dirección. Un ejemplo de esto es esta nueva sede del Ministerio de Hacienda.

1.2.Planteamiento del problema de investigación

Se necesita realizar el diseño estructural preliminar de un edificio de diecinueve niveles y dos sótanos destinados a parqueos para la nueva Sede del Ministerio de Hacienda, ubicada en el distrito de San Sebastián del cantón Central en la provincia de San José en el proyecto de Ciudad Gobierno. El edificio se diseñará utilizando acero estructural como material principal.

El diseño se va realizar de acuerdo con la metodología establecida con el CSCR-10, que es la de Factores de Carga y Resistencia, LFRD por sus siglas en inglés. Este ha sido desarrollado por el AISC.

1.3.Objetivo general

Diseñar el modelo estructural para la Nueva Sede del Ministerio de Hacienda.

1.4.Objetivos específicos

1.4.1 Analizar la información básica del proyecto: características arquitectónicas del edificio y datos proporcionados por el estudio de suelos.

- 1.4.2 Calcular las cargas a las que se va a encontrar sometido el edificio.
- 1.4.3 Desarrollar el modelo estructural con el software ETABS para que cumpla con los parámetros fundamentales establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica.
- 1.4.4 Preparar los documentos entregables: planos, especificaciones técnicas y memoria de cálculo.

1.5. Justificación

La construcción de este proyecto va a venir solucionar el problema actual de que el Gobierno Central de Costa Rica no cuenta con las instalaciones para albergar la mayoría de sus dependencias, por lo que se ve obligado a rentar edificaciones privadas y destinar gran parte del presupuesto del país en solo alquileres, y al mismo tiempo no ofrece condiciones propias para los funcionarios que trabajan ahí como la población que va a realizar trámites y demás. Por lo que la nueva Sede del Ministerio de Hacienda viene a formar parte de esta solución, en el diseño estructural que se va a proponer se va a aplicar todo lo aprendido a lo largo de las lecciones de la universidad con ayuda del tutor.

1.6. Alcance y limitaciones

Se va a realizar el diseño estructural de la nueva Sede del Ministerio de Hacienda que va a constar de diecinueve niveles y con dos sótanos de parqueos, el área de la huella del edificio va a ser de 5933.6279 m². Con las cargas gravitacionales y laterales preliminares se procede a modelar bidimensionalmente usando el software ETBAS y para los detalles finales se usará AutoCad.

En este proyecto no se va a realizar el diseño geotécnico ni estructural de las cimentaciones.

Tanto el diseño arquitectónico, estudios de suelos y el plano catastro de la propiedad donde se va a ubicar el edificio serán proporcionados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Debido a que los planos arquitectónicos están un poco incompletos en cuanto a cómo se quiere el sótano de parqueos, estos se van a dejar afuera del diseño. Solo se va a realizar el diseño estructural completo de los diecinueve niveles en acero estructural.

1.7.Impacto

Este proyecto va a tener un impacto social y económico importante, ya que busca mejorar el espacio donde los funcionarios públicos tengan un mejor ambiente a la hora de trabajar, y pensando en el crecimiento actual y futuro del Ministerio, de igual manera se busca proporcionar que los servicios que ofrezcan al pueblo mejoren y también que al estar en un lugar más céntrico y cerca de otros ministerios e instituciones públicas llegar sea más accesible para todos.

En el aspecto económico la construcción de este proyecto va a beneficiar al Gobierno Central del país porque en este momento se está alquilando el edificio donde actualmente se encuentra el Ministerio de Hacienda, lo que a largo plazo le ahorraría dinero al país.

MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción de los elementos que conforman el diseño de una estructura

2.1.1. Estructura: “Sistema de miembros y conexiones individuales, dispuestos para que todo el conjunto permanezca estable, y sin cambios apreciables en forma, mientras se logran los criterios de desempeño prescritos” (Vinnakota, 2007, p.3)

2.1.2. Acero estructural: Se define como acero estructural al producto de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le aportan características específicas. El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina como acero estructural al carbono, con límite de fluencia de 250 megapascales. (Vinnakota, 2007)

Es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras, tales como edificios industriales y comerciales, puentes y muelles. Se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso. Es relativamente barato de fabricar y es el material más fuerte y más versátil disponible para la industria de la construcción.

2.1.2.1. Límite de fluencia: Es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes, es decir, hasta este valor de tensión, si interrumpimos el traccionamiento de la muestra, ella volverá a su tamaño inicial, sin presentar ningún tipo de deformación permanente, esta se llama deformación elástica (Vinnakota, 2007).

El ingeniero utiliza el límite de fluencia de la barra para calcular la dimensión de la estructura, pues la barra soporta cargas y sobrecargas hasta este punto y vuelve a su condición inicial sin deformación. Pasado este punto, la estructura está fragilizada y comprometida.

2.1.2.3. Límite de fatiga: Se evalúa en un diagrama esfuerzo máximo (resistencia a la fatiga) vs. el número de ciclos hasta la falla, estos diagramas indican que la resistencia a la fatiga, de un acero estructural, decrece con un aumento de número de ciclos, hasta que se alcanza un valor mínimo que es el límite de fatiga. Con la tracción considerada como positiva y la compresión negativa, las pruebas también demuestran que a medida que disminuye la relación entre el esfuerzo máximo y el mínimo, se reduce de modo considerable la resistencia al a fatiga. Las pruebas indican además

que los aceros con resistencia a la tracción semejante tienen casi la misma resistencia a la fatiga (Vinnakota, 2007).

2.1.3. Cimientos: El cimiento es una parte fundamental de la estructura, la cual tiene como objetivo transmitir las cargas que soporta una estructura al terreno, de modo que no pase la capacidad portante del suelo y que las deformaciones producidas en este sean admisibles para la estructura (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 51).

2.1.5. Columnas: Elemento usualmente vertical que soporta cargas axiales de compresión, pero debido a su ubicación en el sistema estructural debe ser capaz de resistir fuerzas cortantes, de flexión y torsión. Su altura debe tener por lo menos tres veces su mínima dimensión lateral, usada para resistir las cargas de compresión. Al igual que una viga, las columnas llevan refuerzo longitudinal y transversal (McCormac & Brown, 2011, pág. 257).

2.1.5. Vigas: Son miembros que forman parte del sistema sismorresistente de la estructura, diseñadas para soportar cargas perpendiculares aplicadas a su eje, están formadas por refuerzo longitudinal y transversal, que soportan esfuerzos fundamentalmente a flexión, pero también son capaces de soportar esfuerzos de cortante y torsión, generalmente, son miembros horizontales con secciones transversales constantes. Según su uso se clasifican en vigas de amarre, de cargas, medianeras, de fundación y de amarre (Medina Sánchez, 2008, pág. 97).

2.1.6. Diseño Estructural: Busca el balance adecuado entre las características y funciones propias de la estructura junto con sus materiales para que la estructura pueda cumplir los requerimientos de las normativas del país, a partir de sus propiedades naturales específicas, sus capacidades mecánicas y al menor costo posible.

El diseño estructural debe siempre de obtener un rendimiento balanceado entre la parte rígida y plástica de los elementos, ya que en muchas ocasiones, un exceso en alguno de estos dos aspectos puede conducir al fallo de la estructura.

2.1.7. Planos: Se refiere a los dibujos que describen gráfica, técnica y estructuralmente la obra o construcción adjudicada.

2.1.8. Sistema Losa Lex: Este sistema de entrepiso consiste en paneles con secciones huecas, en módulos de 1.22 m de ancho. Los paneles tienen diferentes espesores, los cuales se pueden utilizar

para claros entre vigas de hasta 13.80 m . La Losa Lex es una solución segura y avanzada en proyectos con elevados requisitos arquitectónicos e ingenieriles.

2.1.9. Sistema de entrepiso Metaldeck: Consiste en una lámina de acero estructural galvanizada que hace las veces de formaleta, diseñada para soportar el peso del vaciado de una losa de concreto, que en conjunto conformarán la losa estructural capaz de resistir diferentes cargas según sus características debido a su proceso constructivo.

2.1.10. Pushover: Es un método de análisis estático no lineal en el que una estructura se somete a una carga de gravedad y un patrón de carga lateral controlado por desplazamiento monotónico que aumenta continuamente a través del comportamiento elástico e inelástico hasta que se alcanza una condición final. (Nappier, 2014)

2.1.11. Malla electrosoldada: Son estructuras de acero planas formadas por varillas de acero dispuestas en forma ortogonal y electrosoldadas en los puntos de encuentro. Se presentan en una gran variedad de secciones, cuadrículas y diámetros de varillas según su aplicación final.

2.2. Descripción de los parámetros generales para un diseño estructural

2.2.1. Aceleración pico efectiva de diseño: Parámetro indicador de la sacudida sísmica, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad. (CSCR, 2010)

2.2.2. Área bruta: Es el área total de la sección considerada.

2.2.3. Carga permanente: Es el peso de todos los componentes estructurales y componentes no estructurales permanentes.

2.2.4. Carga sísmica amplificada: Es el producto de la carga sísmica y la sobrerresistencia.

2.2.5. Carga sísmica: Demanda en la estructura producida por una sacudida sísmica.

2.2.6. Carga temporal: Es la carga gravitacional debida a la ocupación del edificio.

2.2.7. Carga última: Resultante de una combinación de cargas que la edificación debe resistir.

2.2.8. Centro de masa: Es el punto geométrico de un nivel donde se localiza la resultante de las fuerzas gravitacionales.

2.2.9. Centro de rigidez: Es el punto geométrico de un nivel en el cual la aplicación de una fuerza horizontal produce solo traslación sin rotación de la masa que está asociada, cuando se impiden los desplazamientos de los demás niveles. (CSCR, 2010)

2.2.10. Coeficiente sísmico: Es un coeficiente utilizado para la determinación de las fuerzas sísmicas.

2.2.11. Ductilidad: Capacidad de los materiales, de los componentes y de los sistemas sismorresistentes para deformarse más allá del límite elástico sin pérdida sustancial de la resistencia. Se cuantifica como el cociente del desplazamiento y el desplazamiento en el límite de cedencia. (CSCR, 2010)

2.2.12. Ductilidad global: Es la ductilidad del sistema estructural ante cargas laterales.

2.2.13. Ductilidad local: Es la ductilidad de los elementos, componentes o uniones determinada según su capacidad de rotación inelástica.

2.3. Descripción de otros conceptos

2.3.1. Método de capacidad espectral: Método de análisis que considera el comportamiento no lineal de la estructura.

2.4 Fuerza sísmica de la estructura mediante el método dinámico del Código Sísmico de Costa Rica, 2010

2.4.1. Zonificación sísmica: El código divide al país en tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente denominadas zonas II, III y IV. Las cuales se representan gráficamente a continuación.

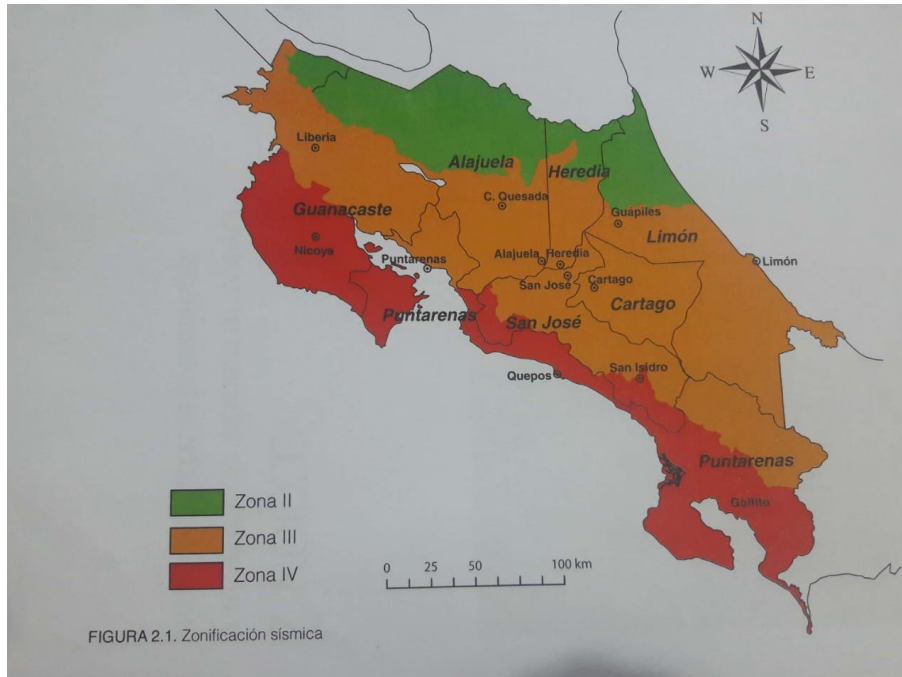


Figura 5. Zonificación Sísmica

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

2.4.2. Sitios de cimentación: Lugar de emplazamiento de una edificación para efectos de considerar las condiciones dinámicas del sitio en la demanda sísmica y se obtienen de un estudio de suelos. Se describen a continuación:

- Sitio tipo S₁: Un perfil de roca o suelo rígido o denso con propiedades semejantes a la roca.
- Sitio tipo S₂: Un perfil de suelo con condiciones predominantes de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido.
- Sitio tipo S₃: Un perfil de suelo con 6 a 12m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o con más de 6m de suelos no cohesivos de poca o media densidad.
- Sitio tipo S₄: Un perfil de suelo que contenga un estrato de más de 12m de arcilla suave.

(CSCR, 2010)

2.4.3. Aceleración pico efectiva de diseño: Parámetro indicador de la sacudida sísmica correspondiente a un período de retorno de 475 años (CSCR, 2010).

2.4.4. Factor de importancia del edificio: Es la clasificación del edificio según la importancia de ocupación o función. Este factor define la sacudida sísmica para la cual se va a diseñar (CSCR, 2010).

Grupo	Descripción	Ocupación o función del edificio	Factor U	Factor Ie
A	Edificaciones e instalaciones esenciales	Hospitales e instalaciones que poseen áreas de cirugía o atención de emergencias. Estaciones de policía y bomberos. Garajes y refugios para vehículos o aviones utilizados para emergencias. Instalaciones y refugios en centros de preparación para emergencias. Terminales aeroportuarias y torres de control aéreo. Edificaciones y equipo en centros de telecomunicaciones y otras instalaciones requeridas para responder a una emergencia. Generadores de emergencia para instalaciones pertenecientes al grupo A. Tanques de almacenamiento de agua y productos esenciales. Estructuras que contienen bombas u otros materiales o equipo para suprimir el fuego.	1.25	1.5
B	Edificaciones e instalaciones riesgosas	Obras e instalaciones utilizadas para la producción, almacenamiento y trasiego de sustancias o químicos tóxicos o explosivos. Obras que contienen o soportan sustancias tóxicas o explosivas. Obras cuya falla pueda poner en peligro otras edificaciones de los grupos A y B.	1.25	1.5
C	Edificaciones de ocupación especial	Edificaciones para actividades educativas con una capacidad mayor que 300 estudiantes. Edificios usados para colegios o para educación de adultos con una capacidad mayor que 500 estudiantes. Edificios para centros de salud con 50 o más pacientes residentes incapacitados, pero no incluidas en el grupo A. Todas las edificaciones con una ocupación mayor que 5000 personas no incluidas en los grupos A o B. Edificaciones y equipo en estaciones de generación de energía y otras instalaciones públicas no incluidas en el Grupo A y requeridas para mantener operación continua.	1	1.25
D	Edificaciones de ocupación normal	Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no especificada en los grupos A, B, C o E.	1	1.25
E	Edificaciones misceláneas	Construcción agrícola y edificios de baja ocupación. Galpones y naves de almacenamiento de materiales no tóxicos y de baja ocupación. Tapias y muros de colindancia. Obras e instalaciones provisionales para la construcción.	0.75	1

Figura 6 Clasificación de edificaciones según importancia

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

2.4.5. Sistema estructural tipo dual: Son las edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismorresistentes constituidos por marcos de acero (en este caso) y muros de concreto reforzado (CSCR, 2010).

2.4.6. Regularidad del edificio

- 2.2.6.1. Regularidad en altura
- 2.2.6.2. Regularidad en planta

2.4.7. Irregularidad del edificio

2.4.7.1. Irregularidad moderada

Todo edificio que no cumple los requisitos de regularidad en altura o en planta se considera de irregularidad moderada.

2.4.7.2. Irregularidad severa

Los edificios irregulares en planta o en altura se consideran de *irregularidad severa* cuando presenten cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando se incumpla el requisito de que la estructura ofrece resistencia en al menos dos ejes diferentes en cada dirección ortogonal.
- Cuando la rigidez lateral de un piso cualquiera es menor que el 60% de la rigidez del piso inmediatamente superior o su capacidad en cortante es menor que el 80% de la capacidad del piso superior.
- Cuando en algún nivel i la excentricidad en cualquiera de las direcciones ortogonales excede el 25% de la dimensión de esa planta.

(CSCR, 2010).

2.4.8. Factor espectral dinámico: Factor que modifica la aceleración de un sistema de un grado de libertad con respecto a la aceleración pico efectiva de diseño (CSCR, 2010).

2.4.9. Sobrerresistencia: La razón entre la capacidad nominal sismorresistente y la capacidad real sismorresistente del sistema (CSCR, 2010).

2.4.10. Carga temporal:

Destino del piso	Carga temporal (kg/m ²)
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares.	250
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, etc.	500
Bibliotecas y salones de archivo.	500
Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	400
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera.	500
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con peso intermedio.	650
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada	800
Techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40
Azoteas con pendiente superior al 5 por ciento.	100
Azoteas con pendiente inferior o igual al 5 por ciento.	200
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300

Figura 7. Cargas temporales unitarias mínimas

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

2.5. Marco Situacional

Este edificio va a ser parte del Proyecto de Ciudad Gobierno, que es una iniciativa del Gobierno de Costa Rica, para centralizar una gran parte de las instituciones del Estado en un mismo espacio geográfico, y que tengan las condiciones y características que permitan encaminar la capital del país hacia un desarrollo urbano con matices de una ciudad sostenible.

Las instituciones públicas que van a ser parte de este proyecto son El Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), la Municipalidad de San José, Acueductos y Alcantarillados (AyA), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Compañía Nacional de Fuerza y Luz, La

Secretaría Técnica Ambiental (SETENA), el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, el Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) y el Ministerio de Hacienda.



Figura 8. Ubicación del Proyecto Ciudad Gobierno

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte

El edificio va a ser construido en La Finca Echandi, ubicada en Barrio La Cruz que es una zona urbana que se ubica en el distrito de San Sebastián y este en el cantón de San José. La dirección exacta es al costado Norte del río María Aguilar.

Esta finca es atravesada por el río María Aguilar de Norte a Sur y es un lote irregular con una pendiente leve, por lo que tiene una zona de protección al río.

Cuenta con servicios públicos en funcionamiento, cuenta con dos accesos desde calle pública, accesibilidad a centros de población importantes con servicios comunales y comerciales de todo tipo. (Avalúo, 2016)

El terreno tiene un área de 13 293m² y un suelo matriz limosa arenosa no consolidadas en superficie y los mismos materiales consolidados en la profundidad. El sitio contiene relleno de materiales muy heterogéneos al frente del terreno, el cual debe ser removido en su totalidad. (Plano Catastro)

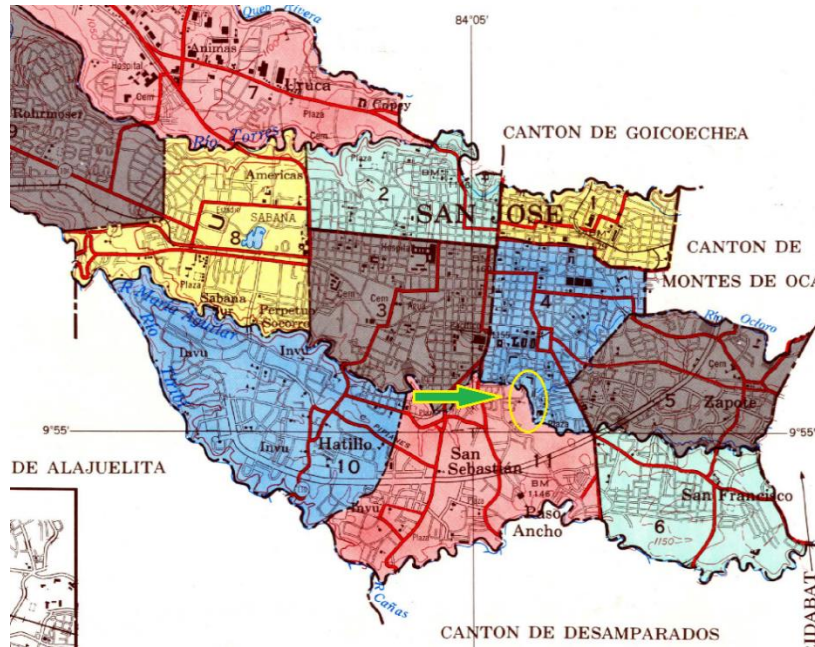


Figura 9. Hoja de distribución de distritos de San José

Fuente: Atlas Cantonal de Costa Rica



Figura 10. Ubicación del lote

Fuente: Propia

2.3.1. Institución donde se va a realizar

En la siguiente sección de este apartado, se va a mencionar información de la institución y el departamento de esta que fue la encargada de proporcionar el proyecto a realizar.

2.3.1.1. Misión

Somos la Institución que apoya al Ministro en el ejercicio de la rectoría del Sector Transporte; responsable de regular y controlar el transporte, así como de ejecutar obras de infraestructura del transporte, seguras y eficientes, con el objetivo de contribuir al crecimiento económico - social en armonía con el ambiente.

Nuestra propuesta de valor a los administrados se fundamenta en decisiones oportunas, productividad y transparencia en la gestión, con el propósito de mejorar la competitividad del país y con ello la calidad de vida de sus habitantes.

2.3.1.2. Visión

Ser la Autoridad que lidera la implementación del Plan Nacional de Transporte 2011-2035, que constituye el punto de encuentro de todas las Instituciones públicas, así como de los agentes económicos y sociales involucrados en su ejecución; reconocidos por los administrados como la Institución que contribuye al desarrollo del país; todo en congruencia con la visión que persigue el Gobierno de la República a través del Plan Nacional de Desarrollo.

2.3.1.3. Objetivos

1. Dictar las políticas y lineamientos para que el Sector Infraestructura y Transporte brinde un adecuado servicio al usuario, acorde con las disponibilidades de recursos y los requerimientos del país.
2. Lograr que los sistemas y servicios de Infraestructura y Transporte sean eficientes y seguros, en términos económicos, ambientales y sociales.
3. Orientar los recursos del Sector Infraestructura y Transporte a los programas y planes establecidos.
4. Modernizar las Instituciones del Sector y su marco legal.

2.3.1.4. Funciones

1. Determinar, con base en estudios y planes elaborados al efecto y conjuntamente con el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, el orden de prioridades en materia de construcciones viales, portuarias y aeroportuarias.

2. Planificar, construir y mejorar las carreteras y caminos. Mantener las carreteras y colaborar con las Municipalidades en la conservación de los caminos vecinales. Regular y controlar los derechos de vía de las carreteras y caminos existentes o en proyecto. Regular, controlar y vigilar el tránsito, sus consecuencias ambientales y el transporte por los caminos públicos.
3. Planificar, construir, mejorar, mantener, operar y administrar los aeropuertos nacionales y sus anexos. Regular y controlar el transporte y el tránsito aéreo y sus derivaciones, por medio de un Consejo Técnico de Aviación Civil y por las dependencias administrativas que se estime convenientes.
4. Planificar, construir, mejorar y mantener los puertos de altura y cabotaje, las vías y terminales de navegación interior, los sistemas de transbordadores y similares. Regular y controlar el transporte marítimo internacional, de cabotaje y por vías de navegación interior.
5. Regular, controlar y vigilar los transportes por ferrocarriles y tranvías.
6. Regular y controlar el transporte continuo de mercaderías a granel.
7. Planificar, regular, controlar y vigilar cualquier otra modalidad de transporte no mencionado en este artículo.
8. Construir, mejorar y mantener las edificaciones y demás obras públicas no sujetas a disposiciones legales especiales y vigilar porque se les dé el uso adecuado. La planificación de estas obras se hará conjuntamente con los organismos a los cuales incumbe su funcionamiento, operación y administración.
9. Planificar, construir, mejorar y conservar obras de defensa civil, para controlar inundaciones y otras calamidades públicas.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque metodológico

El enfoque de este proyecto es cuantitativo ya que el diseño estructural se va realizar mediante procedimientos numéricos, y los análisis de resultados se van a determinar y analizar con resultados numéricos y gráficos.

A continuación vienen los pasos por seguir para realizar los objetivos del proyecto:

1. Revisar los planos del diseño arquitectónico propuesto por el MOPT.
2. Proponer el sistema estructural que más se adecue para el edificio.
3. Crear la información y datos necesarios para empezar el diseño del proyecto.
4. Modelar en el software ETABS.
5. Realizar el análisis estructural con los datos que el software nos da.
6. Cambiar y corregir el modelo estructural de ser necesario.
7. Diseñar los elementos estructurales finales.
8. Elaborar los planos con los detalles constructivos finales.

3.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.2.1. Datos del tipo de suelo donde se va a construir

Del estudio de suelos proporcionado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y realizado por IMNSA Ingenieros Consultores S.A. se obtienen los siguientes datos:

- Tipo de suelo.
- Características geotécnicas.
- Posibles problemas geotécnicos.
- Determinación del nivel y tipo de cimentaciones recomendadas.
- La capacidad de soporte del terreno.
- Profundidad del nivel freático.
- Parámetros para el diseño de obras de retención y estructuras enterradas.

3.2.2 Demanda sísmica

Del Código Sísmico de Costa Rica 2010 se recolectan estos datos necesarios para el diseño del edificio:

- La zonificación sísmica, de la *Tabla 2.1. Zonas sísmicas según provincias, cantones y distritos.*
- Parámetros geotécnicos del tipo de suelo, de la *Tabla 2.2. Tipos de sitio y sus parámetros geotécnicos. Propiedades promedio de los 30m superficiales.*
- Aceleración pico efectiva de diseño, de la *Tabla 2.3. Aceleración pico efectiva de diseño. a_{ef} , para un período de retorno de 475 años y para diferentes zonas sísmicas y tipos de sitio.*

3.2.3. Clasificación de la estructura y sus componentes

Del código sísmico de Costa Costa Rica 2010 se sacan los siguientes datos necesarios para el diseño del edificio:

- Ductilidad local, de la *Tabla 4.2. Requisitos para el cumplimiento de los objetivos de desempeño.*
- Factor de importancia del edificio, de la *Tabla 4.1. Clasificación de edificaciones según importancia.*
- Regularidad o irregularidad del edificio, según sea el caso, de la *Sección 4.3 Clasificación de estructuras según la regularidad para efectos de asignación de ductilidad global.*
- Ductilidad global asignada, de la *Tabla 4.3. Ductilidad global asignada, μ , según sistema estructural, regularidad de la estructura y ductilidad global.*

Luego en la *Tabla 10.5. Ductilidad local según el tipo de sistema sismorresistente.*

3.2.4. Coeficiente sísmico

Del código sísmico de Costa Rica 2010 se aplica la siguiente fórmula necesaria para el diseño del edificio:

- Coeficiente sísmico, con la fórmula:

$$C = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR}$$

Donde:

a_{ef} : aceleración pico efectiva de diseño en la base de la estructura.

I: factor de importancia de la edificación.

FED: Factor espectral dinámico.

SR: Factor de sobrerresistencia según se define en el artículo 3.3.

3.2.5 Cargas y factores de participación

- Carga permanente, del diseño arquitectónico y materiales escogidos se calculan los estos los pesos propios de estos.
- Carga temporal, de la *Tabla 6.1 Cargas temporales unitarias mínimas del CSCR-10*.
- Carga última de diseño, de las combinaciones en la *Sección 6.2.1 Combinaciones para obtener la carga última de diseño del CSCR-10*.

$$CU = 1.4CP$$

$$CU = 1.2CP + 1.6f_R CT + 1.6CE$$

$$CU = 1.05CP + f_i f_R CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95CP \pm CE$$

Donde:

CU= carga última de diseño

CP= carga permanente

CT= carga temporal

CS= carga sísmica

CE= carga por empuje

3.3. Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos

3.3.1. Propuesta del sistema estructural a utilizar

En la *Sección 4.2. del Código Sísmico de Costa Rica 2010* vienen los tipos de estructura que rigen en este código, y debido a las características del edificio se elige el Tipo dual.

3.3.2. Método de análisis por utilizar

Al ser un edificio de más de cinco niveles, según el CSCR-10 se debe utilizar el método dinámico, que se encuentra en la *Sección 7.5*.

3.3.3. Determinación de la carga sísmica y combinación modal

De acuerdo con el *Código Sísmico de Costa Rica 2010*.

3.3.4. Cálculo de desplazamientos y derivas

En esta parte se va a utilizar el software ETABS para el cálculo de los desplazamientos y derivas necesarias para cerciorarse de que el modelo cumpla.

3.3.5. Criterios de diseño

Para el diseño de estructuras con elementos, componentes y uniones de acero se utiliza el método de diseño por factores de carga y resistencia (LFRD).

3.3.6 Diseño y requisitos del acero estructural

En el Capítulo 10 del *Código Sísmico de Costa Rica 2010* se desglosa todo el procedimiento y recomendaciones donde se van a utilizar todos los datos obtenidos anteriormente, para el diseño de un edificio tipo dual en acero estructural, por lo que se va seguir esta guía que por ley en nuestro país hay que utilizar en todo proyecto de construcción.

Así como recomendaciones del *Manual de Construcción en Acero del AISC (American Institute of Steel Construction)*, la decimocuarta edición.

3.4 Software de diseño

Para este diseño se va a utilizar el software ETABS que es un programa de elementos finitos, que permite realizar de forma integrada la modelación, análisis y dimensionamiento de estructuras.

El revolucionario SAPFire 64 bit solver permite el análisis rápido de modelos extremadamente complejos y soporta técnicas de modelado no lineales, como secuencia constructiva y efectos

diferidos en el tiempo (por ejemplo: fluencia y retracción). Está incluido el dimensionamiento de estructuras metálicas y de hormigón armado con optimización automatizada, así como de vigas y pilares mixtos, de muros de hormigón y mampostería, y también la comprobación de seguridad de conexiones y chapas metálicas.

3.5 Software para el dibujo de los planos

AutoCad 2018 es un programa de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El término AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, teniendo su primera aparición en 1982. AutoCAD es un *software* reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D.

(Gracia Sánchez, 2015)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Requisitos estructurales generales del proyecto

4.1.1. **Uso principal de la edificación:** Oficinas.

4.1.2. Parámetros generales:

4.1.2.1. **Zona sísmica:** III, según tabla 2.1 del CSCR-10.

4.1.2.2. **Sitio de cimentación:** Suelo tipo S₂, del estudio de suelos.

4.1.2.3. **Aceleración pico efectiva de diseño:** 0.33, según la tabla 2.3 del CSCR-10.

4.1.2.4. **Clasificación de la edificación según su importancia:** 1.0, según la tabla 4.1 del CSCR-10.

4.1.2.5. **Clasificación del sistema estructural:** Tipo dual.

4.1.2.6. **Irregularidad del edificio:** Irregular moderado.

4.1.2.7. **Ductilidad global asignada:** 3.0, según la tabla 4.3 del CSCR-10.

4.1.2.8. **Factor Espectral dinámico:** 1.12, según la figura 5.6 del CSCR-10.

4.1.2.9. Coeficiente sísmico:

$$C = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR}$$

Donde

SR = factor de sobrerresistencia. SR = 2 para estructuras tipo dual, marco y muro.

$$C = \frac{0.33 * 1 * 1.12}{2} = 0.1848$$

4.2. Descripción del sistema estructural empleado

El sistema que se va a utilizar es de marcos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF), y se elige el arrioste en “V” invertida (Figura 10.3 del CSCR-10).

4.3. Cargas generales empleadas

4.3.1. Cargas permanentes

Cargas adicionales: 1.5 KN/m²

Cargas de entrepiso: 2.28KN/m²

4.3.2. Cargas temporales

Cargas temporales unitarias mínimas para oficinas: 2.5KN/m^2

Cargas temporales unitarias mínimas para escaleras o pasillos: 5.5KN/m^2

4.3.3. Mayoración de cargas

$$CU = 1.4 * CP$$

$$CU = 1.4 * (2.196 + 2.28) = 6.26\text{KN/m}^2$$

$$CU = 1.2CP + 1.6fRCT + 1.6CE$$

$$CU = 1.2(2.196 + 2.28) + 1.6(2.5) = 9.37\text{KN/m}^2$$

Se tiene como carga última de diseño general para el edificio: 9.37KN/m^2 .

4.4. Cargas de viento

Para el cálculo de las cargas de viento se utilizarán los lineamientos establecidos en el Reglamento de Construcciones en su Capítulo XX.

Según el Reglamento de Construcciones, la carga lateral producto de la presión del viento es

$$F_w = C_f * I * q_u * A$$

Donde

C_f = factor de forma.

I = factor de importancia de la estructura.

q_u = presión de viento con respecto a la altura.

A = área tributaria.

Por lo que se tienen las siguientes tablas del Reglamento de Construcciones:

Elemento	Coefficiente	Tipo de carga
Pared frente al viento	0.8	Presión
Pared del fondo	0.4	Succión
Techo frente al viento	$1.2\sin(\epsilon) - 0.4$	
Techo al fondo	0.4	Succión

Tabla 1. Factor de forma

Fuente: Reglamento de Construcciones de Costa Rica

Altura sobre el terreno (m)	Presión Básica (Kg/m ³)
0	55
15	75
20	85
30	95
40	105
50	110
75	120
100	130

Tabla 2. Presión Básica de Diseño

Fuente: Reglamento de Construcciones de Costa Rica

4.4.1. Cargas de viento sobre el A en el nivel 9

$$F_w = C_f * I * q_u * A$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 110 \frac{kg}{m^3} * 21.37m^2 = 1879.68 \frac{kg}{m}$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 110 \frac{kg}{m^3} * 15.075m^2 = 1326.60 \frac{kg}{m}$$

4.4.2. Cargas de viento sobre el C en el nivel 10

$$F_w = C_f * I * q_u * A$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 110 \frac{kg}{m^3} * 21.37m^2 = 1879.68 \frac{kg}{m}$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 110 \frac{kg}{m^3} * 15.075m^2 = 1326.60 \frac{kg}{m}$$

4.4.3. Cargas de viento sobre el C en el nivel 15

$$F_w = C_f * I * q_u * A$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 120 \frac{kg}{m^3} * 21.37m^2 = 2051.52 \frac{kg}{m}$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 120 \frac{kg}{m^3} * 15.075m^2 = 1447.2 \frac{kg}{m}$$

4.4.4. Cargas de viento sobre el C en el nivel 19

$$F_w = C_f * I * q_u * A$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 130 \frac{kg}{m^3} * 21.37m^2 = 2222.48 \frac{kg}{m} = 2.22 \frac{KN}{m}$$

$$F_w = 0.8 * 1 * 130 \frac{kg}{m^3} * 15.075m^2 = 1567.80 \frac{kg}{m} = 1.58 \frac{KN}{m}$$

Teniendo en cuenta que las cargas sísmicas a la que el edificio se ve sometido son más grandes que la carga de viento en el piso más alto del edificio se descarta el diseño por cargas de viento.

4.5. Análisis gravitacional

$$W = CP + 015 * CT$$

Donde

CP = carga permanente

CT = carga temporal

hi = altura de cada nivel con respecto al suelo.

$$V = \Sigma W_i * C$$

Donde

V = cortante en la base.

Wi = peso.

C = coeficiente sísmico.

$$F_i = V * \frac{W_i * h_i}{\Sigma W_k * h_x}$$

Donde

Fi = fuerza sísmica aplicada al nivel i.

V = cortante en la base.

hi = altura del nivel sobre la base.

Peso del edificio por nivel								
Nivel	Área	W (Peso) (KN)	W (Peso) (Ton)	hi (m)	W*h	Pix (ton)	Vix (ton)	Fi (ton)
19	2453.1	12599.1216	1259.91216	85.5	107722.49	692.082642	5436.03093	232.831767
18	2453.1	12599.1216	1259.91216	81	102052.885	655.65724	5436.03093	220.577464
17	2453.1	12599.1216	1259.91216	76.5	96383.2802	619.231837	5436.03093	208.32316
16	2453.1	12599.1216	1259.91216	72	90713.6755	582.806435	5436.03093	196.068857
15	2453.1	12599.1216	1259.91216	67.5	85044.0708	546.381033	5436.03093	183.814553
14	2453.1	12599.1216	1259.91216	63	79374.4661	509.955631	5436.03093	171.560249
13	2453.1	12599.1216	1259.91216	58.5	73704.8614	473.530229	5436.03093	159.305946
12	2453.1	12599.1216	1259.91216	54	68035.2566	437.104826	5436.03093	147.051642
11	2453.1	12599.1216	1259.91216	49.5	62365.6519	400.679424	5436.03093	134.797339
10	2453.1	12599.1216	1259.91216	45	56696.0472	364.254022	5436.03093	122.543035
9	3552.3	18244.6128	1824.46128	40.5	73890.6818	687.441319	5436.03093	159.707579
8	3552.3	18244.6128	1824.46128	36	65680.6061	611.05895	5436.03093	141.962292
7	3552.3	18244.6128	1824.46128	31.5	57470.5303	534.676581	5436.03093	124.217006
6	3552.3	18244.6128	1824.46128	27	49260.4546	458.294213	5436.03093	106.471719
5	3552.3	18244.6128	1824.46128	22.5	41050.3788	381.911844	5436.03093	88.7264328
4	3552.3	18244.6128	1824.46128	18	32840.303	305.529475	5436.03093	70.9811462
3	3552.3	18244.6128	1824.46128	13.5	24630.2273	229.147106	5436.03093	53.2358597
2	3938.28	20227.00608	2022.700608	9	18204.3055	187.766031	5436.03093	39.3468497
1	3938.28	20227.00608	2022.700608	4.5	9102.15274	93.8830155	5436.03093	19.6734249
Σ		294157.5178	29415.75178					

Tabla 3. Resultados del análisis gravitacional

Fuente: Propia

4.6. Ejes del edificio

Por la longitud tan larga del edificio de acuerdo al código se debe manejar como tres edificios que no superen los 50m de longitud cada uno, con una separación de 11cm entre cada uno. Separados en los ejes H-H' y J-J'.

Sótano 1:

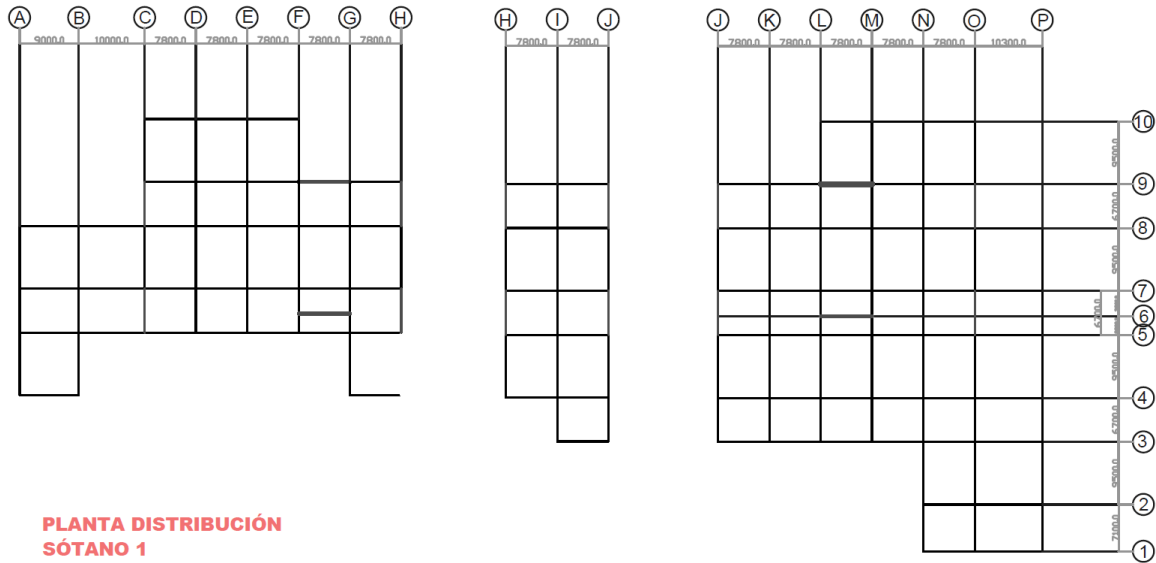


Figura 11. Planta de distribución Sótano 1

Fuente: Propia

Sótano 2:

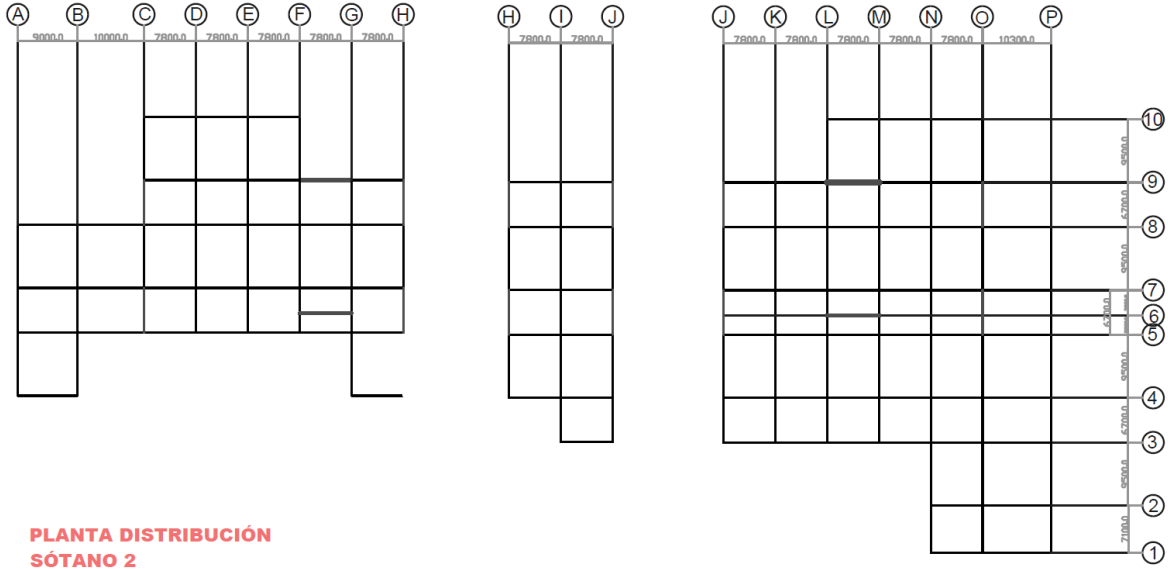


Figura 12. Planta de distribución Sótano 2

Fuente: Propia

Nivel 1:

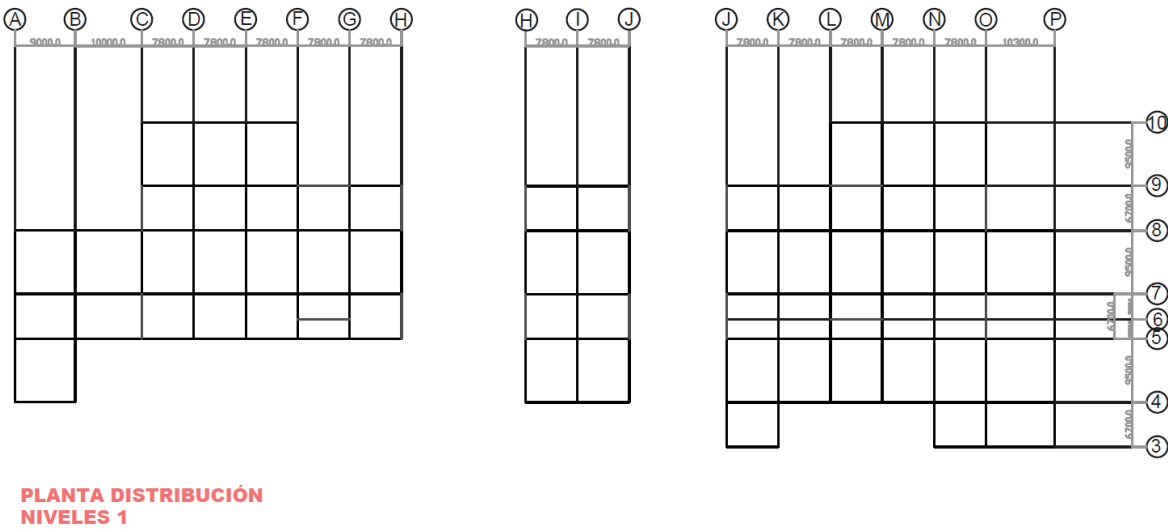


Figura 13. Planta de distribución Nivel 1

Fuente: Propia

Nivel 2:

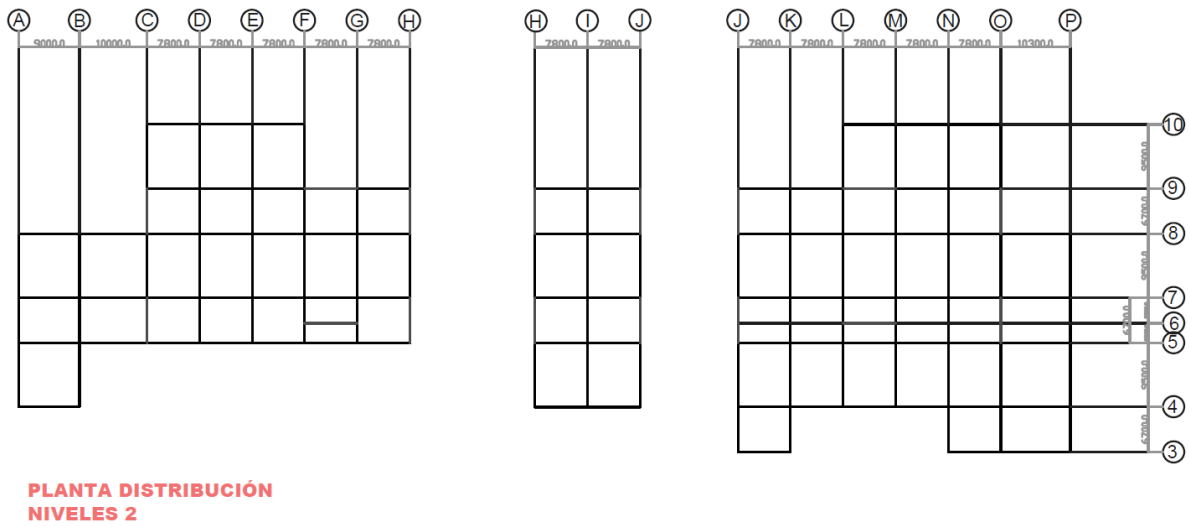
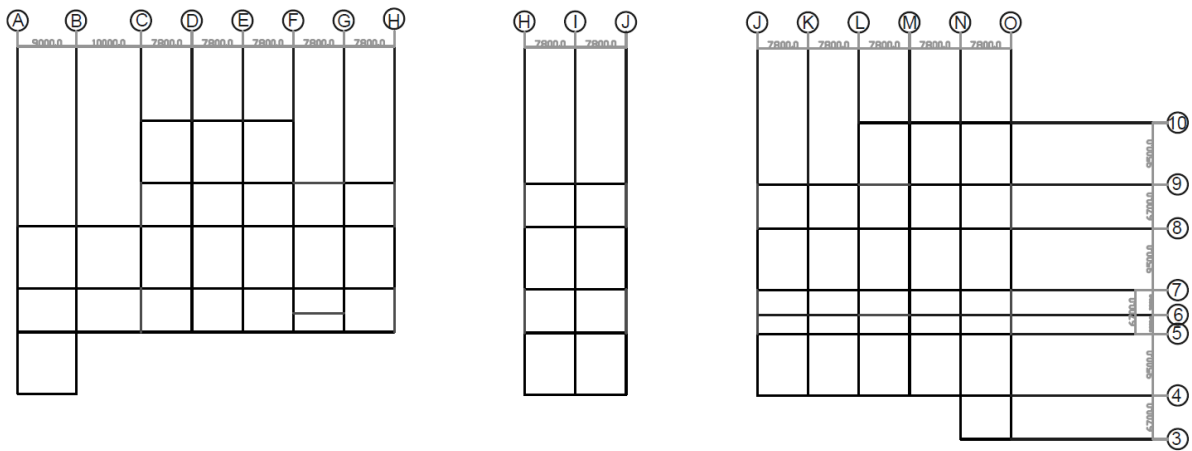


Figura 14. Planta de distribución Nivel 2

Fuente: Propia

Del nivel 3 al 9:



Fuente: Propia

Del nivel 10 al 19:

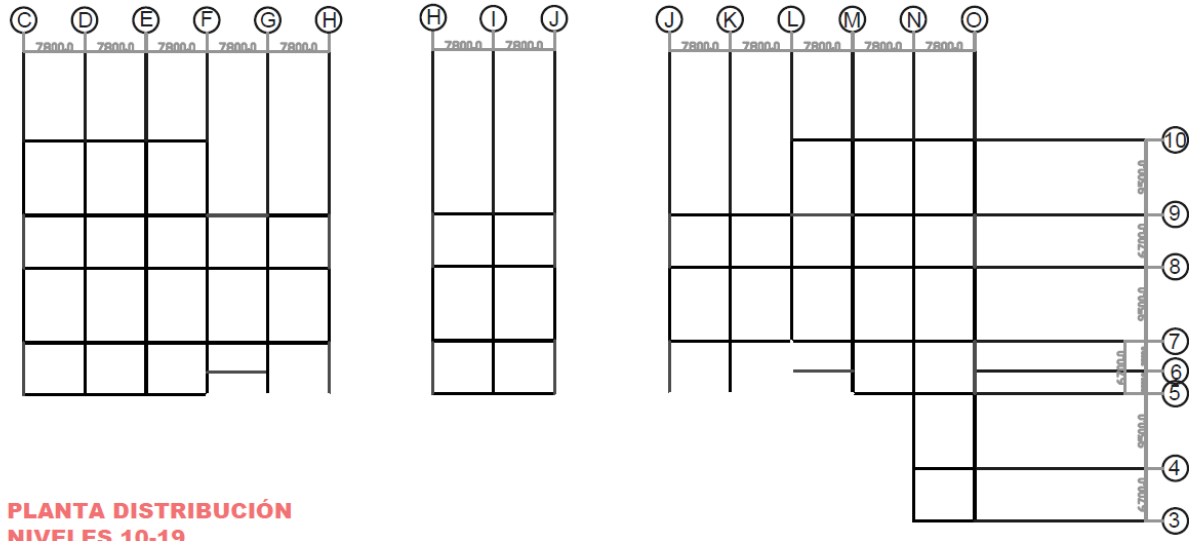


Figura 16. Planta de distribución para los niveles del 10 al 19

Fuente: Propia

4.7. Justificación de los cálculos de diseño

4.7.1. Selección preliminar de las secciones de acero para las vigas

4.7.1.1. Para el nivel 1 y 2:

- Tramo del eje 3-4 sobre el eje P:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 22.64\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 12.88\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(22.64\text{KN/m}) + 1.6(12.88\text{KN/m}) = 47.78\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 47.78\text{KN/m} * 6.7\text{m}^2 = 153.20\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 47.78\text{KN/m} * 6.7\text{m}^2 = 194.99\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 47.78 \text{KN/m} * 6.7 \text{m}^2 = 134.03 \text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$194.99 \text{KN} - \text{m} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} = 19499 \text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{19499 \text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48 \text{KN/cm}^2} = 628.35 \text{cm}^3$$

$$628.35 \text{cm}^3 * \frac{(0.393701 \text{in})^3}{(1 \text{cm})^3} = 38.34 \text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7 \text{m}}{20} = 0.335 \text{m}$$

$$0.335 \text{m} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} * \frac{0.393701 \text{in}}{1 \text{cm}} = 13.19 \text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x26, con $Z = 44.2 \text{in}^3$ y $d = 15.69 \text{in}$.

Tabla de resultados:

Tramo	Eje	Sección propuesta	Tramo	Eje	Sección propuesta
4-5	P	W16x50	9-10	N	W16x89
5-7	P	W16x26	3-4	I	W16x89
7-8	P	W16x45	5-6	I	W16x26
3-4	O	W16x57	6-7	I	W16x26
4-5	O	W18x106	7-8	I	W16x100
5-7	O	W16x45	8-9	I	W16x50
7-8	O	W18x106	5-7	A	W16x31
8-9	O	W16x31	7-8	A	W16x57
9-10	O	W16x50	5-7	B	W16x57
3-4	N	W16x31	7-8	B	W18x106
4-5	N	W16x100	5-7	C	W16x40
5-7	N	W16x40	7-8	C	W16x77
7-8	N	W16x100	8-9	C	W16x31
8-9	N	W16x57	9-10	C	W16x50

Tabla 4. Resultados de las secciones preliminares para los niveles 1 y 2

Fuente: Propia

El resto de cálculos para cada tramo y eje se encuentran en el anexo A.

4.7.1.2. Para el nivel del 3 al 9:

- Tramo del eje 3-4 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 176.00\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 224.00\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 154.00\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$224.00\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 22400\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{22400\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 721.84\text{cm}^3$$

$$721.84\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 44.05\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54\text{in}^3$ y $d = 15.88\text{in}$.

Tabla de resultados:

Tramo	Eje	Sección propuesta
4-5	O	W16x57
5-7	O	W16x26
7-8	O	W16x57
8-9	O	W16x31
9-10	O	W16x50

Tabla 5. Resultados de las secciones preliminares para los niveles del 3 al 9

Fuente: Propia

El resto de cálculos para cada tramo y eje se encuentran en el anexo B.

4.7.1.3. Para el nivel del 10 al 19:

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 176.00\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 224.00\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 154.00\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$224.00\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 22400\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{22400\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 721.84\text{cm}^3$$

$$721.84\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 44.05\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54\text{in}^3$ y $d = 15.88\text{in}$.

Tabla de resultados:

Tramo	Eje	Sección propuesta
7-8	C	W16x57
8-9	C	W16x31
9-10	C	W16x50

Tabla 6. Resultados de las secciones preliminares para los niveles del 10 al 19

Fuente: Propia

El resto de cálculos para cada tramo y eje se encuentran en el anexo C.

4.7.2. Selección preliminar de las secciones de acero para las viguetas

4.7.2.1. Viguetas entre los ejes 3-4 y ejes O-P, usados como referencia para viguetas de 6.7m:

$$W = b * CU$$

Donde

W = carga

b = área tributaria

CU = carga última

$$W = 8.54 \frac{KN}{m^2} * 2.575m = 22 \frac{KN}{m}$$

$$P = W * L$$

Donde

P = carga puntual

W = carga

L = largo de la vigueta

$$P = 22 \frac{KN}{m} * 6.7m = 147.4KN$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * W * L^2 + 15 * \frac{P * L}{48}$$

Donde

$M_{m\acute{a}x}$ = momento máximo

P = carga puntual

W = carga

L = largo de la vigueta

*En este paso se omite la primera parte de la ecuaci3n.

$$M_{m\acute{a}x} = 15 * \frac{147.4KN * 6.5m}{48}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 299.41KN - m$$

$$F_{AY} = P + \frac{P}{2}$$

Donde

F_{AY} = Fuerza en el extremo A de la vigueta

P = carga puntual

$$F_{AY} = 147.4KN + \frac{147.4KN}{2}$$

$$F_{AY} = 221.1KN$$

$$M_{C^+} = 221.1KN * 2.575m + 73.7KN * 2.575m - 229.41KN - m$$

$$M_{C^+} = 459.7KN - m$$

- Diseño de la vigueta

$$L = 6.7m$$

$$W = 22 \frac{KN}{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * W * L^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * 22 \frac{KN}{m} * 6.7^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = 123.45KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$123.45KN - m * \frac{100cm}{1m} = 12345KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{12345KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 397.81cm^3$$

$$397.81cm^3 * \frac{(0,393701in)^3}{(1cm)^3} = 24.28in^3$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W12x22, con $Z = 29.3in^3$ y $d = 12.31in$.

4.7.2.2. Viguetas entre los ejes 4-5 y ejes O-P, usados como referencia para viguetas de 9.5m:

$$W = b * CU$$

$$W = 8.54 \frac{KN}{m^2} * 2.575m = 22 \frac{KN}{m}$$

$$P = W * L$$

$$P = 22 \frac{KN}{m} * 9.5m = 209KN$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * W * L^2 + 15 * \frac{P * L}{48}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 15 * \frac{209KN * 9.5m}{48} = 620.47KN - m$$

$$F_{AY} = P + \frac{P}{2}$$

$$F_{AY} = 209KN + \frac{209KN}{2} = 313.5KN$$

$$M_{C^+} = 313.5KN * 2.575m + 104.5KN * 2.575m - 620.47KN - m$$

$$M_{C^+} = 455.88KN - m$$

- Diseño de la vigueta

$$L = 9.5m$$

$$W = 22 \frac{KN}{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * W * L^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * 22 \frac{KN}{m} * 9.5^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = 165.46KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$165.46\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 16546\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{16546\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 533.19\text{cm}^3$$

$$533.19\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 32.5\text{in}^3$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W12x26, con $Z = 37.2\text{in}^3$ y $d = 12.22\text{in}$.

4.7.2.3. Viguetas entre los ejes 4-5 y ejes N-O, usados como referencia para viguetas de 7.8m:

$$W = b * CU$$

$$W = 8.54 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 1.95\text{m} = 16.65 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P = W * L$$

$$P = 16.65 \frac{\text{KN}}{\text{m}} * 7.8\text{m} = 129.89\text{KN}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{1}{8} * W * L^2 + 15 * \frac{P * L}{48}$$

$$M_{\text{máx}} = 15 * \frac{129.89\text{KN} * 7.8\text{m}}{48} = 316.61\text{KN} - \text{m}$$

$$F_{AY} = P + \frac{P}{2}$$

$$F_{AY} = 129.89KN + \frac{129.89KN}{2} = 193.5KN$$

$$M_{C^+} = 193.5KN * 1.95m + 63.61KN * 1.95m - 316.61KN - m$$

$$M_{C^+} = 184.75KN - m$$

- Diseño de la vigueta

$$L = 7.8m$$

$$W = 16.65 \frac{KN}{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * W * L^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * 16.65 \frac{KN}{m} * 7.8^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = 126.62KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$126.62KN - m * \frac{100cm}{1m} = 12662KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{12662KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 408.03cm^3$$

$$408.03cm^3 * \frac{(0,393701in)^3}{(1cm)^3} = 24.90in^3$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W12x22, con $Z = 29.3\text{in}^3$ y $d = 12.31\text{in}$.

4.7.2.4. Viguetas entre los ejes 7-8 y ejes A-B, usados como referencia para viguetas de 9m:

$$W = b * CU$$

$$W = 8.54 \frac{KN}{m^2} * 2.25m = 19.21 \frac{KN}{m}$$

$$P = W * L$$

$$P = 19.21 \frac{KN}{m} * 9m = 172.89KN$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{8} * W * L^2 + 15 * \frac{P * L}{48}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 15 * \frac{172.89KN * 9m}{48} = 486.25KN - m$$

$$F_{AY} = P + \frac{P}{2}$$

$$F_{AY} = 172.89KN + \frac{172.89KN}{2} = 259.33KN$$

$$M_{C+} = 259.33KN * 2.25m + 86.44KN * 2.25m - 486.25KN - m$$

$$M_{C+} = 291.73KN - m$$

- Diseño de la vigueta

$$L = 9\text{m}$$

$$W = 19.21 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Cálculo de momentos:

$$M_{\text{máx}} = \frac{1}{8} * W * L^2$$
$$M_{\text{máx}} = \frac{1}{8} * 19.21 \frac{\text{KN}}{\text{m}} * 9^2$$

$$M_{\text{máx}} = 1194.50\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$1194.50\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 119450\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{119450\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 626.77\text{cm}^3$$

$$626.77\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 36.94\text{in}^3$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W12x26, con $Z = 37.2\text{in}^3$ y $d = 12.22\text{in}$.

4.7.3. Selección preliminar de las secciones de acero para los muros de arriostre

Al ser un sistema sismorresistente a base de marcos ordinarios arriostrados concéntricamente (OCBF) de acero estructural se decidió configurar un arriostre tipo “V invertida”, que está en las permitidas por el Código Sísmico de Costa Rica 2010.

Preliminarmente se eligen las secciones de tubo HSS 150x4.76mm.

4.7.4. Diseño estructural en concreto para los sótanos de parqueos

Debido a que en los planos arquitectónicos dados por el MOPT no tienen especificaciones técnicas de cortes del suelo ni de la forma exacta que quieren de las rampas, ni entradas, no se puede realizar un diseño estructural de esta zona.

Pero debido a que se ocupan las columnas que son parte del marco estructural principal y los muros de arriostre, se procede a hacer un diseño de columnas muy básico para que sirva de guía en nuestro diseño de acero de los diecinueve niveles sobre el suelo.

Se eligen columnas de 1500x400cm de concreto, con acero longitudinal #8 y el acero de confinamiento varillas #4@10cm. El espesor de los muros de concreto de 30cm y vigas de 400x800cm.

4.7.5. Cálculos para los detalles de las conexiones

4.7.5.1. Detalle de conexión de apoyo del arriostre

Revisión por tensión

Datos:

- Sección de tubo: HSS 150x4.76mm
- Acero: A36
- $F_y = 36\text{klb/pulg}^2$
- $A_g = 4.27\text{ pulg}^2$

Resistencia por fluencia total del tubo

$$A_g = 4.27\text{pulg}^2$$

$$\phi P_n = \phi * F_y * A_g$$

$$\phi P_n = 0.90 * 36 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}^2} * 4.27\text{pulg}^2 = 135.76\text{klb}$$

Carga requerida = 4.80klb = 0.218klb

$$\phi P_n = 135.76\text{klb} > P_{req} = 0.218\text{klb}$$

Resistencia de la soldadura a cortante

$$w_{min} = \frac{1}{8}\text{pulg}$$

Donde

w_{\min} = tamaño mínimo de la soldadura

$$w_{\max} = \frac{3}{8} \text{ pulg} - \frac{1}{8} \text{ pulg} = \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

Donde

w_{\max} = tamaño máximo de la soldadura

Como se supone acero A36, el electrodo adecuado es E7018, por lo tanto:

$$Wd = 0.75 * (0.60 * Fu_w) * 0.707 * w * (1)$$

Donde

Wd = resistencia de diseño al cortante.

Fu_w = resistencia nominal del electrodo.

$$Wd = 0.75 * (0.60 * 70) * 0.707 * \frac{1}{4} * (1) = 5.56 \text{ klb} - \text{ pulg}$$

La longitud mínima de la soldadura es

$$L_{req} = \frac{Tu}{Wd}$$

Donde

Tu = carga a tensión factorizada

$$Tu = 0.218 \text{ klb} * 1.60 = 0.3488 \text{ klb}$$

$$L_{req} = \frac{0.3488 \text{ klb}}{5.56 \text{ klb} - \text{ pulg}}$$

$$L_{req} = 0.06 \text{ pulg}$$

La longitud requerida de soldadura para cada lado es de 0.06 pulg.

Ahora la longitud total de soldadura en la conexión es de 13 pulg a cada lado, de acuerdo con la tabla 6.19.2 del libro Estructuras de acero: comportamiento y LRFD.

$$L = 26\text{pulg}$$

Resistencia de la soldadura

$$P_n = W_d * L_{req}$$

Donde

P_n = resistencia de diseño a cortante.

W_d = resistencia de diseño al cortante.

L_{req} = Longitud requerida.

$$P_n = 5.56\text{klb} - \text{pulg} * 26\text{pulg} = 144.56\text{klb}$$

Teniendo así:

Capacidad de tensión del tubo

$$\phi P_n = 0.75 * 144.56 = 135.76\text{klb}$$

Donde

ϕ = factor de resistencia.

Capacidad de la soldadura

$$P_n = 144.56\text{klb}$$

Espesor de la placa

P_u = 80klb, ya mayorada.

$$\phi P_n = \phi * F_y * A_g \leq P_u$$

$$\phi P_n = \phi * F_y * A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi F_y}$$

La longitud de la base expuesta de la placa a tensión es de $L = 6\text{pulg}$.

$$Ag = 6t$$

Donde

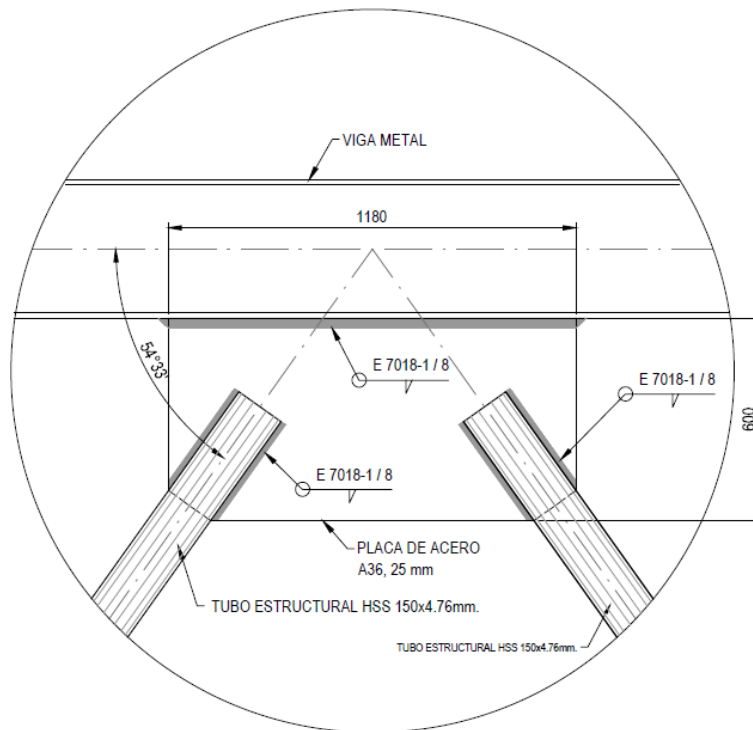
T = espesor

$$6t = \frac{Pu}{\phi * Fy}$$

$$t = \frac{Pu}{\phi * Fy * 6}$$

$$t = \frac{80klb}{0.90 * 36 \frac{klb}{pulg^2} * 6pulg}$$

$t = 0.45pulg$ Se escoge una placa de $t = 1pulg = 25.0mm$ por seguridad.



DET. APOYO ARRIOSTRE EN VIGA W
escala 1:15

Figura 17. Detalle de arriostre Viga W

Fuente: Propia

Revisión por compresión

Datos:

- Sección de tubo: HSS 150x4.76mm = 6x6x3/16pulg
- Acero: A36
- $F_y = 36\text{klb/pulg}^2$
- $A_g = 4.27\text{ pulg}^2$
- $t = 0.1875\text{pulg}$
- $r = 2.36\text{pulg}$
- $L = 150.15\text{pulg}$
- $E = 29000\text{klb/pulg}^2$

Se calcula

$$\frac{b}{t}$$

b se aproxima con el tamaño del tubo $-2*t$.

$$\frac{b}{t} = \frac{6 - 2(0.1875)}{0.1875} = 30 < 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.40 \sqrt{\frac{29000\text{klb/pulg}^2}{36\text{klb/pulg}^2}} = 39.73$$

\therefore la sección no tiene elementos esbeltos.

Luego se procede a calcular

$$\frac{K * L}{r}$$

$k = 0.65$, según tabla 5.1, Diseño de Estructuras de Acero – McCormac/Csernak

$$\frac{K * L}{r} = \frac{0.65 * 150.15\text{pulg}}{2.36\text{pulg}} = 41.35 < 4.71 \sqrt{\frac{29000\text{klb/pulg}^2}{36\text{klb/pulg}^2}} = 133.68$$

Se usa la ecuación E3-2 del AISC para calcular F_{cr} .

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 29000 \text{klb/pulg}^2}{(41.35)^2} = 167.40 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}^2}$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] * F_y$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{36 \text{klb/pulg}^2}{167.40 \text{klb/pulg}^2}\right] * 36 \text{klb/pulg}^2 = 32.90 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}^2}$$

$$\phi_c * F_{cr} = 0.90 * 32.90 \text{klb/pulg}^2 = 29.61 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}^2}$$

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A = 29.61 * 4.27 = 126.44 \text{klb}$$

Del manual, Tabla 4-4

$$\phi_c * P_n = 123 \text{klb}$$

4.7.5.2. Detalle de conexión entre columna W y viga de concreto

$$A_D = \frac{P_u}{\phi * 0.75 * F_y}$$

Donde

A_D = área requerida del perno de anclaje.

P_u = carga axial.

F_y = Resistencia última del acero.

Valor del momento:

$$M = 12256.58 \text{Kg} - m$$

$$12256.58 \text{Kg} - m * \frac{86.7962 \text{lb} - \text{pulg}}{1 \text{Kg} - m} = 1062287.04 \text{lb} - \text{pulg}$$

$$M = 1063.00 \text{klb} - \text{pulg}$$

La separación entre pernos externos es de 0.9156m.

$$M = Pu * d$$

$$Pu = \frac{M}{d}$$

$$d = 0.9156 \text{m}$$

$$0.9156 \text{m} * \frac{39.3701 \text{pulg}}{1 \text{m}} = 37.46 \text{pulg}$$

$$Pu = \frac{1063.00 \text{klb} - \text{pulg}}{37.46 \text{pulg}} = 28.37 \text{klb}$$

Entonces

$$A_D = \frac{Pu}{\phi * 0.75 * Fy}$$

Donde

A_D = área requerida del perno de anclaje,

y trabajando con un acero A36

$$A_D = \frac{28.37 \text{klb}}{0.90 * 0.75 * 36 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}^2}} = 1.167 \text{pulg}^2$$

Estimación del diámetro

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

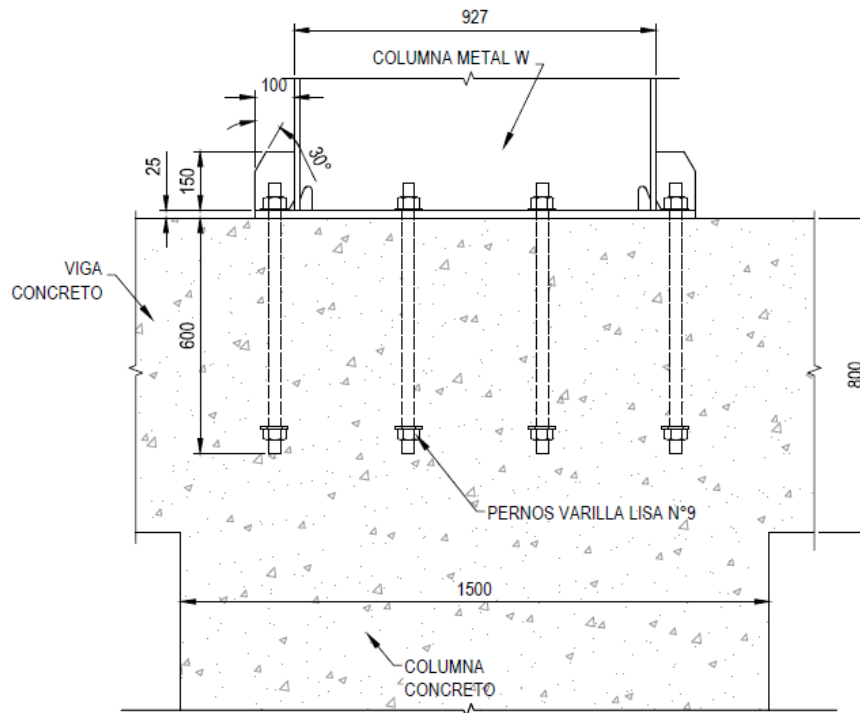
Donde

d = diámetro.

A = área del perno.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1.167 \text{pulg}^2}{\pi}} = 1.22 \text{pulg}$$

Se recomienda usar pernos de diámetro 1.25pulg, siendo estos de $d = 1 \frac{1}{4}$



**DET. APOYO COLUMNA W
EN VIGA DE CONCRETO
escala 1:15**

Figura 18. Detalle Apoyo Columna W en viga de concreto

Fuente: Propia

4.7.6. Modelo en ETABS

4.5.6.1 Primer modelo

Para las primeras dimensiones de columnas se estiman las secciones con esta distribución:

- Columnas para los niveles 1-2: W36x194.

- b. Columnas para los niveles 3-9: W30x210.
- c. Columnas para los niveles 10-19: W27x102.

Y las vigas y viguetas con la primera distribución de secciones que se seleccionaron con los cálculos anteriores y que se muestran en la tabla de resultados de cada una.

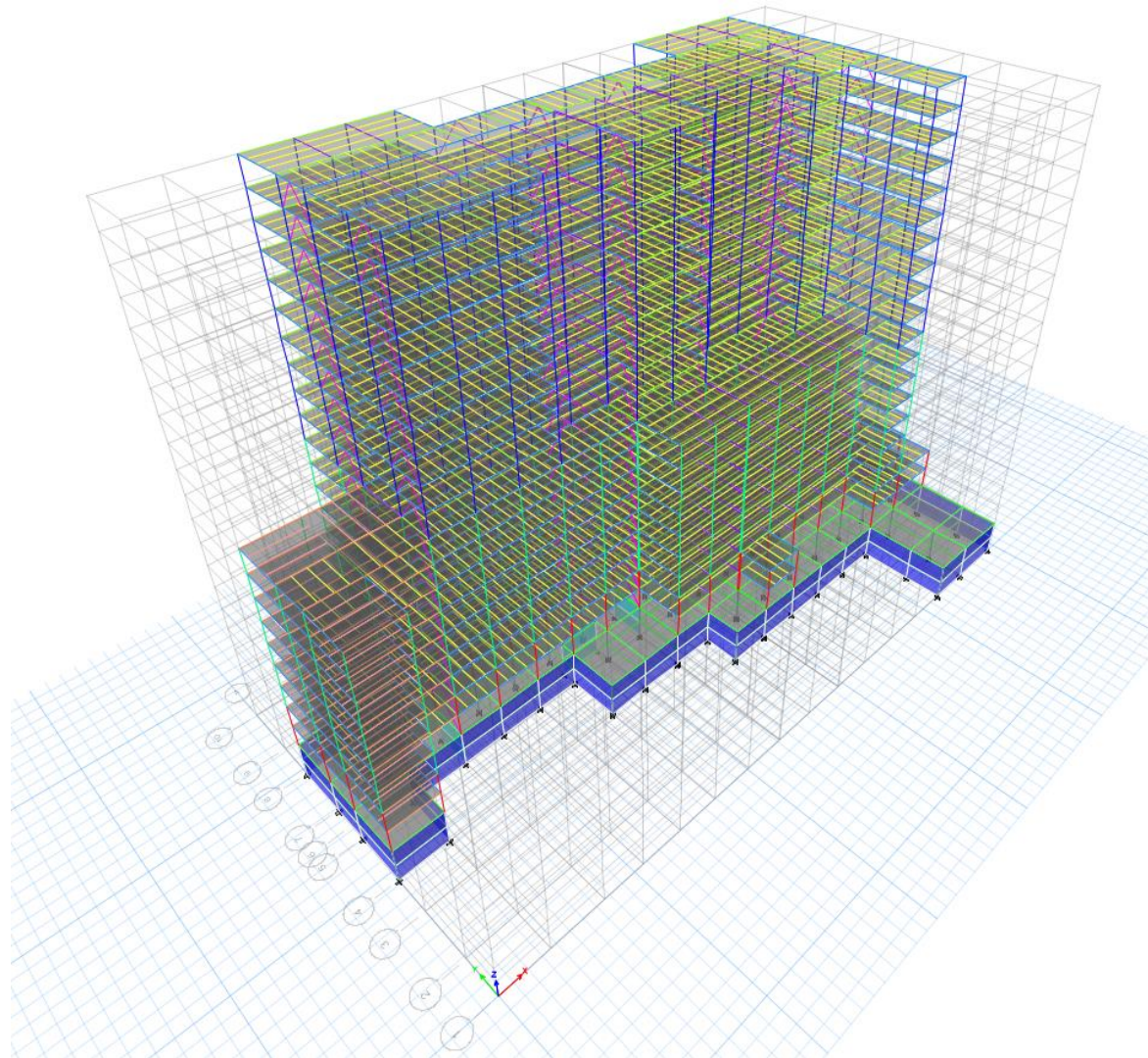


Figura 19. Modelo Estructural sin haberlo corrido

Fuente: Propia

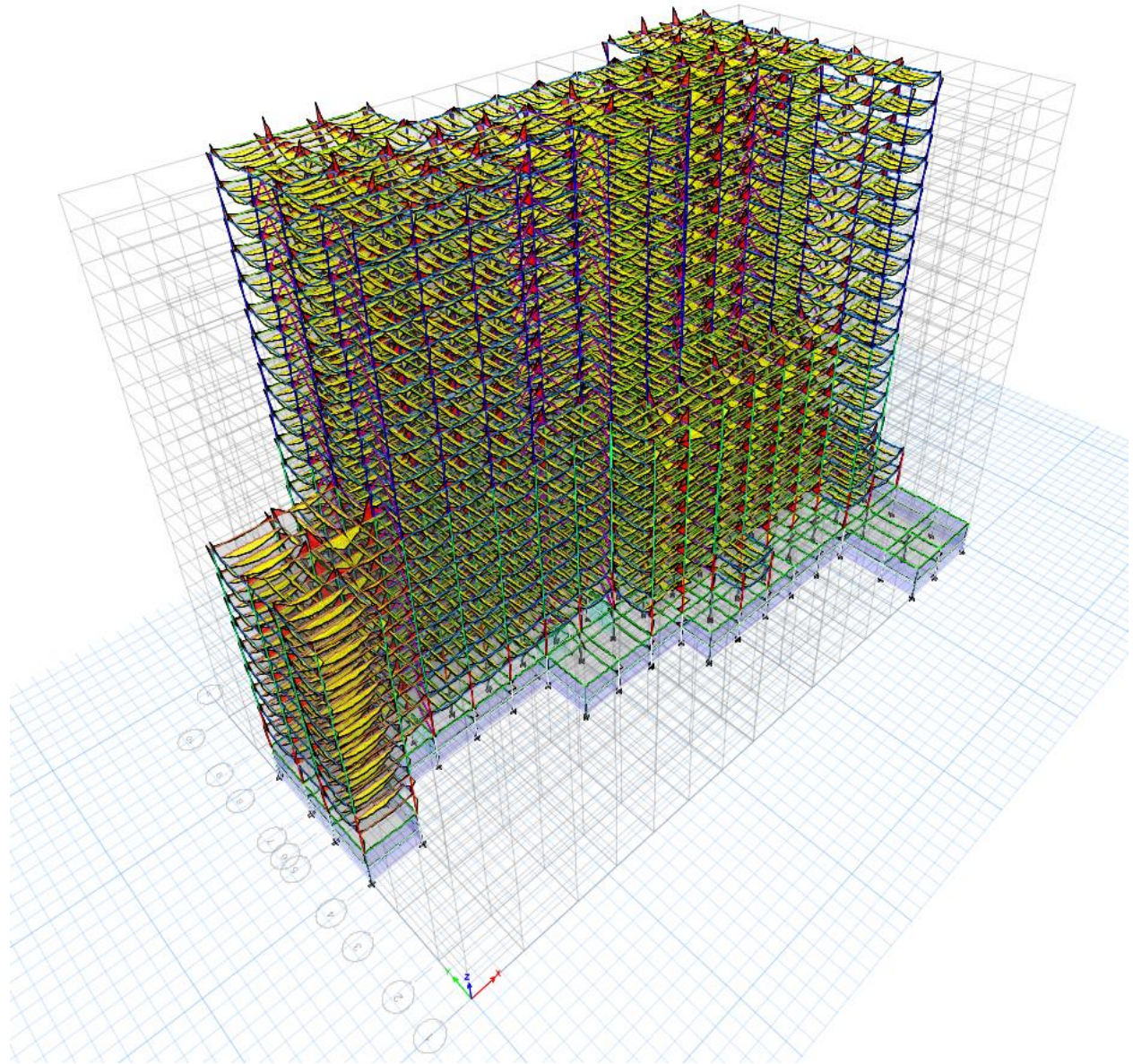


Figura 20. Modelo Estructural mostrando diagramas de momento con la combinación 6-3 CSCR-10

Fuente: Propia

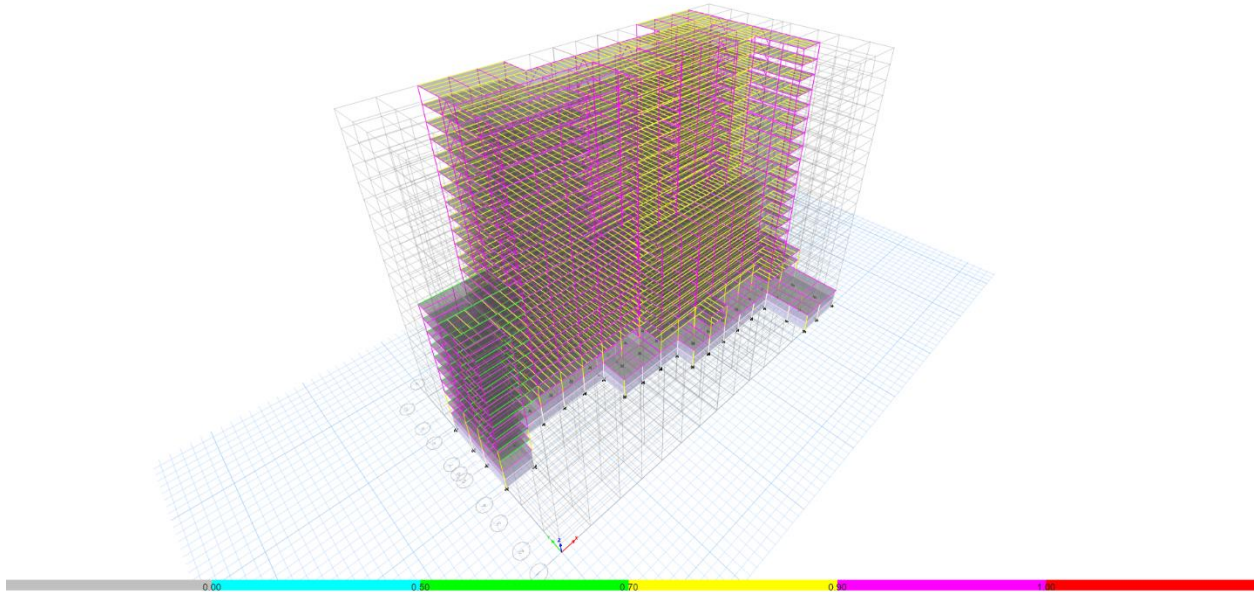


Figura 21. Modelo estructural mostrando el chuequeo de las secciones que se eligieron preliminarmente

Fuente: Propia

En esta etapa del diseño se procede a optimizar un poco las secciones de manera que a la hora de empezar a construir el edificio no haya muchos cambios de secciones entre cada nivel con las columnas, o a lo largo y ancho del edificio con las vigas y viguetas.

Así como para que no se desperdicie material en su proceso de construcción de igual manera, teniendo así el nuevo modelo, que también cumple con las secciones según la revisión del programa ETABS.

Dejando las secciones de vigas, viguetas y columnas con esta distribución por nivel:

- Todas las vigas de W16x50 y W16x40.
- Las viguetas de W12x35 y W12x40.
- Las columnas por nivel se mantienen igual.

Y se procede a realizar y correr el segundo modelo con las secciones distribuidas de manera más uniforme.

4.7.6.2. Segundo modelo

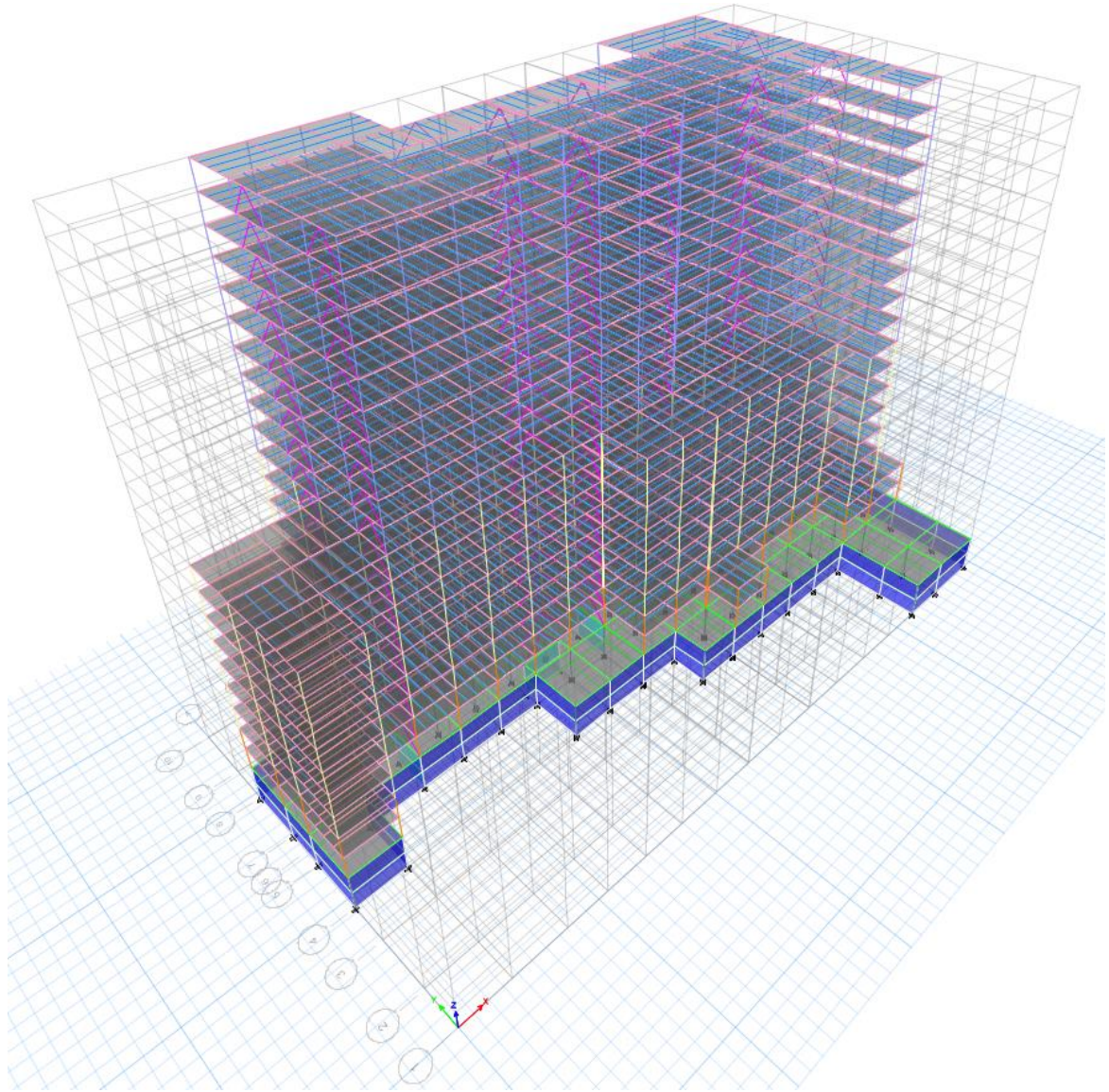


Figura 22. Segundo modelo Estructural sin haberlo corrido

Fuente: Propia

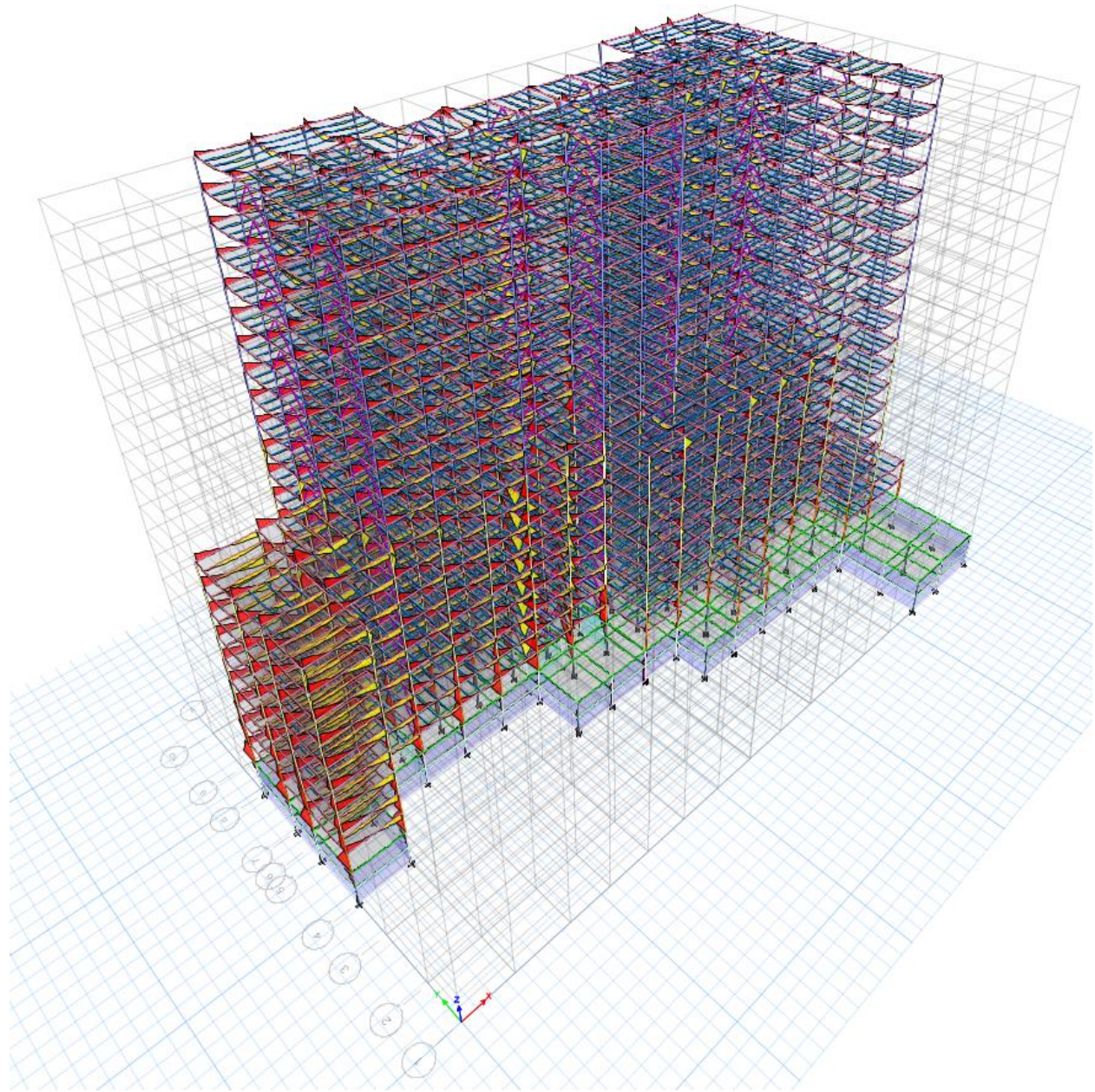


Figura 23, Segundo modelo Estructural mostrando diagramas de momento con la combinación 6-3 CSCR-10

Fuente: Propia

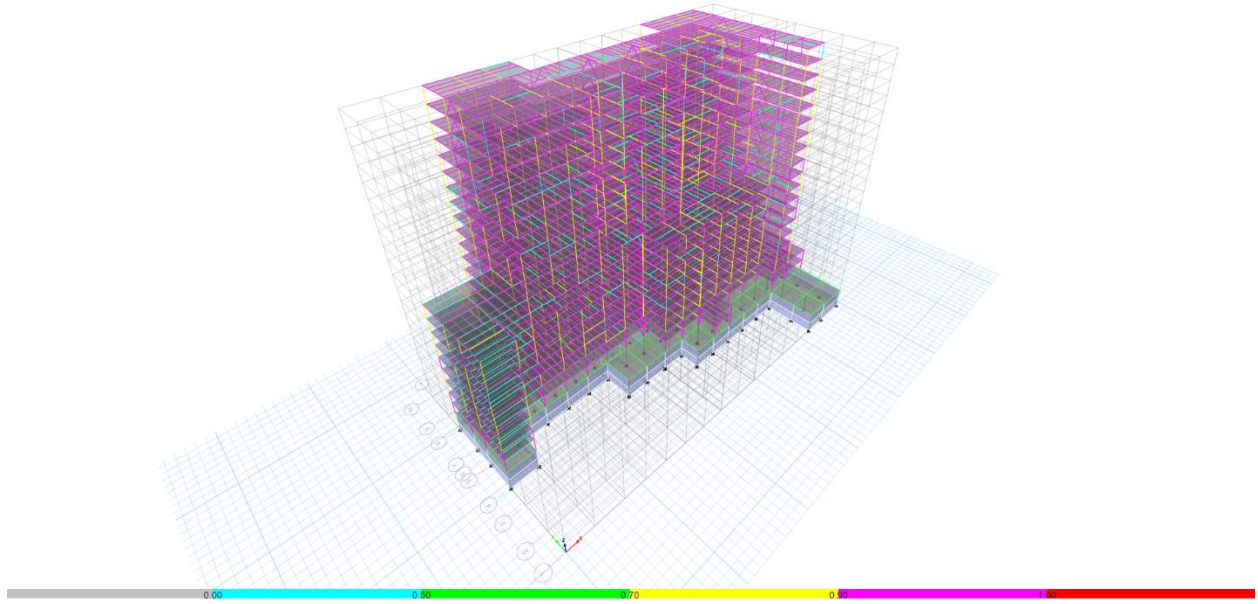


Figura 24. Segundo modelo estructural mostrando el chuequeo de las secciones que se eligieron preliminarmente

Fuente: Propia

4.7.6.3. Desplazamientos del segundo modelo

A continuación se muestra como ejemplo el desplazamiento mayor que hay entre el primer nivel y el último nivel en milímetros, estando la deformación más grande en la cara del eje “A” sobre el eje 10.

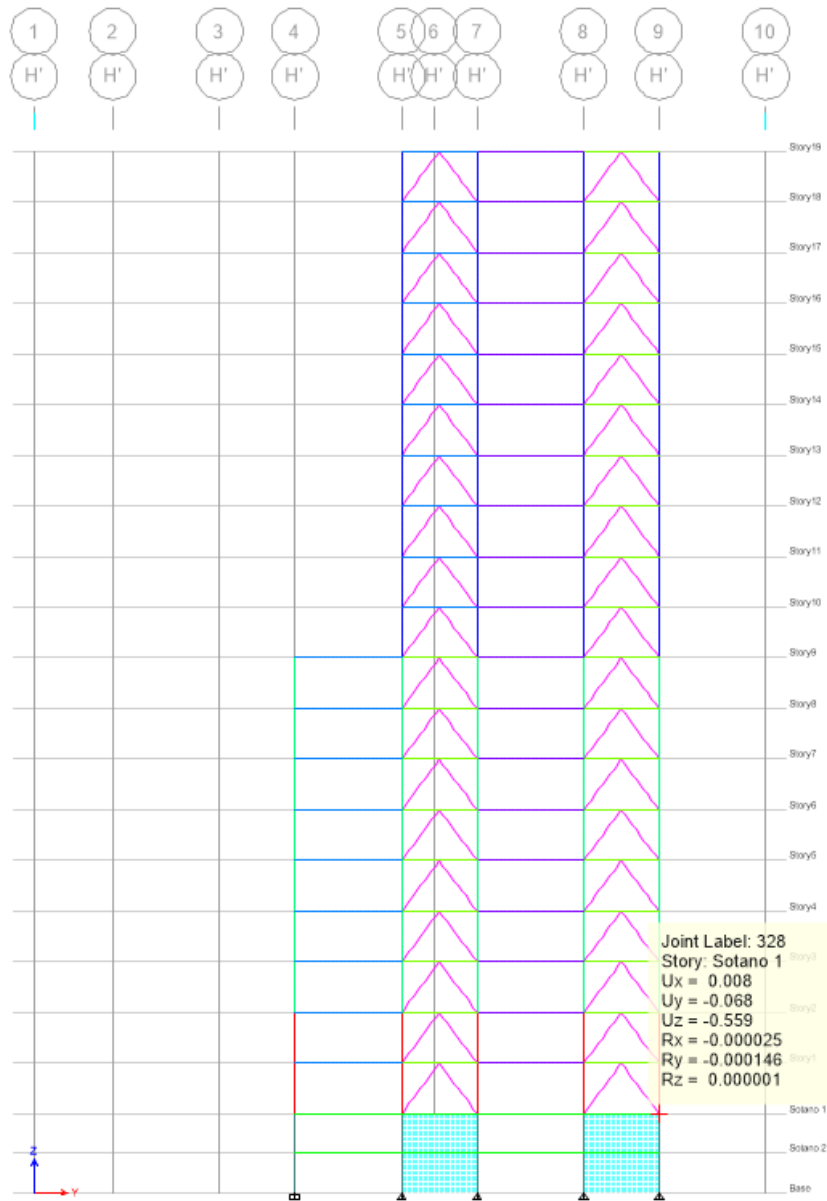


Figura 25. Desplazamiento en nivel el nivel 1, eje 9 sobre eje H'

Fuente: Propia

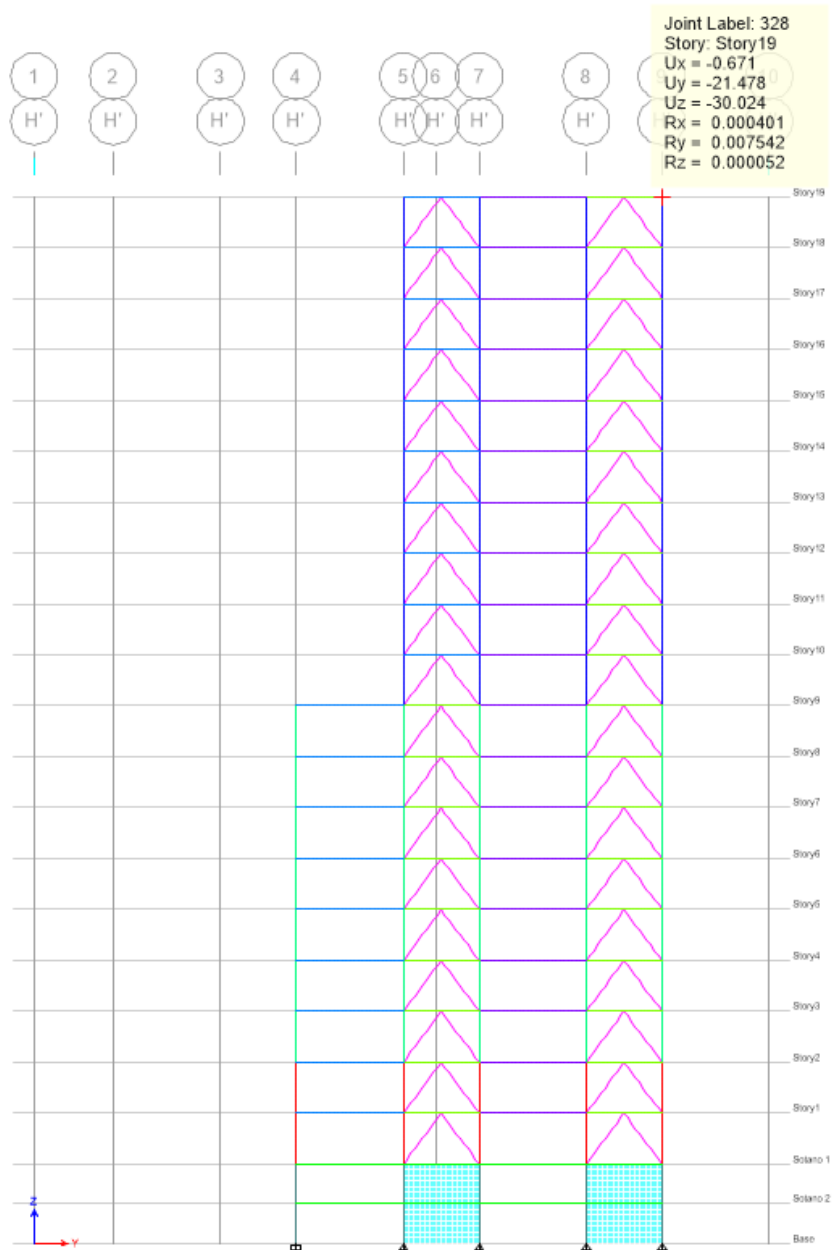


Figura 26. Desplazamiento en nivel el nivel 19, eje 9 sobre eje H

Fuente: Propia

4.7.7. Derivas del modelo

Para el cálculo de desplazamientos y derivas se saca una tabla de desplazamientos del software ETABS, y con la fórmula 7-8 del Código Sísmico de Costa Rica se calculan las derivas de todas las secciones y combinaciones de cargas.

$$\Delta_i = \mu * SR * \Delta_i^e$$

donde

Δ_i = deriva inelástica o desplazamiento inelástico relativo horizontal entre el nivel i y el nivel adyacente inferior.

μ = ductilidad global asignada utilizada en el cálculo de las fuerzas según la tabla 4.3, CSCR-10.

SR = factor de sobrerresistencia definido en el artículo 3.3 en el capítulo 5, CSCR-10.

Δ_i^e = desplazamiento elástico absoluto del nivel i.

Luego el límite de estas derivas se calcula con la razón de la tabla 7.2 del Código Sísmico de Costa Rica:

$$0.018 = \frac{\Delta_i}{H_i}$$

donde

Δ_i = deriva inelástica o desplazamiento inelástico relativo horizontal entre el nivel i y el nivel adyacente inferior.

H_i = altura entre el nivel del piso i y el nivel adyacente inferior.

Quedando el límite así

$$\text{Límite de la deriva} = 0.018 * H_i$$

$$\text{Límite de la deriva} = 0.018 * 4.5m = 0.081m = 81mm$$

Se realizó una tabla de Excel para calcular todas las derivas del edificio, en este documento solo se va poner como ejemplo una parte pequeña de esta tabla, ya que es muy larga para colocarla

aquí. Pero se van a adjuntar en la carpeta del disco como anexos donde si se necesita se pueden revisar.

Con los desplazamientos en cada dirección se sacan los valores absolutos de todos, para luego aplicar la fórmula 7-8 del CSCR-10, y con una fórmula condicionada de Excel se pone que si los valores se pasan de 81mm diga “No cumple” y si es menor o igual a 81mm que diga “OK”.

Story	Elemento	Load Case/combo	UX	UY	UZ	absoluto	absoluto	absoluto	Δ UX	Δ UY	Δ UZ	<81mm	<81mm	<81mm	
Story19	74	3550	DIN X Max	0.032	0.01	0.0004	0.032	0.01	0.00036	0.192	0.06	0.0022	OK	OK	OK
Story19	74	3550	DIN Y Max	0.01	0.003	0.0001	0.01	0.003	0.00011	0.06	0.018	0.0007	OK	OK	OK
Story19	74	3550	1.05CM+0.5CV+CSX	3.244	6.83	-8.65	3.244	6.83	8.65	19.464	40.98	51.9	OK	OK	OK
Story19	138	4304	1.05CM+0.5CV+DINY Min	9.266	-3.87	10.456	9.266	3.868	10.456	55.596	23.21	62.736	OK	OK	OK
Story19	138	4304	0.95CM+DINX Max	3.531	-2.69	0.442	3.531	2.687	0.442	21.186	16.12	2.652	OK	OK	OK
Story19	138	4304	0.95CM+DINX Min	1.022	-2.69	6.797	1.022	2.687	6.797	6.132	16.12	40.782	OK	OK	OK
Story19	138	4304	0.95CM+DINY Max	3.309	-2.69	1.64	3.309	2.687	1.64	19.854	16.12	9.84	OK	OK	OK
Story19	138	4304	0.95CM+DINY Min	2.22	-2.69	11.881	2.22	2.687	11.881	13.32	16.12	71.286	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV GRAV Max	2.865	8.532	10.707	2.865	8.532	10.707	17.19	51.19	64.242	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV GRAV Min	9.398	4.621	0.938	9.398	4.621	0.938	56.388	27.73	5.628	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV SISMO ESTATICO Max	2.549	6.136	2.442	2.549	6.136	2.442	15.294	36.82	14.652	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV SISMO ESTATICO Min	1.838	10.6	1.317	1.838	10.604	1.317	11.028	63.62	7.902	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV SISMO DINAMICO Max	1.661	0.843	3.59	1.661	0.843	3.59	9.966	5.058	21.54	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV SISMO DINAMICO Min	10.697	6.788	1.344	10.697	6.788	1.344	64.182	40.73	8.064	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV TOTAL Max	10.562	3.263	2.611	10.562	3.263	2.611	63.372	19.58	15.666	OK	OK	OK
Story19	138	4304	ENV TOTAL Min	2.061	4.48	0.772	2.061	4.48	0.772	12.366	26.88	4.632	OK	OK	OK
Story19	138	4304	DStID1	8.908	6.644	4.231	8.908	6.644	4.231	53.448	39.86	25.386	OK	OK	OK
Story19	138	4304	DStID2	11.985	6.897	5.997	11.985	6.897	5.997	71.91	41.38	35.982	OK	OK	OK
Story19	139	4305	DIN X Max	9.773	5.729	11.906	9.773	5.729	11.906	58.638	34.37	71.436	OK	OK	OK
Story19	139	4305	DIN Y Max	1.529	9.602	7.127	1.529	9.602	7.127	9.174	57.61	42.762	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV+CSX	6.04	-3.87	5.533	6.04	3.868	5.533	36.24	23.21	33.198	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV+CSY	10.121	-3.87	1.792	10.121	3.868	1.792	60.726	23.21	10.752	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV-CSY	11.714	-3.87	11.36	11.714	3.868	11.36	70.284	23.21	68.16	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV+DINX Max	0.55	-3.87	7.855	0.55	3.868	7.855	3.3	23.21	47.13	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV+DINX Min	5.656	-3.87	10.191	5.656	3.868	10.191	33.936	23.21	61.146	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV+DINY Max	4.594	-3.87	2.462	4.594	3.868	2.462	27.564	23.21	14.772	OK	OK	OK
Story19	139	4305	1.05CM+0.5CV+DINY Min	11.271	-3.87	8.215	11.271	3.868	8.215	67.626	23.21	49.29	OK	OK	OK
Story19	139	4305	0.95CM+DINX Max	4.537	-2.69	4.772	4.537	2.687	4.772	27.222	16.12	28.632	OK	OK	OK
Story19	139	4305	0.95CM+DINX Min	4.338	-2.69	2.902	4.338	2.687	2.902	26.028	16.12	17.412	OK	OK	OK
Story19	139	4305	0.95CM+DINY Max	3.794	-2.69	4.882	3.794	2.687	4.882	22.764	16.12	29.292	OK	OK	OK
Story19	139	4305	0.95CM+DINY Min	5.094	-2.69	11.056	5.094	2.687	11.056	30.564	16.12	66.336	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV GRAV Max	7.348	5.415	2.865	7.348	5.415	2.865	44.088	32.49	17.19	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV GRAV Min	10.912	9.362	10.747	10.912	9.362	10.747	65.472	56.17	64.482	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV SISMO ESTATICO Max	9.891	3.087	4.28	9.891	3.087	4.28	59.346	18.52	25.68	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV SISMO ESTATICO Min	8.515	8.297	1.637	8.515	8.297	1.637	51.09	49.78	9.822	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV SISMO DINAMICO Max	10.692	11.53	11.837	10.692	11.526	11.837	64.152	69.16	71.022	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV SISMO DINAMICO Min	7.515	3.382	4.698	7.515	3.382	4.698	45.09	20.29	28.188	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV TOTAL Max	8.277	2.767	7.599	8.277	2.767	7.599	49.662	16.6	45.594	OK	OK	OK
Story19	139	4305	ENV TOTAL Min	3.227	9.514	3.768	3.227	9.514	3.768	19.362	57.08	22.608	OK	OK	OK
Story19	139	4305	DStID1	3.089	3.378	2.268	3.089	3.378	2.268	18.534	20.27	13.608	OK	OK	OK
Story19	139	4305	DStID2	6.904	6.87	6.401	6.904	6.87	6.401	41.424	41.22	38.406	OK	OK	OK
Story19	146	4306	DIN X Max	5.004	4.124	1.773	5.004	4.124	1.773	30.024	24.74	10.638	OK	OK	OK

Figura 27. Derivas de algunos elementos del nivel 19

Fuente: Propia

4.7.8. Centros de masa y rigidez

Con los centros de masa y rigidez se procede a revisar la regularidad en planta y altura del edificio, para asegurarse de que es un edificio con regularidad moderada como se indicó al principio del proyecto.

La tabla son datos proporcionados por el software ETABS, y con ellos se procede a realizar el cálculo entre cada nivel con las fórmulas del Código Sísmico de Costa Rica, en las sección 4.3.2.

$$\frac{e_{xi}}{D_{xl}} \leq 0.05$$

$$\frac{e_{yi}}{D_{yl}} \leq 0.05$$

donde

e_{xi}, e_{yi} = componentes de la excentricidad en el nivel i , en las direcciones x_i y y_i respectivamente.

D_{xl} = dimensiones en planta en las direcciones x_i y y_i del nivel i .

Las componentes de excentricidad e_{xi} y e_{yi} se calculan de la siguiente forma:

$$e_{xi} = \frac{1}{k_{xi}} \sum_i (k_{xi}^j, x_i)$$

$$e_{yi} = \frac{1}{k_{yi}} \sum_i (k_{yi}^j, y_i)$$

donde

x_i, y_i = componentes en las direcciones x_i y_i de la distancia del centro de masa al elemento resistente.

k_{xi} = rigidez de traslación del nivel i en la dirección x_i .

k_{yi} = rigidez de traslación del nivel i en la dirección y_i .

k_{xi}^j, k_{yi}^j = rigidez en las direcciones x_i, y_i de los elementos resistentes verticales o inclinados j que llegan al nivel i .

TABLE: Centers of Mass and Rigidity											
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cumulative X	Cumulative Y	XCCM	YCCM	XCR	YCR
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	m	m
Story1	D1	114893.96	114893.96	29.5324	44.9183	114893.96	114893.96	29.5324	44.9183	31.4674	45.6012
Story2	D2	115109.87	115109.87	29.5339	44.9173	115109.87	115109.87	29.5339	44.9173	33.4539	47.7419
Story3	D3	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	35.1318	48.4052
Story4	D4	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	36.3275	48.6197
Story5	D5	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	37.0699	48.6378
Story6	D6	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	37.4925	48.565
Story8	D8	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	37.8238	48.3231
Story7	D8	115342.67	115342.67	29.5354	44.9169	230685.33	230685.33	29.5354	44.9169	37.7107	48.4497
Story9	D9	113637.36	113637.36	29.5719	44.9504	113637.36	113637.36	29.5719	44.9504	37.9017	48.2138
Story10	D10	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	37.3965	48.6061
Story11	D11	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	36.7917	49.0953
Story12	D12	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	36.3216	49.5053
Story13	D13	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	35.9705	49.843
Story14	D14	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	35.7084	50.12
Story15	D15	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	35.5115	50.3476
Story16	D16	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	35.3618	50.536
Story17	D17	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	35.246	50.6946
Story18	D18	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	75591.97	75591.97	35.601	48.5432	35.1556	50.8306
Story19	D19	67056.33	67056.33	35.5965	48.5471	67056.33	67056.33	35.5965	48.5471	35.0764	50.9474
Story1	D20	39029.34	39029.34	65.9051	39.4431	39029.34	39029.34	65.9051	39.4431	65.8699	39.8959
Story2	D21	39121.7	39121.7	65.9051	39.4444	39121.7	39121.7	65.9051	39.4444	65.8977	39.7422
Story3	D22	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	65.9078	39.6521
Story4	D23	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	65.915	39.5961
Story5	D24	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	65.9213	39.5595
Story6	D25	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	65.9273	39.5333
Story7	D26	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	65.9331	39.5136
Story8	D27	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	39220.68	39220.68	65.9052	39.4457	65.9387	39.4993
Story9	D28	38553.2	38553.2	65.9053	39.4822	38553.2	38553.2	65.9053	39.4822	65.9444	39.4998
Story10	D29	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9454	39.8282
Story11	D30	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.944	40.3047
Sotano 2	DS1	48542.33	48542.33	31.5232	43.0238	48542.33	48542.33	31.5232	43.0238	24.0963	42.9272
Sotano 1	DS2	40768.35	40768.35	31.4464	43.1262	40768.35	40768.35	31.4464	43.1262	22.2526	43.9074
Sotano 2	DS3	18777.24	18777.24	66.1413	37.8466	18777.24	18777.24	66.1413	37.8466	65.5396	38.8056
Sotano 1	DS4	15633.99	15633.99	66.1898	37.826	15633.99	15633.99	66.1898	37.826	64.6728	40.836
Sotano 2	DS5	64404.2	64404.2	99.5564	34.2065	64404.2	64404.2	99.5564	34.2065	107.888	36.0281

Story12	D31	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9424	40.7202
Story13	D32	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9407	41.0789
Story14	D33	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9388	41.3896
Story15	D34	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9368	41.6599
Story16	D35	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9349	41.8958
Story17	D36	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.933	42.1023
Story18	D37	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	27090.6	27090.6	65.9	44.1478	65.9311	42.2837
Story19	D38	23948.73	23948.73	65.9	44.1475	23948.73	23948.73	65.9	44.1475	65.9292	42.4462
Story1	D39	145902.05	145902.05	98.4061	39.5876	145902.05	145902.05	98.4061	39.5876	97.1916	43.2202
Story2	D40	145660.16	145660.16	98.3637	39.6284	145660.16	145660.16	98.3637	39.6284	95.923	45.6218
Story3	D41	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	95.3399	46.4548
Story4	D42	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	94.9152	46.8662
Story5	D43	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	94.6543	46.9741
Story6	D44	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	94.4994	46.9293
Story7	D45	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	94.4101	46.8082
Story8	D46	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	117441.86	117441.86	94.9476	41.748	94.3606	46.6537
Story9	D47	115835.36	115835.36	94.9721	41.7826	115835.36	115835.36	94.9721	41.7826	94.3568	46.5115
Story10	D48	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	94.6169	46.9252
Story11	D49	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	95.0384	47.4088
Story12	D50	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	95.4275	47.7822
Sotano 1	DS6	53992.12	53992.12	99.5066	34.5048	53992.12	53992.12	99.5066	34.5048	109.868	36.3406
Story13	D51	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	95.7688	48.0644
Story14	D52	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	96.0684	48.2767
Story15	D53	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	96.3328	48.4364
Story16	D54	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	96.5675	48.5574
Story17	D55	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	96.7771	48.6515
Story18	D56	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	81287.67	81287.67	97.8266	46.3194	96.9645	48.7278
Story19	D57	72092.09	72092.09	97.8259	46.3339	72092.09	72092.09	97.8259	46.3339	97.1395	48.7913

Tabla 7. Centros de masa y rigidez del modelo

Fuente: Propia

4.7.9. Peso propio total del edificio

Como se puede ver en la tabla proporcionada por ETABS, el peso propio en acero del edificio es de 655400387Kg, y si lo dividimos entre el área total del edificio nos da un total de 9861.28Kg/m².

	Element Type	Material	Total Weight kgf	# Pieces
	Column	A992Fy50	1566110	1466
	Column	5000Psi	1069713	212
	Beam	A992Fy50	1589112	4986
	Beam	4000Psi	1454752	352
	Brace	A500GrB46	65224.5165	568
▶	Wall	4000Psi	2120925	

Figura 28. Pesos propios del edificio en acero

Fuente: Propia

4.7.10. Planos constructivos finales de planta

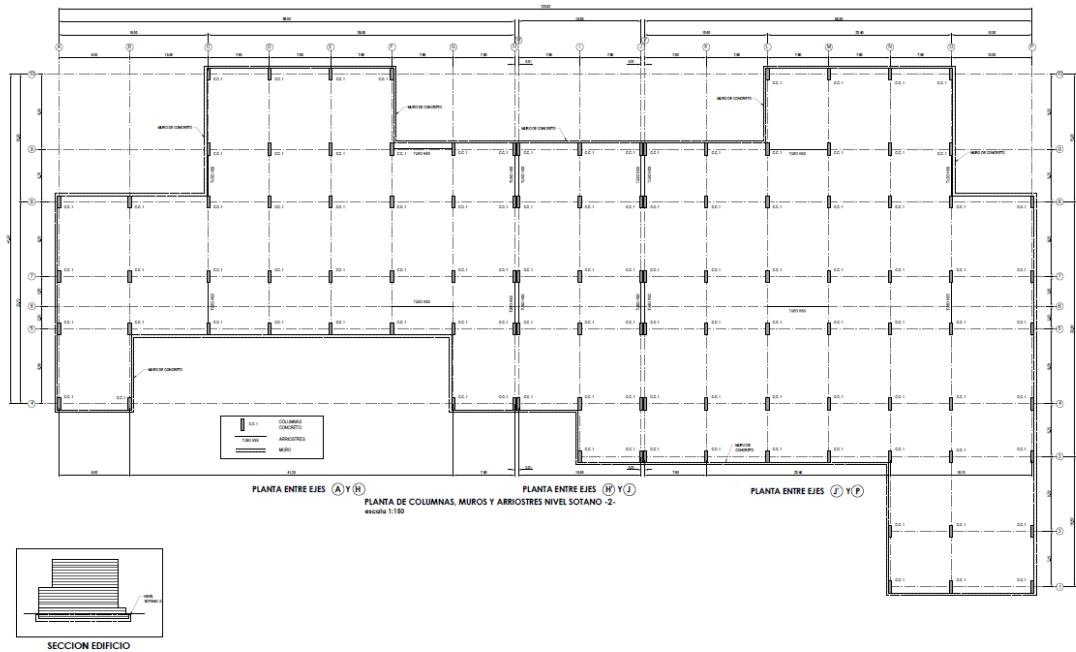


Figura 29. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Sótano 2

Fuente: Propia

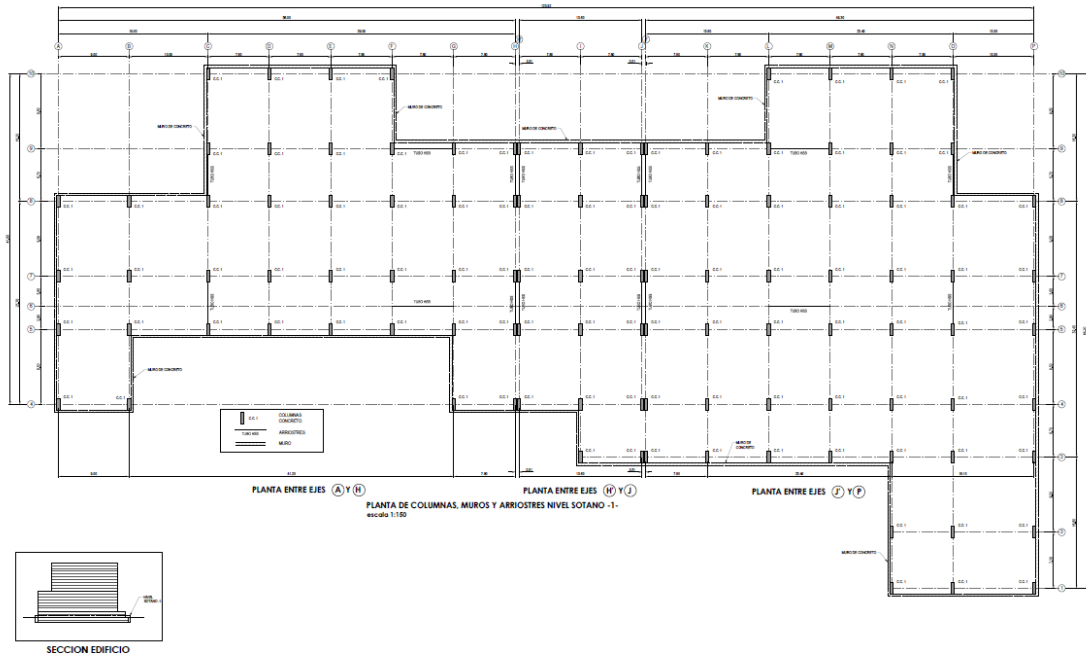


Figura 30. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Sótano 1

Fuente: Propia

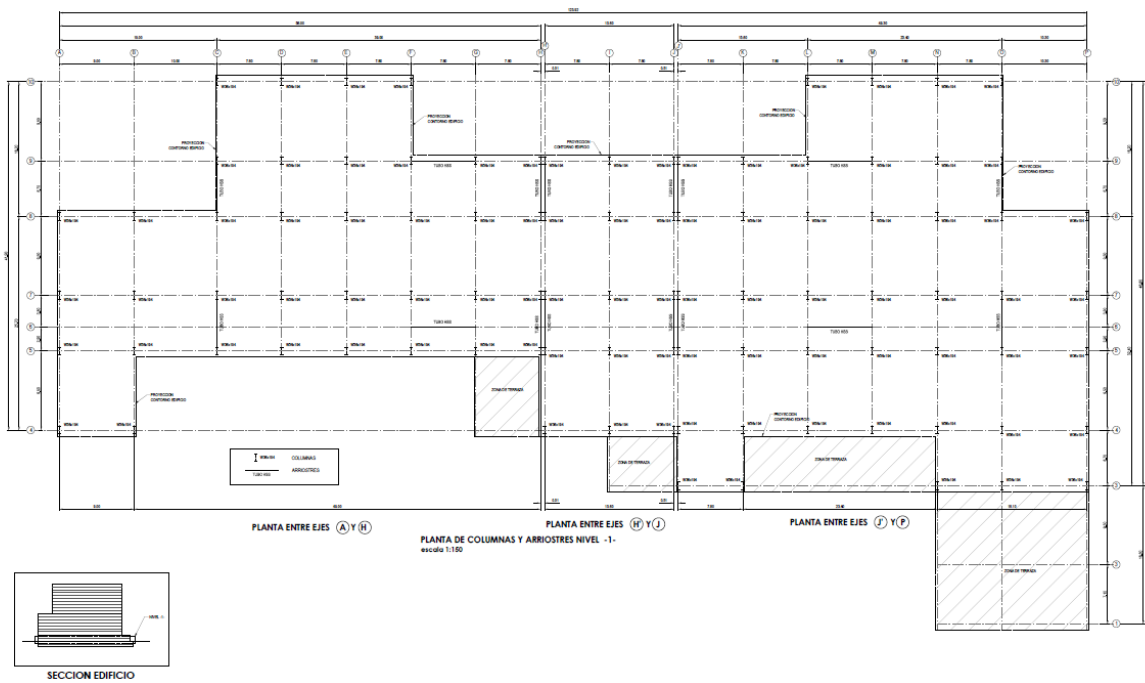


Figura 31. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 1

Fuente: Propia

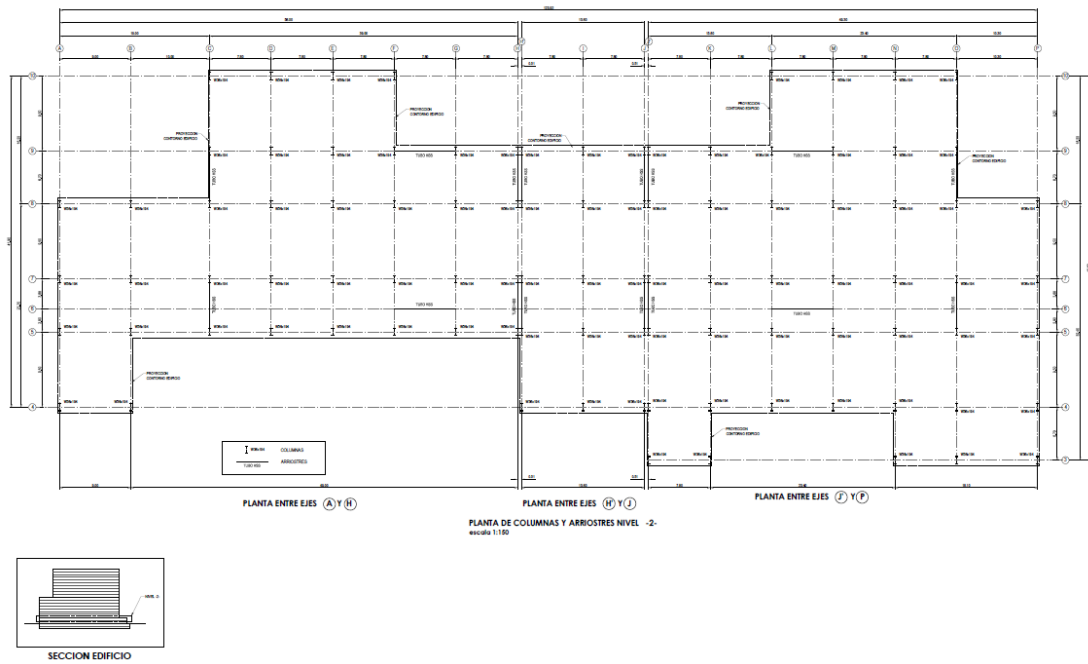


Figura 32. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 2

Fuente: Propia

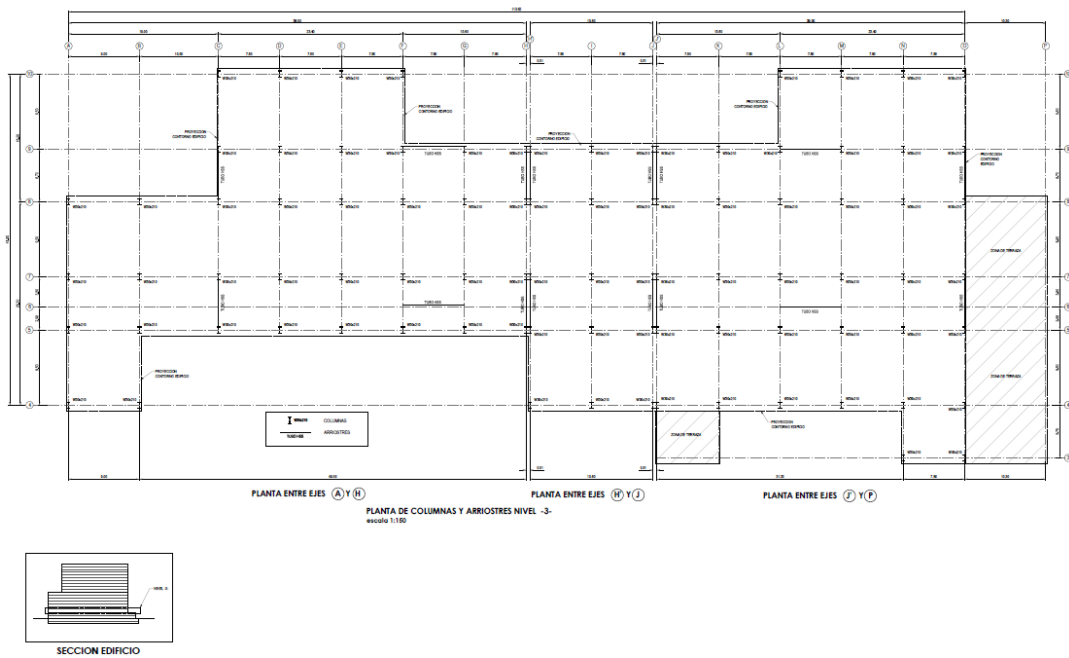


Figura 33. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 3

Fuente: Propia

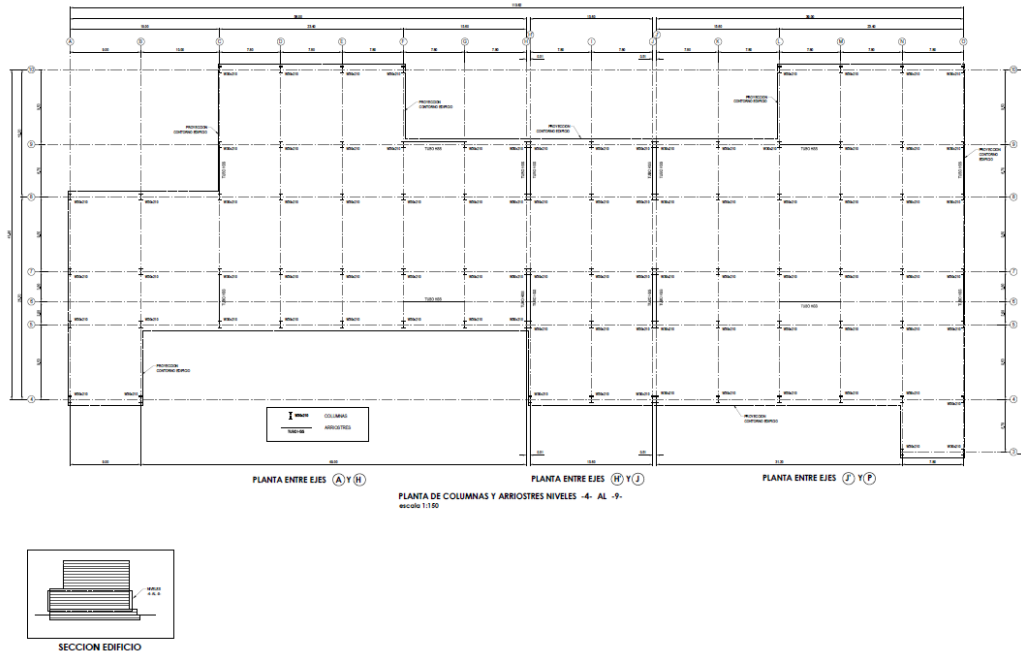


Figura 34. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 4-9

Fuente: Propia

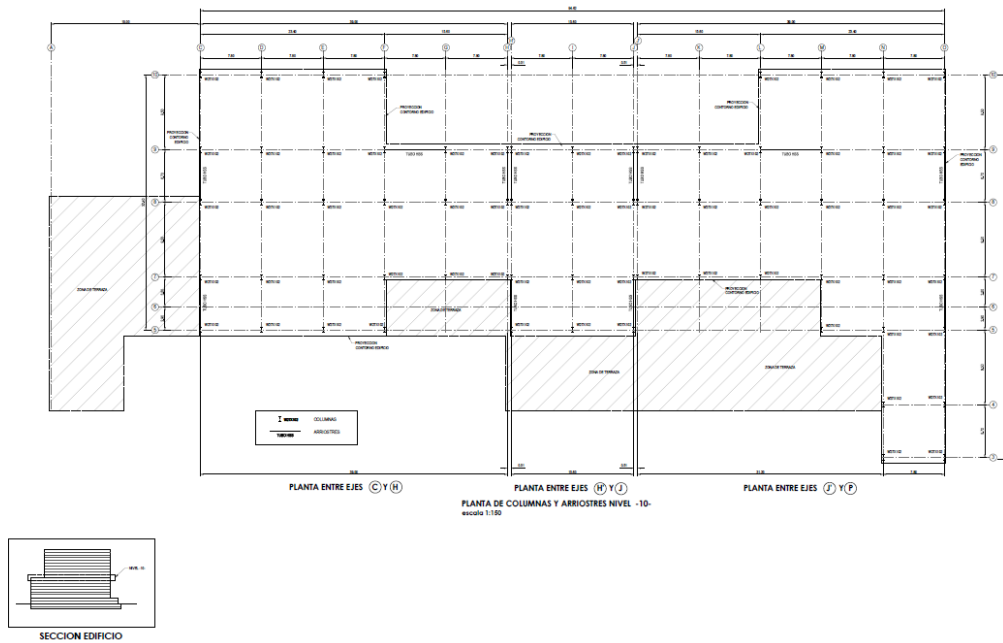


Figura 35. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 10

Fuente: Propia

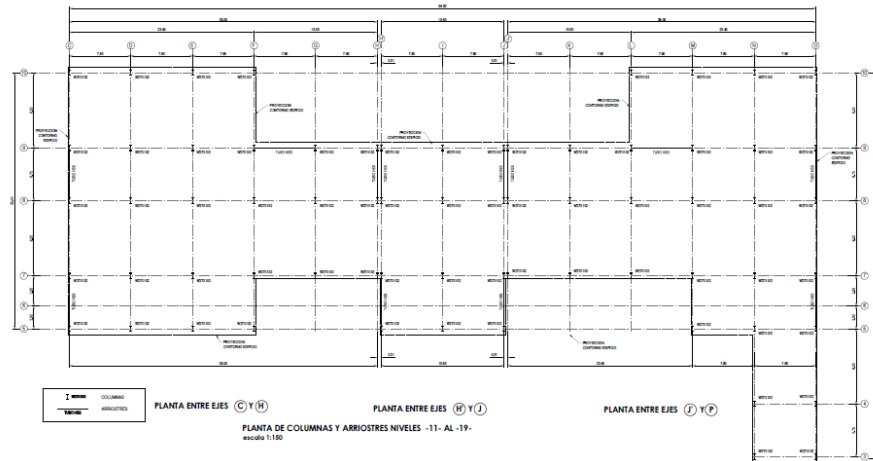


Figura 36. Planta Estructural Columnas, Muros y Arriostres. Nivel 11-19

Fuente: Propia

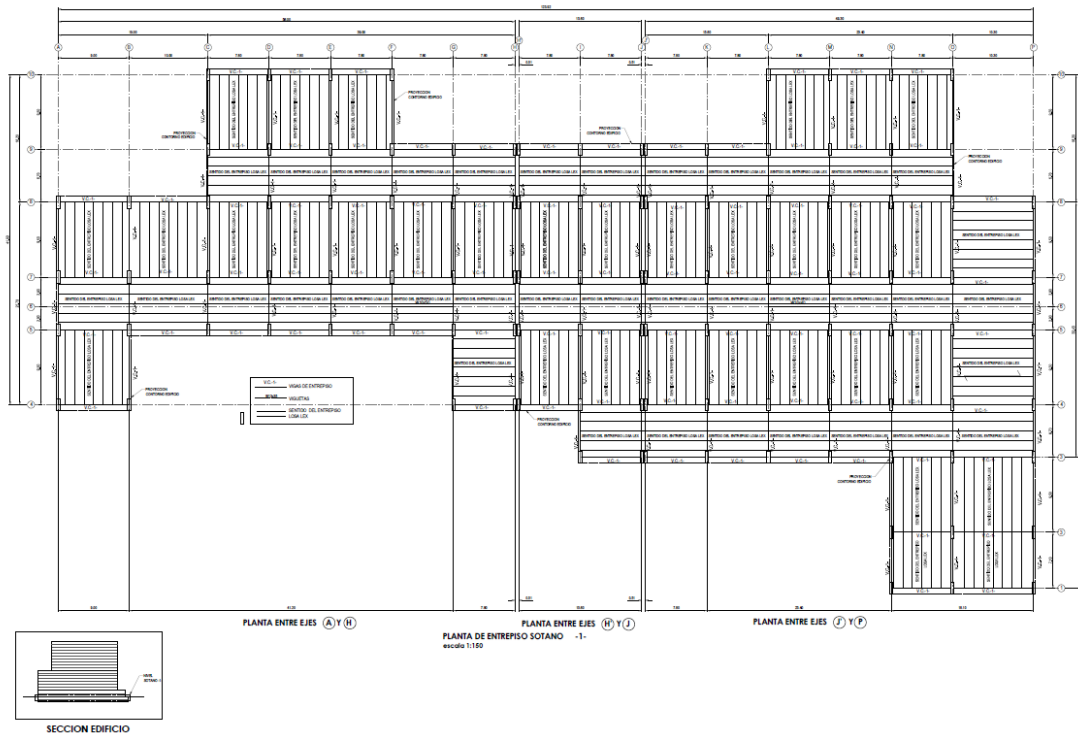


Figura 37. Planta Estructural Entrepiso Sótano 1

Fuente: Propia

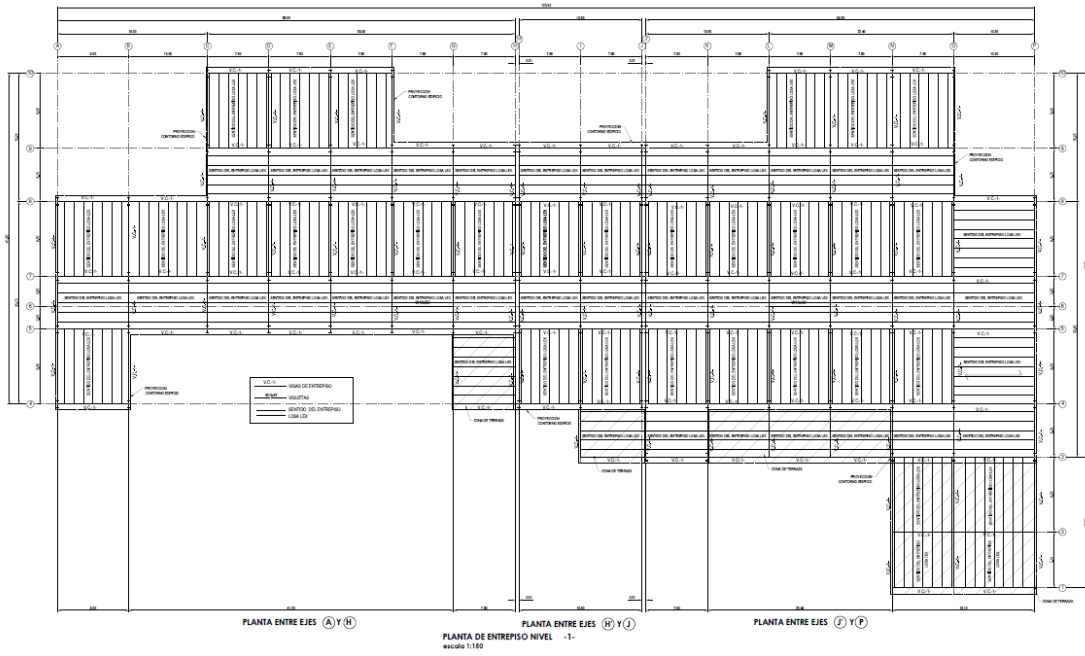


Figura 38. Planta Estructural Entrepiso Nivel 1

Fuente: Propia

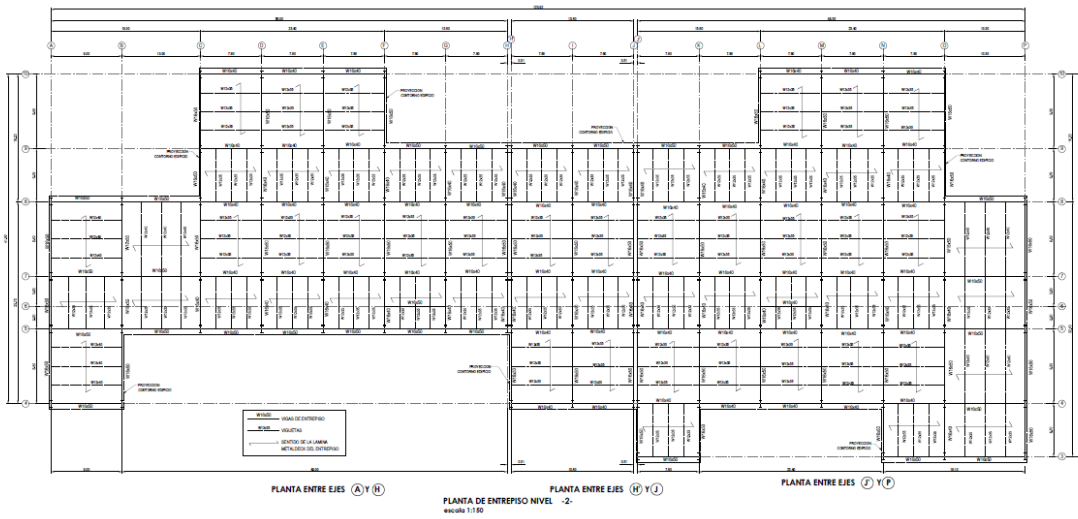


Figura 39. Planta Estructural Entrepiso Nivel 2

Fuente: Propia

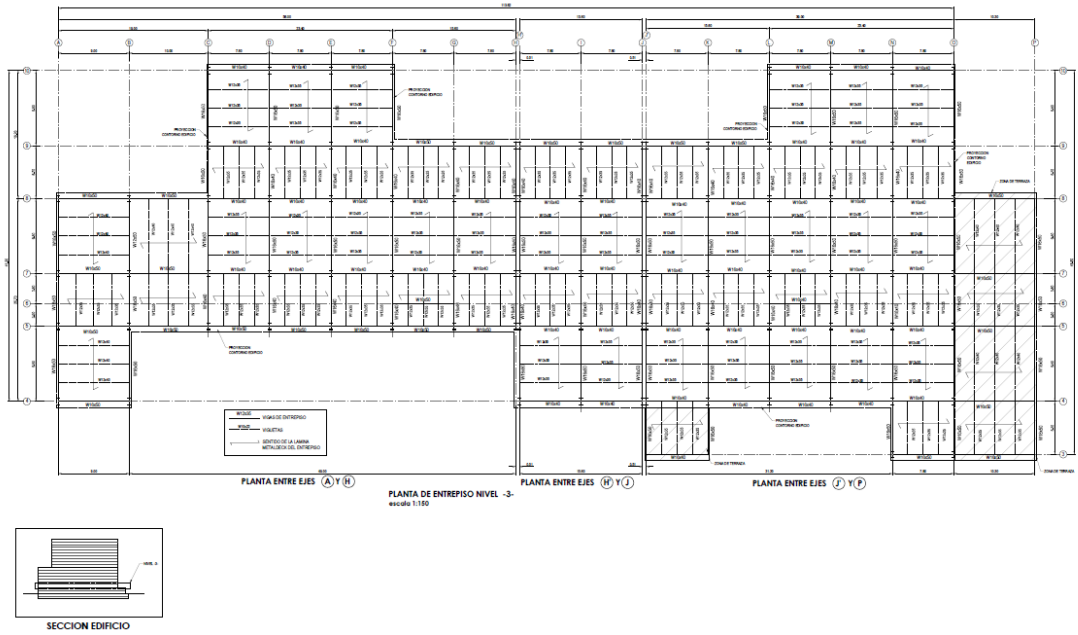


Figura 40. Planta Estructural Entrepiso Nivel 3

Fuente: Propia

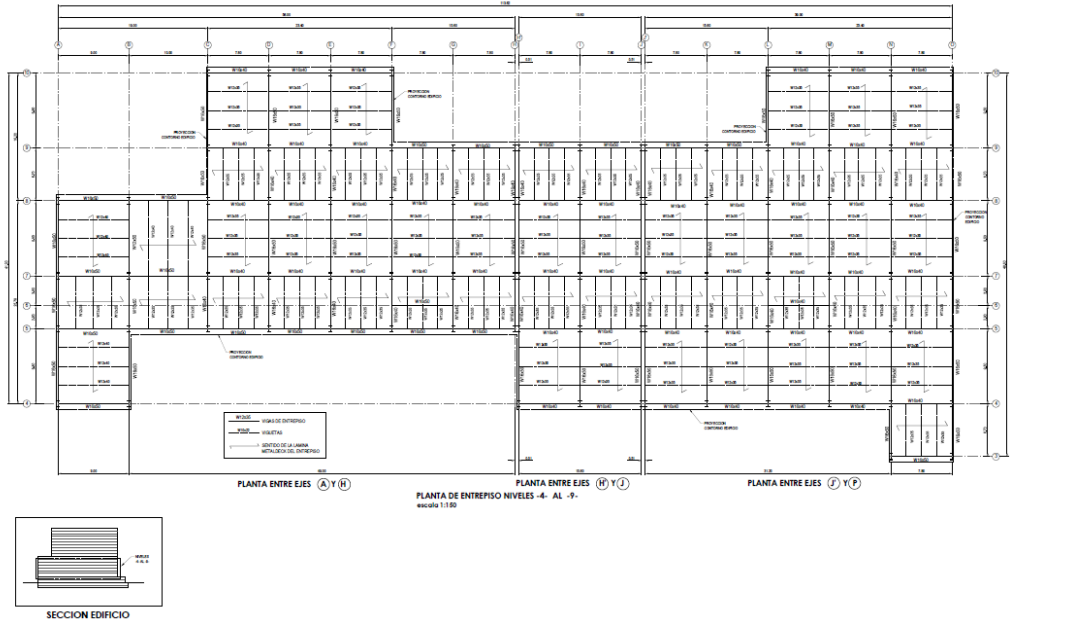


Figura 41. Planta Estructural Entrepiso Nivel 4-9

Fuente: Propia

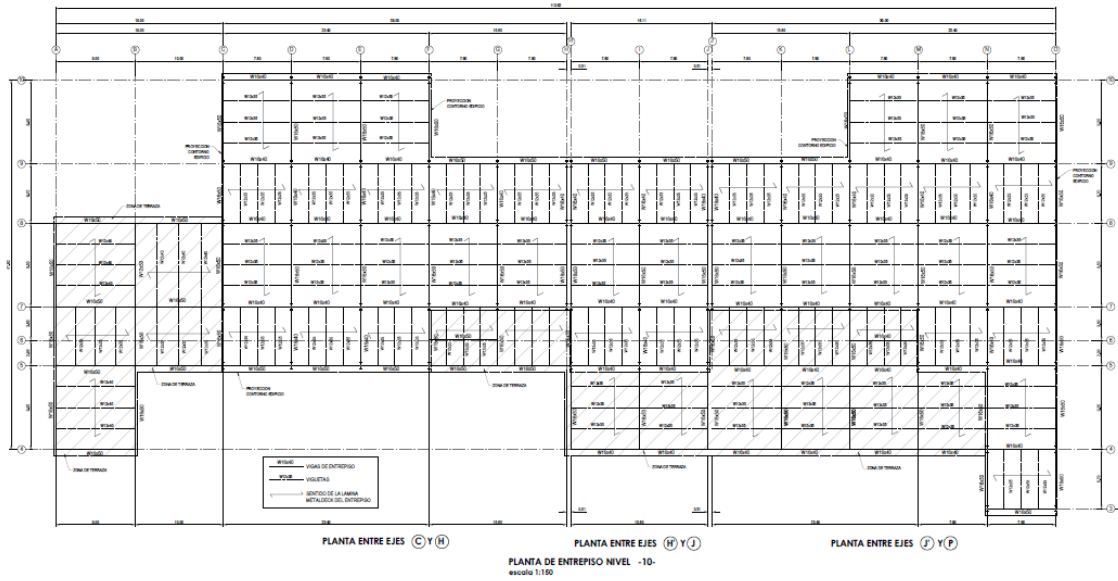


Figura 42. Planta Estructural Entrepiso Nivel 10

Fuente: Propia

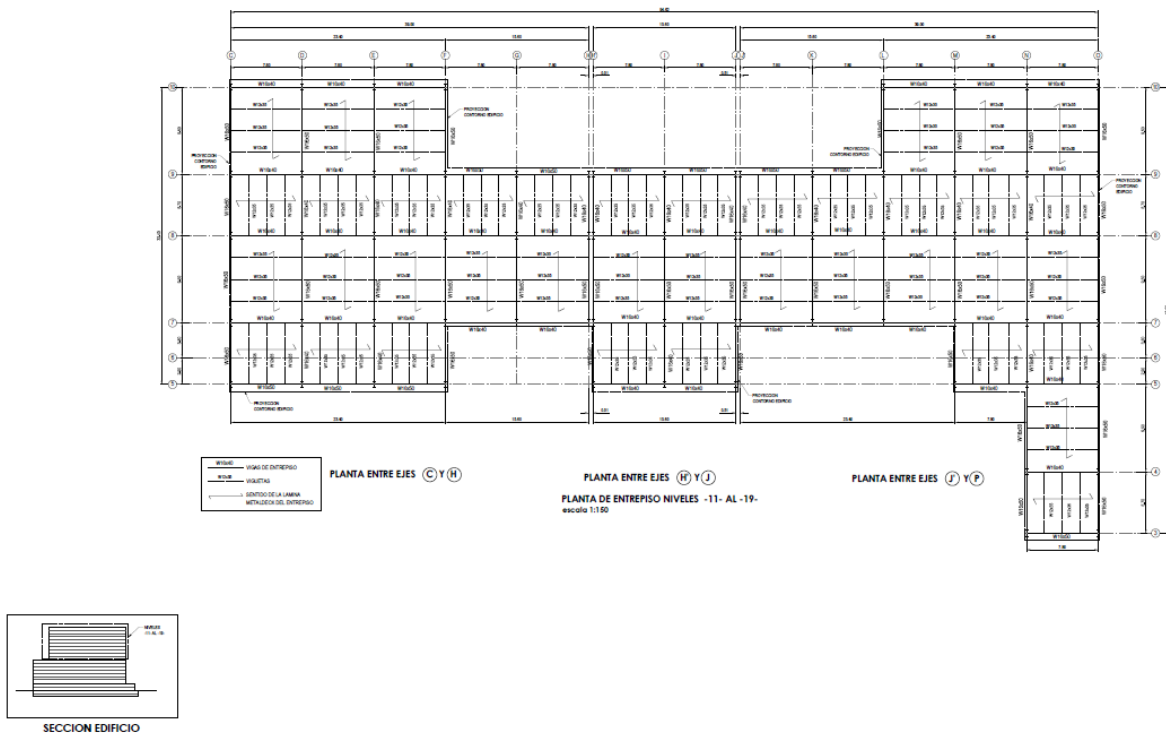


Figura 43. Planta Estructural Entrepiso Nivel 11-19

Fuente: Propia

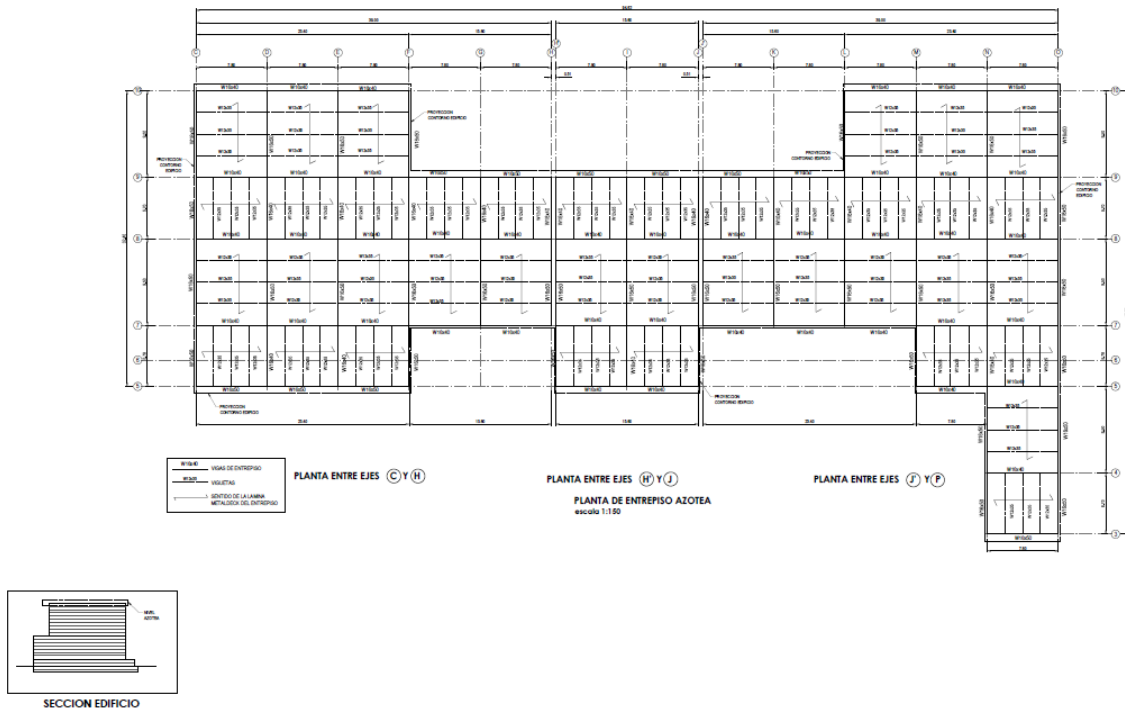
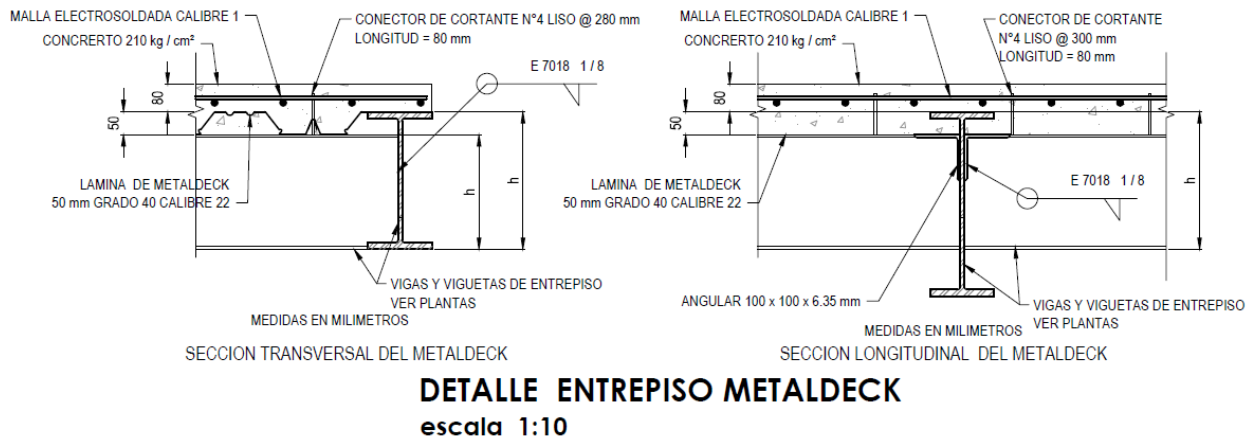


Figura 44. Planta Estructural Entrepiso Azotea

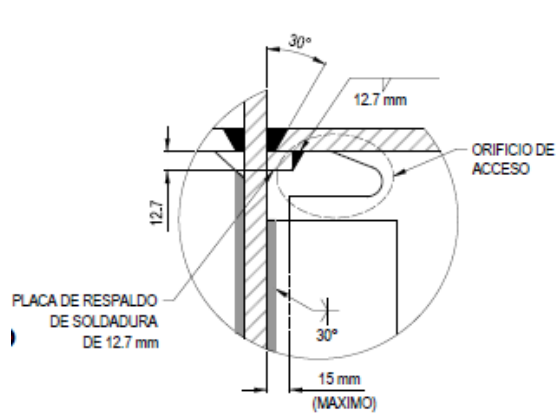
Fuente: Propia



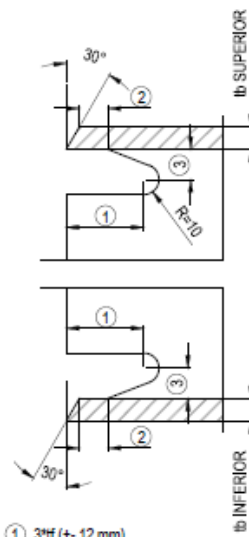
DETALLE ENTREPISO METALDECK
escala 1:10

Figura 45. Detalle Entrepiso Metaldeck

Fuente: Propia



UNION VIGA-ALA DE COLUMNA genérico

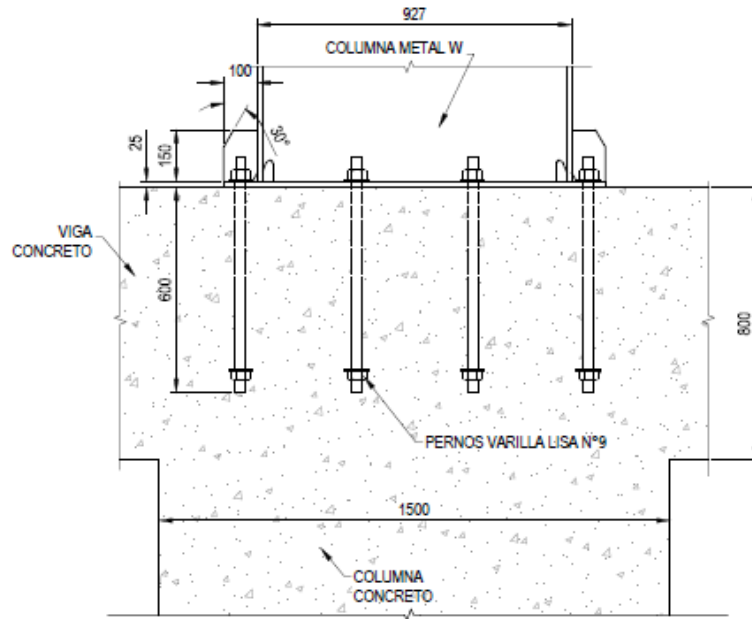


- ① $3t_f$ (+- 12 mm)
- ② MAXIMO DE t_f ó 12 mm (+- 6 mm)
- ③ MAXIMO $0.75^* t_f$ ó 20 mm (+- 6 mm)
- ④ ESPESOR DE ALA DE W (SUPERIOR O LA INFERIOR)

DETALLE ORIFICIO SISMICO EN ALMAS VIGAS W

Figura 46. Detalle Orificio Sísmico

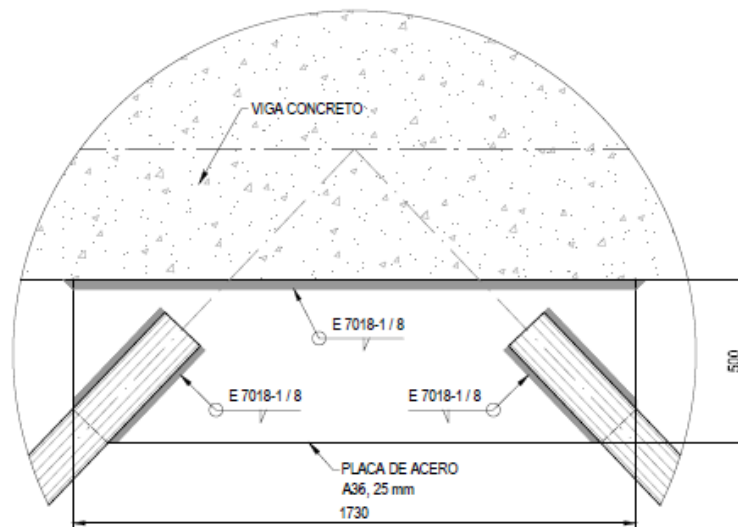
Fuente: Propia



**DET. APOYO COLUMNA W
EN VIGA DE CONCRETO**
escala 1:15

Figura 47. Detalle Apoyo Columna W en Viga Concreto

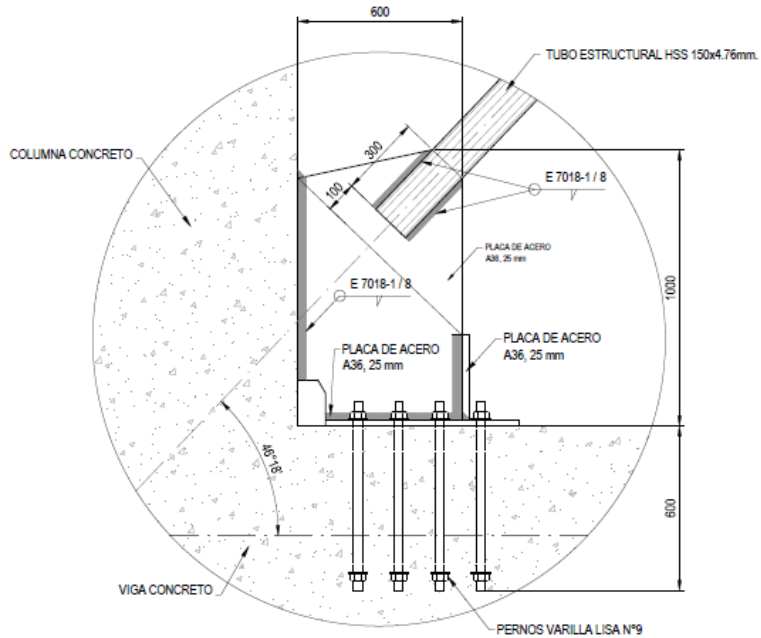
Fuente: Propia



**DET. APOYO ARRIOSTRE
EN VIGA CONCRETO**
escala 1:15

Figura 48. Detalle Apoyo Arriostre en Viga Concreto

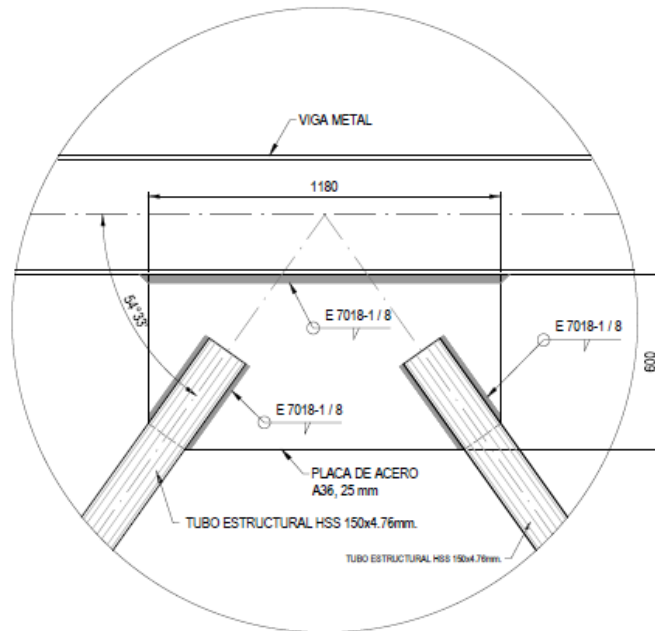
Fuente: Propia



DET. APOYO ARRIOSTRE EN COLUMNA Y VIGA DE CONCRETO
 escala 1:15

Figura 49. Detalle Apoyo Arriostre en Columna y Viga de Concreto

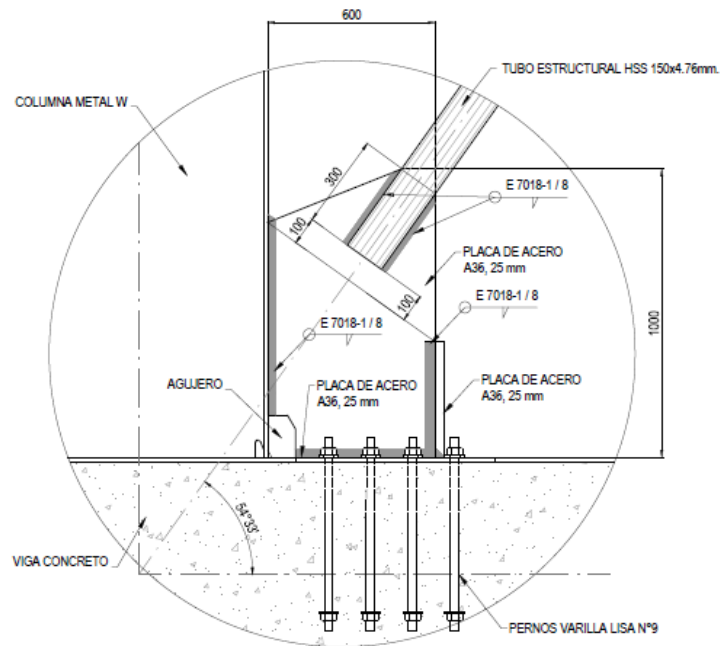
Fuente: Propia



DET. APOYO ARRIOSTRE EN VIGA W
 escala 1:15

Figura 50. Detalle Apoyo Arriostre en Viga W

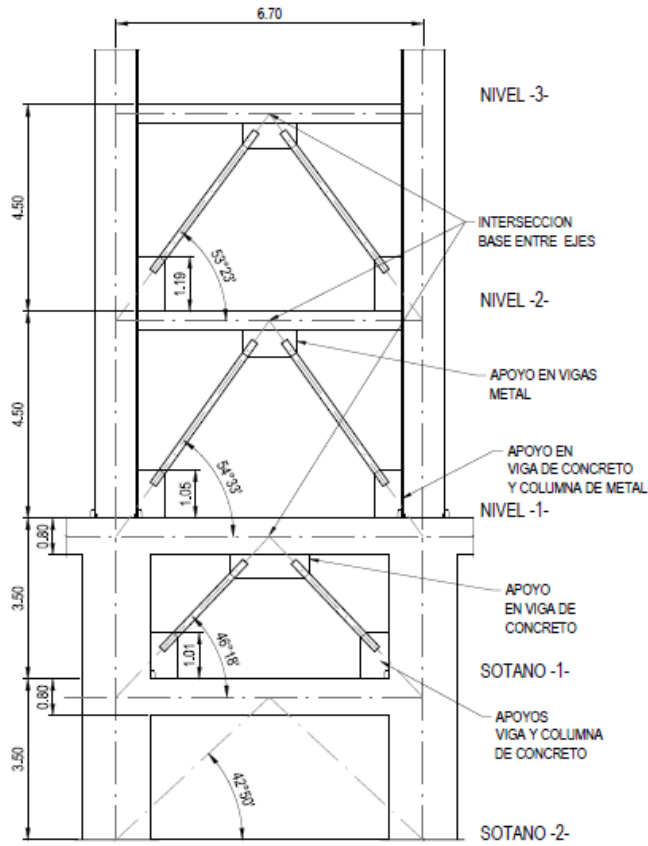
Fuente: Propia



**DET. APOYO ARRIOSTRE EN COLUMNA W
EN VIGA DE CONCRETO**
escala 1:15

Figura 51. Detalle Arriostre en Columna W en Viga de Concreto

Fuente: Propia



ELEVACION ENTRE EJES A 6.70m
escala 1:100

Figura 52. Elevación entre Ejes a 6.70m

Fuente: Propia

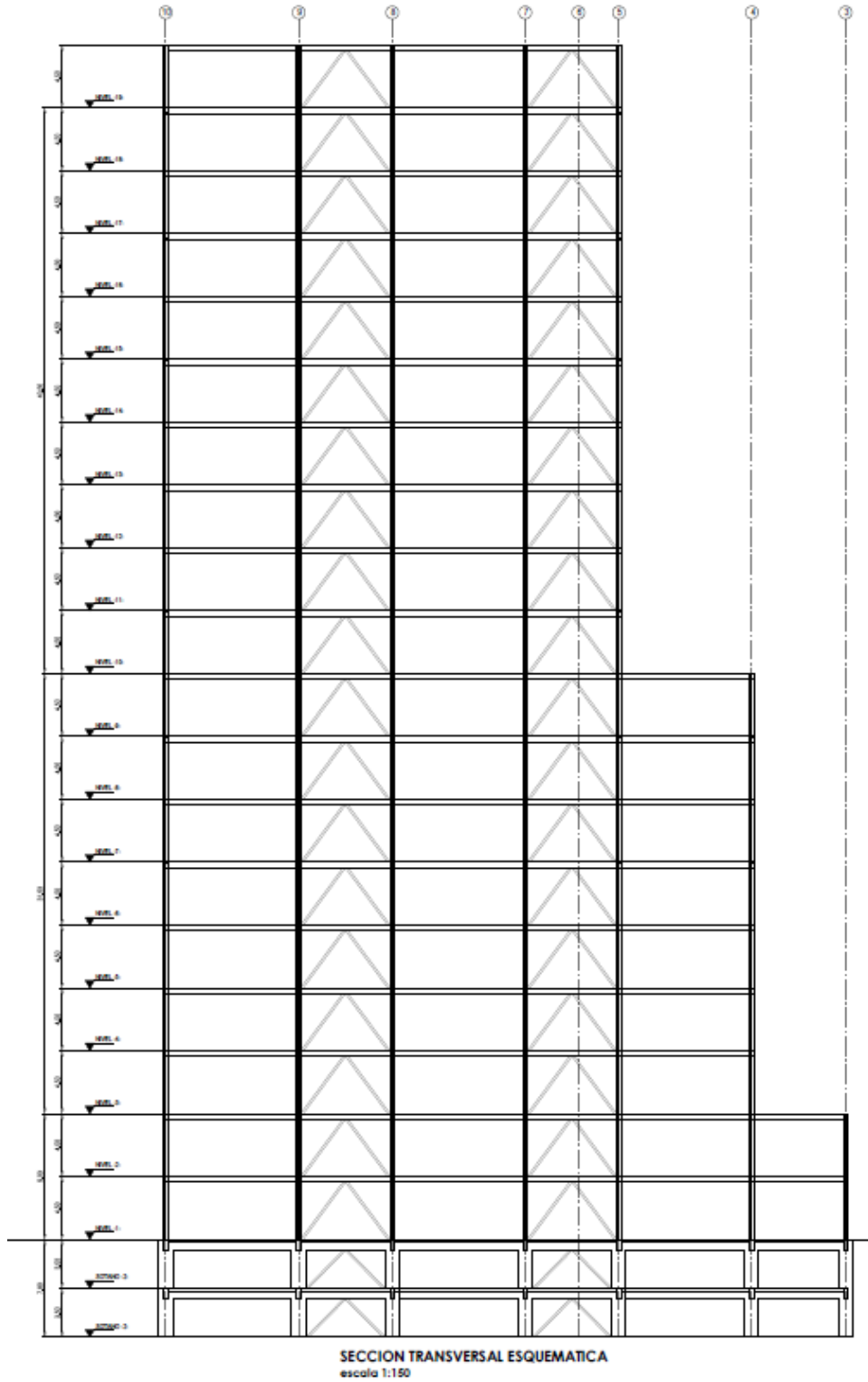


Figura 53. Sección Transversal Esquemática

Fuente: Propia

CONCLUSIONES

Basado en los requerimientos y necesidades del Ministerio de Obras Públicas y Transportes para realizar el diseño estructural preliminar de la nueva sede del Ministerio de Hacienda, se concluye que el presente proyecto cumple de manera correcta el objetivo principal del trabajo final de graduación.

En el análisis de resultados se analizó la información básica el proyecto por diseñar, tales como las características arquitectónicas del edificio y el resto de datos proporcionados por el estudio de suelos.

Se plantearon y calcularon las cargas a las que el edificio se va a encontrar sometido, de igual forma se realiza un cálculo preliminar de las secciones en acero reforzado para el modelado estructural en ETABS. Con el modelo estructural ya realizado se extrajeron los datos necesarios para determinar si las secciones elegidas cumplen con las especificaciones del software como tal y nuestro Código Sísmico. Determinando que tanto las derivas como el chequeo interno del software cumplen dichos requerimientos.

Con respecto al cálculo del diseño de los detalles, se puede ver que cumplen con los estándares estipulados para el diseño en acero.

Finalmente en el cambio de secciones, se realiza para optimizar de mejor manera a la hora de la construcción del edificio.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente y los planos en planta del edificio y detalles de conexiones adjuntados en este proyecto se concluye que es un diseño estructural que cumple con todos los requerimientos del Código Sísmico de Costa Rica-2010.

RECOMENDACIONES

Basado en el proyecto se recomienda al MOPT realizar un diseño del sótano de parqueos más detallado, ya que las características que se expusieron en una reunión que se querían para este no son posibles de realizar estructuralmente.

Para una mejor respuesta estructural se recomienda continuar con las vigas y columnas entre los ejes M-L, L-K, K-J, H-G y G-F sobre el eje 5 desde el nivel 10 al 19, ya que proporciona más estabilidad y regularidad al edificio.

Se recomienda realizar el diseño del edificio en acero estructural, ya que este es el material escogido por el MOPT, y los resultados finales fueron buenos. De igual manera se recomienda realizar el diseño de este mismo, pero en concreto reforzado, para así verificar cuál opción es más eficiente y cómoda a la hora de su construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, C., & Reitherman, R. (1987). Configuración y Diseño Sísmico de Edificios. En C. Arnold, & R. Reitherman, *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios* (pág. 298). México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- Arquitectos, C. F. (2013). Comentarios al Código Sísmico de Costa Rica 2010. En C. F. Arquitectos, *Comentarios al Código Sísmico de Costa Rica 2010* (pág. 368). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Arquitectos, C. F. (2016). Código Sísmico de Costa Rica 2010. En C. F. Arquitectos, *Código Sísmico de Costa Rica 2010* (pág. 408). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Bazán, E., & Meli, R. (2002). *Diseño Sísmico de Edificios*. México: LIMUSA.
- Benavides, C. (2017). Así lucirá Ñ Nunciatura, el proyecto de 26 niveles que se construye en Costa Rica. *CONSTRUIR América Central y El Caribe*.
- Construction, A. I. (2017). Steel Construction Manual. En A. I. Construction, *Steel Construction Manual* (pág. 2325).
- Crisafulli, F. (2013). *Diseño Sísmico de Construcciones de Acero*. Santiago de Chile: Alacero.
- Dowrick, D. (1995). Diseño de estructuras resistentes a sismos. En D. Dowrick, *Diseño de estructuras resistentes a sismos* (pág. 410). México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- Falcón, O. (2018). Los cinco edificios que dominan la altura en Costa Rica. *CONSTRUIR América Central y El Caribe*.
- Fernández Mora, E. (21 de Agosto de 2016). Más torres verticales acaparan San José. *El Financiero*.
- international, A. (2002). Requisitos Esenciales para Edificaciones de Concreto Reforzado. En A. international, *Requisitos Esenciales para Edificaciones de Concreto Reforzado* (pág. 256). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J., & Brwon, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Nappier, J. (04 de Abril de 2014). *CSI America*. Obtenido de CSI America: <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Pushover>
- Rica, C. F. (2014). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Sauter, F. (1989). Introducción a la Sismología. En F. Sauter, *Introducción a la Sismología* (pág. 271). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Universidad de Costa Rica. (19 de Setiembre de 2011). Obtenido de Universidad de Costa Rica: <http://www.lis.ucr.ac.cr/276>

VAN DER LAAT Y JIMÉNEZ Compañía Constructora. (Enero de 2015). Obtenido de VAN DER LAAT Y JIMÉNEZ Compañía Constructora: <http://www.vjcr.net/nuestras-obras/construccion-torres-paseo-colon-ii-etapa#node-85>

Vindas Corder, I. (2006). *Diseño, análisis y costos para marcos ordinarios en acero de uso industrial, según las especificaciones técnicas del Código Sísmico de Costa Rica 2002 y las provisiones sísmicas del AISC-2005*. San José, Costa Rica.

Vinnakota, S. (2007). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. México: Litográfica Ingramex S.A.

ANEXOS

A. Para el nivel 1 y 2:

- Tramo del eje 4-5 sobre el eje P:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 22.64\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 12.88\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(22.64\text{KN/m}) + 1.6(12.88\text{KN/m}) = 47.78\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 47.78\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 179.67\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 47.78\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 269.51\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 47.78\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 431.21\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección

$$431.21\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 43121\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{43121\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1389.57\text{cm}^3$$

$$1389.57\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 84.80\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x50, con $Z = 92\text{in}^3$ y $d = 16.26\text{in}$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje P:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 22.64\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 12.88\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(22.64\text{KN/m}) + 1.6(12.88\text{KN/m}) = 47.78\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 47.78\text{KN/m} * 6.7\text{m}^2 = 89.37\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 47.78\text{KN/m} * 6.7\text{m}^2 = 134.05\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 47.78\text{KN/m} * 6.7\text{m}^2 = 214.48\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección

$$214.48\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 21448\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{21448\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 691.16\text{cm}^3$$

$$691.16\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 42.17\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x26, con $Z = 44.2\text{in}^3$ y $d = 15.69\text{in}$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje P:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 22.64\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 5.15\text{m} = 12.88\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(22.64\text{KN/m}) + 1.6(12.88\text{KN/m}) = 47.78\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 47.78\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 308.01\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 47.78\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 392.01\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 47.78\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 269.51\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$392.01\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 39201\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{39201\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 1263.24\text{cm}^3$$

$$1263.24\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 77.09\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x45, con $Z = 82.3\text{in}^3$ y $d = 16.13\text{in}$.

- Tramo del eje 3-4 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 9.05\text{m} = 39.78\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (5.5\text{KN}/\text{m}^2) * 9.05\text{m} = 49.77\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(39.78\text{KN}/\text{m}) + 1.6(49.77\text{KN}/\text{m}) = 127.37\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 127.37\text{KN}/\text{m} * 6.7\text{m}^2 = 408.40\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 127.37\text{KN}/\text{m} * 6.7\text{m}^2 = 519.78\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 127.37\text{KN/m} * 6.7\text{m}^2 = 357.35\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$519.78\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 51978\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{59978\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1674.98\text{cm}^3$$

$$1674.98\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 102.21\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105\text{in}^3$ y $d = 16.43\text{in}$.

- Tramo del eje 4-5 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 9.05\text{m} = 39.78\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 9.05\text{m} = 49.77\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(39.78\text{KN/m}) + 1.6(49.77\text{KN/m}) = 127.37\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 127.37\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 478.96\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 127.37\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 718.45\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 127.37\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 1149.51\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$1149.51\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 114951\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{114951\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 3704.27\text{cm}^3$$

$$3704.27\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 226.04\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W18x106, con $Z = 230\text{in}^3$ y $d = 18.73\text{in}$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 9.05\text{m} = 39.78\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (2.5\text{KN}/\text{m}^2) * 9.05\text{m} = 22.63\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(39.78\text{KN}/\text{m}) + 1.6(22.63\text{KN}/\text{m}) = 83.94\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 83.94\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 157\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 83.94\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 235.50\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 83.94\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 376.81\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$376.81\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 37681\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{37681\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 1214.26\text{cm}^3$$

$$1214.26\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 74\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x45, con $Z = 82.3\text{in}^3$ y $d = 16.13\text{in}$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 9.05\text{m} = 39.78\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 9.05\text{m} = 49.77\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(39.78\text{KN/m}) + 1.6(49.77\text{KN/m}) = 127.37\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 127.37\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 478.96\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 127.37\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 718.45\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 127.37\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 1149.51\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$1149.51\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 114951\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{114951\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 3704.27\text{cm}^3$$

$$3704.27\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 226.04\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5m}{20} = 0.475m$$

$$0.475m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 18.70in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W18x106, con $Z = 230in^3$ y $d = 18.73in$.

- Tramo del eje 8-9 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196KN/m^2 + 2.28KN/m^2) * 3.9m = 17.14KN/m$$

$$CT = (5.5KN/m^2) * 3.9m = 21.45KN/m$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14KN/m) + 1.6(21.45KN/m) = 54.89KN/m$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89KN/m * (6.7m)^2 = 102.66KN - m$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89KN/m * (6.7m)^2 = 154KN - m$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89KN/m * (6.7m)^2 = 246.40KN - m \rightarrow RIGE$$

Cálculo del módulo de sección:

$$246.40KN - m * \frac{100cm}{1m} = 24640KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{24640KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 794.01cm^3$$

$$794.01cm^3 * \frac{(0.393701in)^3}{(1cm)^3} = 48.45in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7m}{20} = 0.335m$$

$$0.335m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 13.19in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54\text{in}^3$ y $d = 15.88\text{in}$.

- Tramo del eje 9-10 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 353.84\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 450.35\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$450.35\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 45035\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{45035\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1451.24\text{cm}^3$$

$$1451.24\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 88.56\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x50, con $Z = 92\text{in}^3$ y $d = 16.26\text{in}$.

- Tramo del eje 3-4 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 176.00\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 224.00\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 154.00\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$224.00\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 22400\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{22400\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 721.83\text{cm}^3$$

$$721.83\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 43.99\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54\text{in}^3$ y $d = 15.88\text{in}$.

- Tramo del eje 4-5 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN/m}) + 1.6(42.9\text{KN/m}) = 109.79\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 412.86\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 619.28\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 990.85\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$990.85\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 99085\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{99085\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 3192.99\text{cm}^3$$

$$3192.99\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 194.83\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x100, con $Z = 198\text{in}^3$ y $d = 16.97\text{in}$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (2.5\text{KN}/\text{m}^2) * 7.8\text{m} = 19.5\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN}/\text{m}) + 1.6(19.5\text{KN}/\text{m}) = 172.35\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 172.35\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 135.32\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 172.35\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 202.99\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 172.35\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 324.78\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$324.78\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 32478\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{32478\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1046.60\text{cm}^3$$

$$1046.60\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 63.86\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x40, con $Z = 73\text{in}^3$ y $d = 16.01\text{in}$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN/m}) + 1.6(42.9\text{KN/m}) = 109.79\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 412.86\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 619.28\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 990.85\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$990.85\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 99085\text{KN} - \text{cm}$$
$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{99085\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 3192.99\text{cm}^3$$
$$3192.99\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 194.83\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$
$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x100, con $Z = 198\text{in}^3$ y $d = 16.97\text{in}$.

- Tramo del eje 8-9 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (5.5\text{KN}/\text{m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN}/\text{m}) + 1.6(42.9\text{KN}/\text{m}) = 109.79\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 109.79\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 205.35\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 308.01\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 109.79\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 492.84\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$492.84\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 49284\text{KN} - \text{cm}$$
$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{49284\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 1588.16\text{cm}^3$$

$$1588.16\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 96.91\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105\text{in}^3$ y $d = 16.43\text{in}$.

- Tramo del eje 9-10 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN/m}) + 1.6(42.9\text{KN/m}) = 109.79\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 707.75\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 900.6\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN/m} * 9.5\text{m}^2 = 619.28\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$900.6\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 9006\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{9006\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 2902\text{cm}^3$$

$$2902.15\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 167.13\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 18.70in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x89, con $Z = 175in^3$ y $d = 16.75in$.

- Tramo del eje 4-5 sobre el eje I:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196KN/m^2 + 2.28KN/m^2) * 7.8m = 34.29KN/m$$

$$CT = (5.5KN/m^2) * 7.8m = 42.9KN/m$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29KN/m) + 1.6(42.9KN/m) = 109.79KN/m$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 109.79KN/m * (9.5m)^2 = 707.75KN - m$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 109.79KN/m * (9.5m)^2 = 900.6KN - m \rightarrow RIGE$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79KN/m * 9.5m^2 = 619.28KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$900.6KN - m * \frac{100cm}{1m} = 9006KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{9006KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 2902cm^3$$

$$2902.15cm^3 * \frac{(0.393701in)^3}{(1cm)^3} = 167.13in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5m}{20} = 0.475m$$

$$0.475m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 18.70in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x89, con $Z = 175in^3$ y $d = 16.75in$.

- Tramo del eje 5-6 sobre el eje I:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN/m}) + 1.6(42.9\text{KN/m}) = 109.79\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 109.79\text{KN/m} * (2.9\text{m})^2 = 38.47\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN/m} * (2.9\text{m})^2 = 57.71\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 109.79\text{KN/m} * (2.9\text{m})^2 = 92.34\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$92.34\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 9234\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{9234\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 297.56\text{cm}^3$$

$$297.56\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 18.15\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{2.9\text{m}}{20} = 0.145\text{m}$$

$$0.145\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 5.71\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x26, con $Z = 44.2\text{in}^3$ y $d = 15.69\text{in}$.

- Tramo del eje 6-7 sobre el eje I:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN/m}) + 1.6(42.9\text{KN/m}) = 109.79\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 109.79\text{KN/m} * (3.8\text{m})^2 = 66.05\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN/m} * (3.8\text{m})^2 = 99.08\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 109.79\text{KN/m} * (3.8\text{m})^2 = 158.54\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$158.54\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 15854\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{15854\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 510.89\text{cm}^3$$

$$3510.89\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 31.16\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{3.8\text{m}}{20} = 0.19\text{m}$$

$$0.19\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 7.48\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x26, con $Z = 44.2\text{in}^3$ y $d = 15.69\text{in}$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje N:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN/m}) + 1.6(42.9\text{KN/m}) = 109.79\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 412.86\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 619.28\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 109.79\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 990.85\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$990.85\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 99085\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{99085\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 3192.99\text{cm}^3$$

$$3192.99\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 194.83\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x100, con $Z = 198\text{in}^3$ y $d = 16.97\text{in}$.

- Tramo del eje 8-9 sobre el eje I:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 7.8\text{m} = 34.29\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (5.5\text{KN}/\text{m}^2) * 7.8\text{m} = 42.9\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(34.29\text{KN}/\text{m}) + 1.6(42.9\text{KN}/\text{m}) = 109.79\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 109.79\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 352.03\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 109.79\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 448.04\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 109.79 \text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 308.01 \text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$448.04 \text{KN} - \text{m} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} = 44804 \text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{44804 \text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48 \text{KN/cm}^2} = 1443.80 \text{cm}^3$$

$$1443.80 \text{cm}^3 * \frac{(0.393701 \text{in})^3}{(1 \text{cm})^3} = 88.10 \text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7 \text{m}}{20} = 0.335 \text{m}$$

$$0.335 \text{m} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} * \frac{0.393701 \text{in}}{1 \text{cm}} = 13.19 \text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x50, con $Z = 92 \text{in}^3$ y $d = 16.26 \text{in}$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje A:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196 \text{KN/m}^2 + 2.28 \text{KN/m}^2) * 4.5 \text{m} = 19.78 \text{KN/m}$$

$$CT = (5.5 \text{KN/m}^2) * 4.5 \text{m} = 24.75 \text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(19.78 \text{KN/m}) + 1.6(24.75 \text{KN/m}) = 63.33 \text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 63.33 \text{KN/m} * (6.7 \text{m})^2 = 203.06 \text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 63.33 \text{KN/m} * (6.7 \text{m})^2 = 258.44 \text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 63.33 \text{KN/m} * (6.7 \text{m})^2 = 177.68 \text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$258.44 \text{KN} - \text{m} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} = 25844 \text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{25844KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 832.82cm^3$$

$$832.82cm^3 * \frac{(0,393701in)^3}{(1cm)^3} = 50.82in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7m}{20} = 0.335m$$

$$0.335m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 13.19in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54in^3$ y $d = 15.88in$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje A:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196KN/m^2 + 2.28KN/m^2) * 4.5m = 19.78KN/m$$

$$CT = (5.5KN/m^2) * 4.5m = 24.75KN/m$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(19.78KN/m) + 1.6(24.75KN/m) = 63.33KN/m$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 63.33KN/m * (9.5m)^2 = 408.25KN - m$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 63.33KN/m * (9.5m)^2 = 519.59KN - m \rightarrow RIGE$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 63.33KN/m * (9.5m)^2 = 357.22KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$519.59KN - m * \frac{100cm}{1m} = 51959KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{51959KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 1674.37cm^3$$

$$1674.37cm^3 * \frac{(0,393701in)^3}{(1cm)^3} = 102.17in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5m}{20} = 0.475m$$
$$0.475m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 18.70in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105in^3$ y $d = 16.47in$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje B:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196KN/m^2 + 2.28KN/m^2) * 9.5m = 41.76KN/m$$

$$CT = (5.5KN/m^2) * 9.5m = 52.25KN/m$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(41.76KN/m) + 1.6(52.25KN/m) = 133.71KN/m$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 133.71KN/m * (6.7m)^2 = 428.73KN - m$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 133.71KN/m * (6.7m)^2 = 545.65KN - m \rightarrow RIGE$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 133.71KN/m * (6.7m)^2 = 375.14KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$545.65KN - m * \frac{100cm}{1m} = 54565KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{54565KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 1758.34cm^3$$

$$1758.34cm^3 * \frac{(0.393701in)^3}{(1cm)^3} = 107.3in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7m}{20} = 0.335m$$

$$0.335m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 13.19in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105in^3$ y $d = 16.47in$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje B:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196KN/m^2 + 2.28KN/m^2) * 9.5m = 41.76KN/m$$

$$CT = (5.5KN/m^2) * 9.5m = 52.25KN/m$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(41.76KN/m) + 1.6(52.25KN/m) = 133.71KN/m$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 133.71KN/m * (9.5m)^2 = 861.95KN - m$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 133.71KN/m * (9.5m)^2 = 1097.03KN - m \rightarrow RIGE$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 133.71KN/m * (9.5m)^2 = 754.21KN - m$$

Cálculo del módulo de sección:

$$1097.03KN - m * \frac{100cm}{1m} = 109703KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{109703KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 3535.15cm^3$$

$$3535.15cm^3 * \frac{(0.393701in)^3}{(1cm)^3} = 215.73in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5m}{20} = 0.475m$$

$$0.475m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 18.70in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W18x106, con $Z = 230in^3$ y $d = 18.73in$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 8.9\text{m} = 39.12\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 8.9\text{m} = 22.25\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(39.12\text{KN/m}) + 1.6(22.25\text{KN/m}) = 82.54\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 82.54\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 264.66\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 82.54\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 336.84\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 82.54\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 231.58\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$336.84\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 33684\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{33684\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1085.46\text{cm}^3$$

$$1085.46\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 66.24\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x40, con $Z = 73\text{in}^3$ y $d = 16.01\text{in}$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 8.9\text{m} = 39.12\text{KN/m}$$

$$CT = (2.5\text{KN/m}^2) * 8.9\text{m} = 22.25\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(39.12\text{KN/m}) + 1.6(22.25\text{KN/m}) = 82.54\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 82.54\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 310.38\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 82.54\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 465.57\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 82.54\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 744.92\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$744.92\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 74492\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{74492\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 2400.5\text{cm}^3$$

$$2400.5\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 146.45\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x77, con $Z = 150\text{in}^3$ y $d = 16.52\text{in}$.

- Tramo del eje 8-9 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 102.66\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 154\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 246.40\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$246.40\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 24640\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{24640\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 794.01\text{cm}^3$$

$$794.01\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 48.45\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54\text{in}^3$ y $d = 15.88\text{in}$.

- Tramo del eje 9-10 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (5.5\text{KN}/\text{m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN}/\text{m}) + 1.6(21.45\text{KN}/\text{m}) = 54.89\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN}/\text{m} * (9.5\text{m})^2 = 353.84\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN}/\text{m} * (9.5\text{m})^2 = 450.35\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$450.35\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 45035\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{45035\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1451.24\text{cm}^3$$

$$1451.24\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 88.56\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x50, con $Z = 92\text{in}^3$ y $d = 16.26\text{in}$.

B. Para el nivel del 3 al 9:

- Tramo del eje 4-5 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 209.40\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 495.38\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$495.38\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 49538\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{49538\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 1596.35\text{cm}^3$$

$$1596.35\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 97.41\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105\text{in}^3$ y $d = 16.43\text{in}$.

- Tramo del eje 5-7 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN}/\text{m}^2 + 2.28\text{KN}/\text{m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN}/\text{m}$$

$$CT = (2.5\text{KN}/\text{m}^2) * 3.9\text{m} = 9.75\text{KN}/\text{m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN}/\text{m}) + 1.6(9.75\text{KN}/\text{m}) = 36.17\text{KN}/\text{m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 36.17\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 67.65\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 36.17\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 101.47\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 36.17\text{KN}/\text{m} * (6.7\text{m})^2 = 162.36\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$162.36\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 16236\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{16236\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN}/\text{cm}^2} = 523.20\text{cm}^3$$

$$523.20\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 31.93\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x26, con $Z = 44.2\text{in}^3$ y $d = 15.69\text{in}$.

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$P = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 209.40\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 495.38\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$495.38\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 49538\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{49538\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1596.35\text{cm}^3$$

$$1596.35\text{cm}^3 * \frac{(0,393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 97.41\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 18.70in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105in^3$ y $d = 16.43in$.

- Tramo del eje 8-9 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196KN/m^2 + 2.28KN/m^2) * 3.9m = 17.14KN/m$$

$$CT = (5.5KN/m^2) * 3.9m = 21.45KN/m$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14KN/m) + 1.6(21.45KN/m) = 54.89KN/m$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89KN/m * (6.7m)^2 = 102.68KN - m$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89KN/m * (6.7m)^2 = 154.00KN - m$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89KN/m * (6.7m)^2 = 246.40KN - m \rightarrow RIGE$$

Cálculo del módulo de sección:

$$246.40KN - m * \frac{100cm}{1m} = 24640KN - cm$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{24640KN - cm}{0.9 * 34.48KN/cm^2} = 794.01cm^3$$

$$794.01cm^3 * \frac{(0.393701in)^3}{(1cm)^3} = 48.45in^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7m}{20} = 0.335m$$

$$0.335m * \frac{100cm}{1m} * \frac{0.393701in}{1cm} = 13.19in$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54in^3$ y $d = 15.88in$.

- Tramo del eje 9-10 sobre el eje O:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 353.84\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 450.35\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$450.35\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 45035\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{45035\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1451.24\text{cm}^3$$

$$1451.24\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 88.56\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x50, con $Z = 92\text{in}^3$ y $d = 16.26\text{in}$.

C. Para el nivel del 10 al 19:

- Tramo del eje 7-8 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$P = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 209.40\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 495.38\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$495.38\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 49538\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{49538\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1596.35\text{cm}^3$$

$$1596.35\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 97.41\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x57, con $Z = 105\text{in}^3$ y $d = 16.43\text{in}$.

- Tramo del eje 8-9 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{24} * W * L^2 = \frac{1}{24} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 102.68\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 154.00\text{KN} - \text{m}$$

$$M_B = \frac{1}{10} * W * L^2 = \frac{1}{10} * 54.89\text{KN/m} * (6.7\text{m})^2 = 246.40\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$246.40\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 24640\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{24640\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 794.01\text{cm}^3$$

$$794.01\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 48.45\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{6.7\text{m}}{20} = 0.335\text{m}$$

$$0.335\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 13.19\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x31, con $Z = 54\text{in}^3$ y $d = 15.88\text{in}$.

- Tramo del eje 9-10 sobre el eje C:

Cálculo de cargas:

$$CP = (2.196\text{KN/m}^2 + 2.28\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 17.14\text{KN/m}$$

$$CT = (5.5\text{KN/m}^2) * 3.9\text{m} = 21.45\text{KN/m}$$

Mayoración de cargas:

$$CU = 1.2(17.14\text{KN/m}) + 1.6(21.45\text{KN/m}) = 54.89\text{KN/m}$$

Cálculo de momentos:

$$M_A = \frac{1}{14} * W * L^2 = \frac{1}{14} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 353.84\text{KN} - \text{m}$$

$$M_C = \frac{1}{11} * W * L^2 = \frac{1}{11} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 450.35\text{KN} - \text{m} \rightarrow \text{RIGE}$$

$$M_B = \frac{1}{16} * W * L^2 = \frac{1}{16} * 54.89\text{KN/m} * (9.5\text{m})^2 = 309.61\text{KN} - \text{m}$$

Cálculo del módulo de sección:

$$450.35\text{KN} - \text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 45035\text{KN} - \text{cm}$$

$$Z = \frac{Mu}{\phi * F_y} = \frac{45035\text{KN} - \text{cm}}{0.9 * 34.48\text{KN/cm}^2} = 1451.24\text{cm}^3$$

$$1451.24\text{cm}^3 * \frac{(0.393701\text{in})^3}{(1\text{cm})^3} = 88.56\text{in}^3$$

Cálculo del peralte:

$$d = \frac{L}{20} = \frac{9.5\text{m}}{20} = 0.475\text{m}$$

$$0.475\text{m} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{0.393701\text{in}}{1\text{cm}} = 18.70\text{in}$$

Propuesta de la sección de acero:

Una sección W16x50, con $Z = 92\text{in}^3$ y $d = 16.26\text{in}$.