



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**INGENIERÍA DE VALOR PARA OPTIMIZACIÓN EN
CUANTÍAS:**

WEN LIVING SAN JOSÉ DEL CABO

**MEMORIA DE EXPERIENCIA LABORAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:
JOSÉ MIGUEL LEDEZMA GARCÍA**

**DIRECTOR DE REPORTE:
DR. DAVID JOAQUÍN DELGADO HERNÁNDEZ**

Toluca, Estado de México, Noviembre 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

INGENIERÍA DE VALOR PARA OPTIMIZACIÓN EN CUANTÍAS:

WEN LIVING SAN JOSÉ DEL CABO

MEMORIA DE EXPERIENCIA LABORAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

JOSÉ MIGUEL LEDEZMA GARCÍA

DIRECTOR DE REPORTE:

DR. DAVID JOAQUÍN DELGADO HERNÁNDEZ

Toluca, Estado de México, 2023

ÍNDICE

Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Definición y caracterización del problema y su relación con el plan de estudios cursado.....	5
Introducción	6
Antecedentes.....	6
Justificación	14
Objetivo y alcance.....	14
Capítulo 1. Participación en la empresa	15
Capítulo 2. Descripción del proyecto.....	17
a) Descripción arquitectónica.....	19
b) Concepto estructural.....	42
c) Normativa.....	44
Capítulo 3. Ingeniería de valor	45
a) Contacto con el cliente	46
b) Layouts (plantas).....	48
c) Modelo de cálculo	54
d) Prediseño del modelo y análisis.....	91
e) Coordinación arquitectura con ingenierías	107
f) Cuantificaciones	109
Capítulo 4. Experiencia laboral	111
Conclusiones	112
Referencias.....	113
Índice de figuras.....	113
Índice de tablas	116
Listado de acrónimos	117
Anexos.....	118
A. Trabajo Posestudios	118
B. Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).....	120
C. Justificación sísmica	122
D. Distorsiones horizontales de columnas y muros.....	136
E. Combinaciones de acciones y cargas.....	137
F. Comprobaciones de columna	144

G. Comprobaciones de ELU y ELS de trabe	156
H. Cuantificaciones de la obra.....	158

Resumen

Este trabajo constituye una memoria de experiencia laboral para recibir el título de Ingeniero civil. El trabajo describe el proceso de la ingeniería de valor estructural con el fin de reducir cuantías en los materiales aplicado al proyecto "Wen Living" San José del Cabo, en el que quien suscribe ha sido partícipe del desarrollo, de inicio a fin, como auxiliar de ingeniero estructural en el Departamento de estudios de FSGROUP Engineering México, empresa dedicada a la consultoría y diseño estructural.

A largo de este documento se demuestra la metodología utilizada en la empresa, desde el primer contacto con el cliente –para conocer sus propuestas y los resultados esperados–, seguido del estudio del proyecto, en el que se hace la valoración estructural completa y donde se brinda al cliente información preliminar de diseño y las cuantificaciones. Una vez satisfecho el cliente con el anteproyecto realizado en la etapa de estudios, el Departamento de producción desarrolla el proyecto ejecutivo entregable.

Definición y caracterización del problema y su relación con el plan de estudios cursado

La Facultad de Ingeniería ofrece la opción de escoger una línea de acentuación, de acuerdo con nuestro interés, como estudiantes, y las habilidades que hayamos desarrollado en los primeros años de la carrera. Si bien la ingeniería abarca bastantes disciplinas para el desarrollo de un país, considero que en el campo de las estructuras puedo aportar más como ingeniero, debido al interés y compromiso que tengo con la profesión.

Desde el primer semestre de la carrera, y a lo largo de los cinco años que duró mi recorrido por la facultad, los ingenieros nos han hecho saber que la ingeniería civil es una profesión de mucha responsabilidad ante la sociedad; por eso, nuestra labor como profesionistas es brindar diseños estructurales seguros para cualquier situación cotidiana y accidental que pueda presentarse en la región. Si además de la seguridad estructural existe la oportunidad de crear diseños óptimos que economicen el costo de un proyecto, una empresa puede ser competitiva; en consecuencia, los clientes te darán preferencia para llevar a cabo proyectos cada vez de mayor importancia.

La problemática descrita en este trabajo trata justamente de cómo fue el proceso de selección de "Wen Living". En un inicio, el proyecto estaba destinado a otra empresa; sin embargo, las cuantificaciones entregadas por los estructuristas no estaban dentro del presupuesto para la ejecución de la obra, por lo que los clientes decidieron buscar alternativas.

FSGROUP Engineering se ha caracterizado por ser una empresa comprometida con la entrega de proyectos eficientes y bajos en cuantías. Cuando obtuve la oportunidad de participar en el proyecto, comencé a trabajar en el Departamento de estudios; una vez que contamos con los resultados preliminares, les presenté mi propuesta. Una vez que el cliente estuvo de acuerdo con la cuantificación entregada, la empresa me otorgó el contrato para el desarrollo del proyecto ejecutivo.

Introducción

El uso de la tecnología se ha convertido en un factor indispensable para la competitividad en el área de cálculo y el diseño estructural.

La empresa cuenta con una metodología muy completa para desarrollar proyectos basada en el uso de distintos software como CYPECAD, Revit, autocad, SAP2000, ETABS, entre otras herramientas de trabajo que facilitan y agilizan los procesos de producción.

Antecedentes

¿Qué es FSGROUP Engineering?

Es un despacho estructurista español fundado en 2002 por el arquitecto y doctor en ingeniería Fernando Sarría Pueyo, cuyas iniciales están referidas en el nombre de la empresa. El giro principal de la compañía es la ingeniería estructural; sin embargo, en los últimos años se ha implementado la disciplina de arquitectura, por lo que el equipo está conformado por arquitectos e ingenieros locales.

Originalmente, la empresa radicaba solo en proyectos en España, pero en 2010 el arquitecto Sarría hizo un viaje a México con la misión de ampliar su equipo a nivel internacional y establecerse en proyectos mexicanos. Así es como FSGROUP Engineering MX comenzó su historia dentro del campo estructural en México y desde entonces ha trabajado para colocarse en el mapa en niveles importantes. En la figura 1 se muestra el logotipo de la empresa.



Figura 1. Logo de FSGROUP Engineering

¿Qué es CYPECAD?

Es una de las aplicaciones que incluye el paquete CYPE, el cual está dirigido a todas las disciplinas de la construcción, desde el diseño estructural, hasta la cotización, el generador de precios, las instalaciones, el control de obra, el estudio de demolición, etcétera. En la figura 2 se muestra el catálogo de aplicaciones en la familia CYPE.

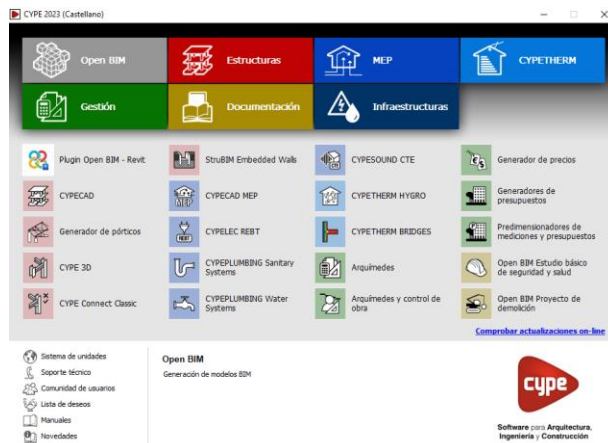


Figura 2. Catálogo de aplicaciones familia CYPE

Dentro de esta gran familia, la aplicación usada con más frecuencia y con la que se analizó el proyecto “Wen Living”, fue CYPECAD.

CYPECAD es una aplicación BIM utilizada para el análisis, el cálculo, el dimensionamiento y el diseño de estructuras y obras civiles sometidas a acciones horizontales y a la acción de fuego. Principalmente está dirigida a estructuras de concreto, aunque existe la posibilidad de incluir elementos de acero; no se recomienda incorporar estructuras complejas metálicas, ya que la aplicación está mayormente optimizada para concreto. Sin embargo, si se desea realizar el modelo analítico para alguna nave industrial, cubierta, entre otras, donde predomine el acero, se puede utilizar la aplicación CYPE 3D, que también es parte de la familia CYPE. En la figura 3 se muestra un ejemplo de estructura modelado en CYPECAD.

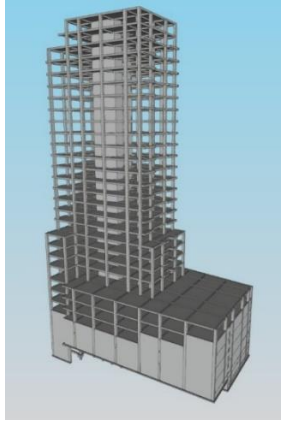


Figura 3. Ejemplo de edificación modelada en CYPECAD

¿Por qué usamos CYPECAD?

Si una empresa pretende ser competente dentro del mundo del cálculo estructural, es necesario perfeccionar estrategias y metodologías que conduzcan a resultados eficientes y seguros. Los clientes siempre buscan la mejor opción, la cual debe ser un proyecto de calidad, con seguridad estructural, que cumpla con las normativas locales y claro, optimice al máximo el material, sin dejar de lado la ética profesional de la ingeniería y la responsabilidad que esto conlleva. Si bien el tiempo no siempre es factor para llegar a la entrega de un proyecto, lograr que se haga en menos tiempo que otras empresas constituye un valor agregado al trabajo, de ahí la importancia de definir adecuadamente el sistema de trabajo.

CYPECAD es una herramienta que nos brinda bastantes facilidades al momento de desarrollar un proyecto. Es importante enfatizar que se debe usar como un instrumento de trabajo, por lo que no sustituye la labor del hombre, porque el programa puede dar resultados y diseños, pero el criterio del ingeniero determinará la correcta interpretación, además de que se deberán configurar todos los parámetros de la obra para alcanzar resultados razonables y reales.

El software ofrece la posibilidad de obtener el diseño de una estructura bajo determinados reglamentos, y puede ser modificado a criterio del usuario; de igual forma, existe la opción de visualizar los resultados y los listados obtenidos (figura 4), así como también ofrece y detalla los despieces dibujados exportables a un archivo dwg (figura 5). Lo anterior agiliza el proceso de trabajo, lo que la ha convertido en las principales herramientas de trabajo dentro de la oficina de FSGROUP Engineering.

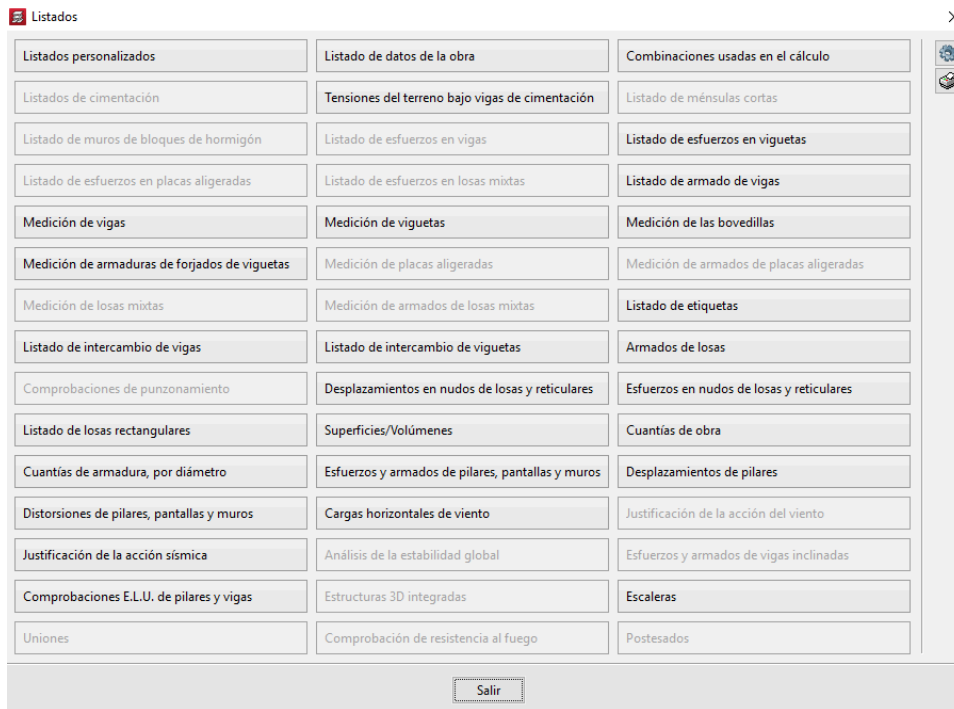


Figura 4. Menú de listados extraíbles de CYPECAD

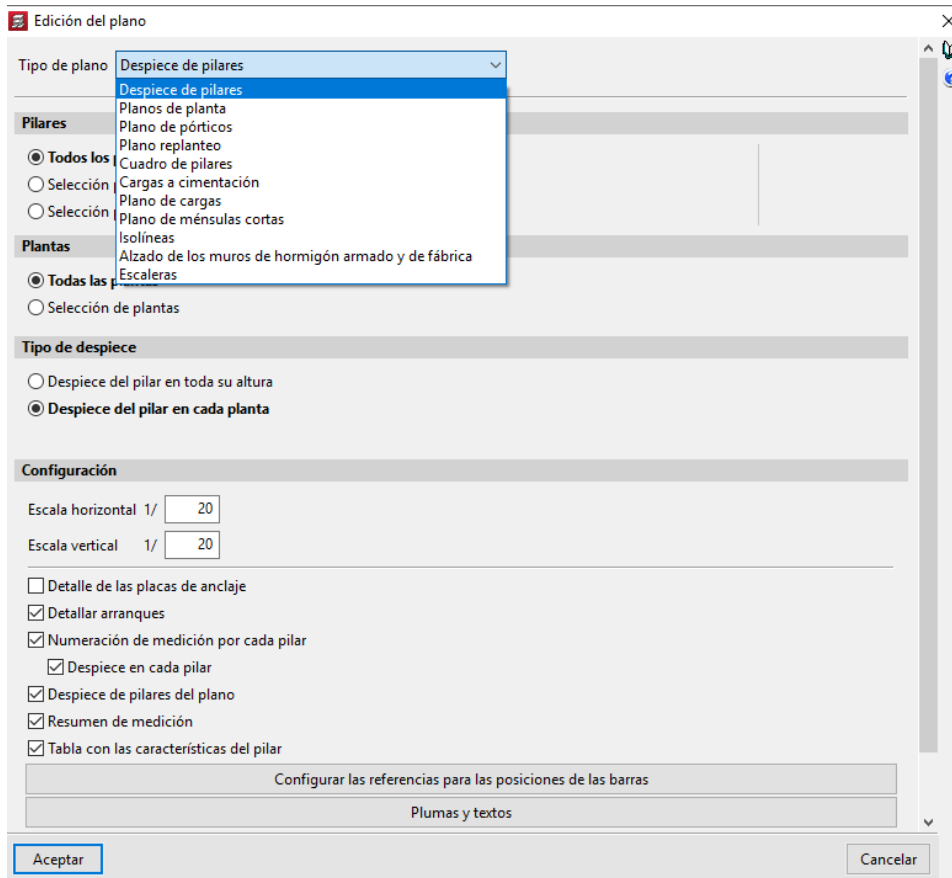


Figura 5. Impresión de planos extraíbles de CYPECAD

A continuación, se enlistan las ventajas y las desventajas que he encontrado hasta el momento con el uso constante del software CYPECAD:

Ventajas

- Optimización de tiempo
- Optimización de materiales
- Fácil manejo del programa
- Impresión de planos
- Información descargable
- Disponible en español

Desventajas

- Errores en el modelado
- No cuenta con los reglamentos de varios países
- Cierres inesperados
- Modelos muy pesados
- No diseña mampostería

¿Qué es BIM?

BIM son las siglas en inglés para Building Information Modeling. Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y la gestión de un proyecto de construcción, cuyo principal objetivo es centralizar la información de un proyecto de un modelo de información digital creado por todos sus agentes. En la figura 6 se muestra el ciclo de la metodología BIM, el cual incluye el conjunto de disciplinas que contribuyen para lograr una ejecución de proyecto satisfactoria.

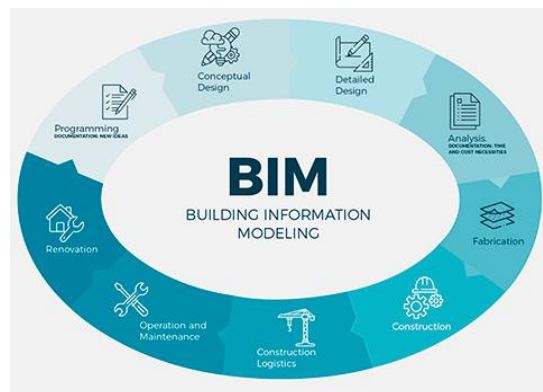


Figura 6. Ciclo del BIM

Productos AUTODESK

La familia Autodesk es otro grupo de aplicaciones que facilitan el manejo de la información necesaria para un proyecto en planos, modelos 3D y demás indicaciones que ayuden a la interpretación de una obra.

Dentro de esta familia existen numerosos software, pero en FSGROUP Engineering se utilizan AutoCAD y Revit, mismos que se utilizaron para la realización de “Wen Living”.

AutoCAD hace referencia a la familia Autodesk y CAD (Computer Aided Design). Esta herramienta nos permite la creación y la edición de los planos entregables de nuestros proyectos, incluyendo detalles, secciones, plantas, etcétera. En la figura 7 se muestra un ejemplo del orden en planos que se maneja en FSGROUP MX para la entrega de un proyecto ejecutivo.

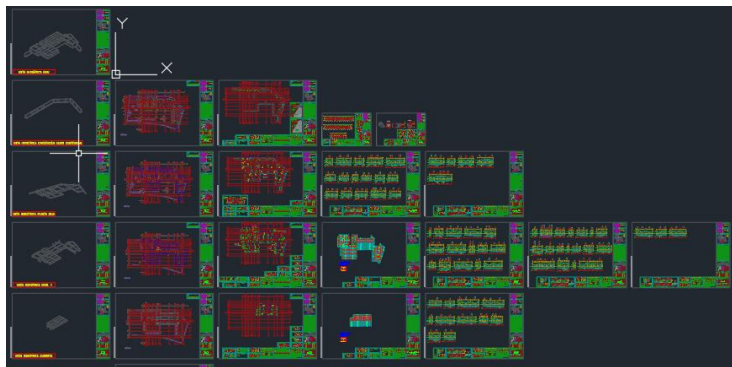


Figura 7. Ejemplo de planos FS en AutoCAD

Por su parte, Revit nos brinda la posibilidad de crear un diseño inteligente, que se puede volver parte de la metodología BIM. Lo más característico de este programa es que lo introducido se realiza mediante objetos inteligentes (familias paramétricas) y se obtienen en 3D, sobre la marcha, a medida que se va avanzando en el proyecto desde las plantas inferiores hasta las superiores del cuerpo estructural.

Con Revit se puede hacer una revisión más detallada de los elementos estructurales con los que contamos, lo que hace más fácil el planteamiento de la ejecución de la obra, ya que podemos introducir la topografía del terreno y visualizar cualquier incidente que pueda presentarse. Otra razón por la que en FSGROUP Engineering utilizamos esta herramienta se debe a que es posible simular el paso de la ingeniería MEP (mechanical, electrical and plumbing, por sus siglas en inglés) por la estructura para evitar problemas de ejecución. En la figura 8 se muestra un ejemplo de una estructura modelada en Revit.

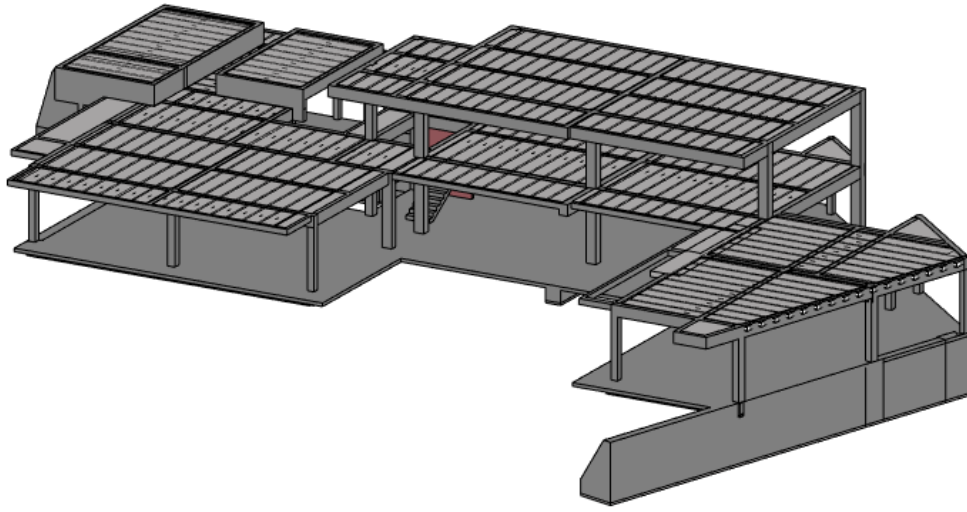


Figura 8. Ejemplo de modelo en Revit

Justificación

Dado que “Wen Living” San José del Cabo, Baja California, es un desarrollo de casas residenciales de lujo, su relación con clientes potenciales para futuros proyectos es determinante, por lo que es de suma importancia llevar a cabo un trabajo de excelencia, además de brindar una atención personalizada.

Gracias a este proyecto, FSGROUP Engineering se ha convertido en una empresa reconocida dentro el mundo de la ingeniería en México, sin dejar de lado el gran crecimiento personal que me ha dejado participar en un trabajo de esta trascendencia, toda vez que es mi primera colaboración en un proyecto real como recién egresado.

Objetivo y alcance

La finalidad de este documento es describir el proceso completo de la ingeniería de valor aplicado al proyecto de “Wen Living” San José del Cabo, Baja California. A lo largo de los capítulos que integran este trabajo se profundizará en el tema, se desarrollarán los pasos y se describirá la metodología utilizada para lograr una optimización en las cuantificaciones de acero de refuerzo y concreto.

Para llegar a los resultados esperados, se hará uso de la normativa y los reglamentos correspondientes para la región en estudio; de esta forma, se garantizará la seguridad y la eficiencia estructural simultáneamente con la economía del proyecto.

Con la realización del trabajo de ingeniería de valor se esperan resultados óptimos y satisfactorios tanto para el cliente como para el vendedor (FSGROUP MX), de tal manera que la conformidad sea mutua para dar apertura a futuras colaboraciones. Asimismo, se pretende compartir el conocimiento que se ha adquirido a lo largo del desarrollo del proyecto a futuros ingenieros con la misma vocación y pasión que siento yo y, a su vez, mejorar aún más la calidad de la ingeniería estructural mexicana.

El proceso completo por describir en este ensayo ha sido realizado por quien suscribe, por lo que se dará a conocer el rol y la participación detallados. Igualmente, se describirá la experiencia laboral adquirida tras la participación en el proyecto, los aprendizajes obtenidos, los errores cometidos, las soluciones logradas, el crecimiento alcanzado, entre otros factores, desde el punto de vista de quien presenta este trabajo.

Capítulo 1. Participación en la empresa

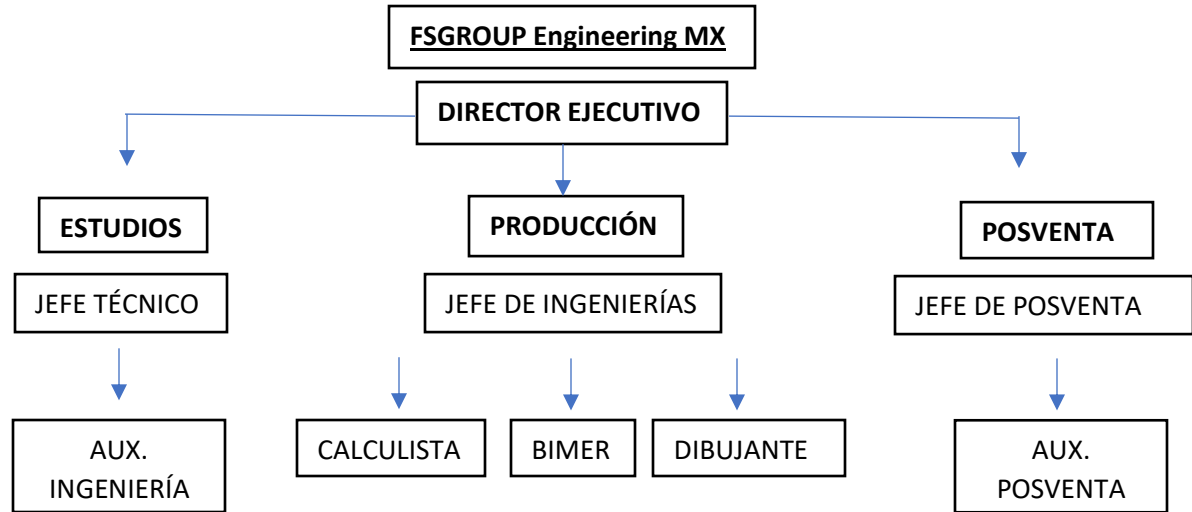
La empresa FSGROUP Engineering MX se estructura en tres departamentos de trabajo fundamentales para brindar un servicio completo a un proyecto, desde su inicio hasta su culminación: Estudios, Producción y Posventa a cargo del director ejecutivo de la empresa, el cual también debe lograr la venta de proyectos.

El Departamento de Estudios es el primer contacto del cliente con la empresa en cuanto a cuestiones técnicas, pues allí se valoran los proyectos, como la cotización, por lo que es un servicio que se brinda de manera gratuita con la finalidad de convencer al cliente mediante información preliminar acerca de la estructura, como la distribución de los elementos estructurales, el predimensionamiento, las cuantificaciones de materiales y el costo por desarrollo de proyecto ejecutivo. Una vez que el cliente cuenta con la información preliminar, puede tomar la decisión de contratar, o no, el servicio. En el caso en que el cliente decida trabajar con FSGROUP Engineering MX, se establecen ciertas condiciones para ambas partes a través de un contrato.

Producción es el departamento con el que se trabaja inmediatamente después de que el área de Estudios culmine su trabajo. En este se comienza con la revisión y el diseño estructural final del proyecto; en caso de que el cliente solicite cambios considerables en la estructura, este departamento será el encargado. Al finalizar el diseño de la estructura, toda la información necesaria deberá ser plasmada en planos estructurales para su ejecución, así como la respectiva memoria de cálculo y el archivo de cuantificaciones de materiales.

Una vez que Producción entrega el proyecto ejecutivo, se da paso a Posventa, departamento encargado de dar asistencia, como resolución de dudas o atención a comentarios que surjan en la ejecución de obra. Únicamente se tratan temas que tengan que ver con los planos entregados por FSGROUP Engineering MX; cabe mencionar que no se brinda el servicio de supervisión de obra. Al momento que la obra haya sido totalmente ejecutada y haya sido habilitada para habitarse, la participación por parte de la FSGROUP Engineering MX concluye.

A continuación, se representará, mediante un organigrama, la jerarquía y los puestos existentes en FSGROUP Engineering MX.



Mi función dentro de la empresa y del proyecto ha sido como Auxiliar de ingeniería en el Departamento de Estudios; mi trabajo principal es ayudar a realizar las valoraciones estructurales.

Particularmente, en el proyecto “Wen Living” se me ha otorgado la tarea de realizar el modelado de los edificios con la información correspondiente para lograr un correcto análisis estructural, así como la preparación de archivos con los datos y los valores obtenidos en el estudio del proyecto para compartir con el cliente.

En todo momento, el trabajo realizado en estudios es supervisado por el encargado de área (jefe técnico), quien guía, revisa y corrige en lo necesario al auxiliar de ingeniería, con la finalidad de que la información que se le haga llegar al cliente sea verídica y confiable.

Capítulo 2. Descripción del proyecto

El proyecto estructural "Wen Living" en Los Cabos, Baja California Sur, consiste en un desarrollo inmobiliario ubicado en el Club Campestre San José, kilómetro 15 de la carretera Transpeninsular Cabo San Lucas-San José del Cabo, municipio de Los Cabos, en el Estado de Baja California Sur (Unidad Condominal RS-1), México (figura 9).



Figura 9. Ubicación "Wen Living" San José del Cabo

El desarrollo consta de 9 edificios destinados a departamentos, así como áreas para recreación, estacionamientos aledaños y amenidades. Los edificios que conforman el conjunto residencial son: Strength, Energy, Joy Plaza, Prosperity, Enlightenment, Balance, Growth A, Growth B y Access (figura 11). Cada uno de ellos se estudió particularmente; se le entregó al cliente la información detallada acerca de cada edificio. En la figura 10 se muestra el proyecto en un render.



Figura 10. Render de conjunto residencial



Figura 11. Mapa de edificios “Wen Living”

a) Descripción arquitectónica

A nivel de rasante, cada cuerpo es independiente; es decir, las estructuras están desligadas una de la otra, por lo que tienen comportamientos completamente distintos. Por ello es necesario el análisis estructural de cada una.

Por su lado, el proyecto cuenta con tres sótanos: A, B y C; dos de ellos (A y C) son destinados solo en función de un cuerpo estructural, respectivamente. El sótano restante, sótano B, es uno en común para todo el complejo residencial, por lo que se ha contemplado una junta constructiva en la unión de la zona de cada edificio.

La altura sobre rasante asciende a 48.62 m referido al plano topográfico. El sótano A (figura 12) desciende a la cota +37.80, sótano B (figura 13) a la cota +34.94 y el sótano C (figura 14) al nivel +32.08.

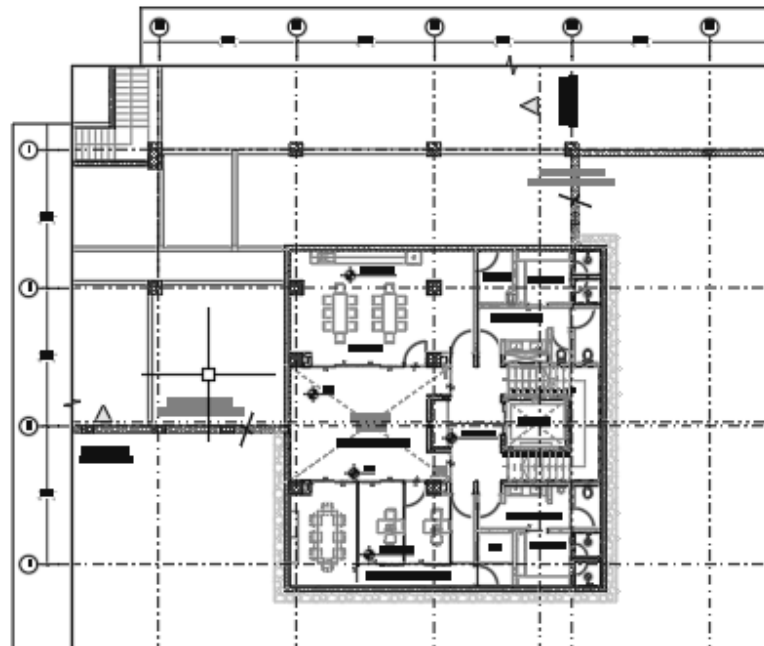


Figura 12. Planta arquitectónica, sótano A

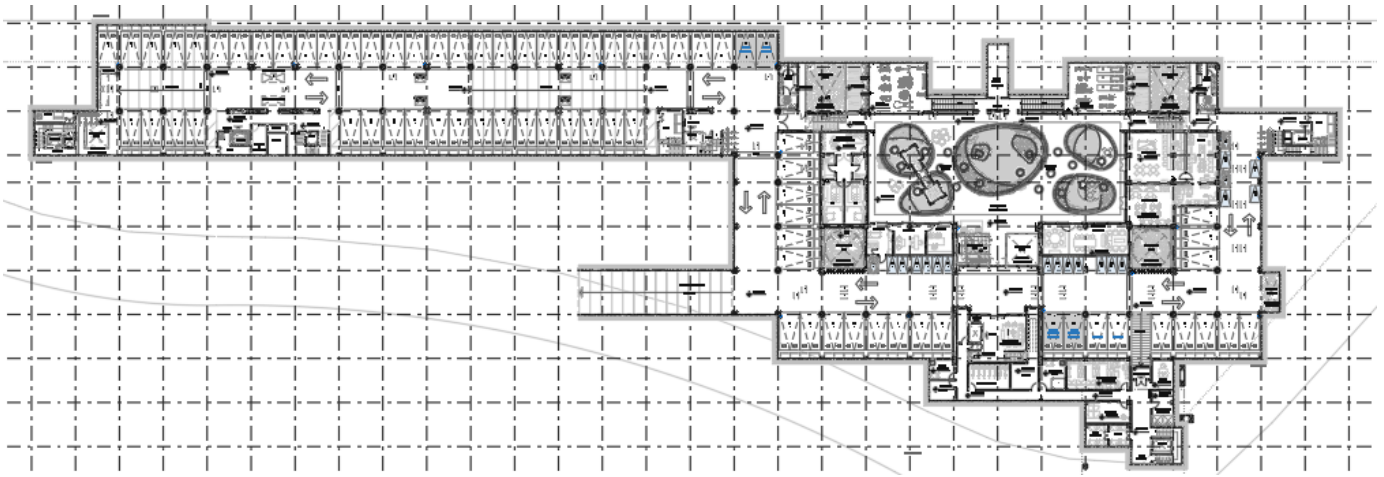


Figura 13. Planta arquitectónica, sótano B

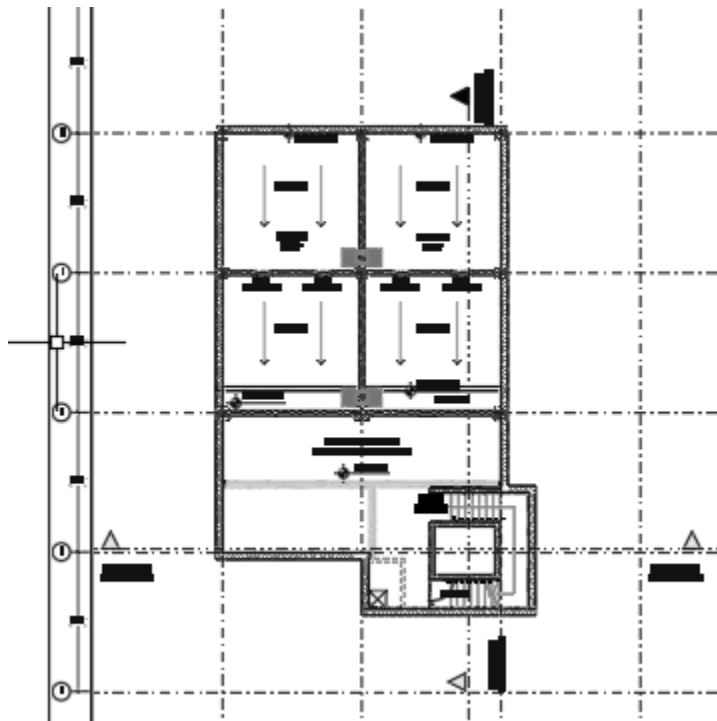


Figura 14. Planta arquitectónica, sótano C

GROWTH A

La estructura principal (figura 15) es un edificio de 3 niveles destinado a departamentos. Recordemos que el nivel sobre rasante del proyecto referido al plano topográfico es de

48.62 m. El nivel inferior desciende a cota 37.00 m, con lo que la altura total de la torre es 11.62 m.

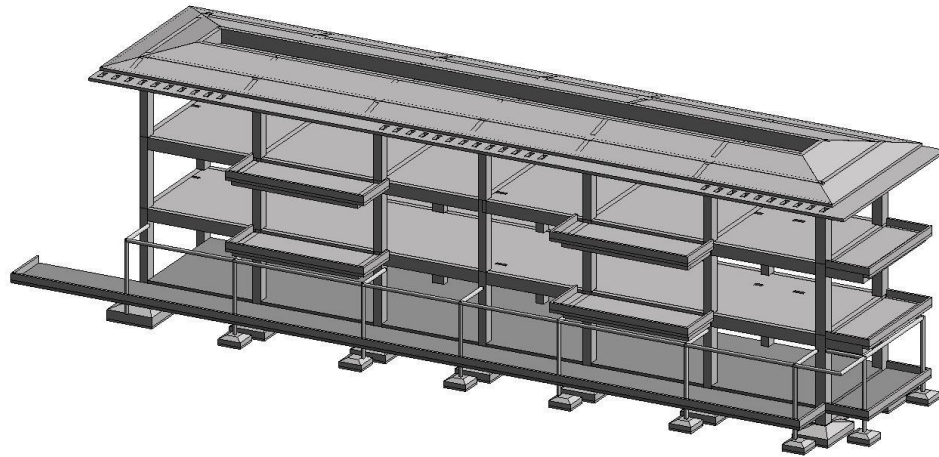


Figura 15. Vista 3D Growth A

La planta baja (figura 16) y la planta tipo (figura 17) tienen dimensiones aproximadas de 41.50 m y 6.80 m y dos balcones con dimensiones aproximadas de 2.76 m y 7.82 m. La azotea (figura 18) tiene dos zonas: una plana, con altura de 48.62 m y una en pendiente, con altura en cumbre de 49.39 m.

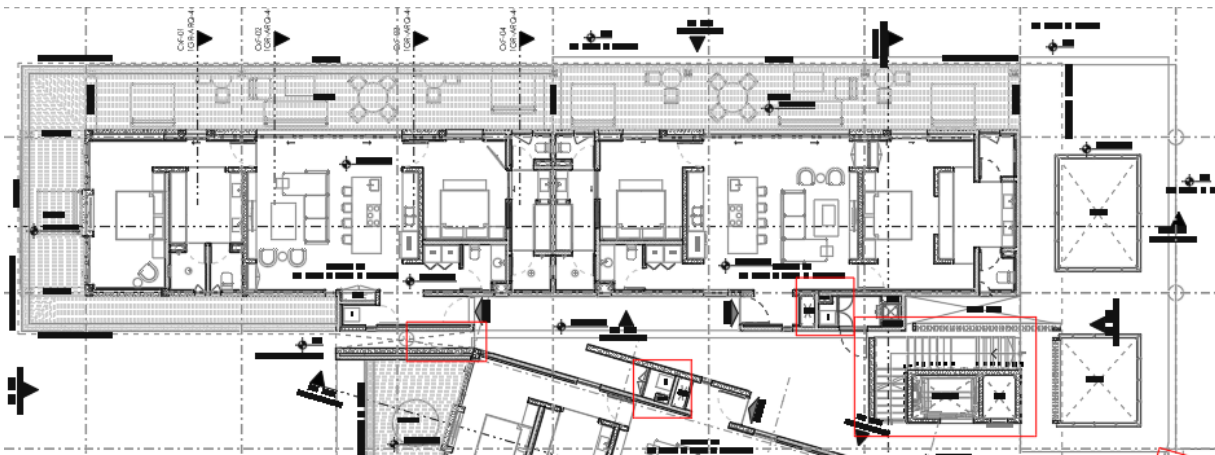


Figura 16. Planta arquitectónica, planta baja

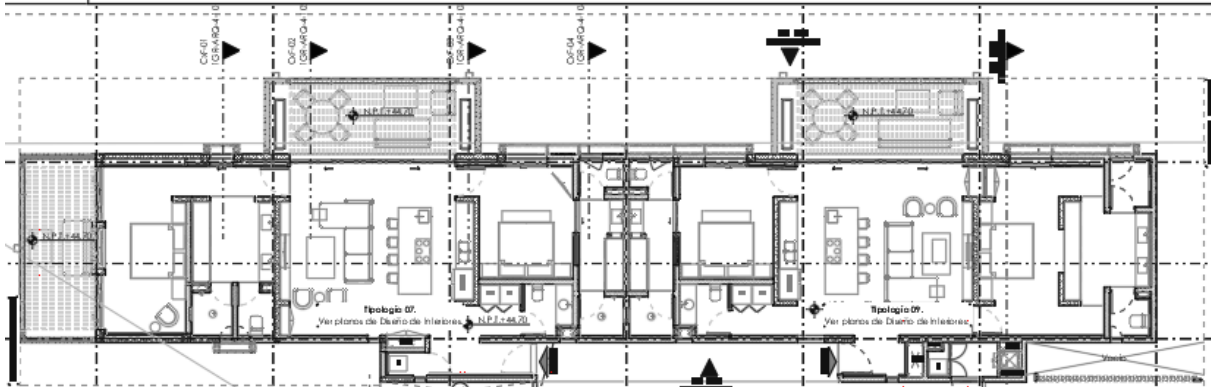


Figura 17. Planta Arquitectónica, nivel tipo

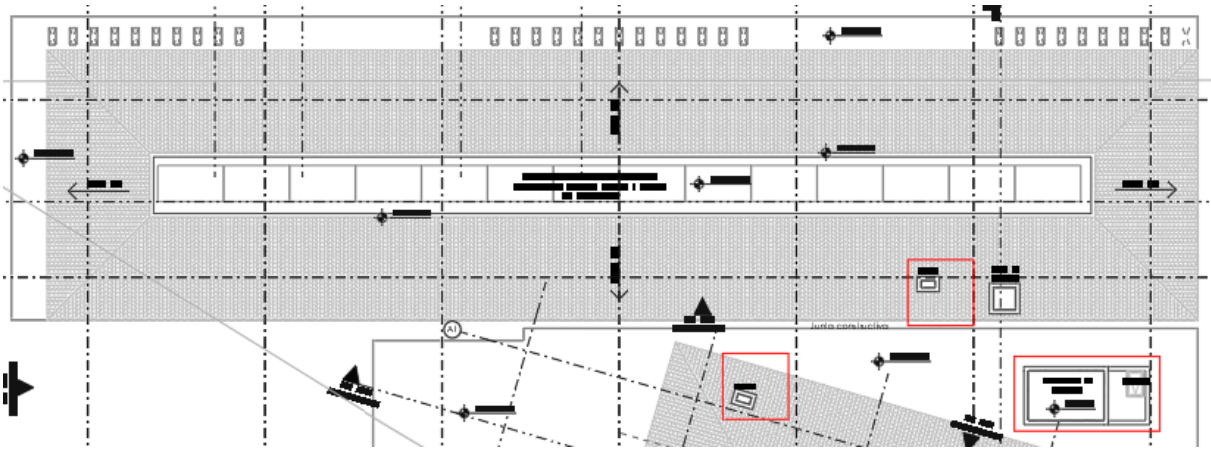


Figura 18. Planta arquitectónica, cubierta

GROWTH B

La estructura principal (figura 19) es un edificio de 3 niveles destinado a departamentos. La altura sobre rasante asciende a 49.39 m referido al plano topográfico. El nivel inferior desciende a cota +36.95 m.

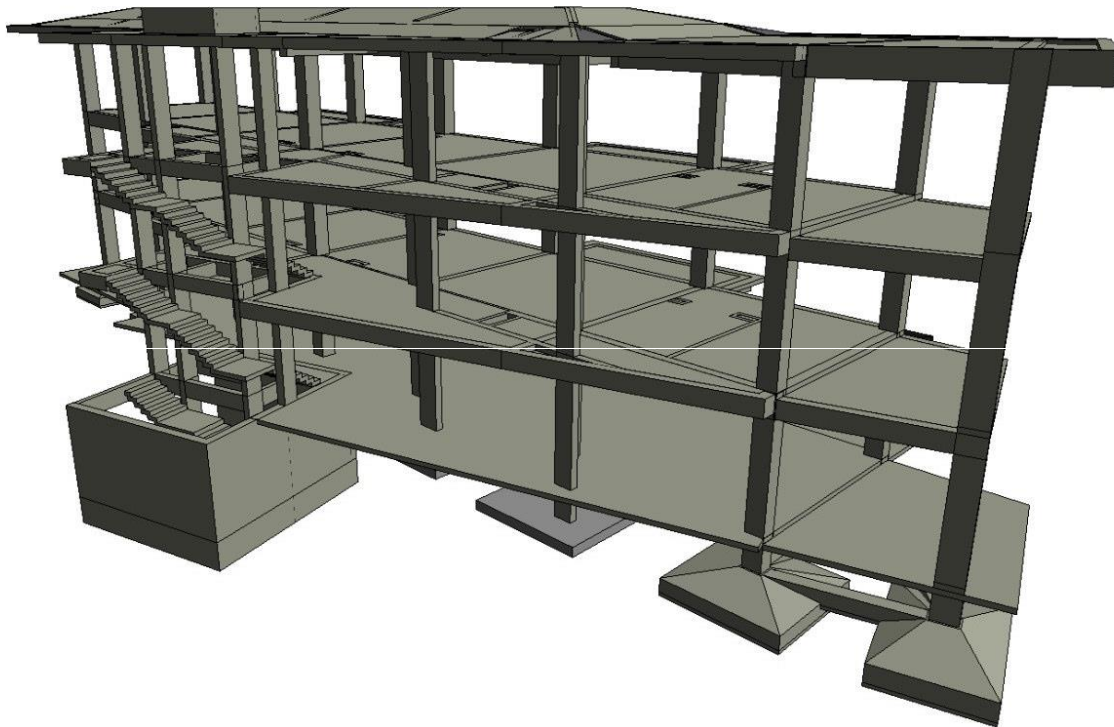


Figura 19. Vista 3D Growth B

La planta baja (figura 20) y la planta tipo (figura 21) tiene dimensiones aproximadas de 41.50 m y 6.80 m y dos balcones con dimensiones aproximadas de 2.76 m y 7.82 m. Los niveles están destinados a departamentos.

La azotea (figura 22) tiene dos zonas: una plana con altura de 48.62 m y en pendiente con altura en cumbrera de 49.39 m.

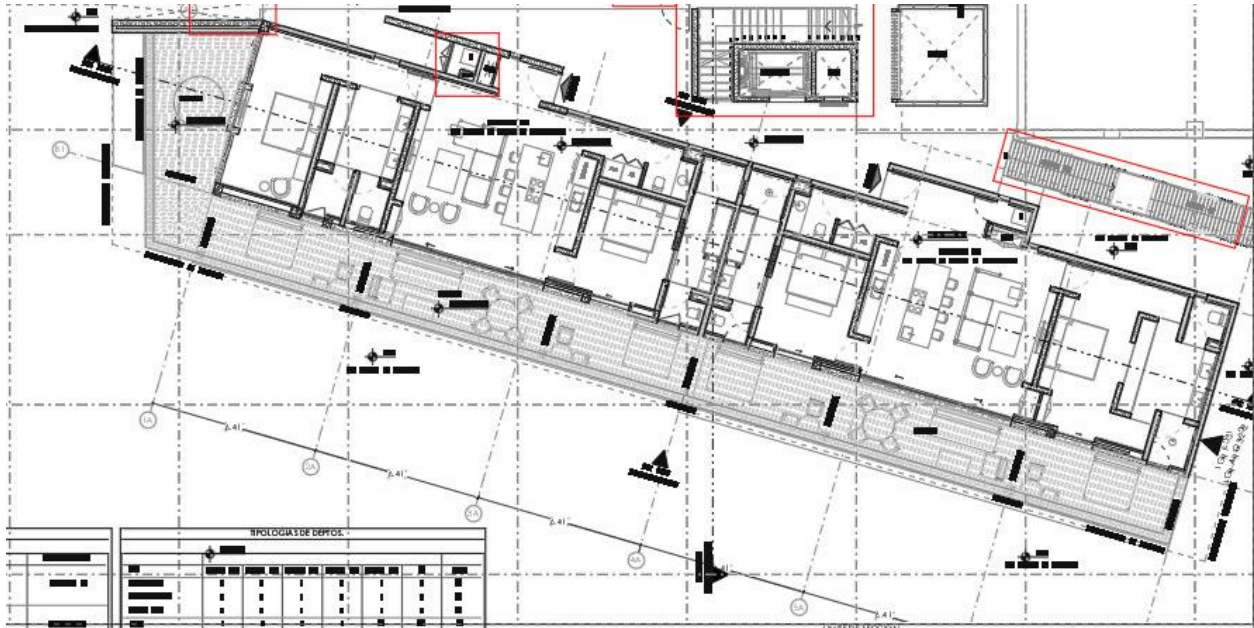


Figura 20. Planta arquitectónica, planta baja

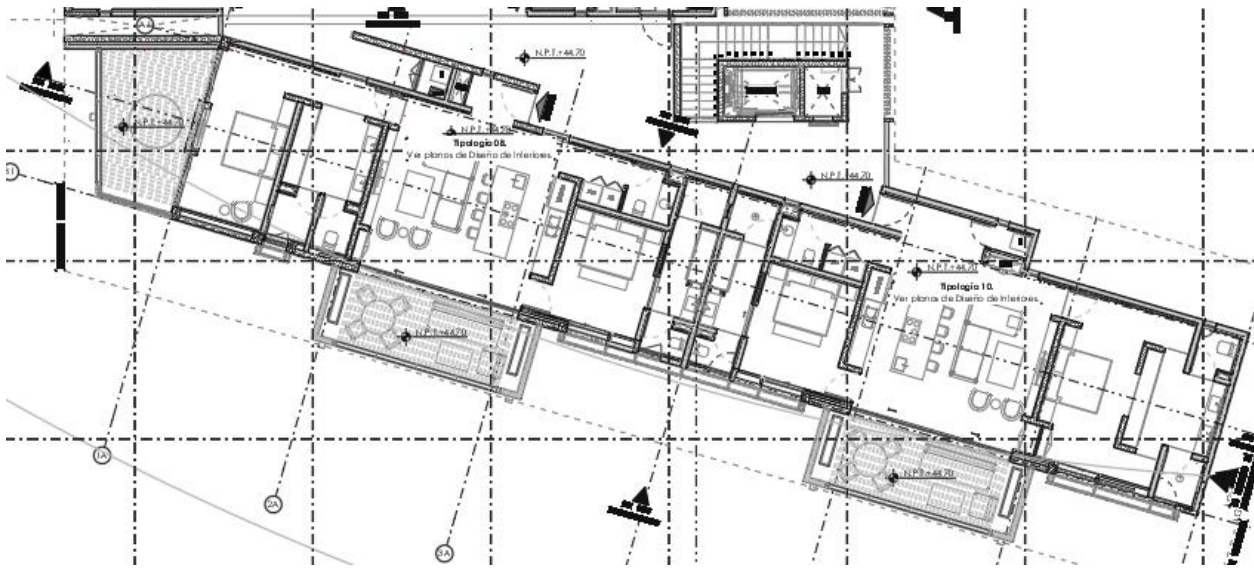


Figura 21. Planta arquitectónica, nivel tipo

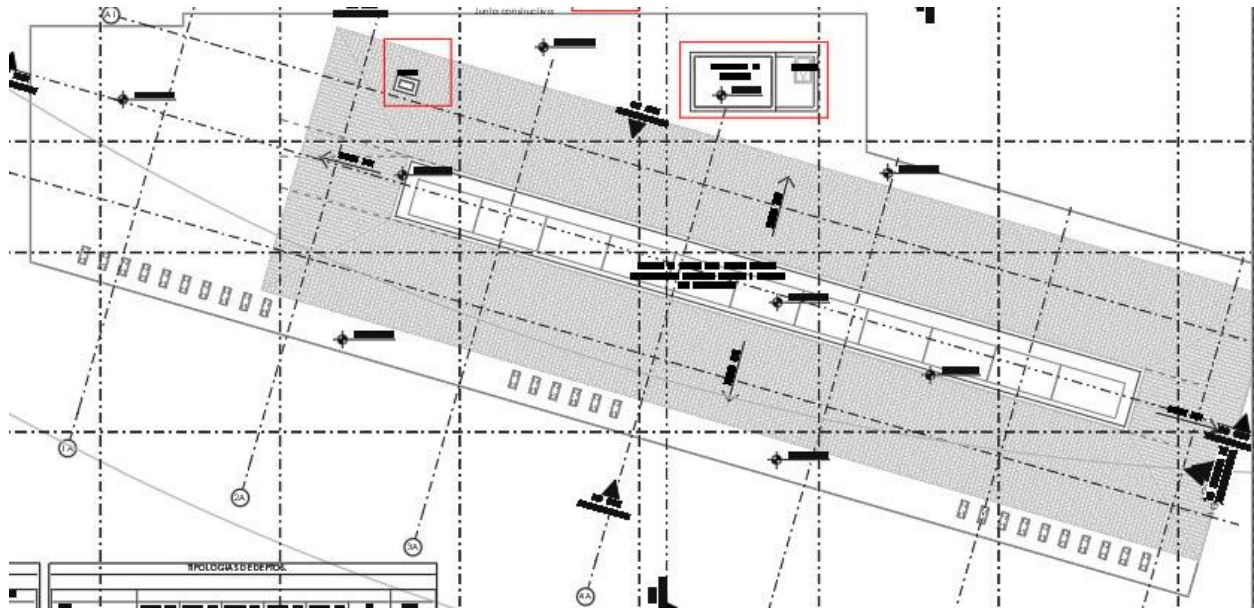


Figura 22. Planta arquitectónica, cubierta

BALANCE

La estructura principal (figura 23) es un edificio de 3 niveles destinado a departamentos. La altura sobre rasante asciende a 50.44 m referido al plano topográfico.

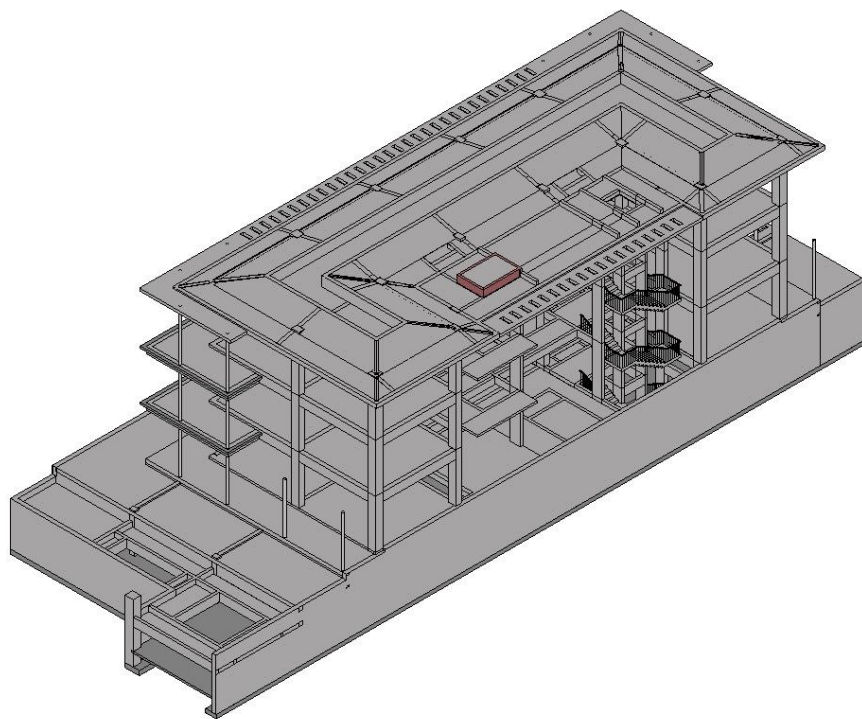


Figura 23. Vista 3D Balance

La planta baja (figura 24) y la planta tipo (figura 25) se divide en dos secciones, las cuales se unirán mediante un puente. Cada sección tiene dimensiones aproximadas de 13.20 m y 13.20 m y dos balcones. Ambas secciones están destinadas a departamentos.

La azotea (figura 26) tiene dos zonas: una plana con altura de 50.44 m y en pendiente con altura en cumbrera de 49.62 m.

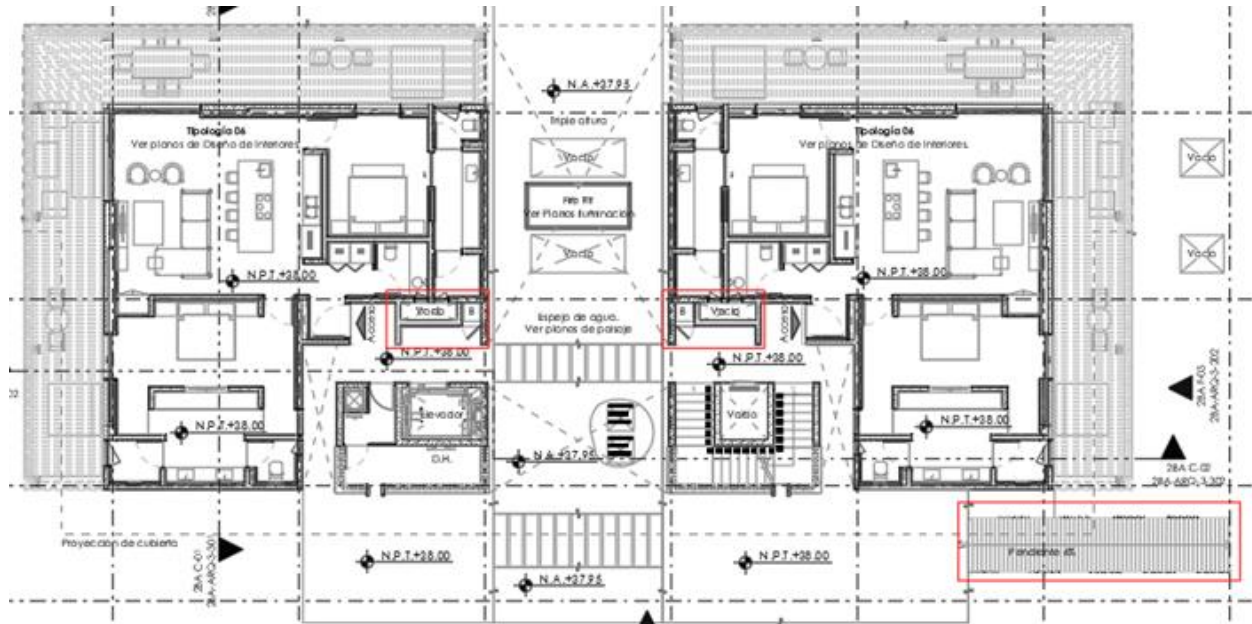


Figura 24. Planta arquitectónica, planta baja

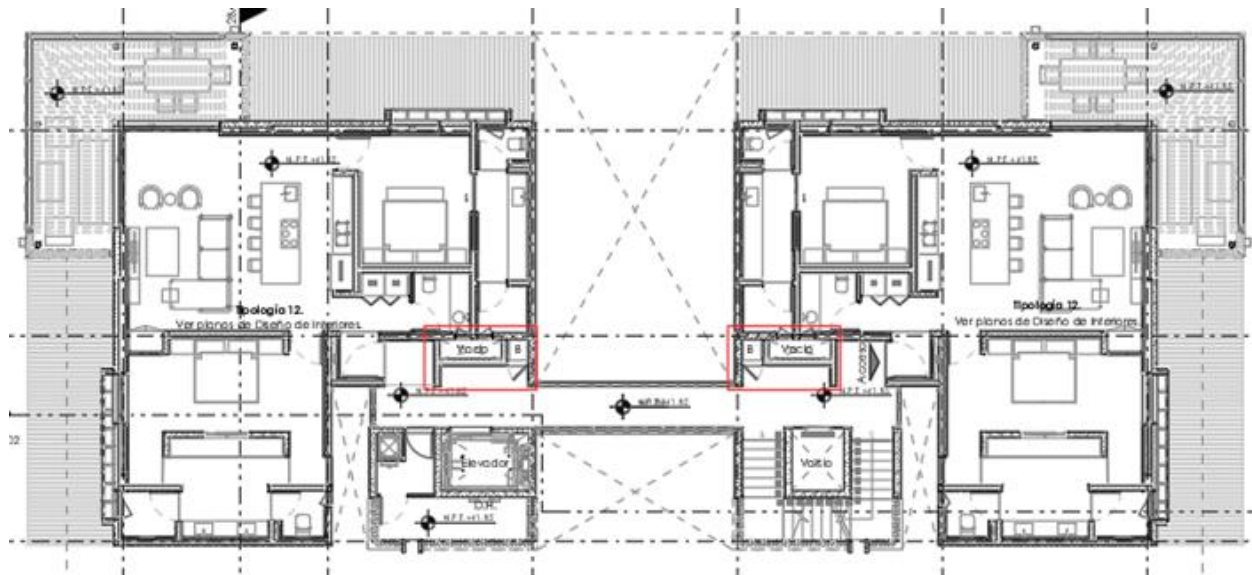


Figura 25. Planta arquitectónica, planta tipo

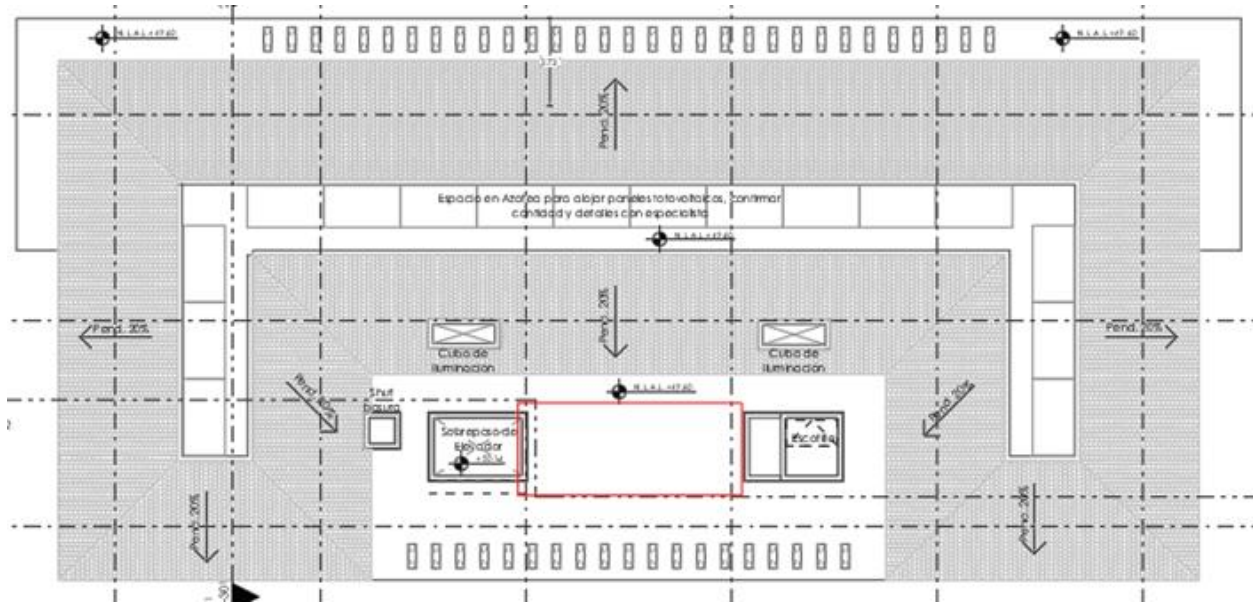


Figura 26. Planta arquitectónica, cubierta

PROSPERITY

La estructura principal (figura 27) es un edificio de 3 niveles destinado a departamentos. La altura sobre rasante asciende a 52.89 m referido al plano topográfico.

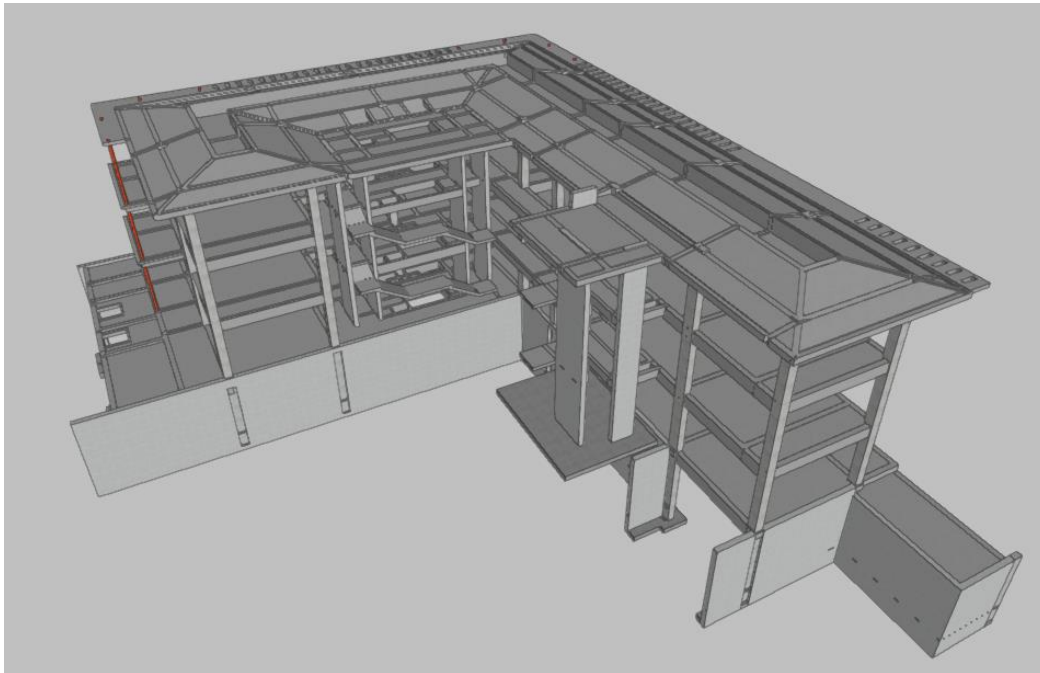


Figura 27. Vista 3D Prosperity

La planta baja (figura 28) y la planta tipo (figura 29) tiene dimensiones aproximadas de 31.58 m y 40.45 m y dos balcones. Los niveles de planta baja, primer y segundo nivel están destinados a departamentos. La azotea (figura 30) tiene dos zonas: una plana con altura de 52.12 m y en pendiente con altura en cumbre de 52.89 m.

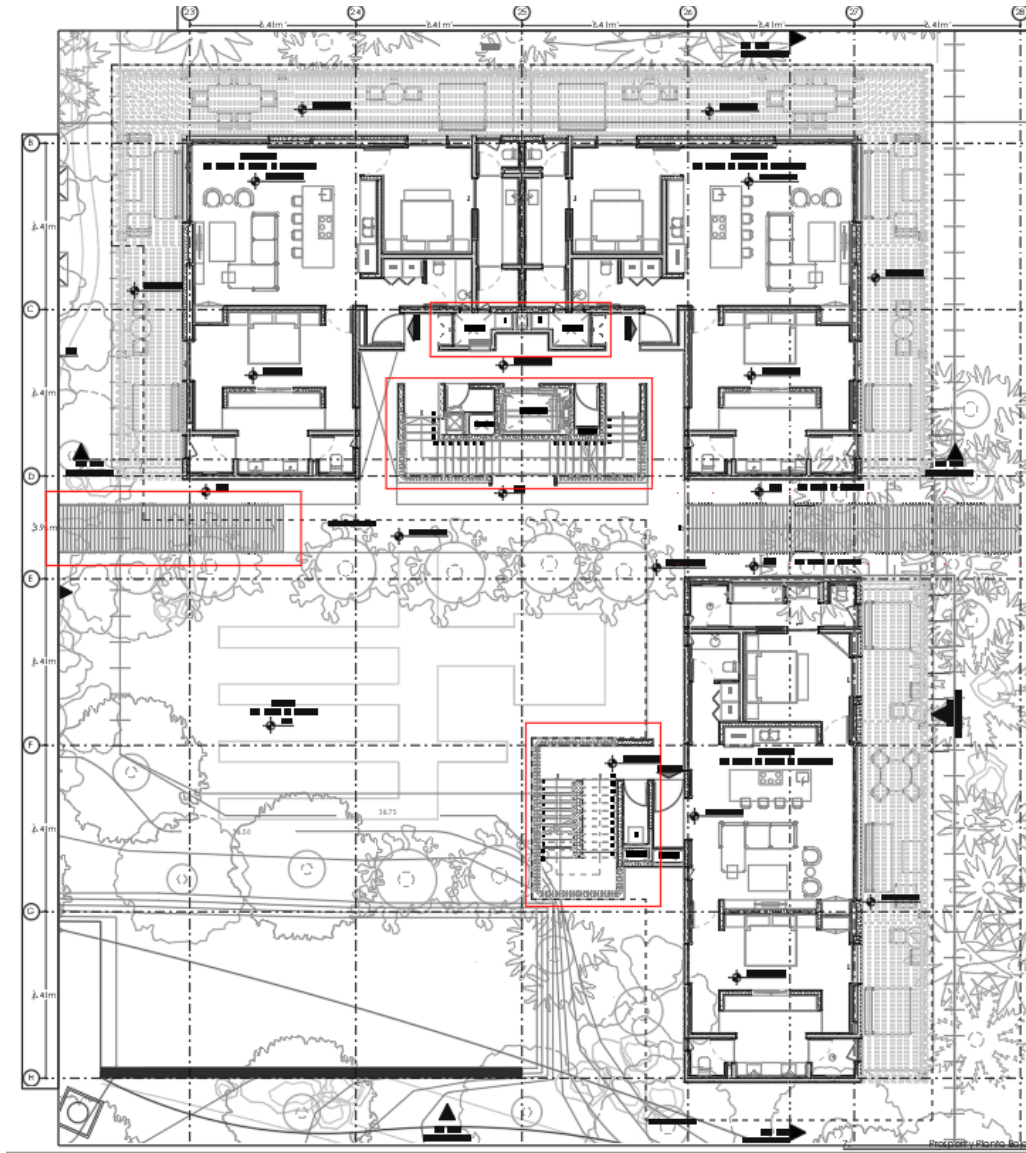


Figura 28. Planta arquitectónica, planta baja

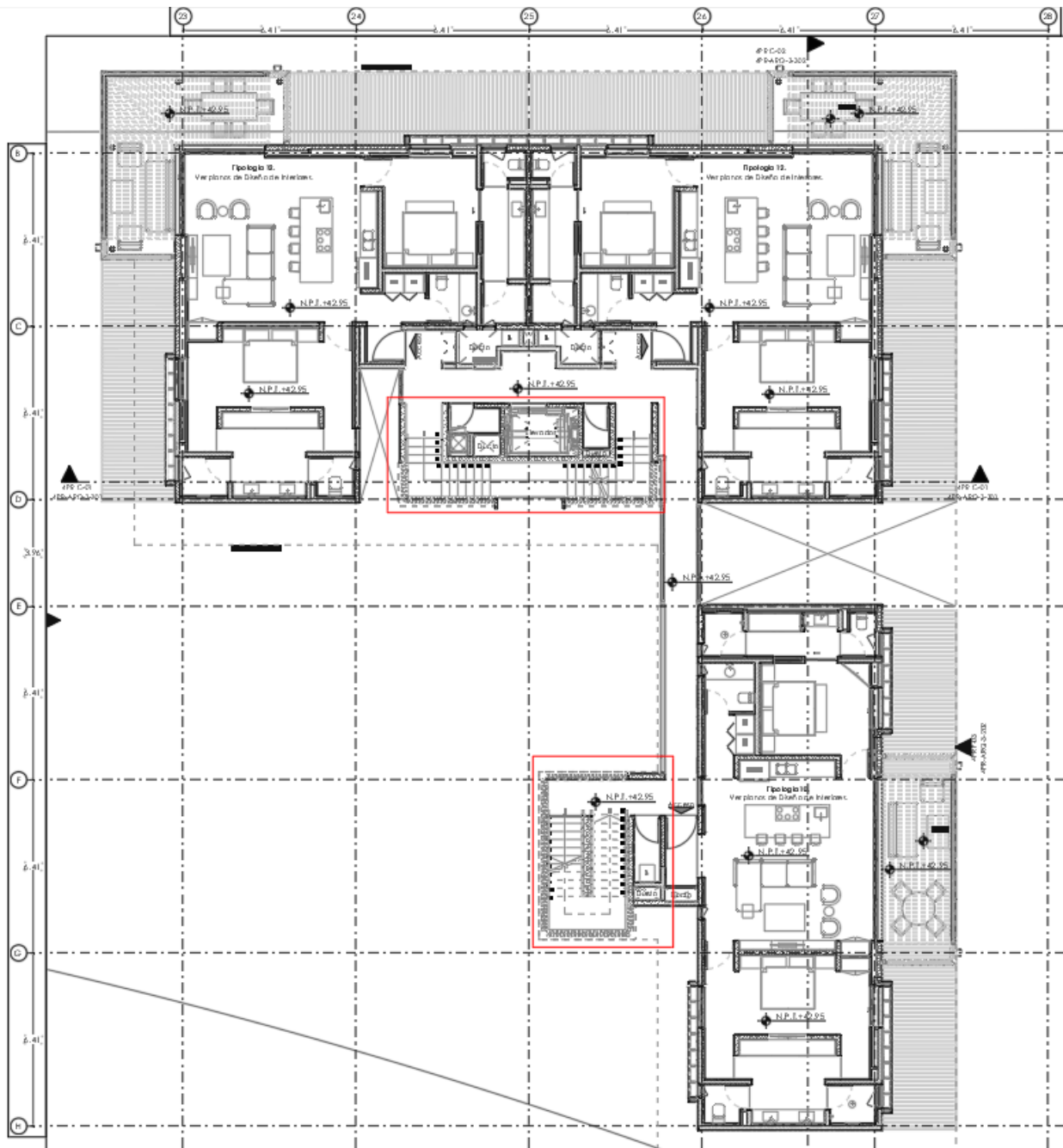


Figura 29. Planta arquitectónica, planta tipo

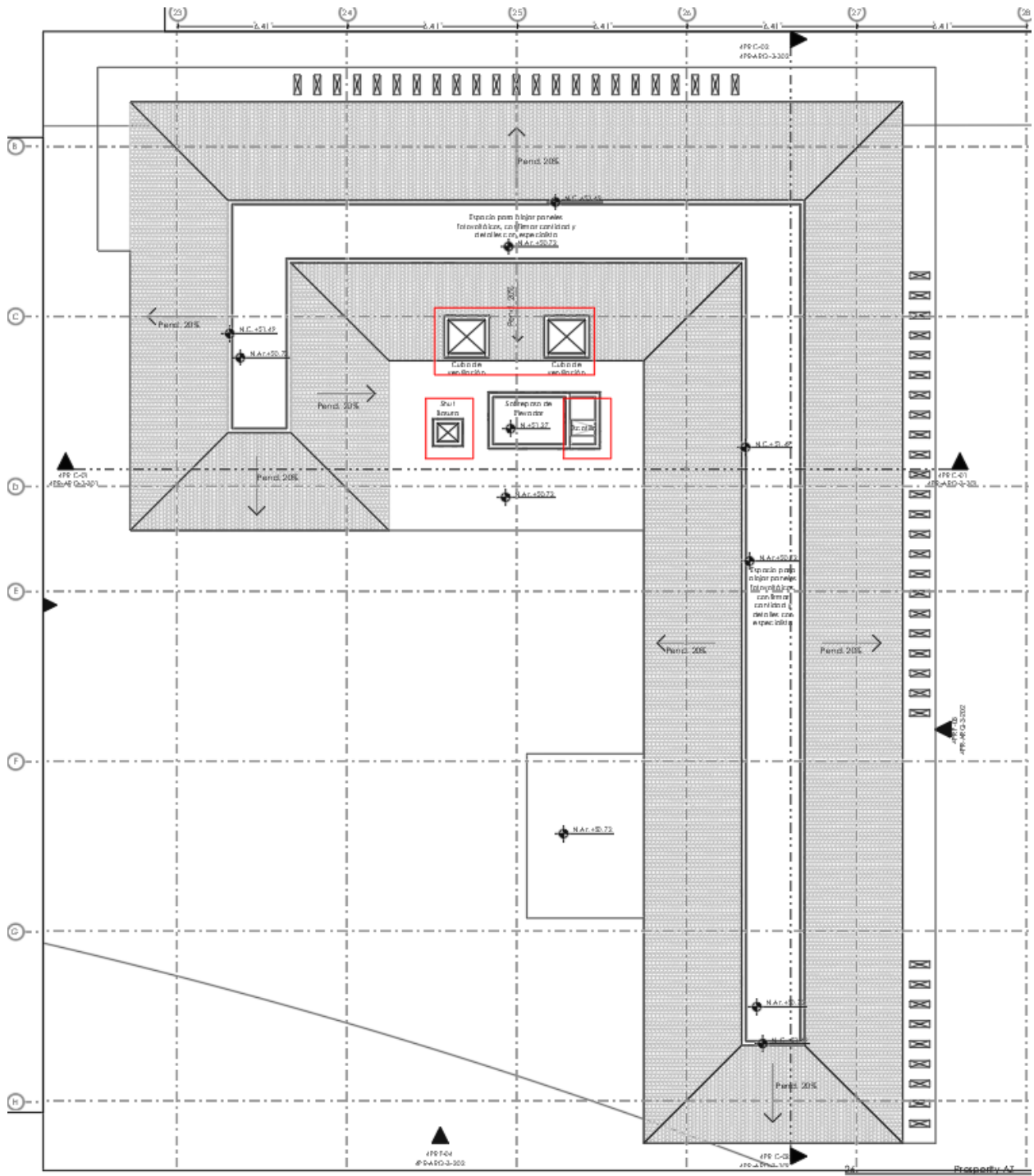


Figura 30. Planta arquitectónica, cubierta

Energy

La estructura principal (figura 31) es un edificio de 3 niveles destinado a departamentos y servicios y 3 niveles de sótanos. La altura sobre rasante asciende a 12.59 m referido al plano topográfico.

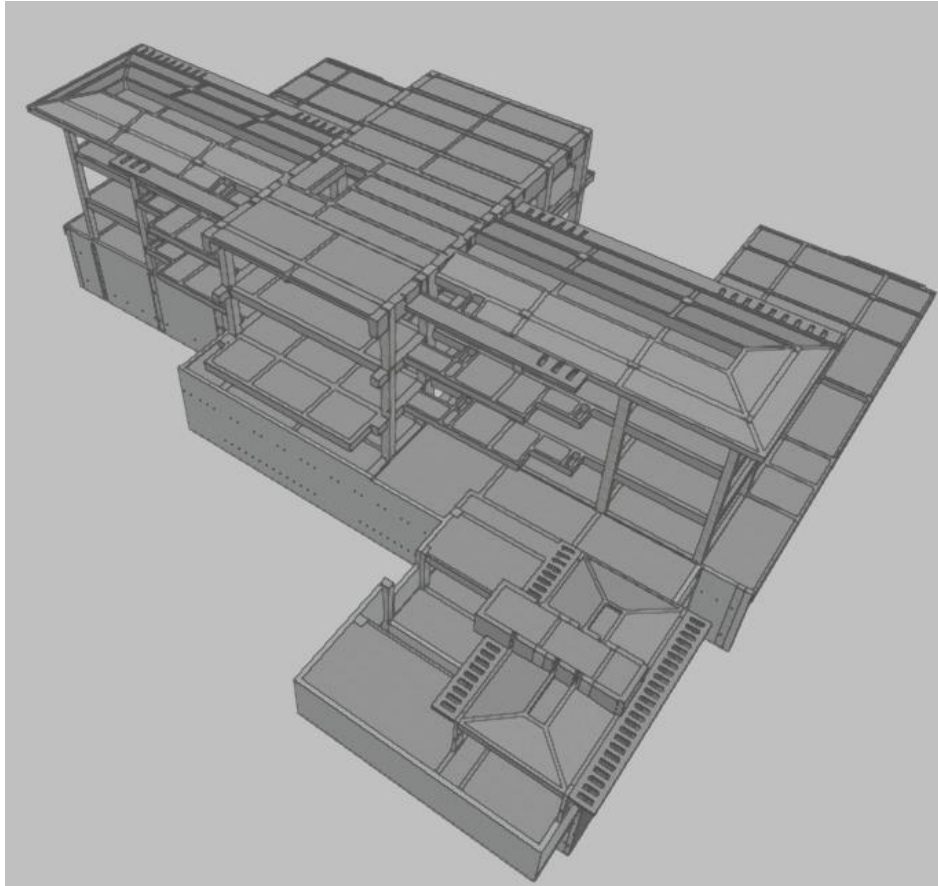


Figura 31. Vista 3D Energy

La planta baja (figura 32) y la planta tipo (figura 33) tienen dimensiones aproximadas de 51.71 m y 23.8 m. Los niveles de planta baja, primer y segundo nivel están destinados a departamentos. La azotea (figura 34) tiene dos zonas, una plana con altura de 51.62 m y una en pendiente con altura en cumbre de 52.39 m. La estructura cuenta con 3 niveles de sótano desplantándose a 9.0 m de profundidad.

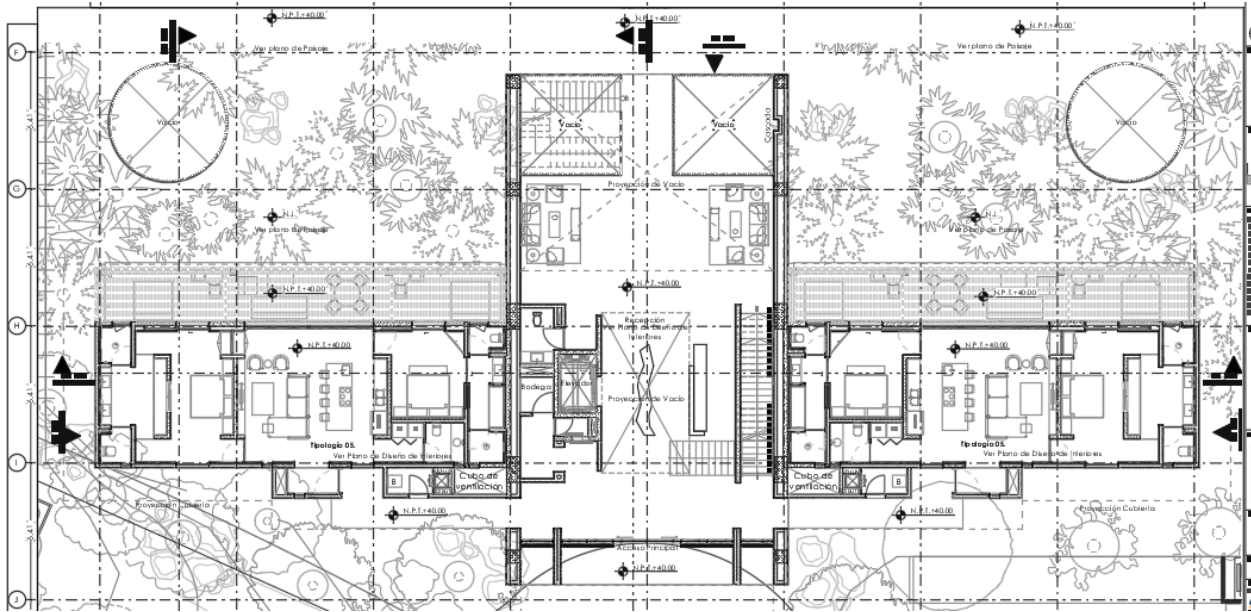


Figura 32. Planta arquitectónica planta baja

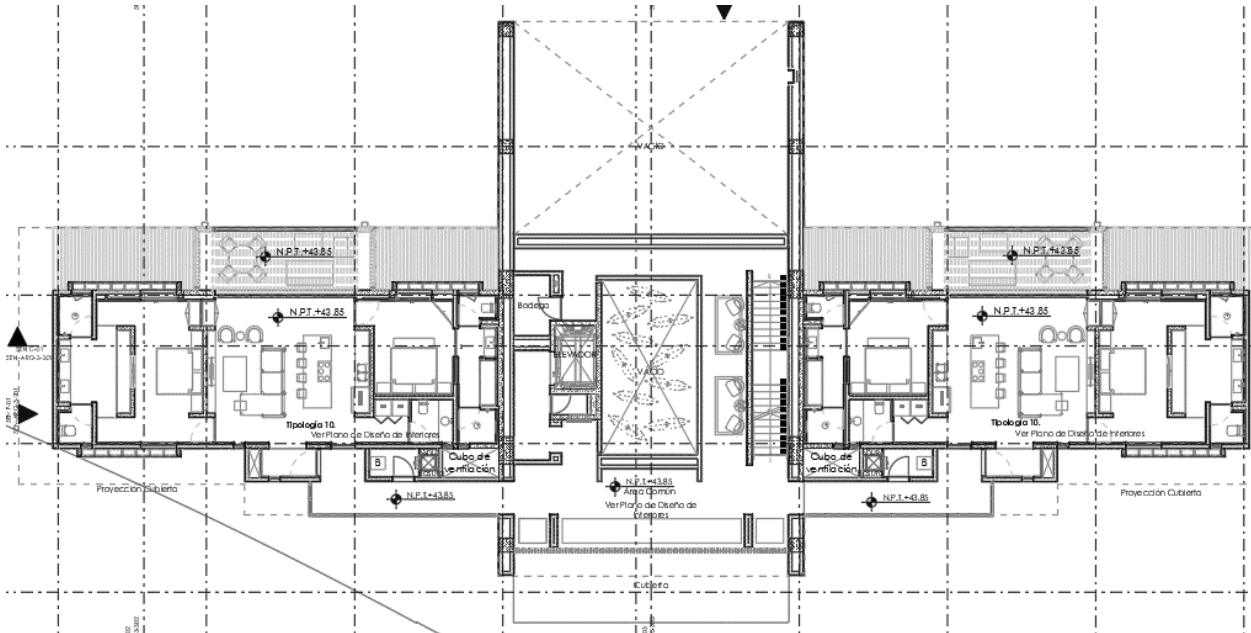


Figura 33. Planta arquitectónica, planta tipo

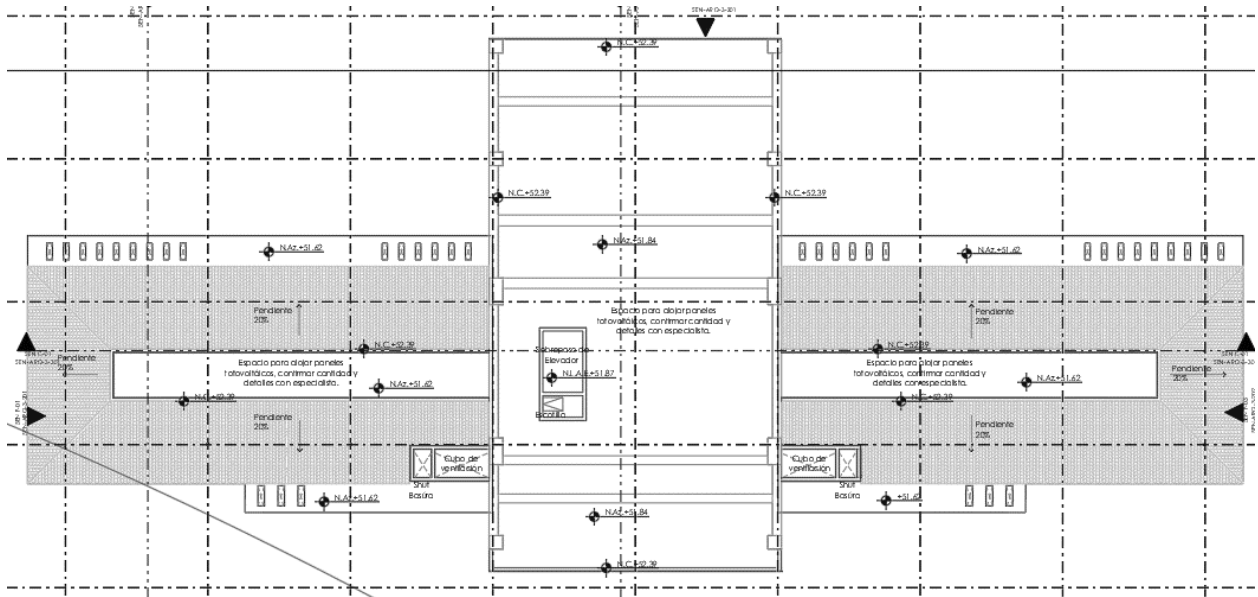


Figura 34. Planta arquitectónica, cubierta

Strength

La estructura principal (figura 35) es un edificio de 3 niveles destinado a departamentos. La altura sobre rasante asciende a 52.89 m referido al plano topográfico.

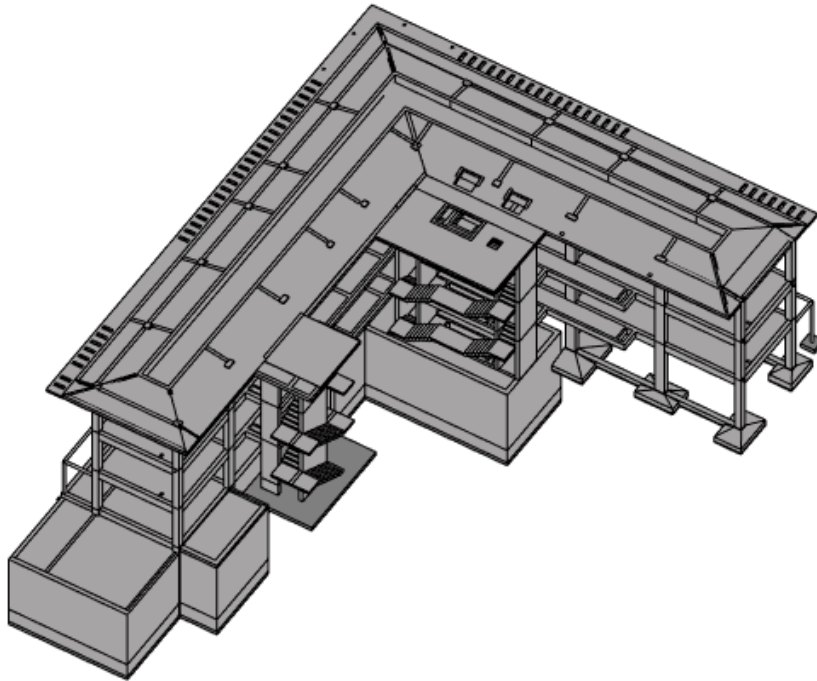


Figura 35. Vista 3D Strength

La planta baja (figura 36) y la planta tipo (figura 37) tienen dimensiones aproximadas de 34.58 m y 36.68 m y dos balcones. Los niveles de planta baja, primer y segundo nivel están destinados a departamentos.

La azotea (figura 38) tiene dos zonas: una plana con altura de 52.12 m y en pendiente con altura en cumbrera de 52.89 m.

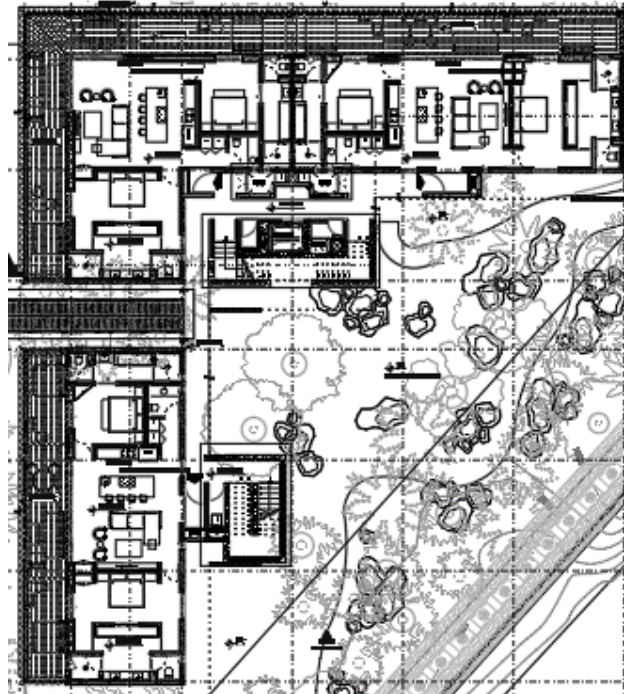


Figura 36. Planta arquitectónica, planta baja

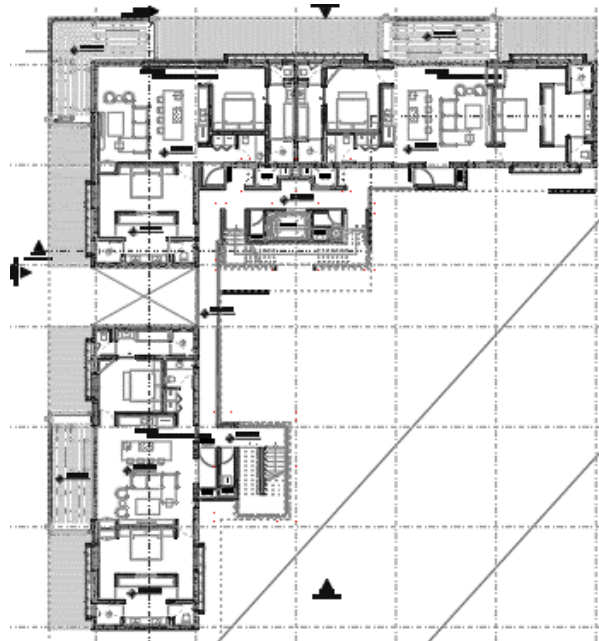


Figura 37. Planta arquitectónica, planta tipo

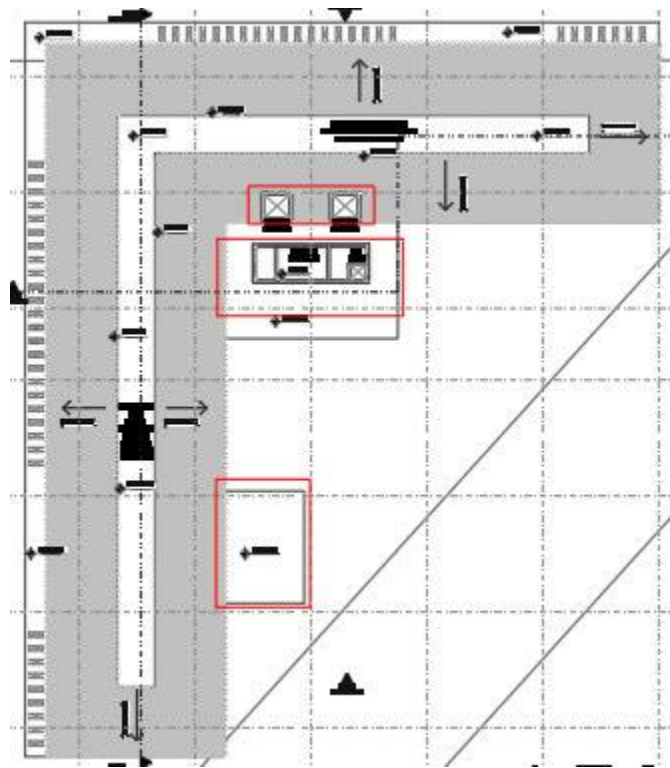


Figura 38. Planta arquitectónica, cubierta

Enlightenment

La estructura principal (figura 39) es un edificio de un nivel destinado a área de recreación. La altura sobre rasante asciende a +43.62 m referido al plano topográfico.

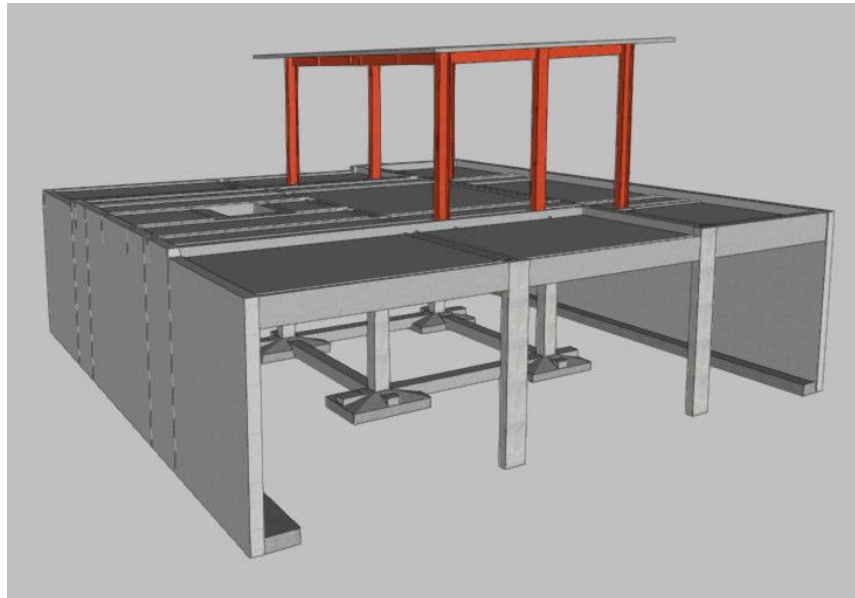


Figura 39. Vista 3D Enlightenment

La planta (figura 40) tiene dimensiones aproximadas de 19.12 m y 18.61 m. El nivel de planta baja está destinado a área de recreación. La azotea (figura 41) es a un agua con una altura de 5.82 m.

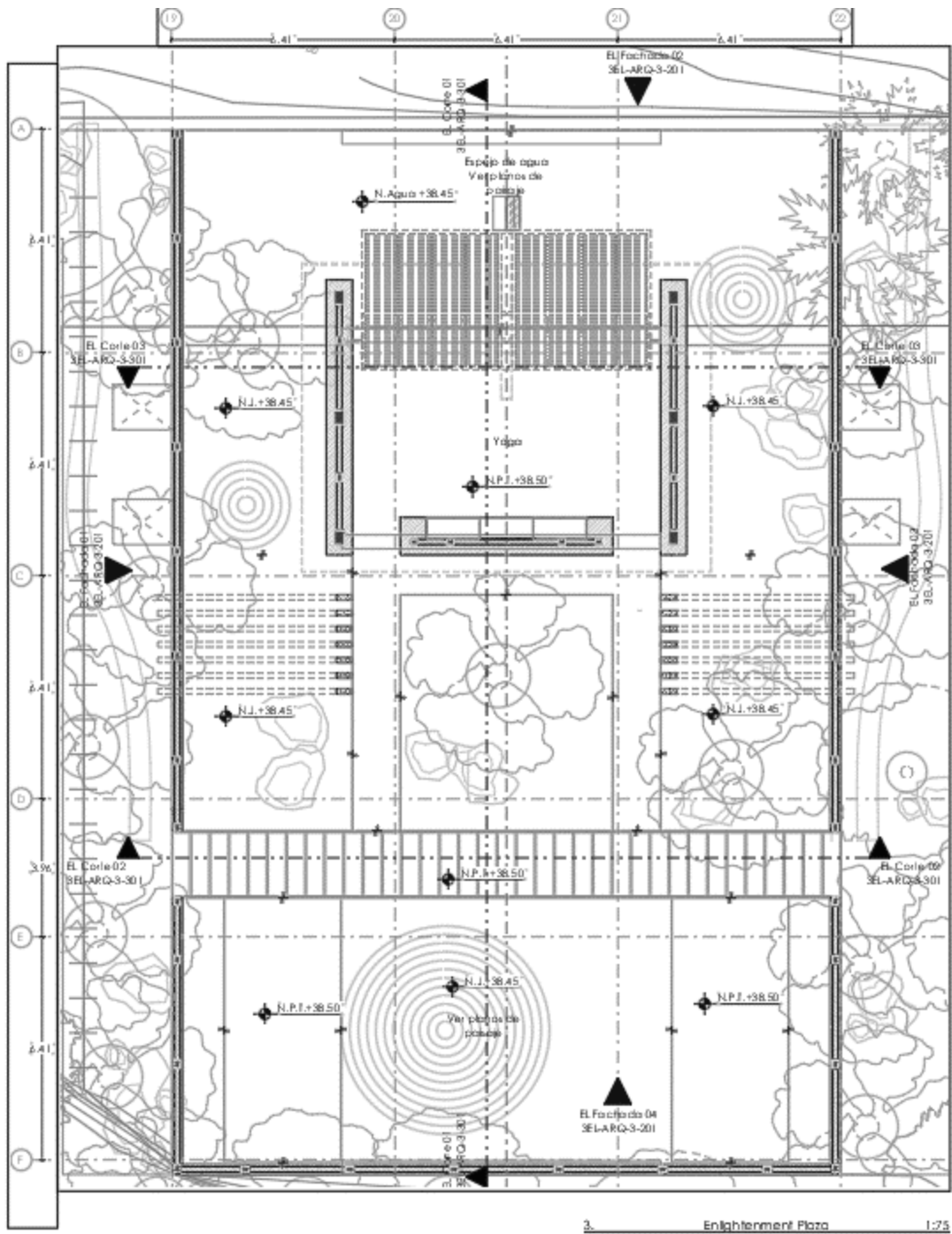


Figura 40. Planta arquitectónica, planta baja

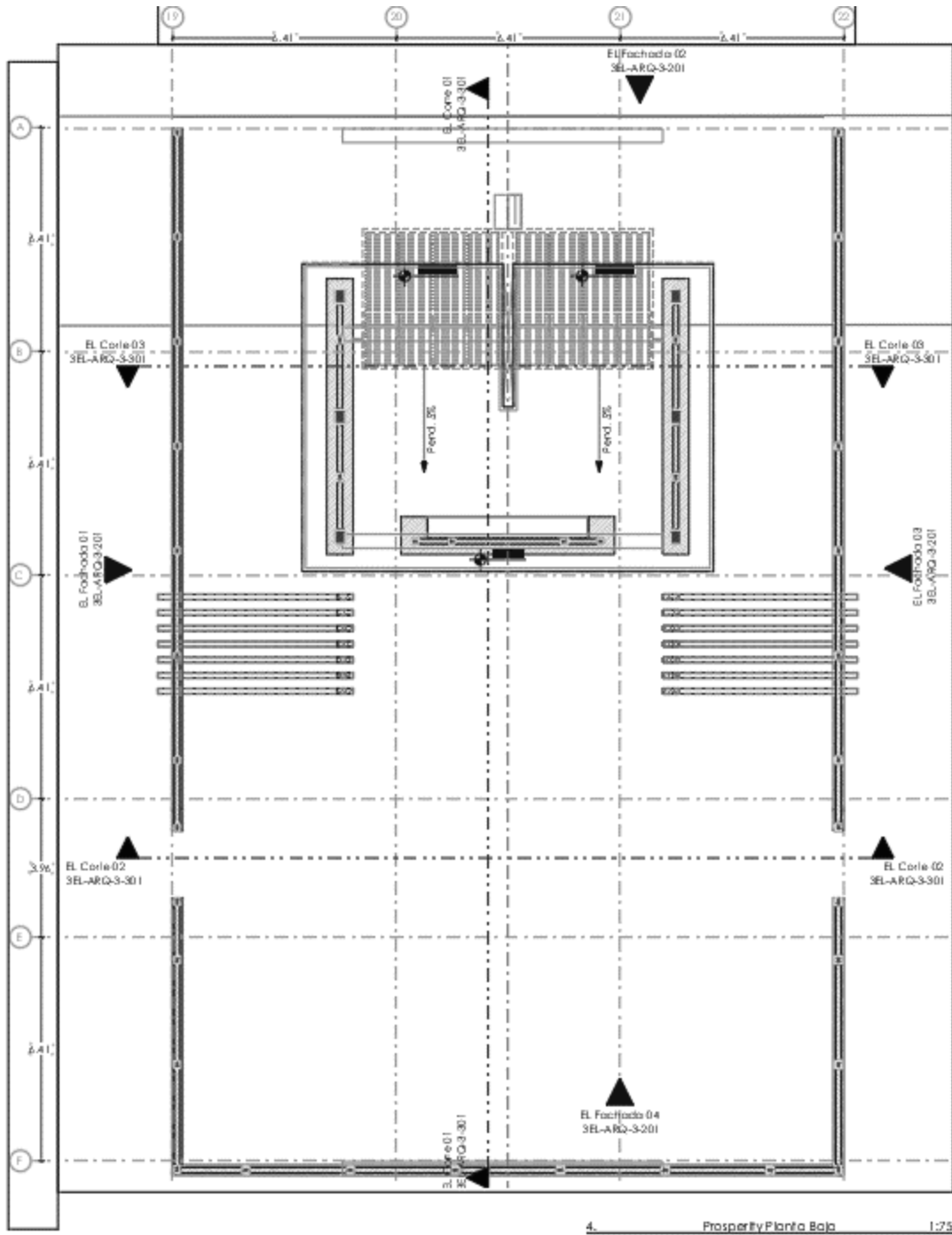


Figura 41. Planta arquitectónica, cubierta

Joy Plaza

La estructura principal (figura 42) es un edificio de un nivel destinado a área de recreación. La altura sobre rasante asciende a +43.62 m referido al plano topográfico.

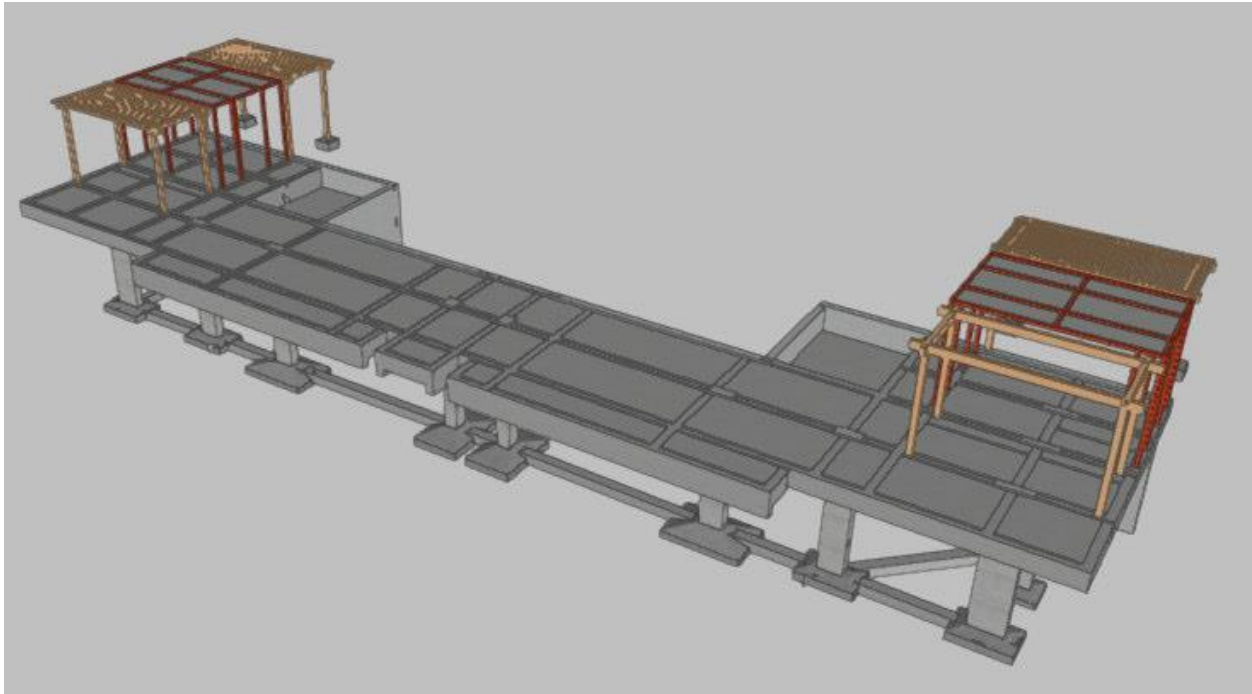


Figura 42. Vista 3D Joy Plaza

La planta (figura 43) tiene dimensiones aproximadas de 29.12 m y 12.61 m. El nivel de planta baja está destinado a área de recreación. La azotea (figura 44) es a un agua, con una altura de 5.82 m.

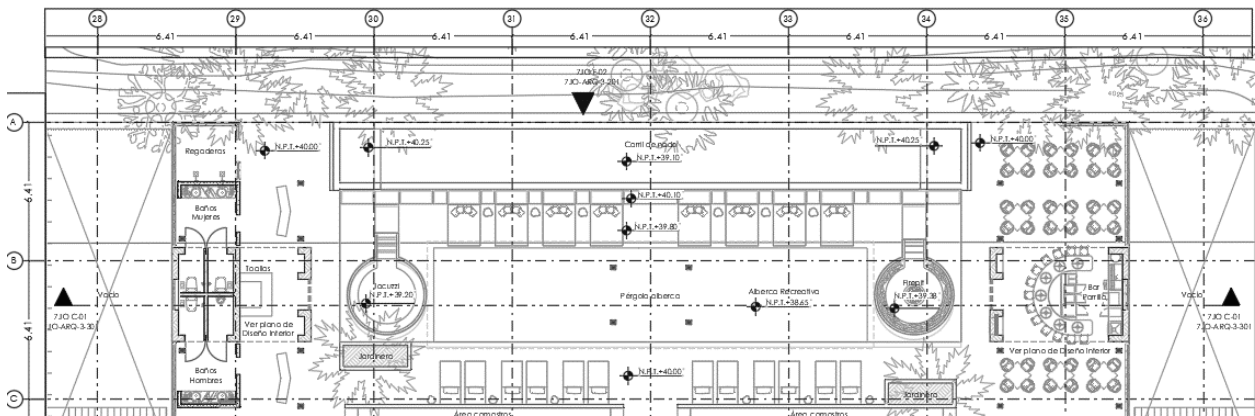


Figura 43. Planta arquitectónica, planta baja

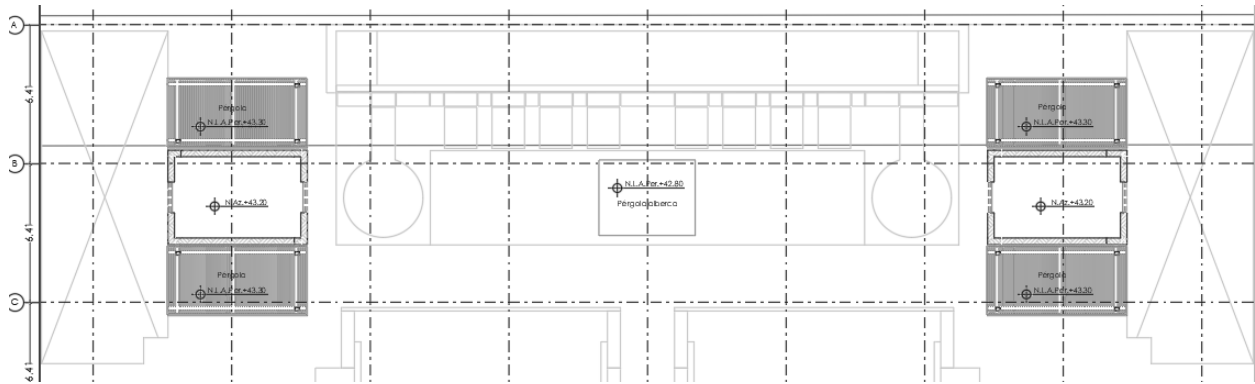


Figura 44. Planta arquitectónica, cubierta

Acceso principal

La estructura principal (figura 45) está dividida en dos cuerpos: el primero es un edificio de 2 niveles destinado a entrada principal. La altura sobre rasante asciende a 41.95 m referido al plano topográfico equivalente.

La segunda estructura está destinada a caseta de vigilancia. La planta tiene dimensiones aproximadas de 20.75 m y 4.85 m. La azotea tiene una altura de 4.05 m aproximadamente.

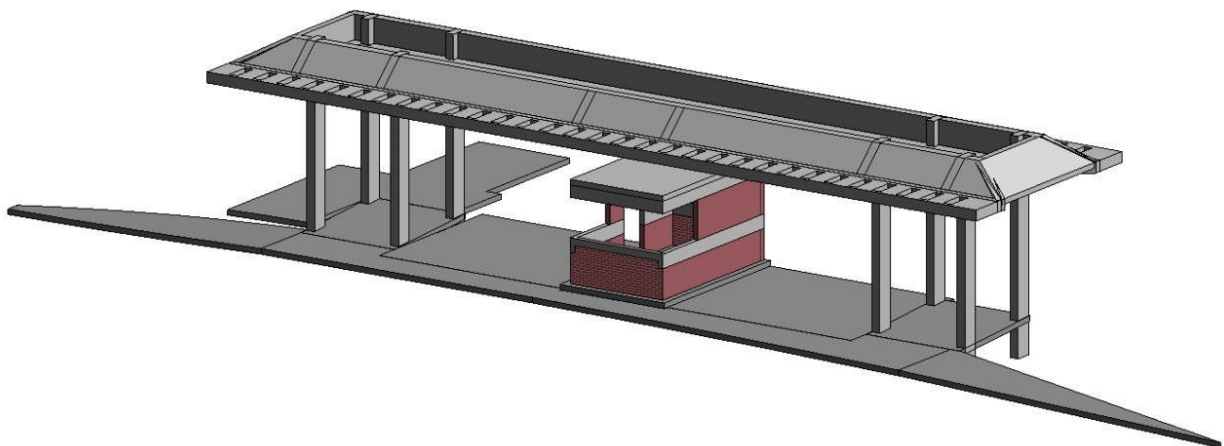


Figura 45. Vista 3D acceso principal

b) Concepto estructural

Se busca la optimización del sistema estructural para absorber tanto los esfuerzos horizontales (viento y sismo) como los gravitatorios, así como para preservar las alturas libres de los entresijos y presentar una menor afección a los espacios arquitectónicos habitables.

Las premisas básicas del proyecto estructural son adecuar el proyecto arquitectónico y atender las necesidades formales requeridas con eficiencia y economía.

Desde el inicio, el proyecto arquitectónico se ha pensado con columnas distribuidas a lo largo de la zona de construcción. Con la finalidad de respetar los espacios arquitectónicos, se ha decidido mantener las columnas propuestas y basar la estructura de todos los cuerpos del desarrollo inmobiliario en marcos rígidos compuestos por columnas y traveses de concreto reforzado. Para evitar sobredimensionamientos en los elementos estructurales o romper el concepto estructural, y al mismo tiempo reducir al máximo las cuantías, se ha decidido usar una resistencia a la compresión del concreto de 300 kg/cm^2 .

Una vez decidido el sistema estructural que se usará, se debe tomar la decisión acerca del sistema de piso que se empleará en el proyecto, cuya selección definitiva debe considerar los siguientes factores:

- Longitud de claros.
- Solicitaciones de cargas en cada nivel.
- Disponibilidad de material/presupuesto.

Los niveles de entresijos para todos los cuerpos estructurales están destinados a departamentos, de tal forma que, de acuerdo con las NTC del Reglamento de Construcción, se debe considerar una carga viva de 190 kg/cm^2 . Para el nivel de azotea se consideran cargas vivas de 40 kg/cm^2 , al tener pendientes mayores a 5 por ciento; sin embargo, en la azotea descansarán los paneles solares que se tienen considerados en el proyecto de instalaciones, por lo que se estima una carga adicional de 25 kg/cm^2 .

Para los niveles de entresijo se considera una carga muerta de 150 kg/cm^2 , mientras que para la azotea 100 kg/cm^2 .

El uso de la estructura proyectada podrá ser aquel que no supere las condiciones específicas diseñadas, especialmente en lo referido a las cargas empleadas para el dimensionado, que no podrán exceder las indicadas anteriormente.

Las longitudes de los claros son de 5-6 m; si bien no son longitudes excesivas, es posible colocar traveses secundarios para reducir las distancias de apoyo para el sistema de piso que utilizará, de tal manera que la estructura se resuelve mediante losas aligeradas para intentar reducir al máximo las cargas de losas.

En todos los cuerpos del desarrollo inmobiliario se plantea losa casetonada unidireccional de peralte de 30 cm (25 + 5 cm de capa de compresión, ancho de nervio de 12 cm, intereje 92 cm y bovedilla de poliestireno) en nivel azotea y 35 cm (30 + 5 cm de capa de compresión, ancho de nervio de 12 cm, intereje 92 cm y bovedilla de poliestireno) en niveles 1 y 2. Los balcones tendrán un desnivel de 10 cm respecto al nivel de piso, según los planos estructurales.

c) Normativa

Las siguientes normativas deberán ser aplicadas:

- Reglamento de construcciones del Distrito Federal.
- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de construcciones para el Distrito Federal (2017):
 1. Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Cimentaciones.
 2. Normas Técnicas complementarias sobre diseño y construcción de estructuras de concreto.
 3. Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de estructuras de mampostería.
 4. Normas Técnicas Complementarias para criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones.
- Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico (2011).
- Manual de diseño de obras civiles. Diseño por Sismo. Comisión Federal de Electricidad (2015).
- Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Viento. Comisión Federal de Electricidad (2020).
- ACI 216R-89 / ACI 2016-1-97 / ACI 216.1-07
- AISC Fire. 2003 • ACI 318-95 American Concrete Institute.

Capítulo 3. Ingeniería de valor

La Ingeniería de valor es una metodología utilizada para lograr reconocer y organizar puntos clave en los proyectos o los servicios que ocasionan costos innecesarios; el objetivo es maximizar el valor ofrecido a los clientes para obtener resultados más eficientes y satisfactorios.

Está basada en un enfoque sistemático y multidisciplinario. Implica el análisis detallado de las necesidades y las expectativas de los clientes, así como el estudio exhaustivo de los procesos, los materiales y las tecnologías utilizados en el desarrollo de un servicio. Asimismo, se identifican oportunidades de mejora y se generan propuestas para maximizar el valor mediante técnicas como el análisis funcional y de costo-beneficio.

El valor se puede definir como la relación entre la función y la calidad con el costo; es decir, entre mayor sea su puntaje en la calidad y la función y menor sea el costo, mejor valor tendrá el servicio. Se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{valor} = \frac{\text{Función} + \text{Calidad}}{\text{Costo}}$$

Se puede considerar que el proyecto “Wen Living”, realizado por FSGROUP Engineering, tiene un puntaje 10/10 en cuanto a función, debido a que el diseño cumple con los principales requisitos para ser un lugar 100 % habitable.

De igual forma, en calidad obtuvo un 10/10, ya que se ha diseñado la estructura bajo todos los estándares establecidos por las normativas y los reglamentos, además de brindar atención al cliente, factor primordial para lograr una buena relación. Aunado a lo anterior, existen ciertos parámetros para lograr una calidad perfecta tanto en el proyecto como por parte de la empresa. El proyecto debe cumplir con periodos de entrega considerables, consistencia en las entregas parciales, cortesía hacia el cliente en todo momento, así como eficacia en los resultados. Para entregar proyectos de calidad, la empresa debe contar también con un nivel de calidad alto, por eso debe existir liderazgo, buen trabajo en equipo, información y metodologías establecidas, y constantes mejoras en dichos procesos.

Para el factor “costo” se consideran dos aspectos: el precio del proyecto ejecutivo y el resultado de las cuantificaciones de materiales que, en consecuencia, determinarán el costo total de la ejecución de la obra. En el proyecto se logra bajar la cantidad de acero de refuerzo y concreto, comparado con el proyecto inicial elaborado por otra empresa; esto hace que nuestro costo sea menor. Finalmente, con todos estos datos podemos obtener el “valor” que ofrecemos, siendo este mayor a comparación con el del otro despacho.

En la empresa brindamos el servicio de estudios como parte de la Ingeniería de valor, a través de la cual ofrecemos una valoración estructural preliminar sin costo, con el principal objetivo de proyectar confianza en los clientes con la información que les hacemos llegar. Si bien en esta fase de estudios no se les entrega un proyecto ejecutivo, les brindamos datos muy cercanos a los que conformarán la entrega final. Con la información convincente otorgada, los clientes suelen tomar la decisión de confiarnos sus proyectos para una entrega ejecutiva a un bajo costo.

A continuación, se describirá paso a paso el proceso por el que tiene que pasar un proyecto para un resultado óptimo económica y estructuralmente, sin dejar de lado la seguridad y el concepto arquitectónico original.

a) Contacto con el cliente

A inicios de 2022, una empresa consultora de construcción buscaba un despacho de cálculo que se hiciera cargo de la ingeniería estructural. Por medio de correo electrónico, los clientes se han puesto en contacto con FSGROUP Engineering en busca de una propuesta económica y estructural y del mejor postor para el proyecto “Wen Living”.

Buenos días Ing.

Como lo platicamos telefónicamente, el proyecto de Wen Living que se encuentra en San Jose Del Cabo México, está en proceso de pre-construcción avanzando con el diseño, para lograr una buena integración de la estructura, se ha propuesto como una estrategia que permita su optimización, invitar a su empresa para que coticen el servicio de doble check al diseño estructural en su generalidad, con los siguientes alcances:

1. Revisión 80 / 20 del diseño, en cada una de sus etapas: conceptual, desarrollo de diseño y documentos constructivos.
2. Participación en 2 reuniones semanales a través de conferencias en línea.
3. Contribuciones y opiniones acerca de los criterios estructurales y vinculaciones con otras especialidades como mecánica de suelos.
4. Coordinación con el diseñador estructural para implementar las mejoras que convengan al proyecto.
5. El objetivo principal es lograr seguridad, el menor costo posible implementando buenas practicas constructivas.
6. Informes quincenales entregables a la gerencia y al Cliente, con Hallazgos, mejoras, observaciones del diseño y áreas de oportunidad para mejora; esta información será de mucha utilidad para la gerencia, ya que permitirá identificar los impactos económicos.
7. Al final se entregara un documento firmado y rotulado con el nombre de la empres y proyecto, indicando que el diseño cumple con las necesidades del proyecto y que se cumplió el objetivo.

El hito para entregar el diseño estructural completo con documentos constructivos es julio de 2021, actualmente se cuenta con desarrollo de diseño, sin embargo, el proyecto a sufrido modificaciones que provocará cambios en el avance.

Por favor su propuesta técnico económica que contenga exactamente estos 7 conceptos, lo que permitirá un análisis acelerado para la toma de decisiones.

En el entendimiento que el Cliente, la Dirección y la Gerencia del proyecto buscamos su incorporación con un alcance justo pero suficiente para cumplir con las funciones señaladas, sin que esto implique un incremento importante en el presupuesto.

Figura 46. Invitación a FSGROUP Engineering para participar por el proyecto

Una vez establecida la invitación y el acercamiento del cliente con FSGROUP Engineering, se nos hizo llegar toda la información necesaria para comenzar con la valoración estructural, como ubicación del predio, estudio de mecánica de suelos, proyecto topográfico y proyecto arquitectónico (plantas, cortes, secciones, alzados, modelos 3D, etcétera).

Buenos días

Te comparto el paquete con la información del proyecto Wen Living que ayer en llamada te comentaba para tu revisión.

<https://we.tl/t-1qMfNbv2nf>

El objetivo sería que nos pudieras compartir un costo por la reingeniería para la optimización y un ejercicio con el ahorro tentativo que supondría para el proyecto. ¿Que tiempo necesitas para enviarme esta información?, para comentarle al cliente.

Si tienes alguna duda, quedo a tus órdenes.

Saludos.

Figura 47. Correo con enlace para descargar la información del proyecto

b) Layouts (plantas)

La elaboración de layouts es el primer paso en este proceso para realizar el modelo de cálculo. Preferentemente, esta tarea es responsabilidad de la persona que realiza la valoración estructural, que en este caso es quien suscribe.

Se le llama “layout” al archivo dwg (drawing), que es la copia de una planta arquitectónica, pero con limpieza; es decir, solo se muestran los posibles elementos estructurales, como pueden ser muros, columnas, trabes, etcétera. Se deben borrar los objetos que no aporten nada a la estructura, como mobiliario, bloques de personas, luminarias y demás elementos no estructurales.

El principal motivo por el cual se realiza este paso es para aligerar los archivos dwg y que usamos como base en el software de cálculo (CYPECAD). El modelado de la estructura se vuelve más fácil si tenemos una plantilla propuesta por parte de la arquitectura, de esta manera podemos proponer nuestro diseño, respetando los espacios arquitectónicos.

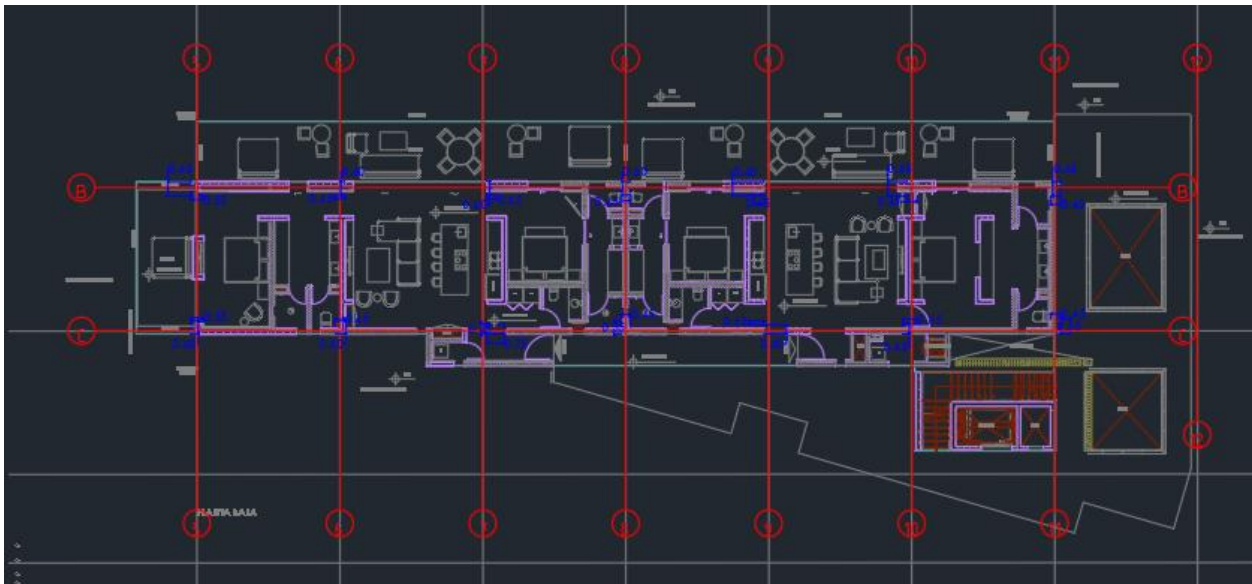


Figura 48. Planta arquitectónica lista para hacer layout

A continuación, se enlistan los pasos seguidos para desarrollar de manera correcta los layouts del proyecto “Wen Living” San José del Cabo:

1. Se colocan todas las plantas arquitectónicas de los distintos niveles del proyecto en un mismo archivo, ya que se hará el procedimiento para cada nivel. Es importante que este archivo esté medido en metros.



Figura 49. Plantas arquitectónicas en un mismo archivo dwg

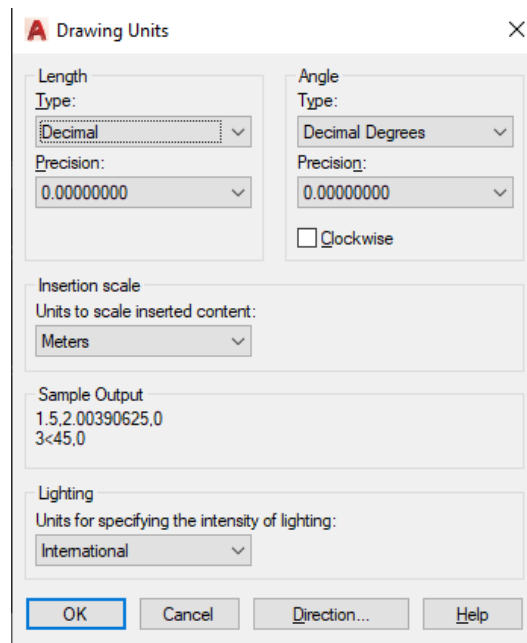


Figura 50. Configuración de unidades en metros

- Una vez abierto el archivo dwg de la arquitectura, se seleccionan los dibujos que estén como bloques y se explotan con el comando "explode"; de esta forma se pueden manipular los objetos fácilmente.

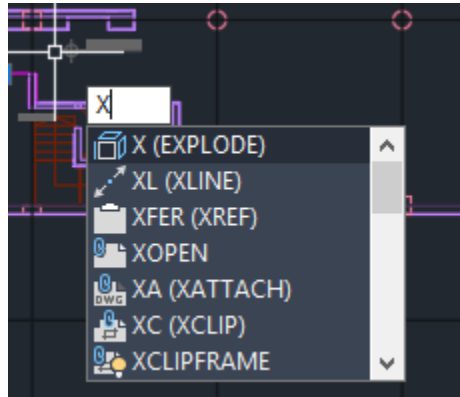


Figura 51. Comando "explode" en AutoCAD

- Una vez explotado el dwg, se asignan colores específicos a los distintos layers en el dibujo, con la finalidad de identificar fácilmente cada elemento.

Tabla 1. Colores por elementos para layouts

Capa de muros de carga, tabiquería, etc.	Color 191
Sanitarios, mobiliario, tuberías de bajantes, etc.	Color 8
Carpinterías, huellas de escaleras, proyecciones sobre la planta, etc.	Color 24
Pilares, límites de forjado, etc.	Color 241

4. Cuando se tengan los colores asignados, se comienza con la limpieza del archivo: se borra todo el mobiliario, seguido de objetos como árboles, plantas, autos, personas, etcétera; quedarán únicamente los elementos que ayuden a diseñar la estructuración (muros, trabes, columnas).

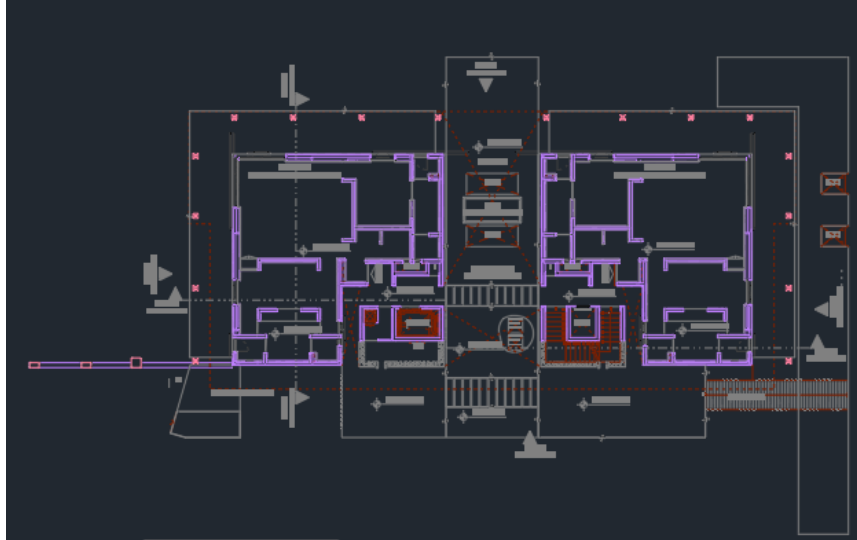


Figura 52. Layout terminado hasta el paso 4

5. Una vez que se ha realizado el paso 4 en todos los niveles del proyecto, se busca un punto en común para las plantas, que puede ser la intersección de dos ejes, la esquina de una columna o cualquier punto que coincida en todos los niveles. En este caso, se eligió la esquina de la proyección del terreno, que aparece en todas las plantas arquitectónicas. Una vez encontrado el punto en común, se colocará una “aspa” en ese punto y en cada nivel del proyecto como referencia al insertar las plantillas en el software de cálculo.

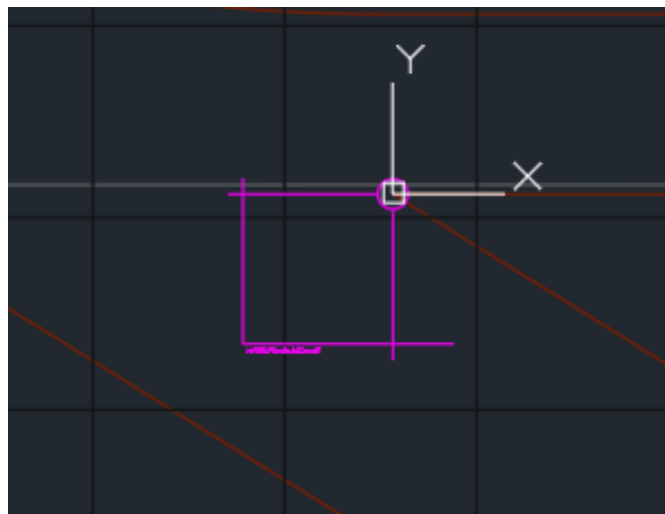


Figura 53. Aspa colocada en el punto en común

- Una vez que cada nivel tiene su aspa en el mismo punto, se nombran con el prefijo ref00, ref01, ref02 y sucesivamente, dependiendo de la cantidad de plantas, para quedar de la siguiente manera:

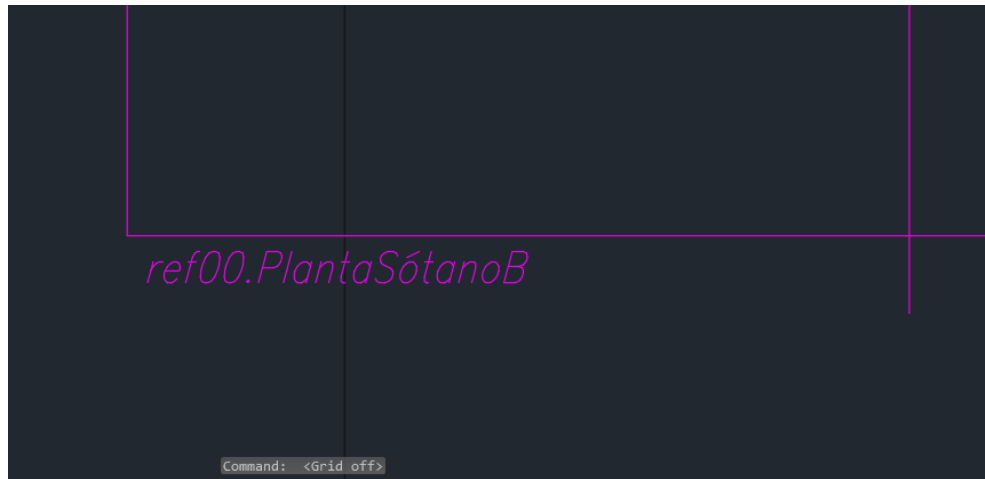


Figura 54. Nombre de aspa

- Cuando todos los niveles tengan sus aspadas con su respectivo nombre, se guarda el archivo con el nombre "plantas.0001"; el número irá cambiando conforme vayan cambiando las versiones de arquitecturas. Si existieran cambios en planos arquitectónicos, se realizarán nuevos layouts, que se guardarán con el nombre "plantas.0002", y así consecutivamente.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
xRef	08/03/2023 04:32 ...	Carpeta de archivos	
plantas.0001	15/08/2022 11:55 a...	Archivo DWG	26,709 KB

Figura 55. Archivo "plantas.0001" guardado en el servidor

8. Cada archivo se guardará individualmente en cada nivel, colocando la esquina del aspa en el punto 0,0,0 del dibujo. Cada archivo se nombrará según su aspa.









 ref.00.plantaSotanoB	26/05/2022 10:10 a...	Archivo DWG	608 KB
 ref01.PlantaSótanoC	26/05/2022 10:11 a...	Archivo DWG	59 KB
 ref02.PlantaSótanoA	26/05/2022 10:14 a...	Archivo DWG	272 KB
 ref03.plantaBaja	31/05/2022 06:52 ...	Archivo DWG	12,885 KB
 ref04.primerNivel	26/05/2022 10:08 a...	Archivo DWG	12,226 KB
 ref05.segundoNivel	26/05/2022 09:59 a...	Archivo DWG	11,739 KB
 ref06.azotea	26/05/2022 09:55 a...	Archivo DWG	158 KB
 ref09.sótanoB(Red)	20/09/2022 04:11 ...	Archivo DWG	13,406 KB

Figura 56. Archivos de cada nivel guardados en el servidor

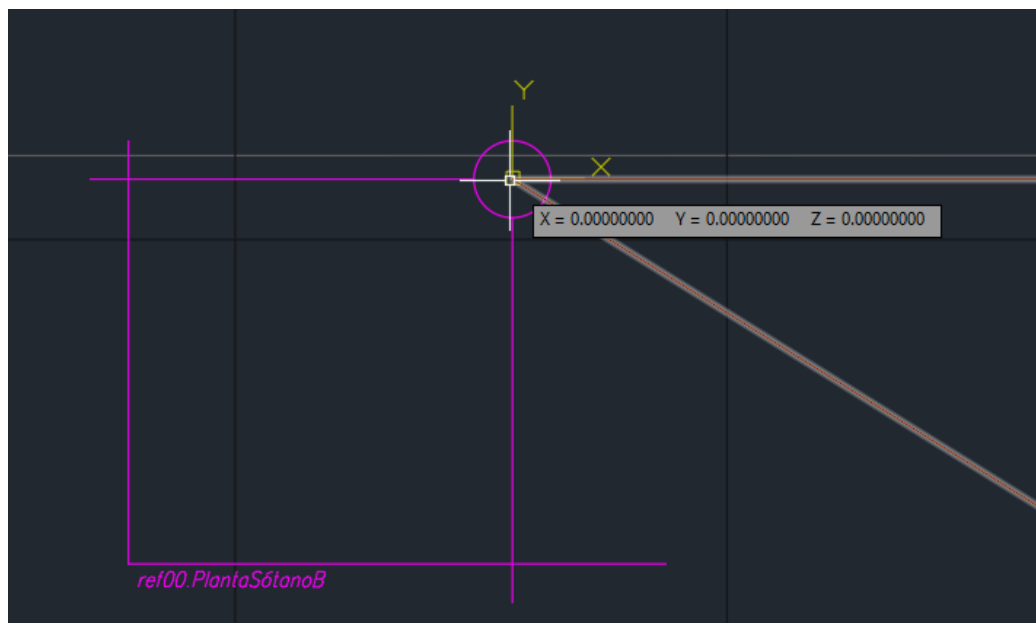


Figura 57. Aspa colocada en el punto 0,0,0

Una vez finalizados los layouts, utilizamos los archivos refXX.nivelXX del modelado para la valoración estructural en CYPECAD.

c) Modelo de cálculo

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, CYPECAD es la principal herramienta utilizada en FSGROUP Engineering para el diseño de estructuras de concreto. “Wen Living” no es la excepción, toda vez que predomina el uso del concreto en el proyecto, y el software CYPECAD permite llegar al objetivo establecido en este ensayo.

Debido a que el procedimiento de modelado es el mismo para todos los cuerpos estructurales, se describirá de manera específica el proceso para el cuerpo Energy, aunque se siguen los mismos pasos para el resto de los edificios (Strength, Joy Plaza, Prosperity, Enlightenment, Balance, Growth A, Growth B y Access).

Para ordenar este proceso, dividiremos por párrafos los pasos a seguir hasta llegar a la conclusión del modelo de cálculo.

Nuevo modelo

Para comenzar con el desarrollo, se debe abrir el menú CYPE y seleccionar la aplicación CYPECAD.

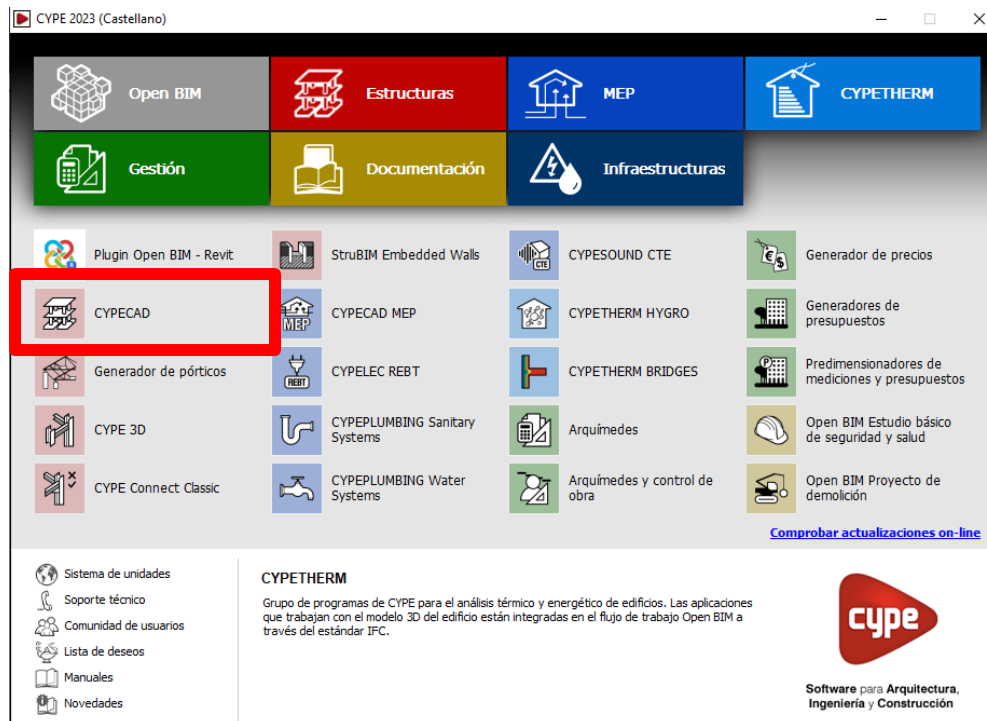


Figura 58. Selección de aplicación CYPECAD

A continuación, se abrirá una ventana donde se tendrá la opción de crear un archivo nuevo, elegir archivos existentes o ver ejemplos de estructuras creadas por la familia CYPE. Seleccionaremos la opción “Nuevo”.

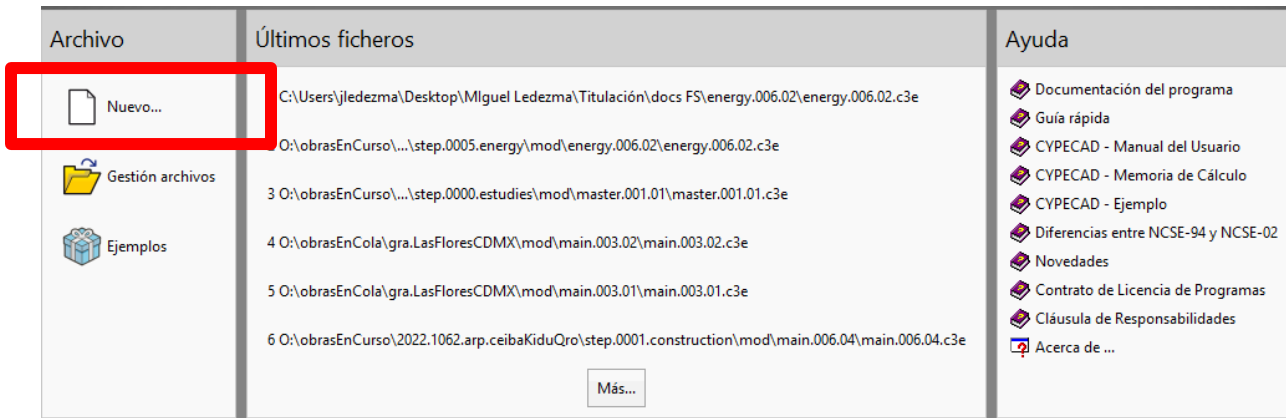


Figura 59. Creación de archivo nuevo en CYPECAD

En la siguiente ventana que se mostrará, se asignará un nombre y una descripción a la obra, además se elegirá la ubicación donde se desea guardar el proyecto.

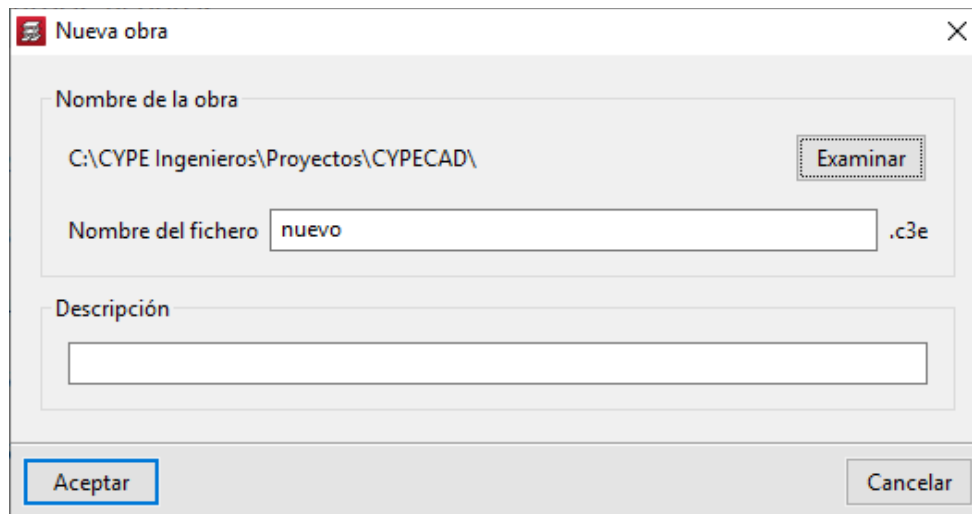


Figura 60. Nueva obra en CYPECAD

Una vez que se nombra y se guarda el archivo, se tendrá la opción de vincular la obra con un servidor BIM. En FSGROUP Engineering no manejamos la metodología BIM a través de CYPE, por lo que se desactivará la opción de conectarnos a un servidor BIM y, en seguida, se seleccionará la opción “Aceptar”.

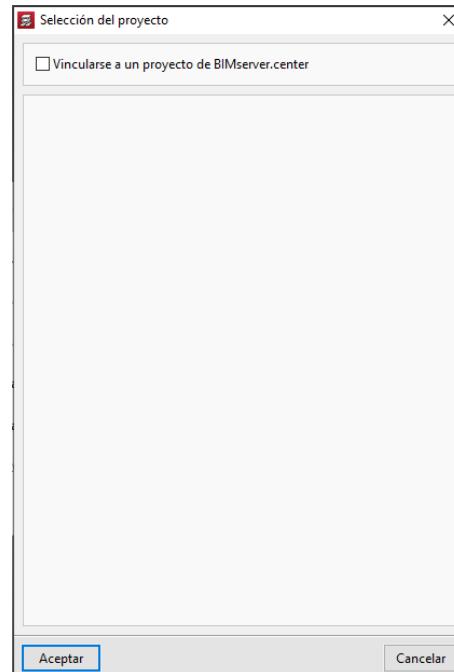


Figura 61. Desvincular el proyecto de servidor BIM

El último paso antes de comenzar a configurar los datos de la obra es seleccionar la opción “Obra vacía”.

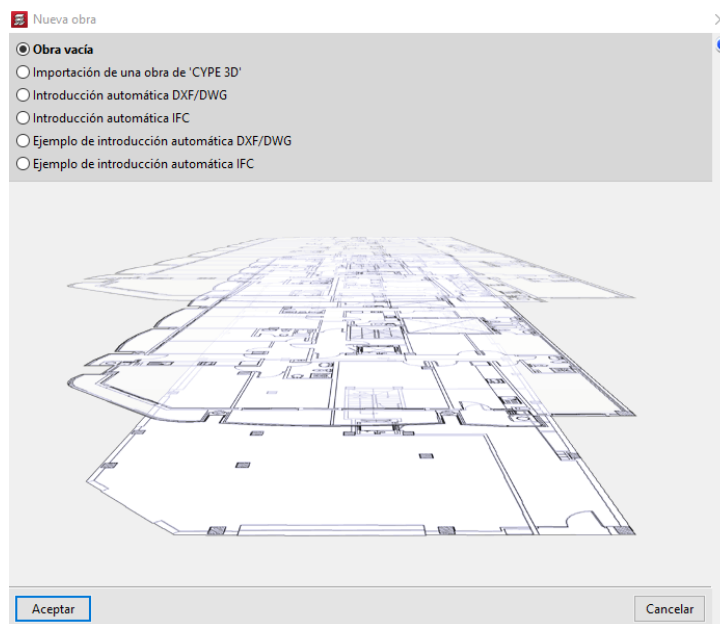


Figura 62. Selección de obra vacía en CYPECAD

Configuración de datos generales de la obra

Es importante contar con distintos parámetros antes de iniciar con el modelo de cálculo. En la figura 58 se muestran los datos de la obra con los que debemos contar para empezar a modelar.

Datos generales

Normas: NTCRC:2017, AISI S100-2007 (LRFD), ANSI/AISC 360-10 (LRFD), ANSI/AWC NDS-2015 (ASD) y Eurocódigo 9

Hormigón armado

Hormigón

Forjados: $f'c=300$

Cimentación: $f'c=300$

Pozos romanos: $f'c=300$

Pilares: $f'c=300$

Muros: $f'c=300$

Características del árido: Agregado grueso calizo (Cl...)

Acero

Barras: $f_y = 4200$

Pernos: A-307

Perfiles

Acero

Laminados y armados: A572 50ksi

Conformados: A36

Madera

Pino

Aluminio extruido

EN AW-5083 - F

Acciones

Carga permanente y sobrecarga de uso

Con acción de viento: CFE - 2008 (México)

Con acción sísmica: CFE 2015 (México)

Criterio de armado por ductilidad: Ductilidad baja

Elementos constructivos: No se consideran

Comprobar resistencia al fuego

Estados límite (combinaciones)

Hipótesis adicionales (cargas especiales)

Coeficientes de pandeo

Pilares de hormigón y mixtos: Bx: 1.000, By: 1.000

Pilares de acero: Bx: 1.000, By: 1.000

Pilares de madera: Bx: 1.000, By: 1.000

Ambiente

Vigas: A1

Aceptar

Figura 63. Cuadro de datos generales de una obra en CYPECAD

En primer lugar, se deben tener presentes los reglamentos que se utilizarán para los criterios de diseño en los elementos estructurales. Esto depende principalmente de la región donde se lleva a cabo el proyecto.

Al estar ubicado el proyecto en territorio mexicano y muy cerca de la frontera con Estados Unidos de América, los reglamentos que se aplicarán para desarrollar el diseño estructural son los siguientes:

- Concreto: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO (NTCRC: 2017, México).
- Acero conformado: NORTH AMERICAN SPECIFICATION FOR THE DESIGN OF COLD-FORMED. STEEL STRUCTURAL MEMBERS. 2016 EDITION. (AISI S100-2016 LRFD, USA).

- Acero laminado: AN AMERICAN NATIONAL STANDARD SPECIFICATION FOR STRUCTURAL STEEL BUILDINGS (ANSI/AISC 360-16 LRFD, USA).

Para el caso de la madera, el aluminio, los muros de bloque de concreto y las losas mixtas no se elige alguna normativa específica, ya que en este proyecto no utilizamos dichos materiales.

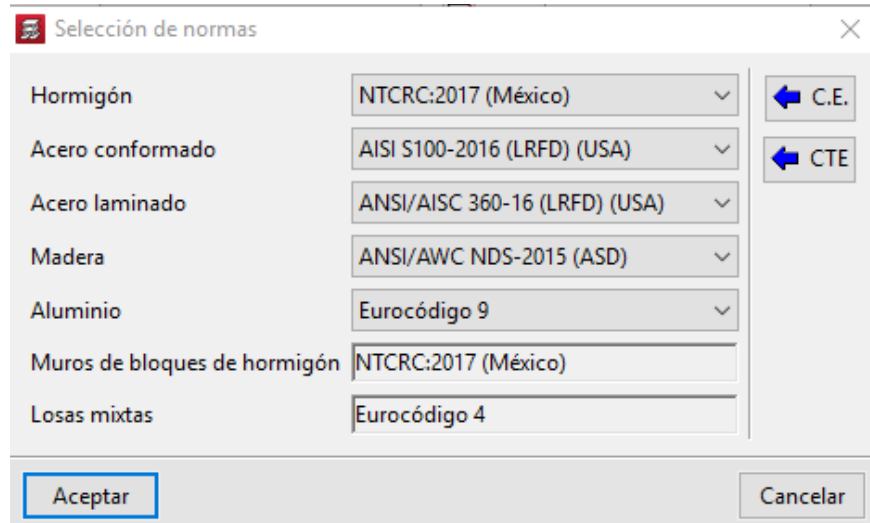


Figura 64. Selección de normativas en CYPECAD

Una vez establecidas las normativas que se utilizarán, se fija la resistencia a compresión del concreto en los distintos elementos estructurales que se utilizarán. Para el proyecto “Wen Living” se hizo una primera prueba con un $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ para todos los elementos estructurales.

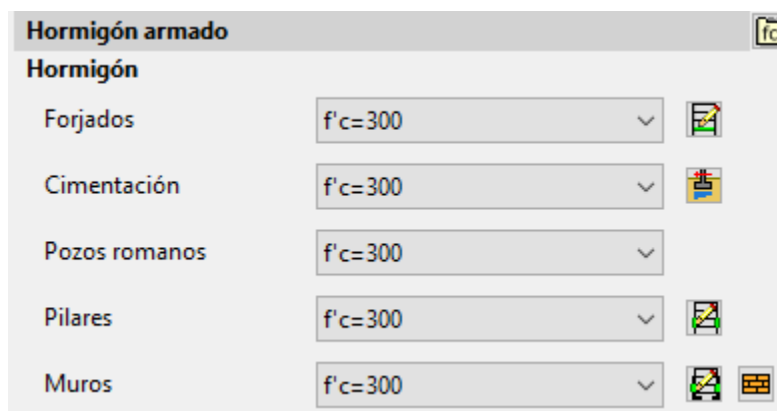


Figura 65. Resistencia a compresión de concreto de elementos estructurales ($f'c$)

Dentro de este mismo apartado, en la opción “Cimentación” se muestra una figura a la derecha de una zapata; seleccionamos la figura para abrir un cuadro de diálogo donde podremos configurar la resistencia del terreno en situaciones persistentes y situaciones sísmicas y accidentales. Este paso es importante para que el diseño de cimentación se haga de manera adecuada y segura. Los valores tomados para este proyecto se muestran en la figura 66; estos datos fueron extraídos del estudio de mecánica de suelos (EMS) (Anexo B).

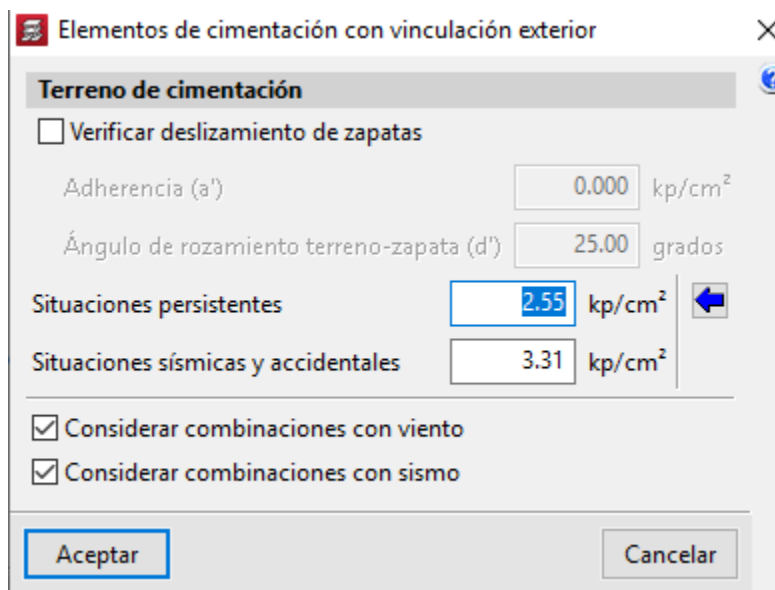


Figura 66. Valores resistencia del terreno

De la misma manera que se seleccionó la resistencia del concreto, se elegirá el esfuerzo de fluencia (f_y) del acero de refuerzo y el tipo de pernos a usar en el caso de uniones metálicas. Para este proyecto se considera el valor convencional que se maneja en México ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) en barras de acero y pernos A-325.

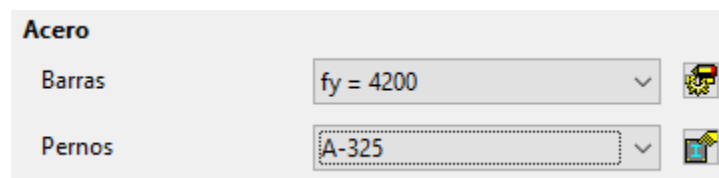


Figura 67. Acero de refuerzo y pernos

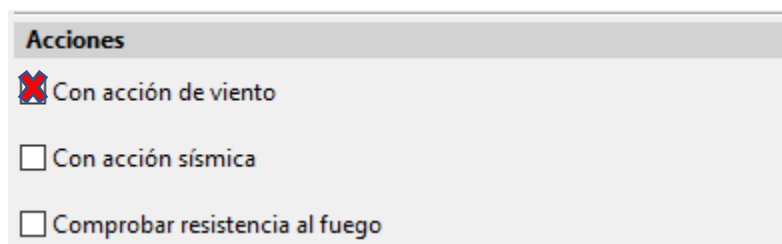
Los siguientes parámetros para considerar son las acciones que se pueden presentar en la estructura, como el viento y los sismos. Para estos puntos debemos establecer los reglamentos que se considerarán.

Debido a que en el estado de Baja California, México no se cuenta con un reglamento local, se usarán los manuales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que dan respaldo al diseño por viento y por sismo dentro del territorio mexicano. Las versiones utilizadas para el diseño de estas acciones son:

- Viento: *Manual de diseño civil, diseño por viento*, CFE 2020.
- Sismo: *Manual de diseño civil, diseño por sismo*, CFE 2015.

Carga de viento (CFE, 2020)

Para configurar la acción por viento se debe seleccionar la opción mostrada en la figura 68.



The image shows a software window titled "Acciones" with a light gray background. It contains three radio button options. The first option, "Con acción de viento", is selected and has a red 'X' icon to its left. The second option, "Con acción sísmica", has an empty checkbox. The third option, "Comprobar resistencia al fuego", also has an empty checkbox.

Figura 68. Acción de viento

A continuación, se abrirá una ventana donde seleccionamos el país donde se llevará a cabo la obra; de la misma manera, se seleccionará el reglamento aplicable.

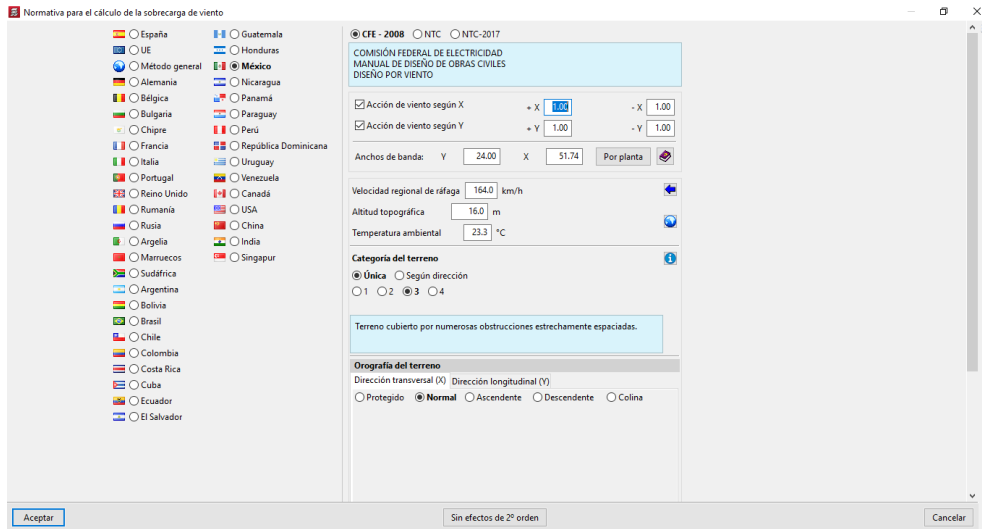


Figura 69. Configuración acción de viento

Una vez seleccionado el país y el reglamento a utilizar, se continúa con los valores de ancho de banda, los cuales son simplemente las longitudes en planta del edificio en dirección X y dirección Y.

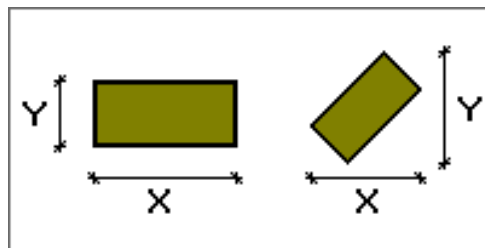


Figura 70. Ancho de banda

Si se conocen los datos de velocidad regional de ráfaga viento, temperatura ambiental y altitud topográfica del sitio, se colocarán dentro de los campos asignados; en caso contrario, existe la opción de buscar por ciudad dentro de CYPECAD.

Dentro de la configuración de la acción de viento, se muestra una flecha azul del lado derecho. Si se desea buscar la ciudad en cuestión, se debe dar clic en dicha figura.

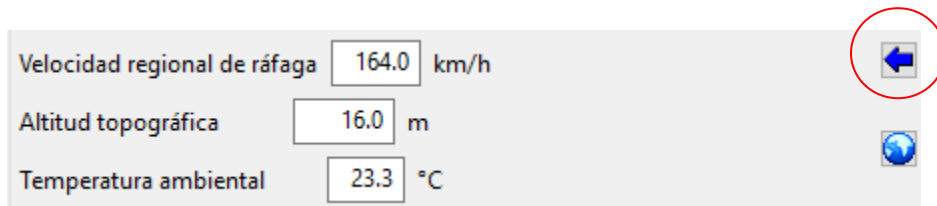


Figura 71. Datos regionales de viento

Respecto a “Wen Living” San José del Cabo, al estar tan cerca de La Paz, Baja California, se ha decidido seleccionar esta ciudad debido al clima tan similar que se comparte entre estas dos localidades.

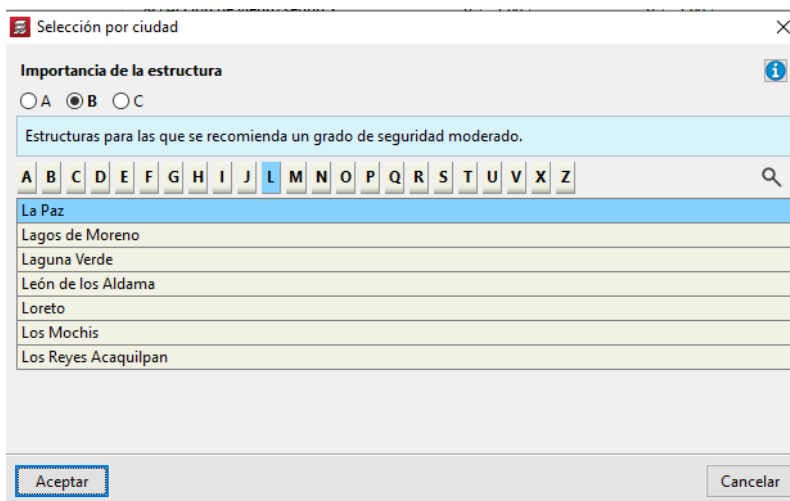


Figura 72. Ciudad seleccionada para acción de viento

La importancia de la estructura se establece a partir de ciertos criterios que se mencionan en los reglamentos. Para “Wen Living” la categoría a la que más se adapta es a una estructura tipo B. De acuerdo a lo establecido en el *Manual de Diseño Civil* de la CFE, una estructura de Grupo B es aquella que cumple con:

Estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad moderado.

Se clasifican en este grupo aquéllas que, al fallar, generan baja pérdida de vidas humanas y que ocasionan daños materiales de magnitud intermedia; aquéllas cuya falla por viento pueda poner en peligro a otras de este grupo o del anterior; las construcciones que forman parte de plantas generadoras de energía y que, al fallar, no paralizarían el funcionamiento de la planta.

Ejemplos de estructuras en este grupo son: plantas industriales, subestaciones eléctricas de menor importancia que las del Grupo A, bodegas ordinarias, gasolineras (excepto los depósitos exteriores de combustibles pertenecientes al Grupo A), comercios, restaurantes, casas para habitación, viviendas, edificios de apartamentos u oficinas, hoteles, bardas cuya altura sea mayor que 2.5 metros. También pertenecen a este grupo: salas de reunión y espectáculos, estructuras de depósitos urbanas o industriales, no incluidas en el Grupo A.

Los recubrimientos, tales como cancelerías y elementos estructurales que formen parte de las fachadas, pertenecerán a este grupo siempre y cuando no causen daños corporales o materiales importantes al desprenderse. En caso contrario, se analizarán como pertenecientes al Grupo A.

Para la elección del terreno se ha considerado la categoría 3 a lo largo del predio, ya que tenemos un terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas; áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas

obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas.

Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la nueva construcción, la que sea mayor.

De la misma manera, la orografía del terreno se ha considerado como normal en la dirección de X y en dirección Y.

Categoría del terreno i

Única Según dirección

1 2 3 4

Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.

Orografía del terreno

Dirección transversal (X) Dirección longitudinal (Y)

Protegido Normal Ascendente Descendente Colina

Figura 73. Configuración acción de viento

Para configurar la acción por sismo se debe seleccionar la opción mostrada en la figura 68.

Acciones

Con acción de viento

Con acción sísmica

Comprobar resistencia al fuego

Figura 74. Acción de sismo

Para considerar un correcto análisis sísmico es necesario contar con la bajada de cargas aplicables en la estructura y determinar parámetros esenciales que nos ayudarán a simular una situación real de sismo.

Bajada de cargas

Las cargas gravitatorias consideradas corresponderán con las *Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones* (2017). La siguiente tabla resume las cargas consideradas para las diferentes zonas y usos del proyecto:

Cargas superficiales (kg/m²)				
Usos	Uso a) Habitación	Uso b) Oficinas, despachos y laboratorios	Uso k) Garajes y estacionamientos	Uso i) Azoteas con pendiente mayor de 5%
P.P. losa llena (15)	360	NA	NA	-
P.P. losa llena (20)	480	NA	NA	-
P.P. losa reticular (25+5)	245	NA	NA	-
P.P. losa casetonada (25+5)	210	NA	NA	-
P.P. losa casetonada (20+5)	200	NA	NA	200
Carga Muerta Total	150	NA	NA	100
Acabado en piso*	20	NA	NA	0
Divisiones internas	50	NA	NA	0
Instalaciones	20	NA	NA	20
Plafond	20	NA	NA	20
Impermeabilizante	0	NA	NA	20
Adicional NTC-17	40	NA	NA	40
Carga viva máxima, W_m	190	NA	NA	40
Carga viva instantánea, W_i	100	NA	NA	20
Carga viva media, W	80	NA	NA	5
Total CM+CV				
Combinaciones gravitatorias	340	NA	NA	140
Combinaciones sísmicas	250	NA	NA	120
Efectos a largo plazo	230	NA	NA	105
Cargas perimetrales (kg/m)				
Fachadas perimetrales	700			
Divisiones mediante block	550			

Tabla 2. Bajada de cargas para Energy

Carga de sismo (CFE, 2015)

Se considera el efecto del sismo sobre la estructura de acuerdo a lo estipulado en el *Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo* de la Comisión Federal de la Electricidad (2015), función de los espectros de diseño sísmico para el territorio mexicano y la clasificación de las estructuras.

La clasificación de las estructuras (artículo 3.1.2) dependerá de:

- Su importancia y efectos que podrían ocurrir en caso de fallo.
- Su tamaño y participación en el sector energético o industrial.

La clasificación en función del destino se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 3. Tabla clasificación edificación según su función

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A+	<p>Las estructuras de gran importancia, o del Grupo A+, son aquellas en que se requiere un grado de seguridad extrema, ya que su falla causaría cientos o miles de víctimas, y/o graves pérdidas y daños económicos, culturales, ecológicos o sociales.</p> <p>Ejemplos de estructuras de importancia extrema son las grandes presas y las plantas nucleares.</p>
A	<p>Estructuras en que se requiere un grado de seguridad alto. Construcciones cuya falla estructural causaría la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas, daños ecológicos o culturales, científicos o tecnológicos de magnitud intensa o excepcionalmente alta, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o inflamables, así como construcciones cuyo funcionamiento sea esencial después de un sismo.</p> <p>Ejemplo de ellas son las estructuras fundamentales (principales) de: Centrales de generación, transmisión y distribución eléctrica, instalaciones industriales de proceso, almacenamiento y distribución de hidrocarburos, sistemas de transporte y telecomunicaciones, sistemas de almacenamiento, conducción, distribución y tratamiento de aguas, escuelas, centros de investigación, estadios, hoteles, sistemas de emergencia como estaciones de bomberos u hospitales, etc.</p>
B	<p>Estructuras en las que se requiere un grado de seguridad convencional. Construcciones cuya falla estructural ocasionaría la pérdida de un número reducido de vidas, pérdidas económicas moderadas o pondría en peligro otras construcciones de este grupo y/o daños a las del Grupo A+ y A moderados.</p> <p>Ejemplo de ellas son las naves industriales, locales comerciales, estructuras comunes destinadas a vivienda u oficinas, salas de espectáculos, depósitos y estructuras urbanas o industriales no incluidas en los Grupos A+ y A, así como muros de retención, bodegas ordinarias y bardas.</p>

La clasificación de construcciones en función de su tamaño y relación con el sector energético o industrial se puede englobar en la siguiente tabla:

Tabla 4. Tabla de clasificación de las construcciones

GRUPO	CLASIFICACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES	
A+	Todas las estructuras de gran importancia del sector energético o industrial	
A	A1: pertenece o se relaciona con el sector energético o industrial	A2: No pertenece ni se relaciona con el sector energético o industrial
B	B1: altura mayor que 13 m. o área total construida mayor que 400 m ² .	B2: altura menor o igual que 13 m. y área total construida menor o igual que 400 m ² .

En función de la clasificación estructural, se obtendrán espectros de diseño sísmico siguiendo enfoques probabilistas (estructuras tipo A2 y B) o deterministas (estructuras tipo A+ y A1).

Debido a que el uso principal del edificio Energy será para departamentos, y su altura asciende a 12.37 m, con un área construida mayor a 400 m², concluimos que la estructura se clasifica como B2 y, por tanto, tiene un análisis sísmico con un espectro regional probabilista de referencia ER.

Para la obtención del espectro se tendrán en cuenta las consideraciones incluidas en el estudio de mecánica de suelos, verificadas mediante el programa Prodisis. El análisis sísmico se realiza mediante el método dinámico (análisis modal espectral).

Para un sitio con coordenadas geográficas definidas, el programa prodisis suministra la información relacionada con el enfoque probabilista dada por el peligro sísmico para la condición de roca:

- 1) Aceleración máxima en roca a_0^r , correspondiente al nivel de referencia ER.
- 2) Aceleración máxima en roca a_0^r , EPR, correspondiente a un periodo de retorno especificado.
- 3) Espectro de respuesta de referencia en roca (ER).
- 4) Espectro de respuesta para periodo de retorno especificado en roca (EPR).
- 5) Espectro de diseño transparente en roca.
- 6) Espectro de diseño transparente regional.
- 7) Espectro de diseño modificado.



Figura 75. Aceleraciones máximas del sustrato rocoso en México (cm/s²)

Mediante estas aceleraciones máximas en roca a_0^r para el nivel de referencia dado, se obtiene la regionalización sísmica.

Tabla 5. Tabla de aceleraciones máximas en roca

Aceleración máxima en roca, a_0^r (cm/s²), correspondiente al nivel de referencia ER	zona	Intensidad sísmica
$a_0^r \geq 200$	D	Muy alta
$100 \leq a_0^r < 200$	C	Alta
$50 \leq a_0^r < 100$	B	moderada
$a_0^r < 50$	A	Baja

La clasificación del terreno de cimentación será definida por las características del terreno incluidas en la mecánica de suelos. Según estos datos, tendremos estos tipos de terreno:

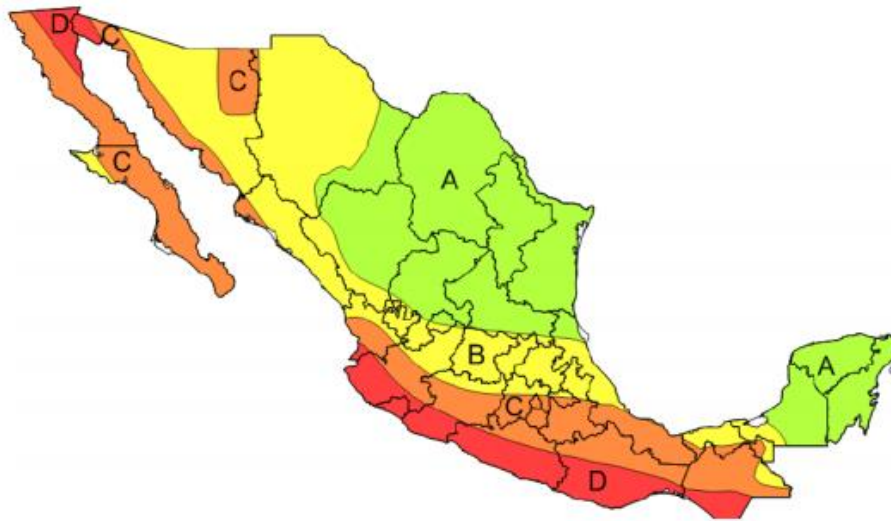


Figura 76. Regionalización sísmica de la república mexicana

Tabla 6. Tabla tipo de terreno

TIPO DE TERRENO	CONDICIONES
Tipo I	Terreno firme o rocoso en que no presentan amplificaciones dinámicas: depósito de suelo con $v_s \geq 720$ m/s o $H_s \leq 2$ m.
Tipo II	Terreno formado por suelos en que se presentan amplificaciones dinámicas intermedias: depósito de suelo con $v_c \leq v_s < 720$ m/s y $H_s > 2$ m; o $H_c > H_s$ y $v_s < 720$ m/s
Tipo III	Terreno formado por suelos que presentan grandes amplificaciones dinámicas: depósito de suelo con $v_s < v_c$ y $2 < H_s \leq H_c$

En función de la definición de estos parámetros, se obtiene el espectro de diseño transparente regional:

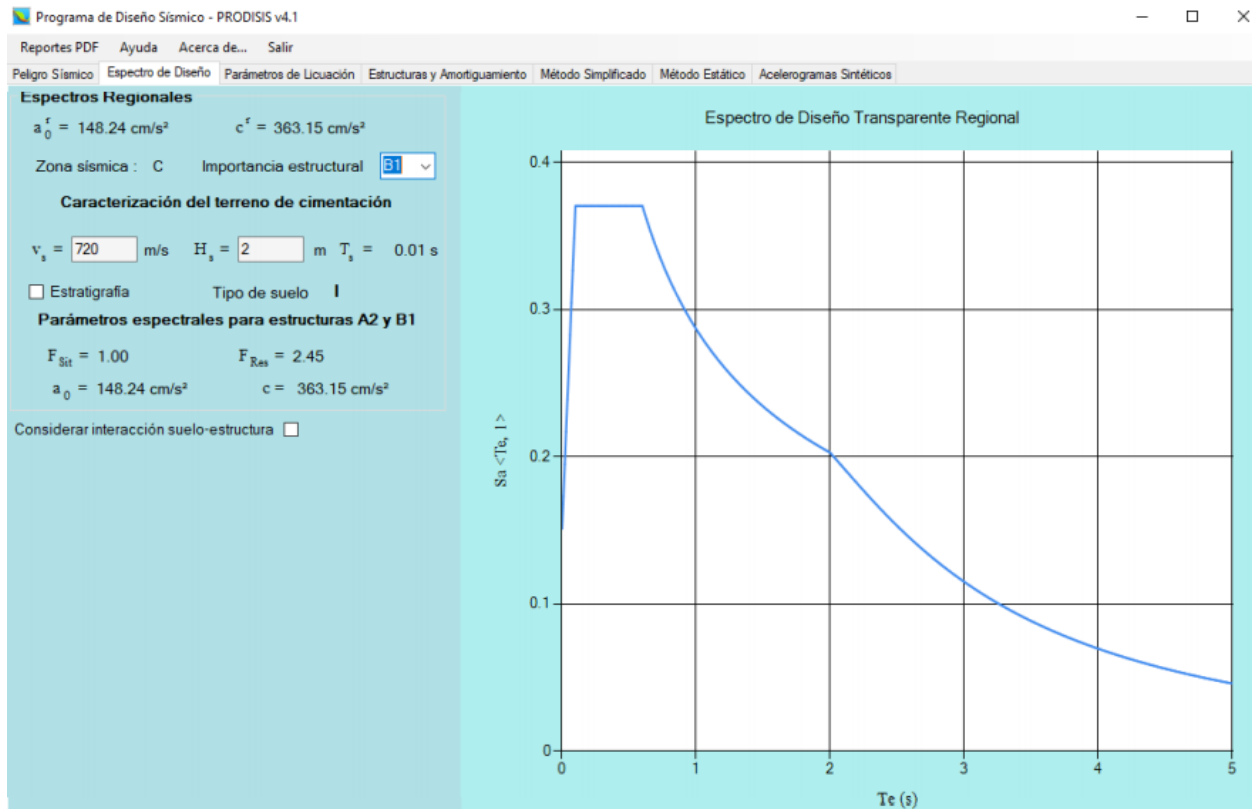


Figura 77. Espectro de diseño transparente regional

Para obtener el espectro de diseño modificado tendremos que determinar diferentes parámetros en función de la sección 3.3. Estructuras tipo 1: edificios de la CFE-2015.

A manera de resumen, los parámetros escogidos han sido los siguientes:

Parámetro	Valor
Regionalización sísmica	C
Clasificación de la estructura según su importancia	B2
Aceleraciones máximas consideradas en el sustrato rocoso (a_0^r)	128.56 cm/s ²
Factor de sitio (F_{sit})	1.00
Factor de respuesta (F_{res})	2.44
Suelo considerado	Tipo I
Amortiguamiento	0.05
Factor de comportamiento sísmico Q (normalmente asociado a la ductilidad de la estructura)	2.00

Una vez hecho el primer cálculo, el software arrojará el periodo de la estructura para el documento “Justificación sísmica” (figura 4). Dicho periodo se ingresa a CYPECAD, se selecciona la opción “Especificado por el usuario” y se calcula el modelo para obtener los resultados más cercanos a la realidad.

Para la comprobación del cortante basal del Energy se obtienen periodos de:

Dirección 'X'	0.884 segundos
Dirección 'Y'	0.711 segundos

Resistencia al fuego

La *Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico* establece en su capítulo 4, “Comunicación, evacuación y prevención de emergencias”, apartado 4.4:” Previsiones contra incendios”, el grado de riesgo de incendio que le corresponde a las edificaciones, de acuerdo a sus dimensiones, uso y ocupación conforme a lo que establecen las tablas 4.5-a y 4.5-b.

De las tablas podemos deducir que el grado de riesgo es bajo por tener menos de 10 niveles. Por ello es necesario que los elementos estructurales tengan una resistencia mínima al fuego de 60 minutos, resistencia exigida por los técnicos competentes.

Por tanto, se deberán realizar las actuaciones necesarias para garantizar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de Rf 60 (60 minutos), en niveles tanto bajo rasante como sobre esta, según el capítulo 4 “Comunicación, evacuación y prevención de emergencias”, de la *Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico*, para lo cual se deberán respetar los recubrimientos generales para cada elemento estructural, especificados en la siguiente tabla.

Tabla 7. Recubrimientos elementos estructurales

Elemento estructural	Resistencia requerida	Recubrimiento especificado a cara exterior del refuerzo longitudinal o del estribado, si existe (mm)
Muros	R 60	75
Columnas	R 60	50
Losas llenas	R 60	30
Losas de escaleras	R 60	30
Losas casetonadas	R 60	30
Trabes	R 60	30

Con los recubrimientos requeridos definidos, se termina la configuración de los datos generales de la obra.

Una vez establecidos los parámetros establecidos, se describirá la introducción de elementos que conforman la estructura. Para esto usaremos los layouts (plantillas) previamente hechos.

Al finalizar con los datos generales de la obra, se mostrará una ventana en blanco, donde se comenzará con el modelado geométrico de la estructura.

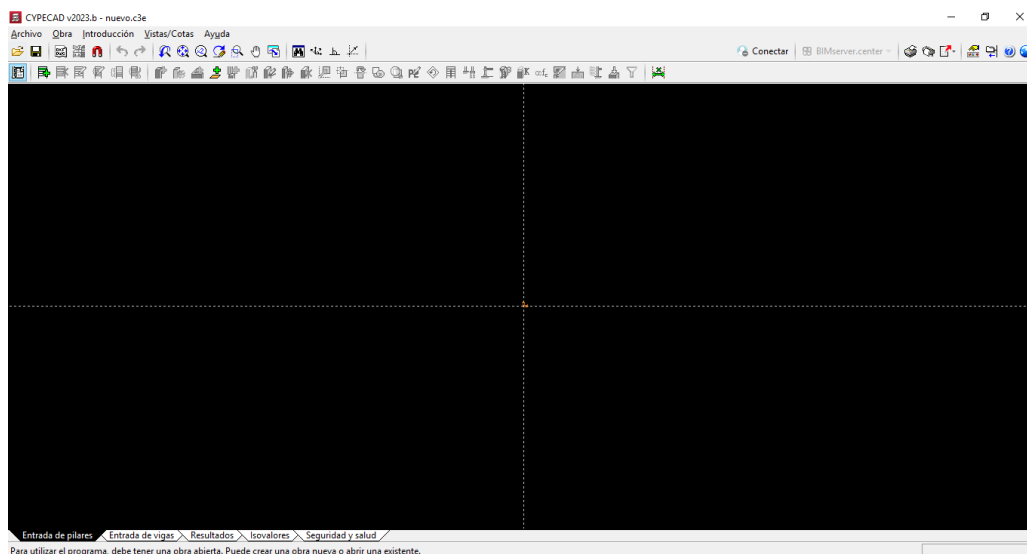


Figura 79. Ventana inicio CYPECAD

En la esquina inferior izquierda de la pantalla se localizan distintas pestañas de trabajo que ofrece CYPECAD. Para el análisis estructural, se usarán exclusivamente “Entrada de pilares”, “Entrada de vigas”, “Resultados” e “Isovalores”.

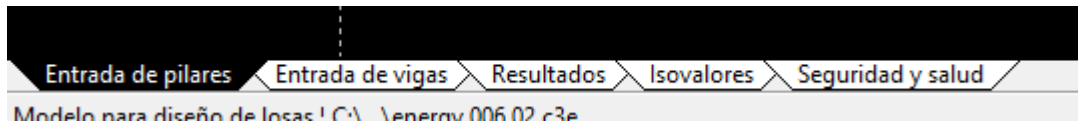


Figura 80. Pestañas de trabajo CYPECAD

En entrada de pilares se añadirán las plantillas de trabajo y se definirán cuántos niveles tendremos, el uso que se le dará a cada uno y la altura de entrepiso, así como las columnas que conformen el proyecto.

En entrada de vigas se definirá el resto de la estructura: muros de contención, muros cortantes, trabes, losas, desniveles en los pisos, rampas, escaleras, cimentación y cargas adicionales que se consideren.

Introducción de plantillas

En la pestaña de entrada de pilares, localizada en la esquina superior izquierda de la pantalla, se mostrará un icono que nos servirá para añadir los layouts.

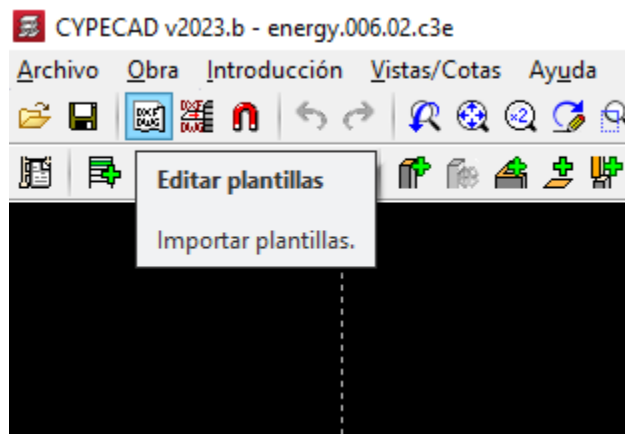


Figura 81. Importar plantillas

En seguida, se mostrará una ventana donde se seleccionará el símbolo “+”, ubicado en la esquina superior izquierda de la pantalla.

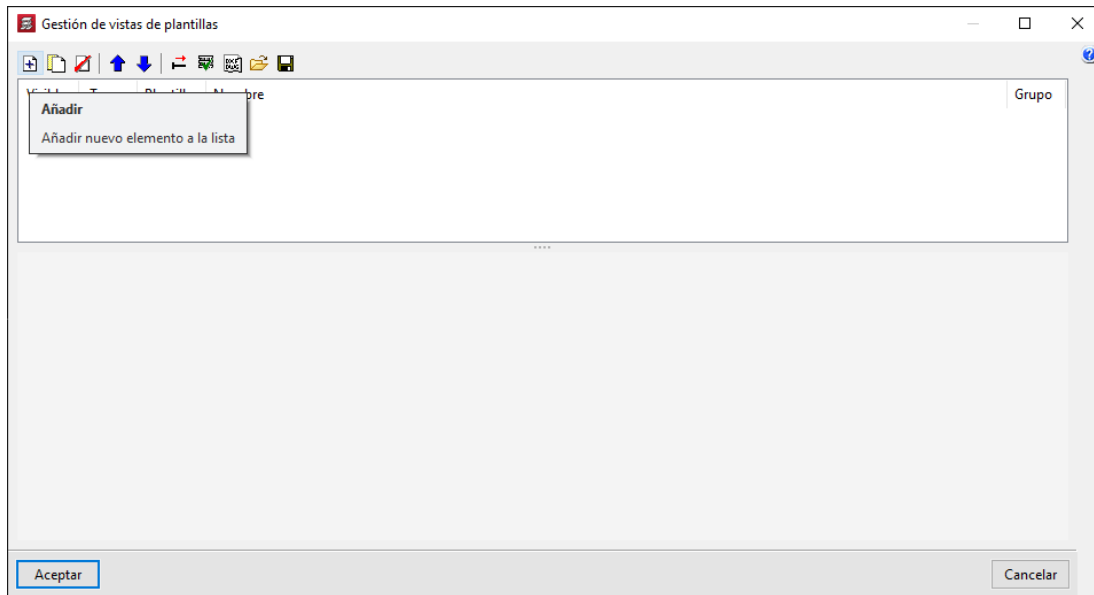


Figura 82. Gestión de vistas de plantillas

Posteriormente, se volverá a seleccionar el símbolo “+”, localizado del lado izquierdo de la pantalla, en la nueva ventana que se abrirá.

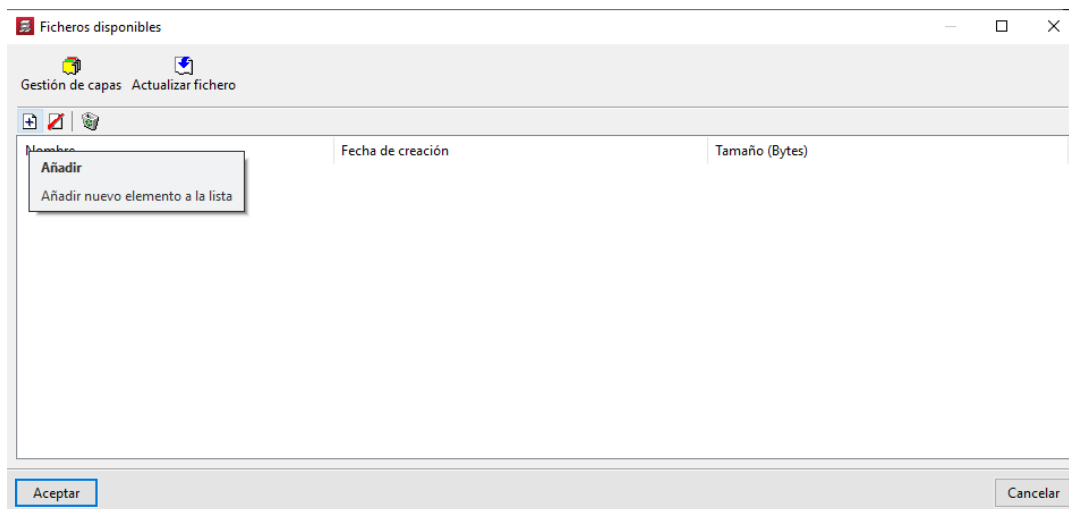


Figura 83. Ficheros disponibles

Tras ello, se abrirá el explorador de archivos, donde podremos seleccionar los archivos que deseemos cargar. En el caso del edificio Energy, es necesario cargar los archivos para el nivel de sótano C, sótano B, sótano A, planta baja, nivel 01, nivel 02 y azotea.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
ENERGY..ref01.PlantaSótanoC	07/06/2022 05:53 ...	Archivo DWG	63 KB
ENERGY.ref.00.plantaSotanoB	04/07/2022 02:54 ...	Archivo DWG	15,603 KB
ENERGY.ref02.PlantaSótanoA	26/05/2022 10:14 a...	Archivo DWG	272 KB
ENERGY.ref03.plantaBaja	27/05/2022 10:30 a...	Archivo DWG	764 KB
ENERGY.ref04.primerNivel	27/05/2022 10:27 a...	Archivo DWG	302 KB
ENERGY.ref04.primerNivelInstalaciones	16/08/2022 10:11 a...	Archivo DWG	882 KB
ENERGY.ref05.segundoNivel	27/05/2022 10:26 a...	Archivo DWG	322 KB
ENERGY.ref06.azotea	27/05/2022 10:32 a...	Archivo DWG	66 KB

Figura 84. Archivos DWG seleccionados para plantillas

Introducción plantas/grupos

En la misma pestaña “Entrada de pilares”, seleccionaremos la opción “Introducción”, seguido de “Plantas/Grupos”.

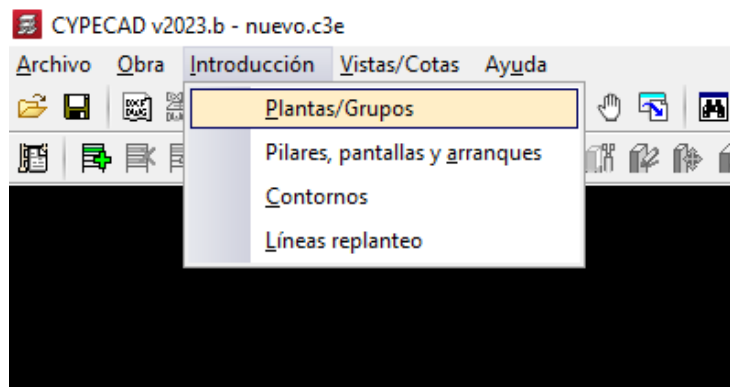


Figura 85. Introducción planta/grupos

Elegimos la opción “Nuevas plantas” y después “Sueltas”.

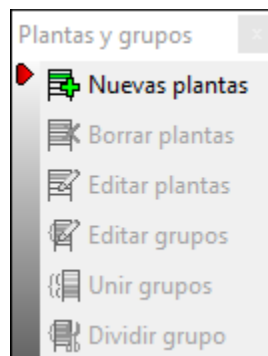


Figura 86. "Nuevas plantas"

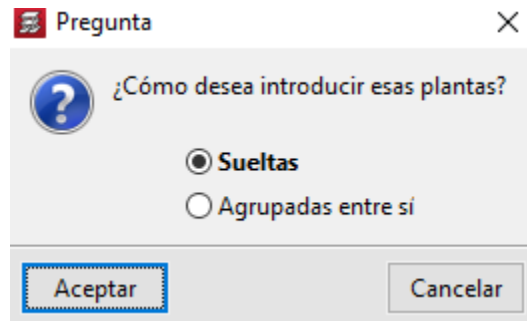


Figura 87. Condición de grupos

Primero, se deberá colocar el número de plantas a insertar; después se nombrarán y se les colocará la altura, la categoría de uso (habitación, estacionamiento, etcétera), carga viva (Q) y carga muerta (CM) a cada planta.

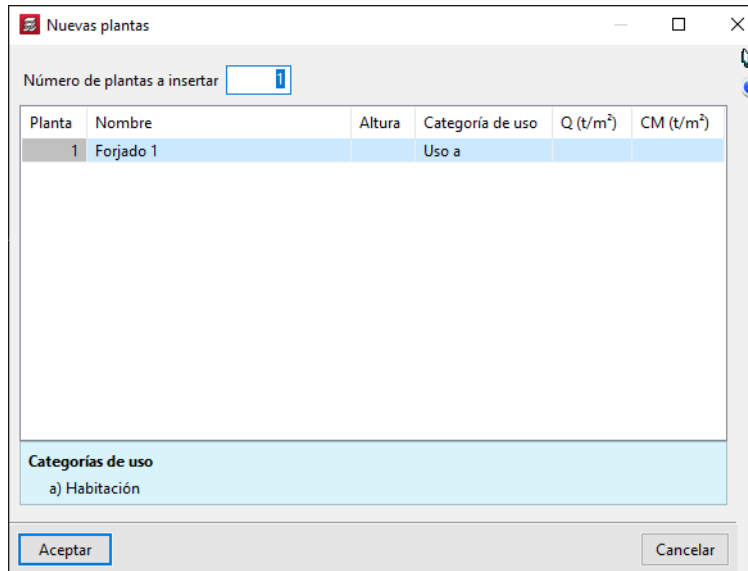


Figura 88. Introducción de nuevas plantas

Una vez definidos los niveles, damos clic en el botón "Aceptar" para habilitar la opción de editar grupos y plantas, en caso de que queramos modificar alturas, cargas o algún dato del nivel.



Figura 89. Menú de plantas y grupos

Introducción columnas

Los primeros elementos estructurales a modelar serán los verticales, como las columnas y los muros. Para introducir dichos objetos es necesario encender la plantilla del nivel más bajo, que previamente habíamos cargado junto con las plantillas de todos los niveles. De esta forma sabremos dónde estarán ubicadas las columnas y los elementos en general.

Seleccionaremos el icono resaltado en la figura 84 para escoger la plantilla que deseamos tener encendida.

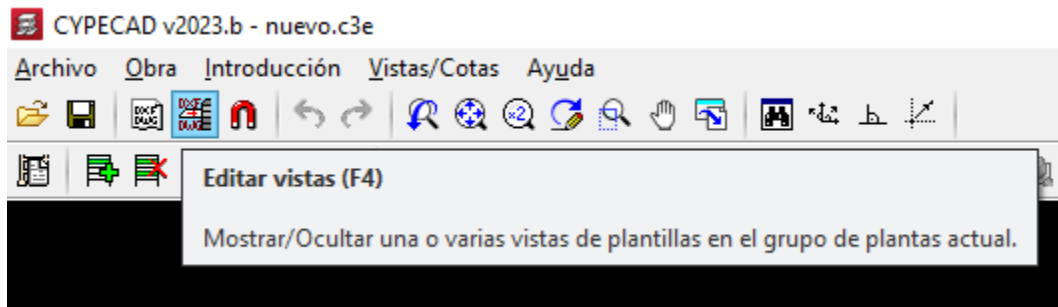


Figura 90. Editar vistas

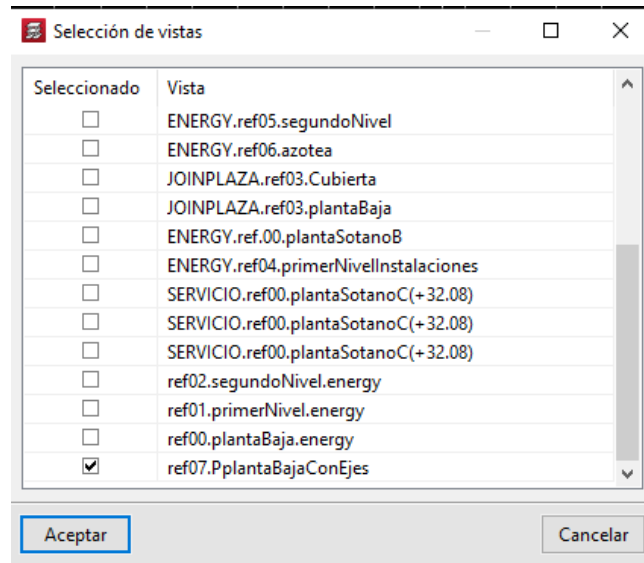


Figura 91. Selección de vistas

Una vez seleccionada la vista que deseemos visualizar, nos iremos a la opción “Introducción”, seguida de “Pilares, pantallas y arranques” y “Nuevo pilar”.

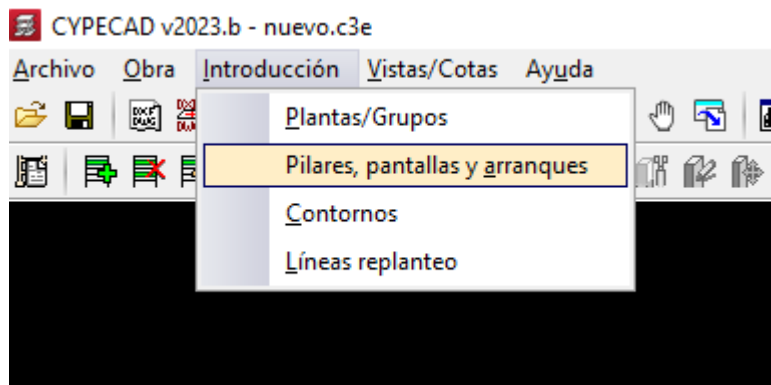


Figura 92. Pilares, pantallas y arranques

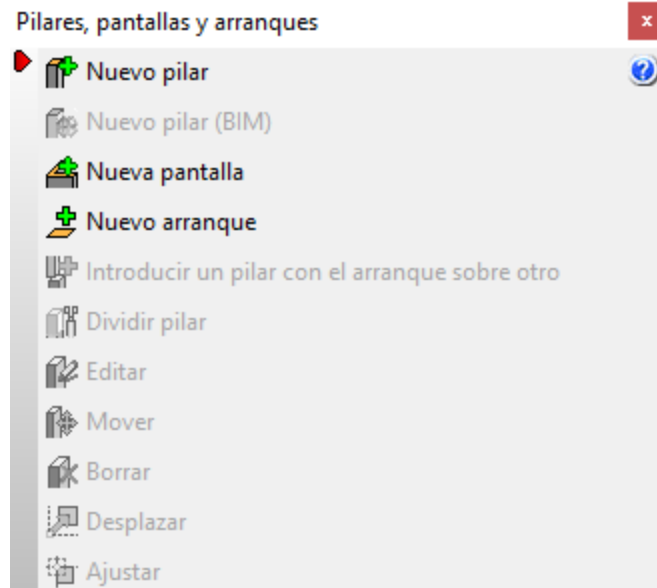


Figura 93. Nuevo pilar

Se mostrará una nueva ventana donde podremos definir el grupo inicial y final de la columna, el material y las dimensiones, así como distintos parámetros que se pueden modificar para un correcto análisis de cada elemento.

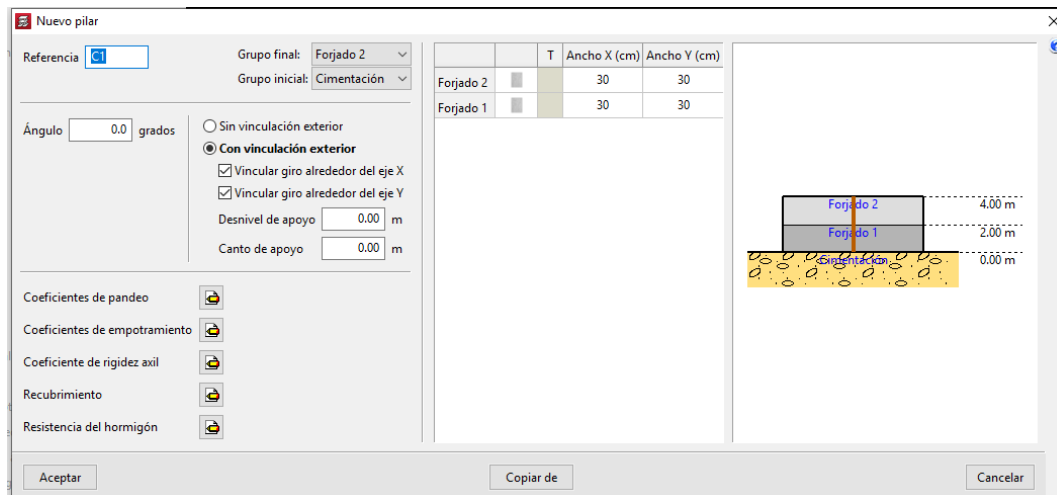


Figura 94. Configuración nuevo pilar

Una vez establecidos los valores para los parámetros, damos clic en “Aceptar” y podremos seleccionar algún punto donde queramos colocar la columna. Se repetirá este proceso con todas las columnas que se necesiten en el proyecto.

Introducción muros

Para la introducción de muros, nos colocamos en la pestaña “Entrada de vigas”, donde tendremos una ventana con las columnas previamente cargadas. En esta pestaña accederemos a todos los niveles para una mayor agilidad en la edición.

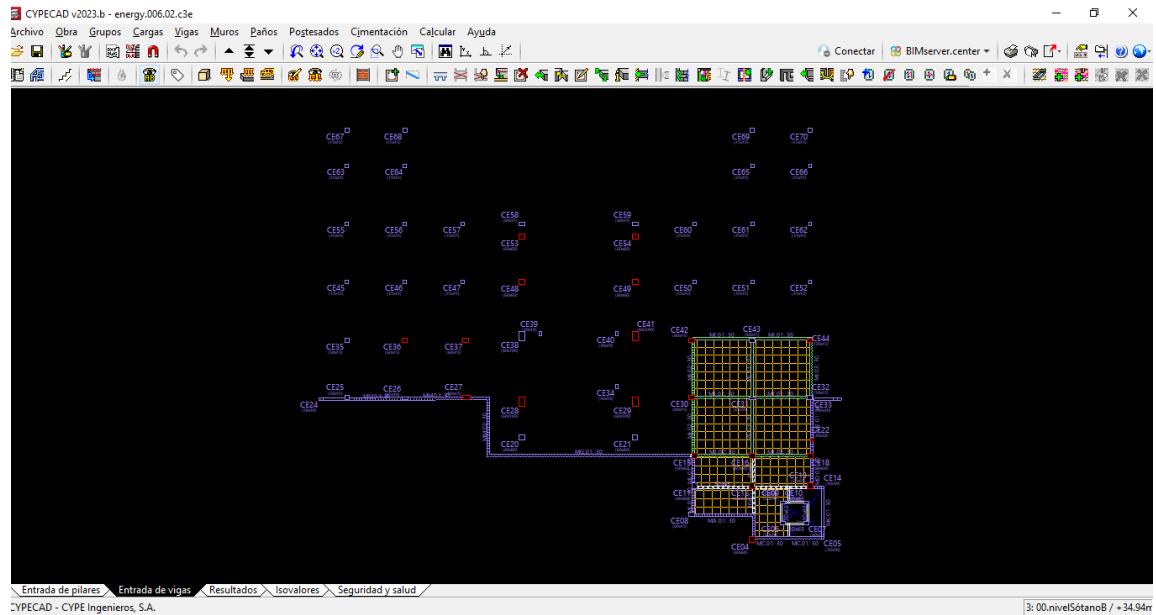


Figura 95. Pestaña entrada de viga

El modelado de muros, al ser un elemento vertical, es similar al modelado de columnas. Se selecciona la opción “Muros” y, en seguida, “Entrar muro”.

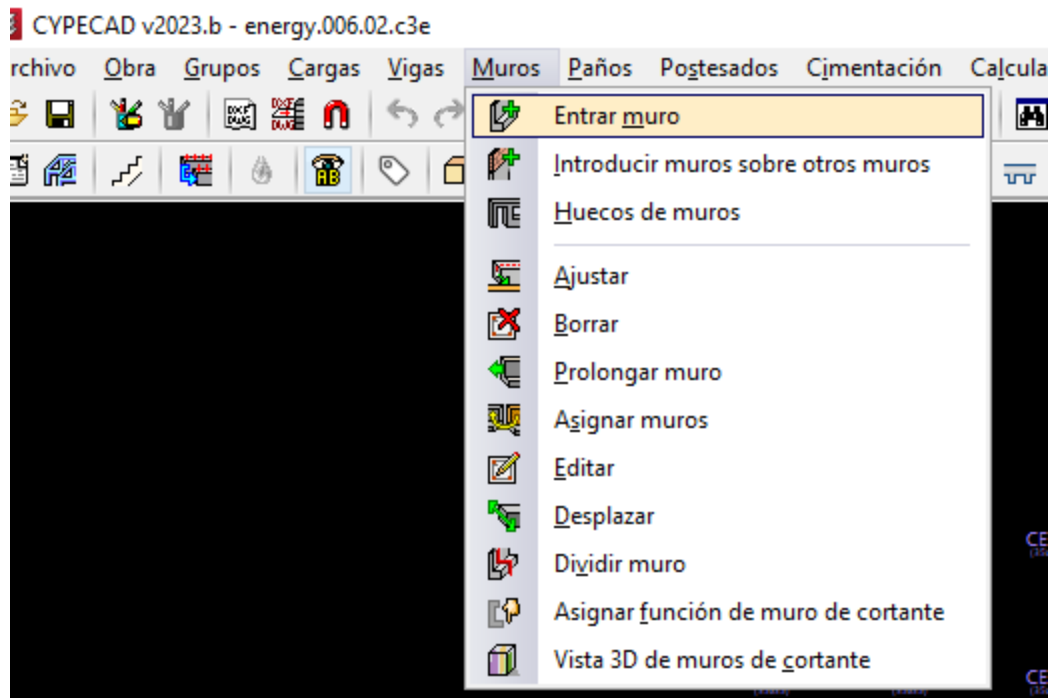


Figura 96. Entrar muro

A continuación, se podrá elegir el tipo de muro que se quiera utilizar. En el caso de Energy, todos los muros de contención y de corte usados fueron de hormigón armado (concreto reforzado).

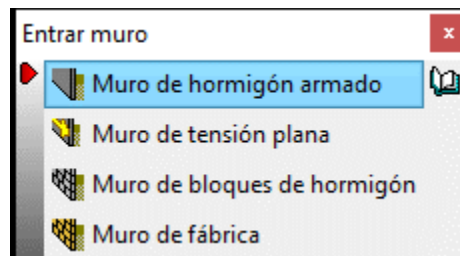


Figura 97. Selección tipo de muro

Tal como se realizó con las columnas, para los muros deberemos definir el grupo inicial y final del elemento. Ahí mismo podremos definir el espesor del muro, los empujes de tierra (muros de contención), el tipo de cimentación que le queramos asignar y sus respectivas dimensiones.

Muro de hormigón armado

Referencia:


Hasta: 02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy) ▾

Desde: 00.Cimentación Sotano C / +30.88mts ▾

Muro de cortante

Planta	Izquierda	Derecha	Viga embebida	Izquierda	Derecha
02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	0.150	0.150	Con las características generales ▾	0.000	0.000
01.nivelSótanoA / +37.80mts	0.150	0.150	Con las características generales ▾	0.000	0.000
00.nivelSótanoB / +34.94mts	0.150	0.150	Con las características generales ▾	0.000	0.000
00.Cimentación SotanoB / +33.74mts	0.150	0.150	Con las características generales ▾	0.000	0.000
00.nivel Sótano C / +32.08mts	0.150	0.150	Con las características generales ▾	0.000	0.000

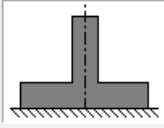
Leyes de presiones: No se ha definido ninguna ley de presiones

Con coeficiente de rigidez axial diferente 

Cimentación

Zapata corrida sin interacción terreno-estructura ▾

Sólo vuelo a la izquierda
 Sólo vuelo a la derecha
 Vuelo a ambos lados



Canto: cm

Vuelos: / cm

Aceptar Copiar de Muro Cancelar

Figura 98. Configuraciones de muro de concreto armado

Una vez que se hayan configurado todos los valores, se da clic en “Aceptar” y se mostrará la ventana principal de “Entrada de vigas”, donde se tendrá que encender nuevamente la plantilla que se desee para saber la ubicación de los muros a colocar. Al conocer la posición del muro, se da clic sobre dos puntos, los cuales serán el punto inicial y el punto final en una vista de planta.

Introducción trabes

En este apartado se introducirán todas las trabes, los elementos de borde, las trabes secundarias y los zunchos.

En la pestaña de entrada de vigas, ubicada en la parte central superior, se muestra la figura para introducir una trabe, misma que se selecciona:

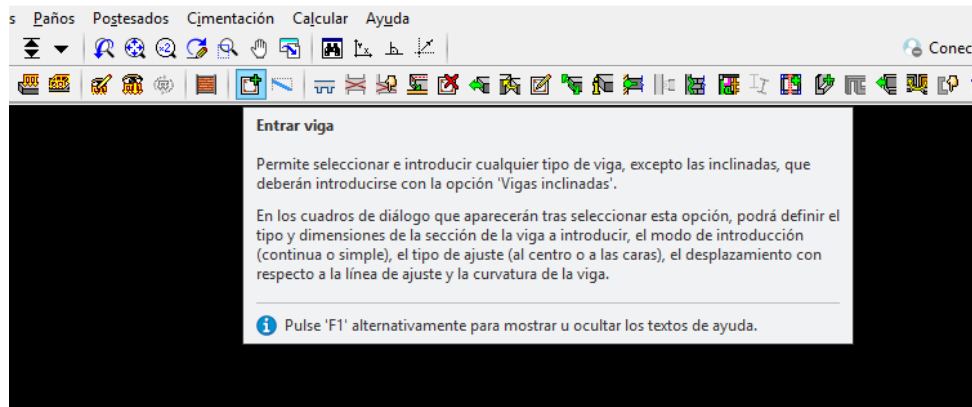


Figura 99. Entrar viga

Al seleccionar la opción “Entrar viga”, se abrirá una nueva ventana donde se podrá seleccionar el tipo de trabe que se desea colocar. En este caso, utilizamos trabes descolgadas, al ser el tipo más convencional en México. Se indican las dimensiones elegidas; para este edificio utilizamos en su mayoría secciones de 30 x 65, salvo alguna excepción que no cumpla con los requerimientos solicitados por las cargas o los claros a cubrir.

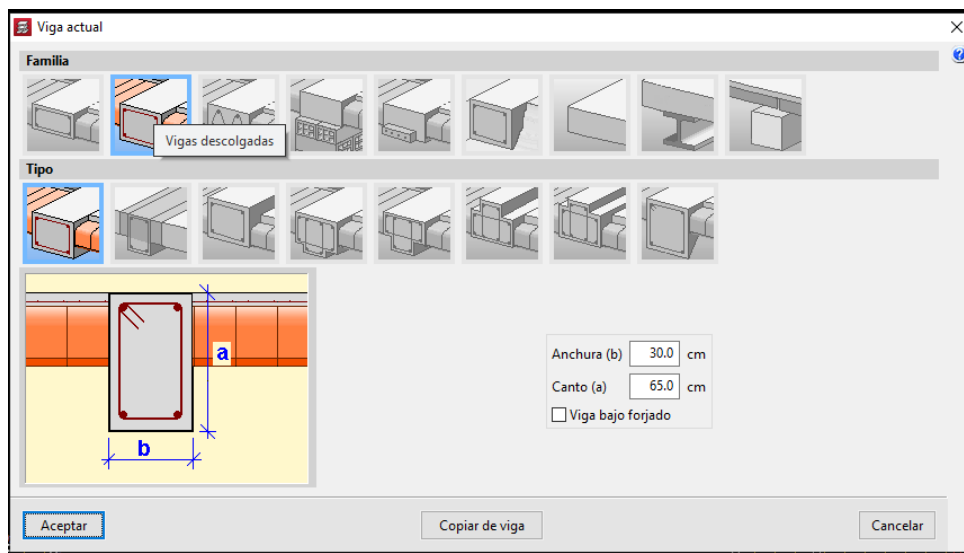


Figura 100. Selección tipo de trabe

Una vez definida la trabe, se da clic en “Aceptar”, con lo cual regresaremos a la pantalla de dibujo, donde se selecciona un punto inicial y un punto final de la trabe. Comúnmente el inicio y el fin de estos elementos son columnas; en caso de ser trabes secundarias o elementos de borde, se debe seleccionar como punto inicial alguna otra trabe donde esta se apoyará.

Introducción losa

Las losas serán modeladas cuando los tableros de nuestro proyecto hayan sido delimitados. El espacio hábil para colocar una losa será indicado con un signo de interrogación dentro de un círculo amarillo (figura 101).

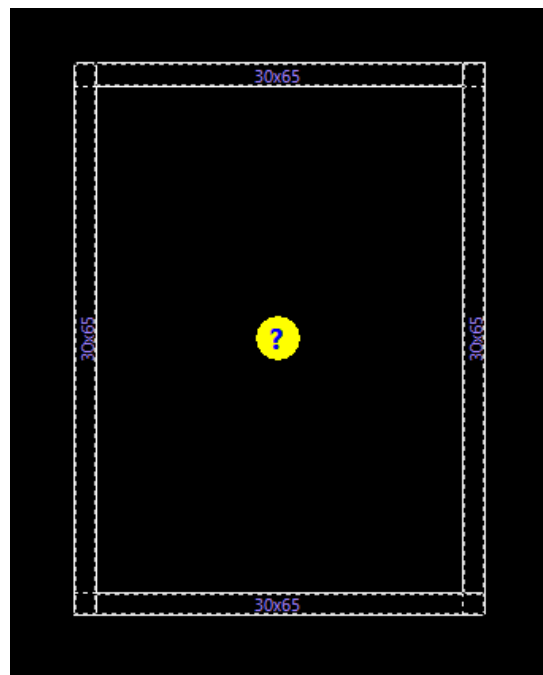


Figura 101. Tablero hábil para definir un tipo de losa

Nuevamente, en la pestaña “Entrada de vigas”, ubicada en la barra de herramientas, en la parte superior de la pantalla, se seleccionará la opción “Entrar paño”.

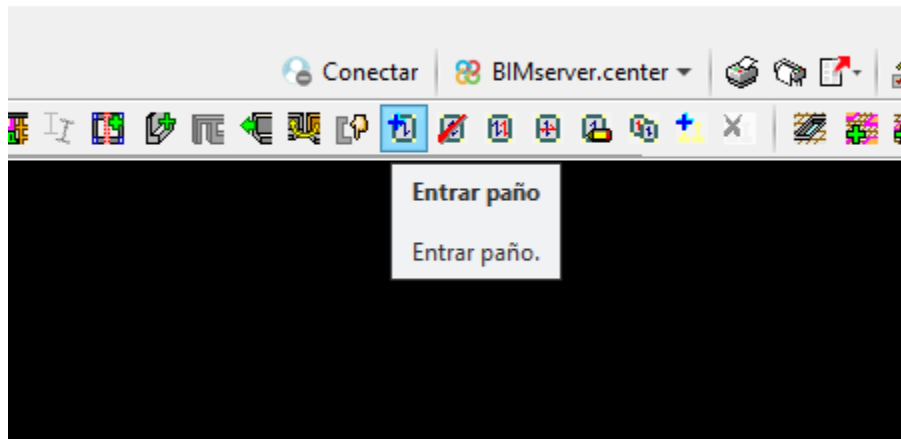


Figura 102. Entrar paño

Al dar clic en el botón “Entrar paño” se mostrará una pestaña en la que elegiremos el tipo de losa deseado. Para el caso del edificio Energy, utilizamos losa casetonada de 20 + 5 cm de peralte con interje de 92 cm y ancho de nervio de 12 cm (figura 102), y losa a base de viguetas y bovedillas *in situ* de 20 + 5 cm con interje de 92 cm (figura 103).

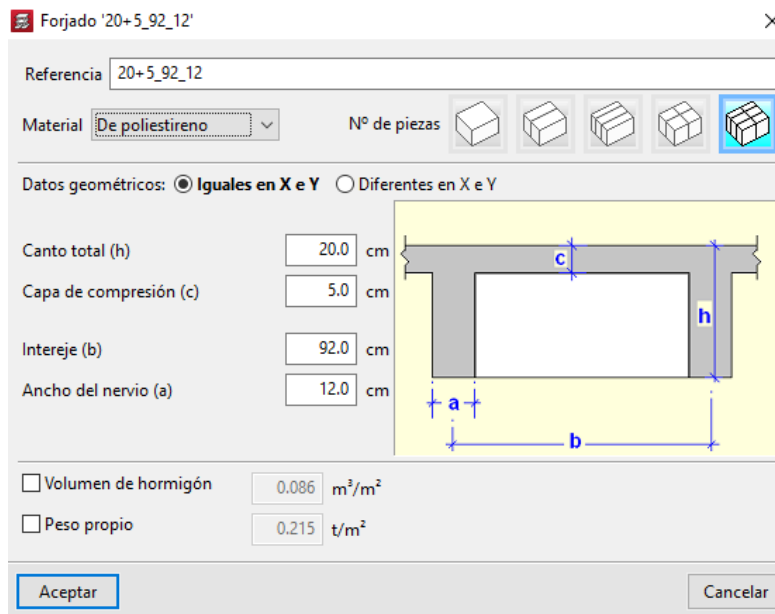


Figura 103. Losa casetonada 20+5 92/12

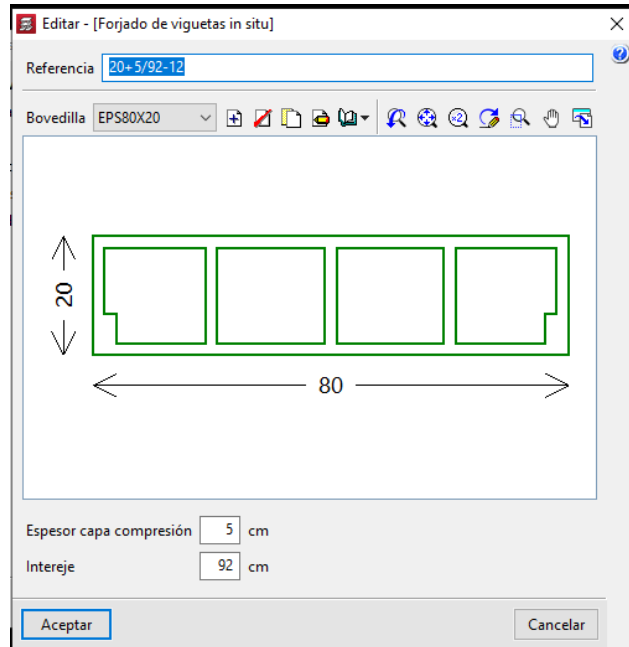


Figura 104. Viguetas y bovedilla in situ 20+5 92

Una vez definidos los parámetros de losa, se selecciona la que se desea colocar en ese momento. Para ello, se dará clic en los tableros, los cuales se marcarán con un símbolo de interrogación dentro de un círculo amarillo, acción que definirá ese tipo de losa sobre ese tablero.

Introducción desniveles

Por arquitectura, en ocasiones es requerido algún desnivel en las plantas. Tal fue el caso de la mayoría de los edificios de “Wen Living”. Para los balcones, por ejemplo, se solicitó que estuvieran 10 cm por debajo del nivel del piso terminado del interior de los departamentos para evitar filtraciones de agua en caso de lluvia.

Para definir un desnivel es importante delimitar la zona que se requiera, de ser necesario, con trabes secundarias. Una vez delimitada la zona, nos dirigimos a la opción “Grupos”, seguida de “Forjados inclinados/Desniveles”, ubicada en la parte superior izquierda de la pantalla.

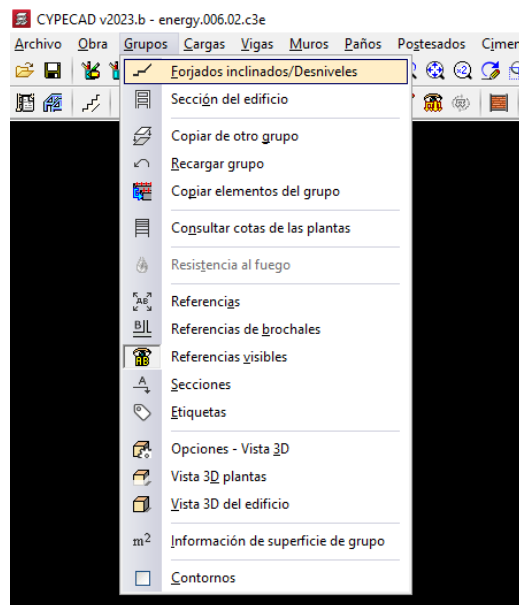


Figura 105. Forjados inclinados/Desniveles

En la pestaña que se abrirá, se mostrarán los desniveles definidos. En un inicio solo estará el plano horizontal principal con el que se definió la planta; posteriormente se agregará un nuevo desnivel al presionar el símbolo “+”, ubicado en la parte superior izquierda de la ventana de desniveles.

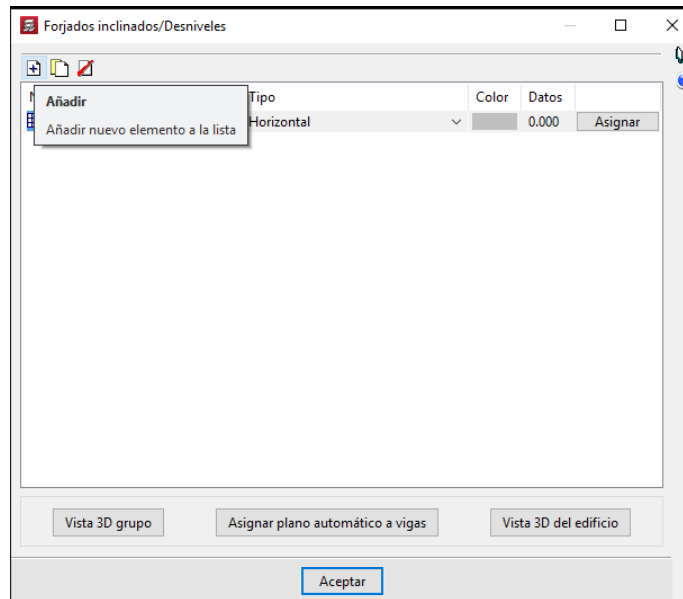


Figura 106. Añadir nuevo desnivel

Se mostrarán opciones de distintos tipos de desniveles/inclinaciones; en este caso, seleccionaremos la opción de desnivel horizontal, le asignaremos un nombre y definiremos el desnivel que requiramos.

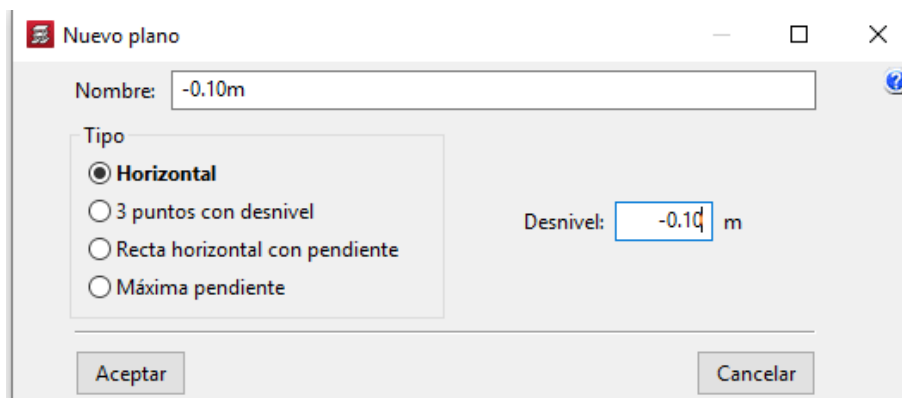


Figura 107. Definir nuevo plano

A los paños deseados se les asignará el desnivel creado al dar clic en “Aceptar”; posteriormente se seleccionarán los tableros que lleven dicho desnivel.

Introducción cargas

Si bien se le han asignado cargas vivas y cargas muertas a cada planta del edificio, se deben agregar las cargas lineales y superficiales faltantes; tal es el caso de muros de fachada, muros divisorios, jardineras, paneles solares y demás equipos/maquinaria que se considere dentro de la arquitectura.

Para asignar una carga, nos dirigimos al icono que se indica en la figura 108.

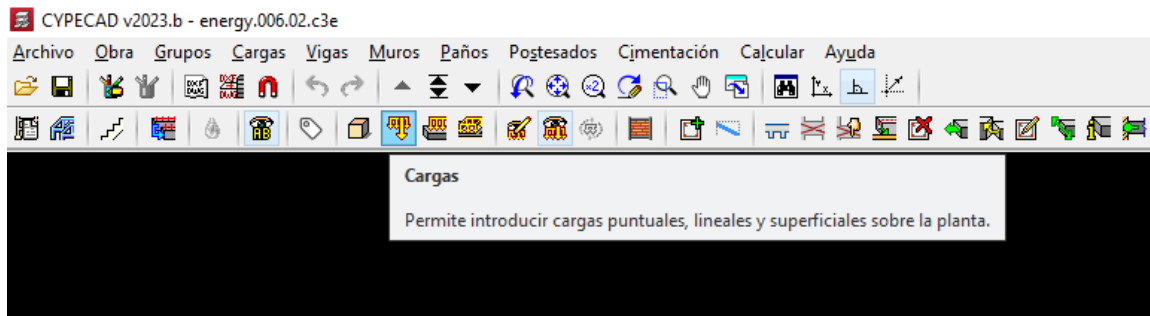


Figura 108. Introducción de cargas

Una vez seleccionada la opción “Cargas”, aparecerá la opción de agregar cargas puntuales, lineales o superficiales. Las cargas lineales se colocarán con unidades de ton/m y las superficiales con t/m².

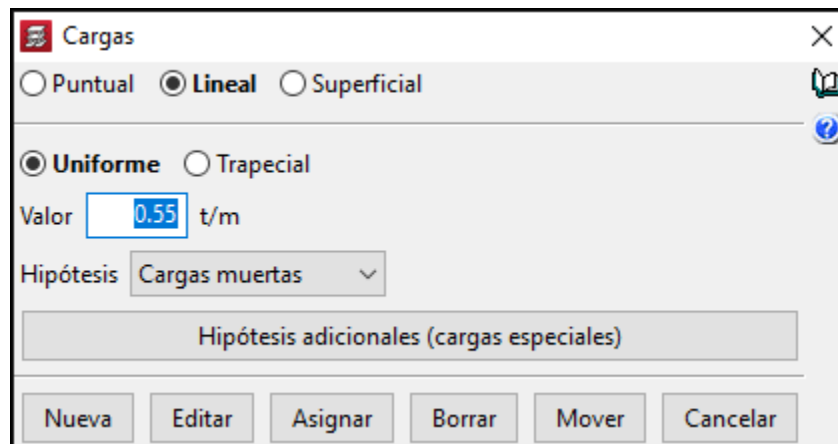


Figura 109. Definir cargas

Al seleccionar la opción “Nueva”, se mostrará la ventana de dibujo, en la cual se podrá asignar la carga definida previamente. Al igual que una trabe o un muro, se seleccionará un punto inicial y un punto final de la carga lineal; para el caso de la carga superficial, se colocarán distintos puntos, dependiendo de la geometría que se quiera crear.

Con la asignación de cargas, finaliza la parte del modelado geométrico, con lo que podemos dar paso a la siguiente fase: calcular la obra para analizar e interpretar los resultados.

d) Prediseño del modelo y análisis

El primer paso para poder calcular la obra es verificar que no haya errores geométricos en el modelado que impidan una correcta interpretación en el análisis.

Se seleccionará la opción “Calcular”, seguida de “Comprobar geometría de todos los grupos”.

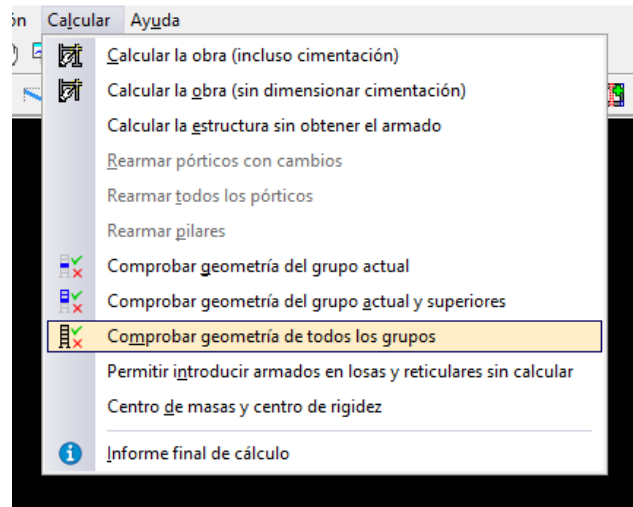


Figura 110. Comprobación geometría estructura

Una vez que el programa no arroje errores de geometría, se procede con el cálculo de la obra sin dimensionar cimentación.

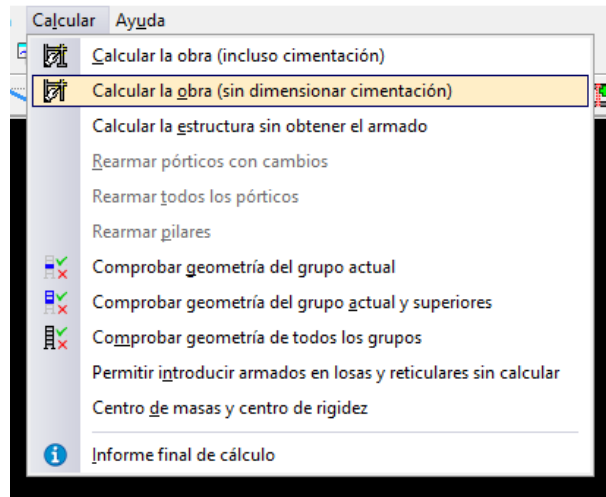


Figura 111. Calcular la obra (sin dimensionar cimentación)

Cuando el programa termine de calcular la obra, arrojará un informe de errores e incidencias. Posteriormente, se revisan distintos aspectos de la estructura, que a continuación se describirán en apartados:

Corrección de periodo fundamental de la estructura

Después de haber calculado por primera vez la obra, el primer punto a revisar es el periodo fundamental de la estructura, que es aquel que provoca un desplazamiento de la masa 30 % o mayor.

Para consultar el periodo arrojado por el software, se seleccionará el icono de impresora, ubicado en la esquina superior derecha de la pantalla principal.

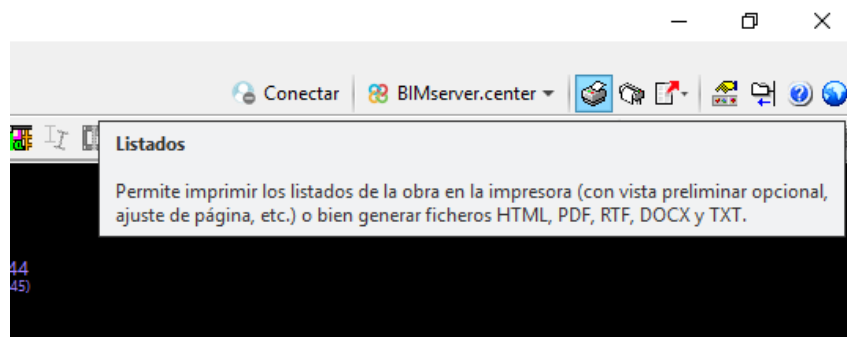


Figura 112. Icono de listados CYPECAD

Al seleccionar el icono, se mostrarán las diversas opciones que CYPECAD nos ofrece de información de la obra en forma de listado. Elegiremos la opción “Justificación sísmica”.

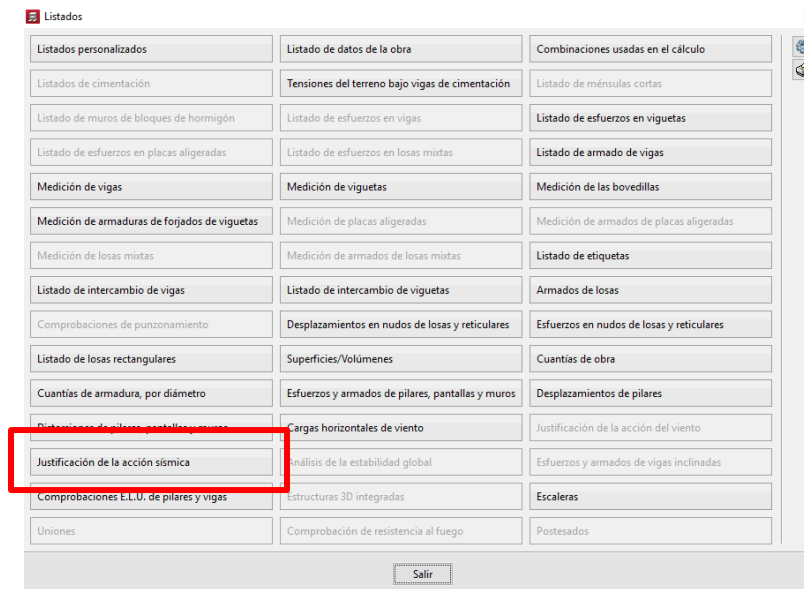


Figura 113. Listado de justificación de acción sísmica

A continuación, se abrirá un documento que mostrará todos los datos de la obra, relacionado con su situación sísmica (Anexo C). En ese documento se encontrarán los datos acerca de los modos de sismo, centros de masa, excentricidades, así como el periodo fundamental de la estructura (imagen 114).

Hipótesis Sismo X1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo2	0.848	0.100

Hipótesis Sismo Y1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo3	0.708	0.140

Figura 114. Periodos fundamentales de la estructura

Para el sentido X tenemos un periodo de 0.884 seg. y para el sentido Y, 0.708 seg. Estos periodos se capturarán en la parte “Datos generales de la obra” > “Acción de sismo” > “Estimación del periodo fundamental de la estructura”.

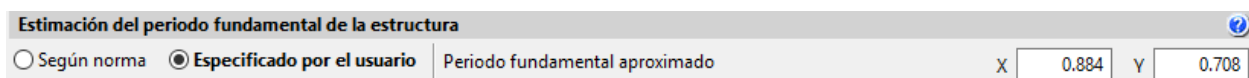
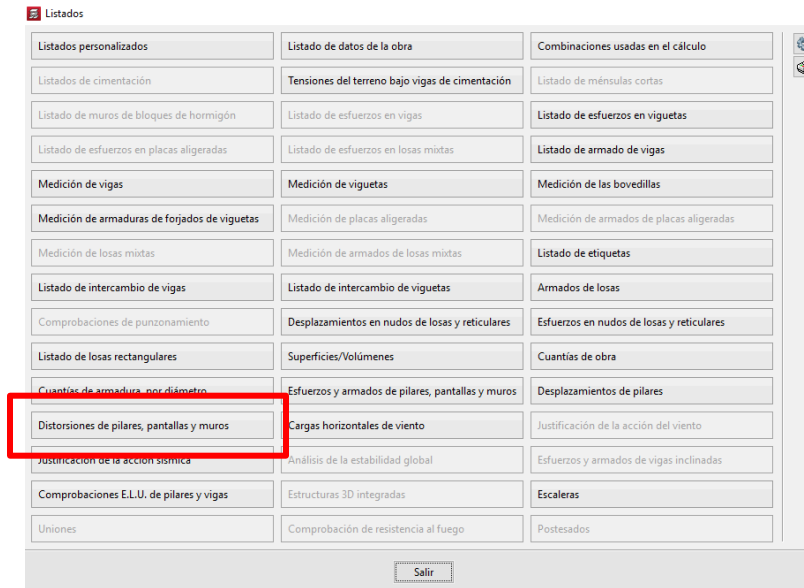


Figura 115. Introducción de periodo en CYPECAD

Revisión distorsiones columnas y muros

Para garantizar un comportamiento adecuado de la estructura ante un sismo debemos revisar las distorsiones que esta presenta ante una situación desfavorable.

Nuevamente seleccionamos el icono de listados en la pantalla principal, pero esta vez abriremos el documento “Distorsiones de pilares, pantallas y muros”.



Revisamos las distorsiones máximas presentes –comúnmente estas se presentan en situación sísmica– que no deberán sobrepasar la establecida por la normativa aplicable.

En este caso, la tabla 3.5 del *Manual de diseño por sismo* de la CFE indica que para una estructura a base de marcos rígidos de concreto con ductilidad limitada (ductilidad baja) deberá tener una distorsión máxima de 0.015.

SISTEMA ESTRUCTURAL	Q	DISTORSIÓN
Marcos dúctiles de concreto reforzado	4	0.030
	3	0.025
Marcos dúctiles de acero	4	0.030
	3	0.025
Marcos dúctiles de sección compuesta de acero y concreto reforzado	4	0.030
	3	0.020
Marcos de acero, de concreto reforzado o compuestos de ambos materiales con ductilidad intermedia	1.25	0.008
Marcos de acero, de concreto reforzado o compuestos de ambos materiales con ductilidad limitada	2	0.015
Marcos con losas planas sin muros o contravientos	2	0.015
Marcos de acero con contravientos excéntricos	4	0.020
Marcos de acero, de concreto reforzado o compuestos de ambos materiales con contravientos concéntricos	3	0.015
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto reforzado, o de placa de acero, o compuestos con los dos materiales o muros de madera contrachapada	3	0.015
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	2	0.008
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla	2	0.006
Muros diafragma	2	0.006
Muros de carga de mampostería combinada y confinada	2	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior, o muros de madera de duela	1.5	0.004
Muros combinados con marcos de concreto reforzado con ductilidad limitada	1.5	0.010
Muros de carga de mampostería confinada de bloques huecos de concreto	1.25	0.003
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	1.25	0.002

Figura 116. Distorsiones permisibles de entrepiso

Si tenemos distorsiones mayores a las permisibles, se tendrá que rigidizar más la estructura, ya sea con aumento de sección en las columnas, añadir muros cortantes, contraventeos, entre otras.

Revisaremos los desplomes máximos de los pilares: en dirección X tenemos la distorsión más desfavorable de 1/6711 (0.000149) y en dirección Y, 1/6654 (0.00015), siendo estos menores que 0.015, por lo que se cumple con el criterio (Anexo D).

Desplome total máximo de los muros (Δ / H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
----	----	1 / 6711 (MO.02)	1 / 6654 (MP.01)

Notas:
⁽¹⁾ Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.

Figura 117. Desplome local máximo de los pilares

Una vez cumplida esta revisión, se puede proseguir con las siguientes.

Revisión deformaciones estructura

En la pestaña “Resultados” seleccionaremos el icono “Deformada”, ubicado en la parte central superior de la pantalla.

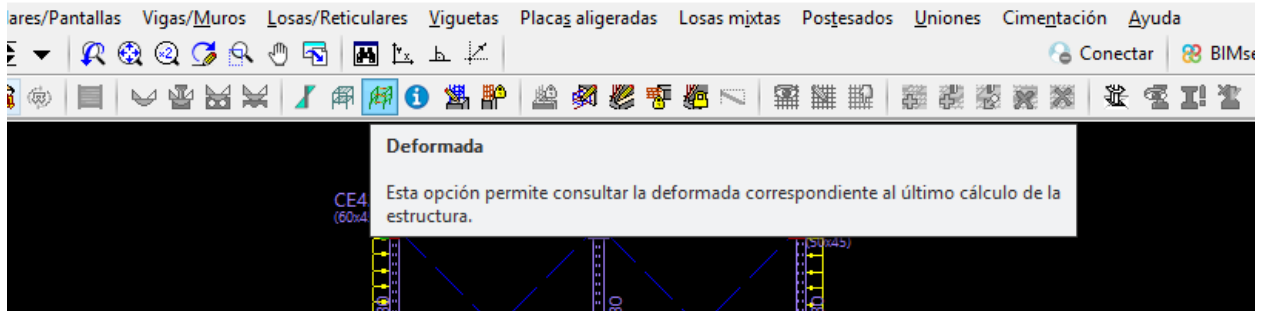


Figura 118. Deformada.

Revisamos de forma general las deformaciones que puedan tener algunos elementos; con ello nos podemos dar cuenta de cómo funcionan los elementos individualmente, antes de revisar uno por uno. Se revisará por peso propio, por acción de viento en dirección X y Y, por acción de sismo en dirección X y Y, y la combinación de todas estas acciones, considerando la combinación más desfavorable. En el Anexo E se pueden ver todas las combinaciones consideradas para el proyecto.

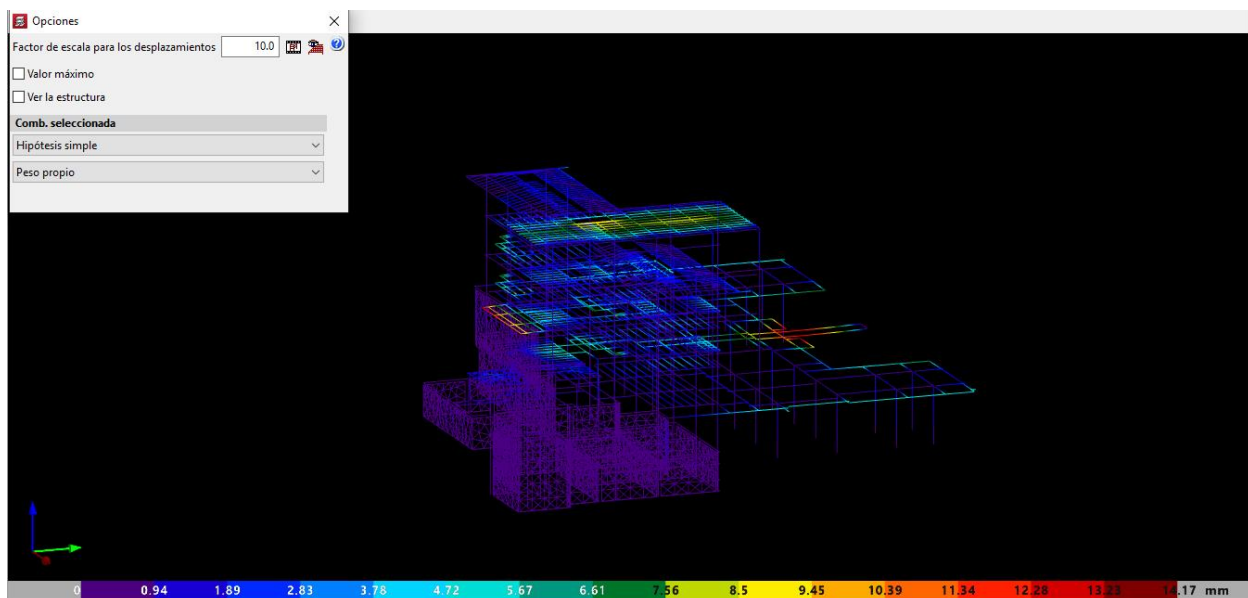


Figura 119. Deformada de la estructura por peso propio

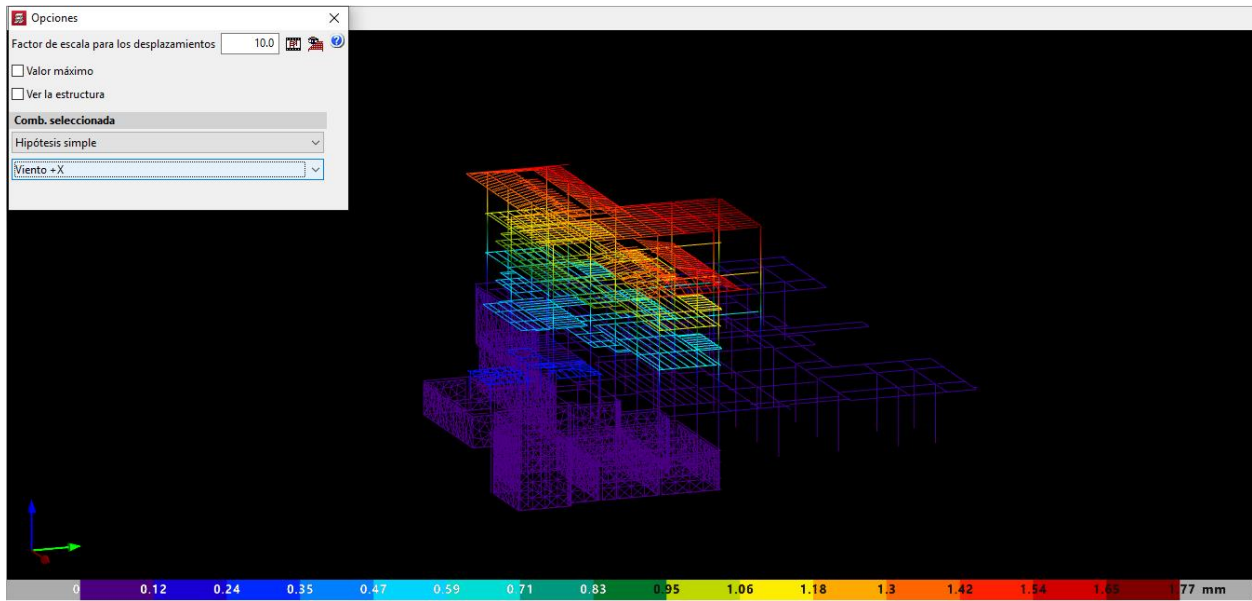


Figura 120. Deformada por acción de viento en dirección X

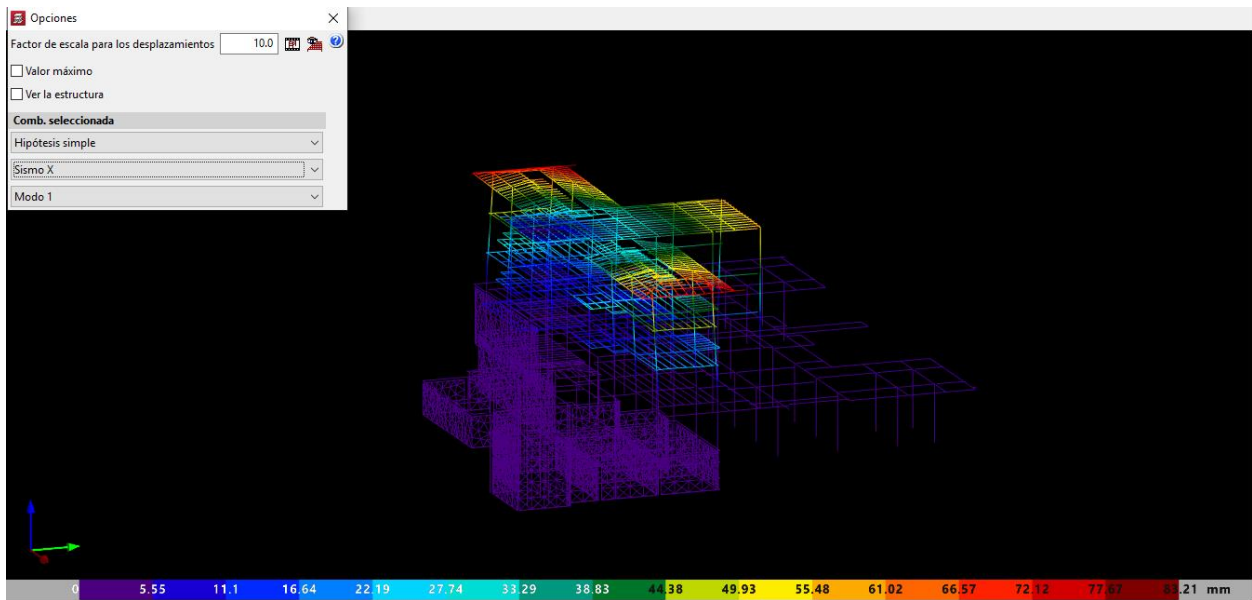


Figura 121. Deformada por acción de sismo en dirección X

Revisión secciones columnas

Para la revisión de columnas se selecciona el icono mostrado en la figura 122 dentro de la pestaña "Resultados"; a continuación, se da clic sobre la columna que se desea revisar.

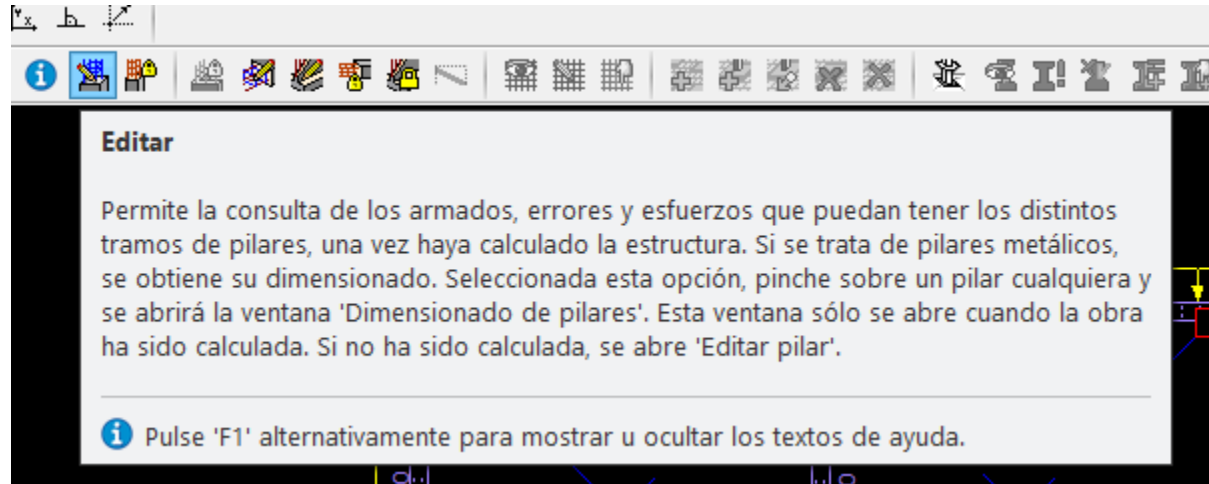


Figura 122. Botón de edición de columnas

Se mostrará una nueva ventana con un listado de todas las columnas de la obra, así como un croquis que muestra la ubicación de las mismas y una tabla de edición para configurar la sección y el armado de refuerzo de acuerdo con el criterio del estructurista.

Edición del armado

Rev. Bto.	Pilares	Cum. Plantas	Descripción	Dimensión		Armado longitudinal			Armado transversal		As/Ac (%)		
				X (cm)	Y (cm)	Esquinas	Cara X	Cara Y	Cercos	Separación			
CE01	✓	02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy) - 03.1 Nivel	02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	1.3 m	0 m	4	#5	8	#5	#3	10	1.1	✓
CE02	✓	02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy) - 03.1 Nivel	01.nivelSótanoA / +37.80mts	-2.2 m	0 m	4	#5	8	#5	#3	21	1.1	✓
CE03	✓	01.nivelSótanoA / +37.80mts - 02.nivelPlantaBaja / -	00.nivelSótanoB / +34.94mts	-5.06 m	0 m	4	#5	8	#5	#3	10	1.1	✓
CE04	✗	00.Cimentación Sotano C / +30.88mts - 02.nivelPla	00.Cimentación SotanoB / +33.74mts	-6.26 m	0 m	4	#5	8	#5	#3	21	1.1	✓
CE05	✓	00.Cimentación Sotano C / +30.88mts - 02.nivelPla	00.nivel Sótano C / +32.08mts	-7.92 m	0 m	4	#5	8	#5	#3	10	1.1	✓
CE06	✓	00.Cimentación Sotano C / +30.88mts - 03.1 Nivel	00.Cimentación Sotano C / +30.88mts - 02.nivelPla	-9.12 m	0 m	4	#5	8	#5	#3	3	1.1	✓

Resumen de las comprobaciones

Pilar	Posición	Disp.	Comprobaciones				Aprov. (%)	Combinación	Comp.	Esfuerzos pésimos						Eq.	Com.	
			Q	N/M (%)	Sism.	Cap.				N	Max (0+)	Mxy (0+)	Qx (0+)	Qy (0+)	Max (0+)			Mxy (0+)
CE11	Cabeta	✓	51.0	9.8	N.P.	✓	94.8	1.1PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.335X+1.15Y	Q.S.N.L.	-34.2	8.0	28.2	-21.0	49.8	8.0	28.2	✓	✗
	0.233 m	✓	94.8	15.7	N.P.	✓	94.8	1.1PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.335X+1.15Y	Q.S.N.L.	-117.3	9.2	29.9	-35.8	86.2	9.2	29.9	✓	✗
	Pie	✓	94.6	16.1	N.P.	✓	94.8	1.1PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.335X+1.15Y	Q.S.	-115.0	29.3	21.5	-35.8	86.2	29.3	21.5	✓	✗
	-0.6 m	✓	55.4	10.1	N.P.	✓	55.4	1.1PP+1.1-CM+0.335X+1.15Y	N.M.S.	-121.7	28.6	19.2	-30.9	83.8	28.6	19.2	✓	✗

Figura 123. Edición de columnas

Para establecer un armado óptimo, debemos asegurarnos que la columna tenga un aprovechamiento lo más cercano a 100 %, así como una relación de área de acero/área de concreto aproximada a 1.

Al hacer cambios en el armado y sección de la columna es posible que ya no se cumpla alguna comprobación de la normativa; por eso, se revisarán constantemente cada que se haga una modificación. En la figura 124 se señala el apartado para poder abrir el listado de comprobaciones.

Aprov. (%)	Combinación	Comp.	N (kN)	Mxx (kN-m)	Myy (kN-m)	Qx (kN)	Qy (kN)	Mxx (kN-m)	Myy (kN-m)	Eq.	Com.
94.8	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.,N...	-34.2	8.0	28.2	-21.0	49.8	8.0	28.2		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.,N...	-117.3	9.2	29.9	-35.8	86.2	9.2	29.9		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.	-115.0	29.3	21.5	-35.8	86.2	29.3	21.5		
	1.1-PP+1.1-CM+0.33-SX+1.1-SY	N,M S.	-121.7	28.6	19.2	-30.9	83.8	28.6	19.2		
55.4	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.	-88.6	-8.0	15.8	-22.7	51.1	-8.0	15.8		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	N,M S.	-88.3	-7.9	15.9	-22.5	51.2	-7.9	15.9		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.	-85.0	10.8	7.5	-22.7	51.1	10.8	7.5		
	1.1-PP+1.1-CM+0.33-SX+1.1-SY	N,M S.	-90.1	10.7	6.8	-19.1	48.9	10.7	6.8		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.	-120.4	0.7	-9.9	-13.7	41.8	0.7	-9.9		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	N,M S.	-120.4	0.7	-9.9	-13.7	41.8	0.7	-9.9		
	1.1-PP+1.1-CM+0.578947-Qa+0.33-SX+1.1-SY	Q S.,N...	-112.4	-7.6	-20.1	-11.4	23.1	-7.6	-20.1		

Figura 124. Comprobaciones columnas

Es importante recalcar que en esta fase de estudios no se establecerá el armado de refuerzos, solo se buscarán las secciones óptimas y se comprobará que funcionen. Una vez que se consiga obtener secciones óptimas, se continúa con la revisión de los demás elementos estructurales.

En el Anexo F se adjuntan todas las comprobaciones que se deben satisfacer de acuerdo a la normativa aplicada a estructuras de concreto (columnas).

Revisión secciones traves

Al igual que las columnas, en las traves se deben encontrar las dimensiones más favorables para el proyecto, considerando que muchas veces se tiene limitante en el peralte por cuestiones arquitectónicas.

Para revisar las comprobaciones, se seleccionará el icono mostrado en la figura 125, se abrirá una ventana que muestra una vista lateral de la trabe seleccionada con la opción de editar el armado longitudinal y transversal.

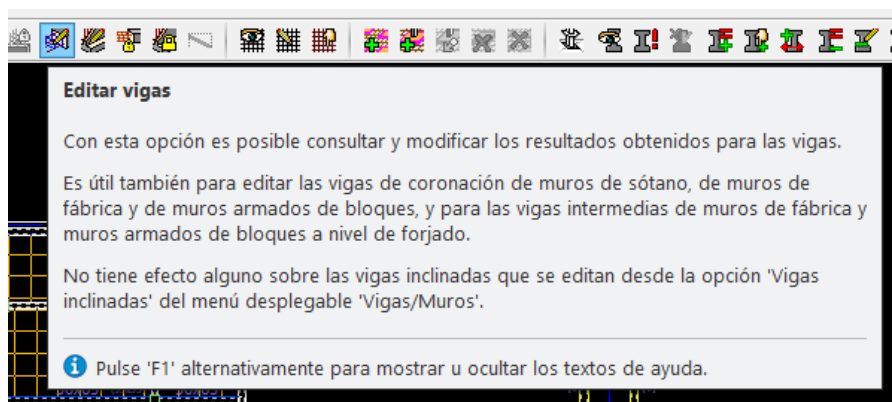


Figura 125. Botón de edición de traves

En la nueva ventana podremos observar un croquis de todas las traves de la planta seleccionada, gráficas de esfuerzos, gráficas de áreas de armaduras y más configuraciones que nos permiten realizar un mejor diseño.

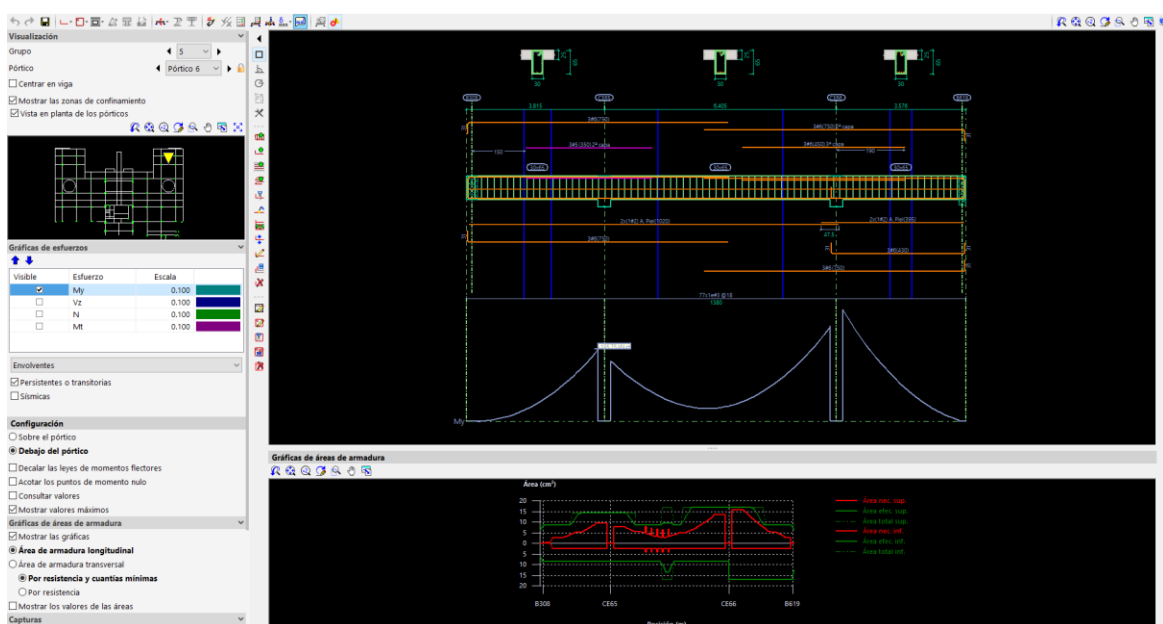


Figura 126. Edición de traves

Se buscará obtener la sección que cumpla con todas las comprobaciones establecidas por la normativa. En la fase de estudios no se diseñará el armado de los refuerzos, puesto que para esta parte del proyecto es suficiente llegar a las dimensiones óptimas.

Para acceder a las comprobaciones se dará clic en el icono mostrado en la figura 127.

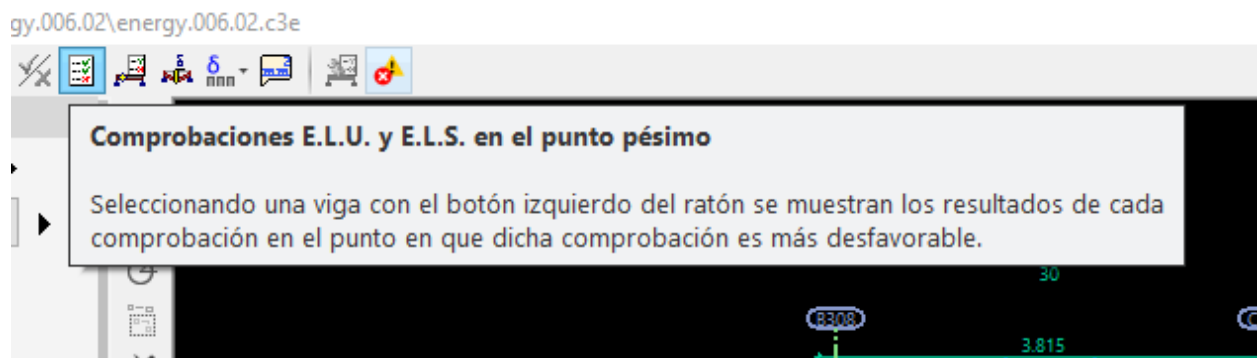


Figura 127. Comprobaciones E.L.U. y E.L.S.

Las comprobaciones completas se mostrarán en el anexo G.

Revisión de losas

Las losas tienen distintas maneras de ser revisadas, dependiendo del tipo de sistema de piso contemplado en el proyecto. En el caso de “Wen Living” se manejaron dos tipos de losa: casetonada bidireccional y a base de viguetas y bovedillas.

Para la losa casetonada, nos dirigimos a la pestaña “Isovalores”, donde podremos medir la flecha (deflexión) entre dos puntos.

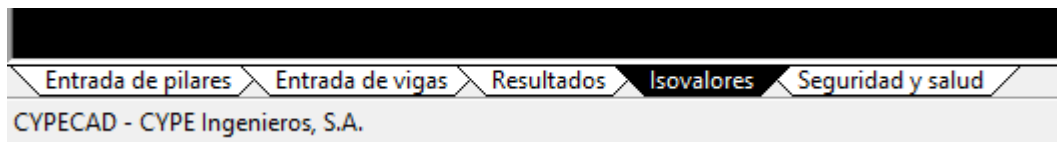


Figura 128. Isovalores

Tal como lo indican los reglamentos de construcción, tendremos que verificar que la flecha máxima para tableros que tengan por debajo materiales que se puedan dañar o romper sea de $L/480$, donde L es la longitud medida entre dos puntos. Para revisar el criterio mencionado, seleccionaremos el icono de flecha entre dos puntos mostrado en la figura 129, en donde también elegiremos la opción “Secante” para tableros, apoyado en sus cuatro bordes, y la opción “Tangente” para zonas en voladizo. Asimismo, se escogerá la opción “Entre los puntos seleccionados”, seguido de “Combinación pésima”, con un factor de amplificaciones de los desplazamientos de 1.75

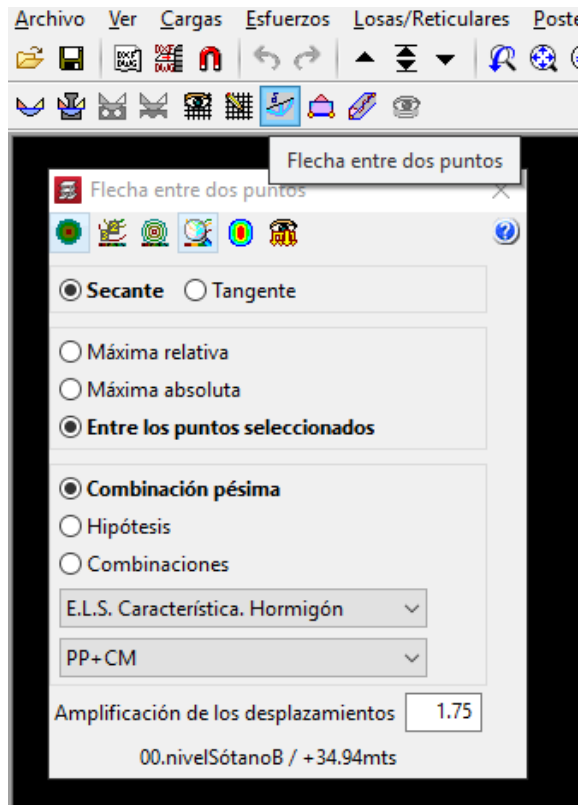


Figura 129. Flecha entre dos puntos

Una vez ubicados en el nivel en que deseemos hacer la valoración de la deflexión y tengamos configuradas las opciones para medir la misma, seleccionaremos un punto inicial del tablero y, en seguida, escogeremos un segundo punto; la distancia entre estos dos puntos será nuestro “L” (Longitud).

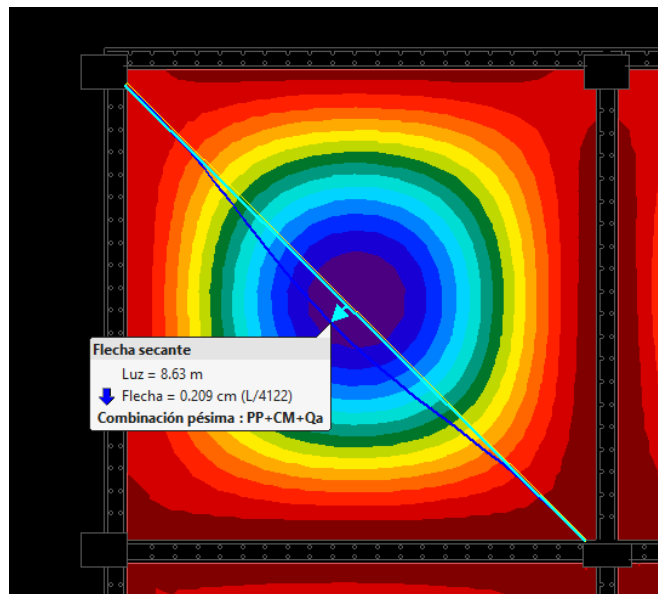


Figura 130. Flecha secante (L/4122)

Como se puede observar en la figura 130, tenemos una flecha de L/4122, la cual es mucho menor a nuestro límite L/480, con lo que estamos dentro de lo establecido con nuestra propuesta de losa casetonada.

Además de medir las deformaciones de nuestras losas casetonadas, también deberemos revisar si no hay problemas por punzonamiento (cortante). Para revisar el punzonamiento, nos dirigimos a la pestaña “Resultados”, donde se configurará una serie de parámetros para poder visualizar si es que existe este problema en nuestro proyecto.

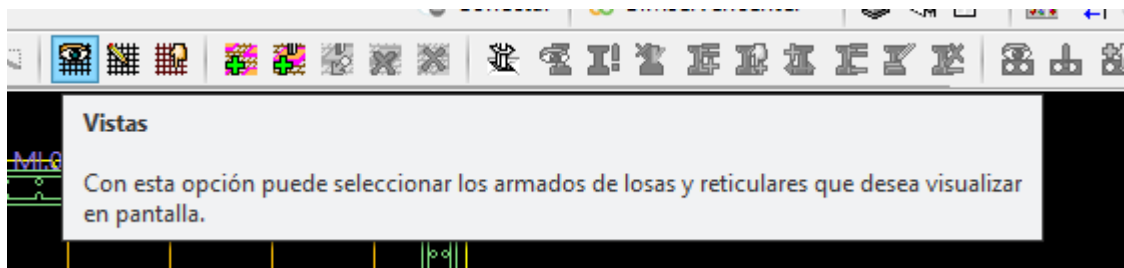


Figura 131. Botón de vistas

Una vez seleccionada la opción “Vistas”, se abrirá una ventana donde configuraremos de la siguiente manera (figura 132):

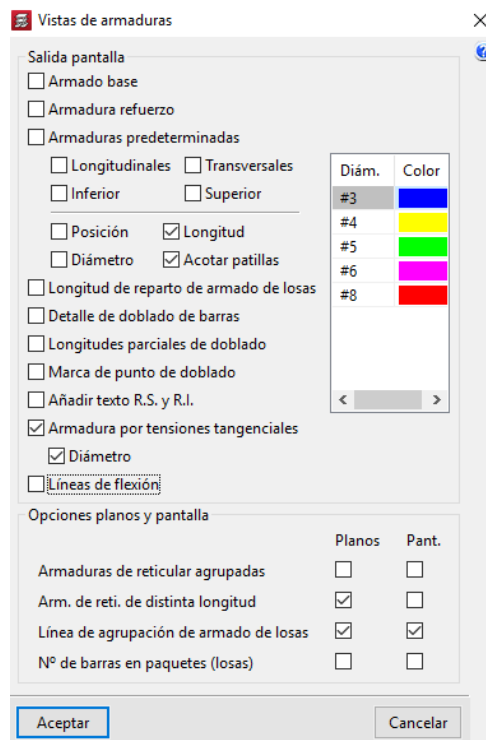


Figura 132. Vista de armaduras

Si se presenta un problema por punzonamiento en nuestra losa, se mostrará el “Insuf”, que significa que el refuerzo es insuficiente (figura 133). En caso de no existir este problema, en el tablero aparecerán todos sus refuerzos indicados sin el aviso “Insuf.” (figura 134).

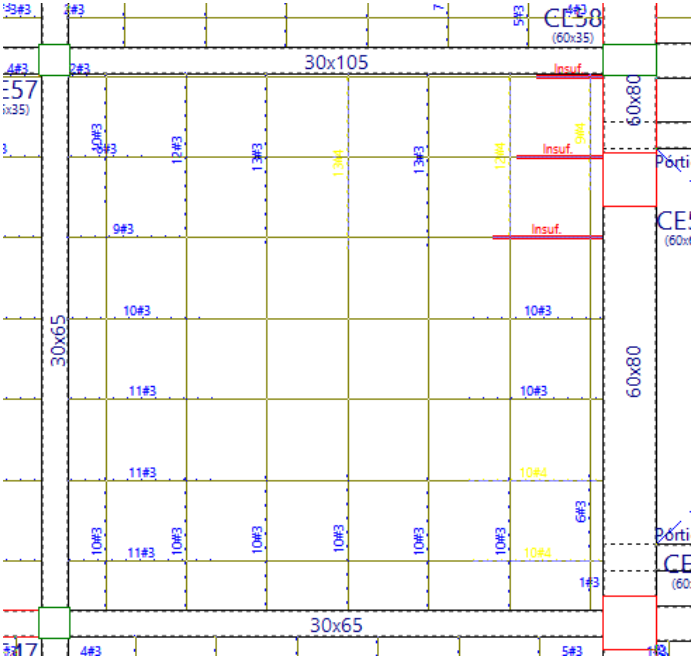


Figura 133. Falla por punzonamiento en losa

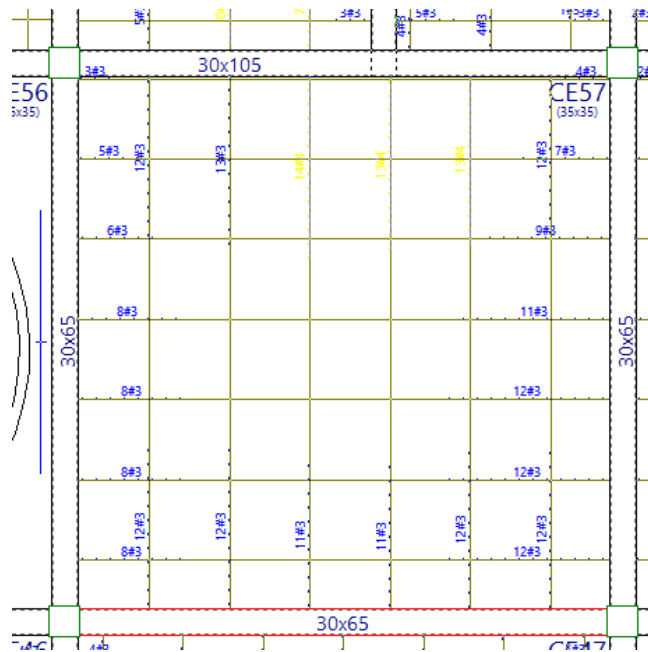


Figura 134. Tablero sin falla por punzonamiento

Para la revisión de viguetas nos dirigimos a la pestaña “Resultados”, donde seleccionaremos el icono “Errores de viguetas”.

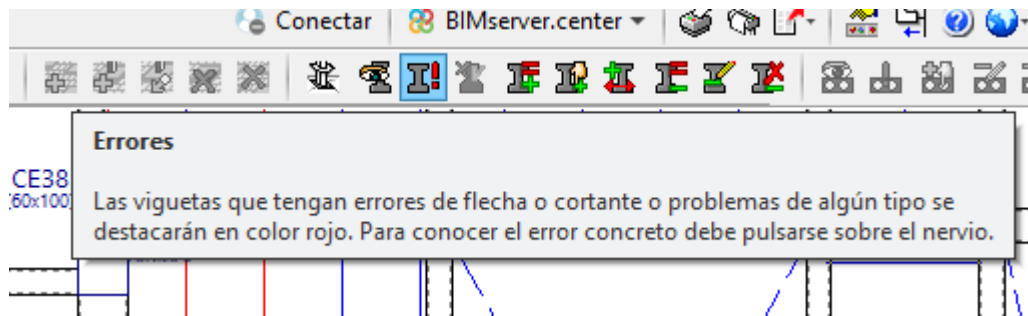


Figura 135. Botón de errores de viguetas

Enseguida, daremos clic sobre las viguetas que deseamos revisar, donde se mostrará una leyenda que indicará si existe falla o si está en correcto funcionamiento.

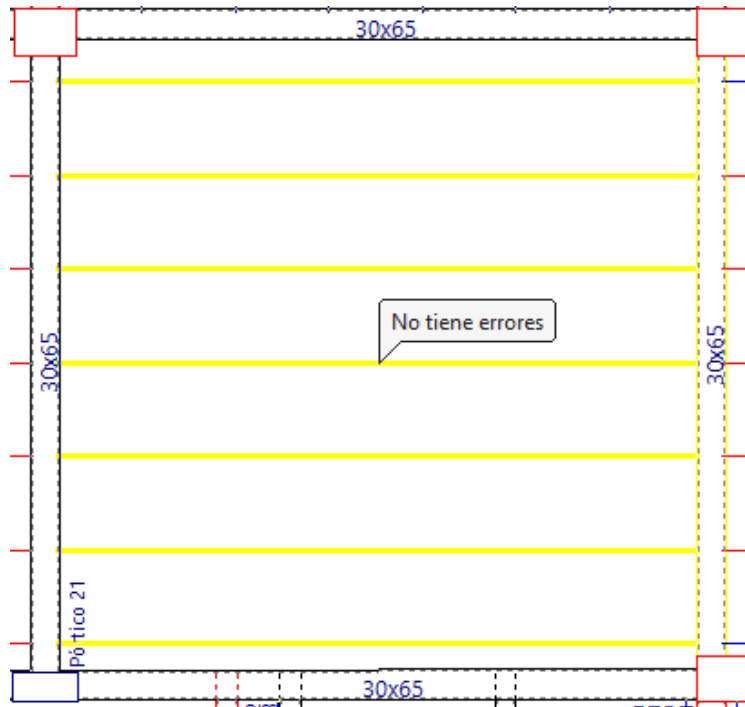


Figura 136. Errores de viguetas

Las viguetas se suelen proponer de acuerdo con el catálogo del distribuidor, el cual indica todas las especificaciones de sus productos, por lo que normalmente este tipo de pisos no arroja errores, debido a la selección adecuada de la vigueta para resistir las cargas que el estructurista considera para el proyecto.

e) Coordinación arquitectura con ingenierías

Una vez que se tenga el diseño preliminar, se haya revisado a detalle la estructura y se haya comprobado que todo está dentro de los parámetros establecidos en la normativa, se procede a sacar replanteos en los que se muestre la distribución de los elementos estructurales. Esto, para poder hacer la comparativa con planos arquitectónicos y que los clientes hagan observaciones para hacer algún cambio significativo.

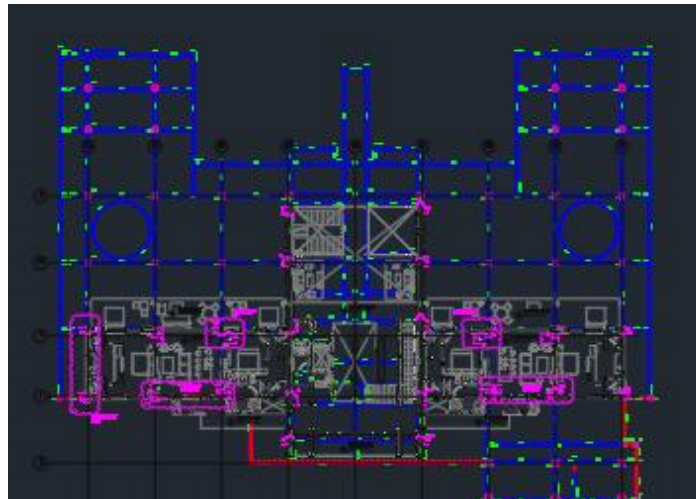


Figura 137. Energy Est. vs. Arq.

Los replanteos estructurales también nos ayudan a proyectar el paso de las distintas instalaciones y hacer las modificaciones correspondientes, ya sea en la estructura o en el diseño de las instalaciones.

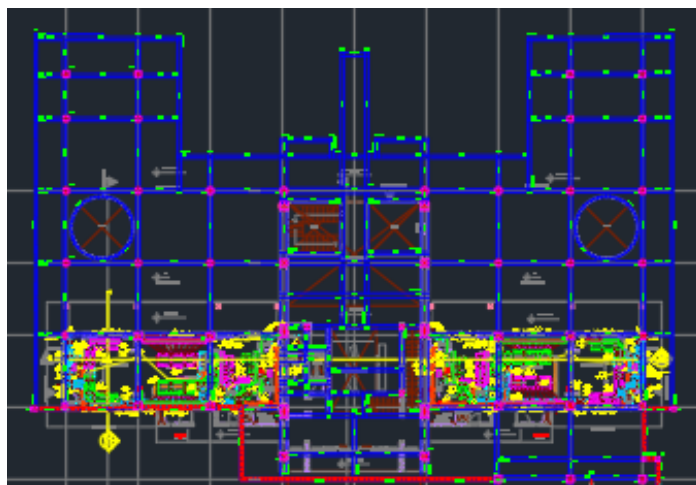


Figura 138. Energy Est. vs. Inst.

La coordinación de todas las disciplinas puede llegar a ser un proceso muy tardado o muy rápido, esto depende del porcentaje de avance en la arquitectura y en las instalaciones.

En este proyecto fue un reto lograr cerrar la estructura, ya que se realizaron bastantes cambios arquitectónicos durante el estudio que implicaban modificaciones al modelo y, por tanto, un cambio en el planteamiento estructural original.

Para atender los cambios y los comentarios de los clientes, se agendaron reuniones semanales, con una duración de una hora, para resolver las diferencias. El común acuerdo entre disciplinas tardó aproximadamente 2 meses.

Cuando se llega a un acuerdo entre arquitectura e ingenierías, se hace un último planteamiento estructural con todas las consideraciones establecidas en las reuniones para presentar los replanteos finales antes de iniciar con el proyecto ejecutivo.

f) Cuantificaciones

El último paso en la fase de estudios consiste en realizar un listado de las cantidades de los materiales que se utilizarán para obtener una estimación aproximada del costo de la obra. Cabe resaltar que estos datos no son las cantidades finales; sin embargo, son valores que ayudan a estimar un costo cercano para la ejecución del proyecto. Las cantidades finales para las cuantías se obtienen en la fase de producción, donde generalmente se logra reducir entre 5 % y 15 %, aún más en las cantidades del acero de refuerzo.

Las mediciones para “Wen Living” fueron realizadas con cierta diferencia, comparadas con el resto de proyectos que maneja FSGROUP Engineering. Al estar compitiendo con otro despacho estructurista, este nos facilitó la información de su proyecto, con lo que pudimos elaborar nuestro archivo tradicional, anexando una tabla comparativa, donde pueden observarse claramente las diferencias entre cuantías de ambos despachos.

Este archivo –reflejo del trabajo desarrollado a lo largo de la fase de estudios– y los replanteos estructurales ayudarán al cliente a tomar una decisión final sobre a quién asignarle el proyecto.

En la siguiente imagen se muestra una comparación de las cuantías de todos los edificios de “Wen Living” por parte de FSGROUP Engineering y por parte del otro despacho.

Proyecto FSGroup				
	Acero de refuerzo (kg)	Concreto (m ³)	Reducción de refuerzo	Reducción de concreto
Growth (A y B)	69734.4	586.7	16.40%	18.06%
Strength	53859.5	494.8	37.01%	21.08%
Energy (A y B)	84479.8	613.8	16.65%	10.25%
Prosperity	62495.7	469.5	28.31%	32.67%
Balance	46934.3	354.4	27.44%	13.71%
Enlightment				
Acceso principal				
Total	317503.5	2519.2	24.79%	19.64%

Proyecto anterior		
	Acero de refuerzo (kg)	Concreto (m ³)
Growth	83414.6	716.0
Strength	85504.8	627.0
Energy	101358.0	683.9
Prosperity	87170.6	697.3
Balance	64685.7	410.7
Enlightment		
Acceso principal		
Total	422133.7	3134.9

Figura 139. Comparativas mediciones

El anexo H muestra a detalle las mediciones y la comparación entre proyectos del edificio Energy.

Capítulo 4. Experiencia laboral

El proyecto “Wen Living” ha sido mi primer acercamiento al cálculo estructural como egresado de la Facultad de Ingeniería. Mi primer puesto dentro de la empresa fue como auxiliar de ingeniería en el Área de Estudios. El haber formado parte de este departamento ha aumentado mi panorama y mis conocimientos acerca de los procesos de diseño estructural, puesto que mi labor ha sido determinar los parámetros para lograr un correcto análisis, desde cargas accidentales hasta cargas gravitacionales y cargas extraordinarias.

Mis responsabilidades en esta fase me han hecho estudiar las normativas y los reglamentos de construcción locales, indispensables para un diseño óptimo, seguro y eficiente. Aprendí que la interpretación correcta de las normas nos dan la posibilidad de hacer consideraciones que muchas veces provocan ahorros en la estructura y, de la misma manera, no tener elementos sobre diseñados.

CYPECAD es el software utilizado formalmente en FSGROUP Engineering MX y la herramienta que utilicé para realizar la valoración estructural. A lo largo de mi carrera universitaria no había escuchado al respecto de esta aplicación, ya que es un programa de uso poco común en los despachos estructuristas en México. Para poder formar parte de la empresa y tener la oportunidad de participar en este proyecto, tuve que tomar un curso de manejo de este software; posteriormente realicé una evaluación para determinar si sería capaz de obtener el puesto como auxiliar de ingeniería.

Desde mi punto de vista, CYPECAD es una herramienta que brinda bastantes facilidades para el diseño. Si bien no es una aplicación que haga el trabajo de un ingeniero, agiliza los procesos al dar información útil. A comparación de otros softwares de análisis y diseño, considero que CYPECAD es uno de los programas más completos y con accesorios, por tal motivo, el saber usar de manera correcta y conocer ampliamente todas las posibilidades que nos da, nos abre las puertas para lograr resultados como los expuestos en este trabajo.

Durante los meses en los que estuve involucrado en este proyecto, aprendí que las pequeñas consideraciones en conjunto pueden significar un resultado considerablemente distinto, tal como es diseñar elementos en individual y revisar las distintas opciones de solución en losas. Considero que estos dos puntos son las principales razones por las que se logra llegar a la optimización en material. Por las razones anteriores, tomé la decisión de manejar CYPECAD y aprovechar al máximo la capacidad del programa para tomarlo como ventaja para la empresa.

Además de aprender distintos procesos de diseño y conocer más la normativa de diseño y las consideraciones técnicas, me he instruido en temas arquitectónicos, ya que muchas veces, como estructuristas, estamos limitados en cuestión de distribución y dimensiones para nuestros elementos, toda vez que se respetan los conceptos arquitectónicos para

no romper con los espacios que previamente han sido diseñados para cumplir con su función principal.

Conclusiones

En México, país de alta actividad sísmica, el cálculo estructural debe ser cuidadoso y de mucha responsabilidad. Desde mi punto de vista, se debe ser un ingeniero con bastante ética para no pasar por alto pequeños detalles que pueden hacer la diferencia entre un caso de éxito o una catástrofe.

Entre los principales objetivos de la Ingeniería estructural están brindar soluciones eficaces, seguras y económicas, por lo que contar con el conocimiento y las herramientas adecuadas nos ayudará a sacar adelante un proyecto en un tiempo relativamente rápido.

Es importante saber manejar diversos software de diseño y análisis, ya que estos nos facilitarán el proceso de diseño; aunado a ello, es importante saber interpretar y tener un criterio propio ante los resultados, que es lo que puede hacer la diferencia y lo que nos forma como verdaderos ingenieros.

En el caso de este proyecto, hemos usado CYPECAD para el análisis y el diseño estructural pero, así como se usó este software, debemos ser capaces de poder diseñar en cualquier otro programa.

Como recién egresado, haber participado en este proyecto amplió mi panorama en el ámbito estructural, ya que además de haber aplicado los conocimientos adquiridos en la universidad, aprendí nuevos conceptos y métodos de diseño. Al día de hoy, sigo en constante aprendizaje.

Parte de ser un buen ingeniero estructural es estar consciente de que se puede seguir mejorando en cualquier aspecto, ya sea profesional o personal.

Uno siempre debe mantener claros y fijos sus objetivos. En lo personal, me gustaría llegar a ser un conocido ingeniero por su buen trabajo, he ahí la importancia de mantenerse actualizado en cuanto a normativas, procesos, metodologías, software, etcétera.

Mi participación en este proyecto fue de 4-5 meses aproximadamente, en los cuales considero que he aprendido bastante. Si fui capaz de aprender y lograr este trabajo con éxito en poco tiempo, en algunos años podré estar participando en proyectos cada vez de mayor tamaño.

Con más tiempo de experiencia, me gustaría regresar como ingeniero a la universidad que me formó para poder compartir mi conocimiento con las nuevas generaciones.

Referencias

- Autodesk. (2023a, mayo 10). *Autodesk Autocad 2024: Obtener Precios Y Suscribirse Al Software autocad*. Autodesk AutoCAD 2024 | ¿Qué es AutoCad? <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Autodesk. (2023b, mayo 23). *Software revit: Obtener Precios Y comprar el software revit 2023 Oficial*. Software Revit | Obtener precios y comprar el software Revit 2023 oficial. <https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Building Smart Spain. (2021, junio 1). *¿Qué es bim?* <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- Chamoun, Y. (2002). *Administración profesional de proyectos: La guía*. México: IAN Ediciones.
- CYPE Ingenieros. (2022, diciembre 1). *CYPECAD*. <https://info.cype.com/es/producto/cypecad/>
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A. C. (2020, marzo 1). *Reglamentos de Construcción*. <https://www.smie.org.mx/publicaciones-reglamento>
- Uriz, A. (2023, mayo 18). *Webmedia*. FSGROUP Engineering. <https://fsgroup-e.com/>

Índice de figuras

Figura 1. Logo de FSGROUP Engineering	6
Figura 2. Catálogo de aplicaciones familia CYPE	7
Figura 3. Ejemplo de edificación modelada en CYPECAD	8
Figura 4. Menú de listados extraíbles de CYPECAD	9
Figura 5. Impresión de planos extraíbles de CYPECAD	10
Figura 6. Ciclo del BIM	11
Figura 7. Ejemplo de planos FS en AutoCAD	12
Figura 8. Ejemplo de modelo en Revit	13
Figura 9. Ubicación “Wen Living” San José del Cabo	17
Figura 10. Render de conjunto residencial	18
Figura 11. Mapa de edificios “Wen Living”	18
Figura 12. Planta arquitectónica, sótano A	19
Figura 13. Planta arquitectónica, sótano B	20
Figura 14. Planta arquitectónica, sótano C	20
Figura 15. Vista 3D Growth A	21
Figura 16. Planta arquitectónica, planta baja	21
Figura 17. Planta arquitectónica, nivel tipo	22
Figura 18. Planta arquitectónica, cubierta	22
Figura 19. Vista 3D Growth B	23
Figura 20. Planta arquitectónica, planta baja	24
Figura 21. Planta arquitectónica, nivel tipo	24

Figura 22. Planta arquitectónica, cubierta	25
Figura 23. Vista 3D Balance.	26
Figura 24. Planta arquitectónica, planta baja.	27
Figura 25. Planta arquitectónica, planta tipo	27
Figura 26. Planta Arquitectónica Cubierta.....	28
Figura 27. Vista 3D Prosperity.	28
Figura 28. Planta Arquitectónica Planta Baja.	29
Figura 29. Planta Arquitectónica Planta Tipo.	30
Figura 30. Planta Arquitectónica Cubierta.....	31
Figura 31. Vista 3D Energy.	32
Figura 32. Planta Arquitectónica Planta Baja.	33
Figura 33. Planta Arquitectónica Planta Tipo.	33
Figura 34. Planta Arquitectónica Cubierta.....	34
Figura 35. Vista 3D Strength.....	34
Figura 36. Planta Arquitectónica PLanta Baja.....	35
Figura 37. Planta Arquitectónica Planta Tipo	36
Figura 38. Planta Arquitectónica Cubierta.....	36
Figura 39. Vista 3D Enlightenment.....	37
Figura 40. Planta Arquitectónica Planta Baja.	38
Figura 41. Planta Arquitectónica Cubierta.	39
Figura 42. Vista 3D Joy Plaza.....	40
Figura 43. Planta Arquitectónica Planta Baja.....	40
Figura 44. Planta Arquitectónica Cubierta.....	41
Figura 45. Vista 3D Acceso Principal.	41
Figura 46. Correo invitación a FSGROUP Engineering a participar por el proyecto.	46
Figura 47. Correo con enlace para descargar la información del proyecto.....	47
Figura 48. Planta arquitectónica lista para hacer layout.....	48
Figura 49. Plantas arquitectónicas en un mismo archivo dwg.	49
Figura 50. Configuración de unidades en metros.....	49
Figura 51. Comando "explode" en AutoCAD.....	50
Figura 52. Layout terminado hasta el paso 4.	51
Figura 53. Aspa colocada en el punto en común.	51
Figura 54. Nombre de aspa.	52
Figura 55. Archivo "plantas.0001"guardado en el servidor.	52
Figura 56. Archivos de cada nivel guardados en el servidor.	53
Figura 57. Aspa colocada en el punto 0,0,0.....	53
Figura 58. Selección de aplicación CYPECAD.....	54
Figura 59. Creación de archivo nuevo en CYPECAD.....	55
Figura 60. Nueva obra en CYPECAD.	55
Figura 61. Desvincular el proyecto de servidor BIM.	56
Figura 62. Selección de obra vacía en CYPECAD.....	56
Figura 63. Cuadro de datos generales de una obra en CYPECAD	57
Figura 64. Selección de normativas en CYPECAD.	58

Figura 65. Resistencia a compresión de concreto de elementos estructurales (f'_c).....	58
Figura 66. Valores resistencia del terreno.	59
Figura 67. Acero de refuerzo y pernos.	59
Figura 68. Acción de viento.	60
Figura 69. Configuración acción de viento.	61
Figura 70. Ancho de banda.	61
Figura 71. Datos regionales de viento.	61
Figura 72. Ciudad seleccionada para acción de viento.	62
Figura 73. Configuración acción de viento.	63
Figura 74. Acción de sismo.	63
Figura 75. Aceleraciones máximas del sustrato rocoso en México (cm/s^2)	68
Figura 76. Regionalización sísmica de la república mexicana.	69
Figura 77. Espectro de diseño transparente regional.	70
Figura 78. Captura de parámetros para análisis sísmico CYPECAD.	71
Figura 79. Ventana inicio CYPECAD.	73
Figura 80. Pestañas de trabajo CYPECAD.	74
Figura 81. Importar plantillas.	74
Figura 82. Gestión de vistas de plantillas.	75
Figura 83. Ficheros disponibles.	75
Figura 84. Archivos DWG seleccionados para plantillas.	76
Figura 85. Introducción planta/grupos.	76
Figura 86. "Nuevas Plantas".	76
Figura 87. Condición de grupos.	77
Figura 88. Introducción de nuevas plantas.	77
Figura 89. Menú de plantas y grupos.	78
Figura 90. Editar vistas.	78
Figura 91. Selección de vistas.	79
Figura 92. Pilares, pantallas y arranques.	79
Figura 93. Nuevo pilar.	80
Figura 94. Configuración nuevo pilar.	80
Figura 95. Pestaña entrada de vigas.	81
Figura 96. Entrar Muro.	82
Figura 97. Selección tipo de muro.	82
Figura 98. Configuraciones de muro de concreto armado.	83
Figura 99. Entrar Trabe.	84
Figura 100. Selección tipo de trabe.	84
Figura 101. Tablero hábil para definir un tipo de losa.	85
Figura 102. Entrar Paño.	86
Figura 103. Losa casetonada 20+5 92/12	86
Figura 104. Vigueta y bovedilla in situ 20+5 92	87
Figura 105. Forjados inclinados/Desniveles.	88
Figura 106. Añadir nuevo desnivel.	89
Figura 107. Definir nuevo plano.	89

Figura 108. Introducción de cargas.	90
Figura 109. Definir cargas.	90
Figura 110. Comprobación geometría estructura.	91
Figura 111. Calcular la obra (sin dimensionar cimentación).	92
Figura 112. Icono de listados CYPECAD.	92
Figura 113. Listado de justificación de acción sísmica.	93
Figura 114. Periodos fundamentales de la estructura.	93
Figura 115. Introducción de periodo en CYPECAD.	93
Figura 116. Distorsiones permisibles de entrepiso.	95
Figura 117. Desplome local máximo de los pilares.	95
Figura 118. Deformada.	96
Figura 119. Deformada de la estructura por peso propio.	96
Figura 120. Deformada por acción de viento en dirección X.	97
Figura 121. Deformada por acción de sismo en dirección X.	97
Figura 122. Botón de edición de columnas.	98
Figura 123. Edición de columnas.	98
Figura 124. Comprobaciones columnas.	99
Figura 125. Botón de edición de trabes.	100
Figura 126. Edición de trabes.	100
Figura 127. Comprobaciones E.L.U. y E.L.S.	101
Figura 128. Isovalores.	101
Figura 129. Flecha entre dos puntos.	102
Figura 130. Flecha secante (L/4122).	102
Figura 131. Botón de Vistas.	103
Figura 132. Vista de armaduras.	103
Figura 133. Falla por punzonamiento en losa.	104
Figura 134. Tablero sin falla por punzonamiento.	105
Figura 135. Botón de errores de viguetas.	105
Figura 136. Errores de viguetas.	106
Figura 137. Energy Est. Vs Arq.	107
Figura 138. Energy Est. Vs Inst.	107
Figura 139. Comparativas mediciones.	109
Figura 140. Planos de proyecto ejecutivo (main)	119

Índice de tablas

Tabla 1. Colores por elementos para layouts.	50
Tabla 2. Bajada de cargas para Energy.	64
Tabla 3. Tabla clasificación edificación según su función.	65
Tabla 4. Tabla de clasificación de las construcciones.	67
Tabla 5. Tabla de aceleraciones máximas en roca.	68
Tabla 6. Tabla tipo de terreno.	69
Tabla 7. Recubrimientos elementos estructurales.	73

Tabla 8. Modelo Geotécnico del Sitio.....	120
Tabla 9. Capacidad de carga superficiales (zapatas aisladas).....	121

Listado de acrónimos

- BIM: Building Information Modeling
- CAD: Diseño asistido por computadora (Computer-aided Desing)
- CFE (Comisión Federal de Electricidad)
- DWG: Abreviación de Drawing (dibujo)
- EMS (Estudio de Mecánica de Suelos)
- MEP: Sistemas mecánicos, eléctricos y de fontanería (mechanical, electrical and plumbing)
- N.P.T. (Nivel de Piso Terminado)

Anexos

A. Trabajo Posestudios

Al concluir el trabajo realizado en la fase Estudios –que va desde el primer contacto con el cliente hasta las cuantificaciones de materiales– se realiza un pase de obra al Departamento de producción, encargado de atender los cambios solicitados una vez vendido el proyecto –en caso de no existir cambios en arquitectura o en las dimensiones, etcétera–. El estructurista designado continúa con la revisión del modelo del cálculo. En caso de que el ingeniero a cargo considere necesarios algunos cambios, se debe avisar a los clientes para, posteriormente, asignar los armados definitivos de los elementos estructurales, como trabes, columnas y muros.

Para optimizar aún más la obra, se asignan armados en trabes con longitudes en múltiplos de 12; de esta manera se disminuyen los desperdicios, ya que las varillas se venden por tramos de 12 metros. Es decir, se usan tramos con longitudes cerradas. Para muros y columnas se trata de mantener una homogeneidad en los armados con el fin de evitar distintos tipos de columnas/muros.

Una vez que se hayan establecido los armados definitivos, se realizan despieces de trabes/muros/columnas en AutoCad para crear y ordenar los planos del proyecto ejecutivo.

La parte de cimentación se revisará cuando se haya cerrado la superestructura; para este proyecto se han manejado zapatas corridas para los muros de contención y zapatas aisladas para columnas. Al igual que la superestructura, se deben establecer armados de acero de refuerzo e indicarlo en despieces formato DWG.

La cimentación es la última parte de la estructura; una vez que esté listo su armado, se procede a crear planos finales donde se muestren vistas 3D, plantas estructurales, planos de refuerzos de losa, cuadro de columnas, despiece de muros, despiece de trabes, despiece de cimentación, plano de escaleras, detalles constructivos.

Al conjunto de todos estos planos se le llama “main”, el cual es un archivo DWG donde se colocan todos los cajetines/solapas necesarios para introducir la información del proyecto.

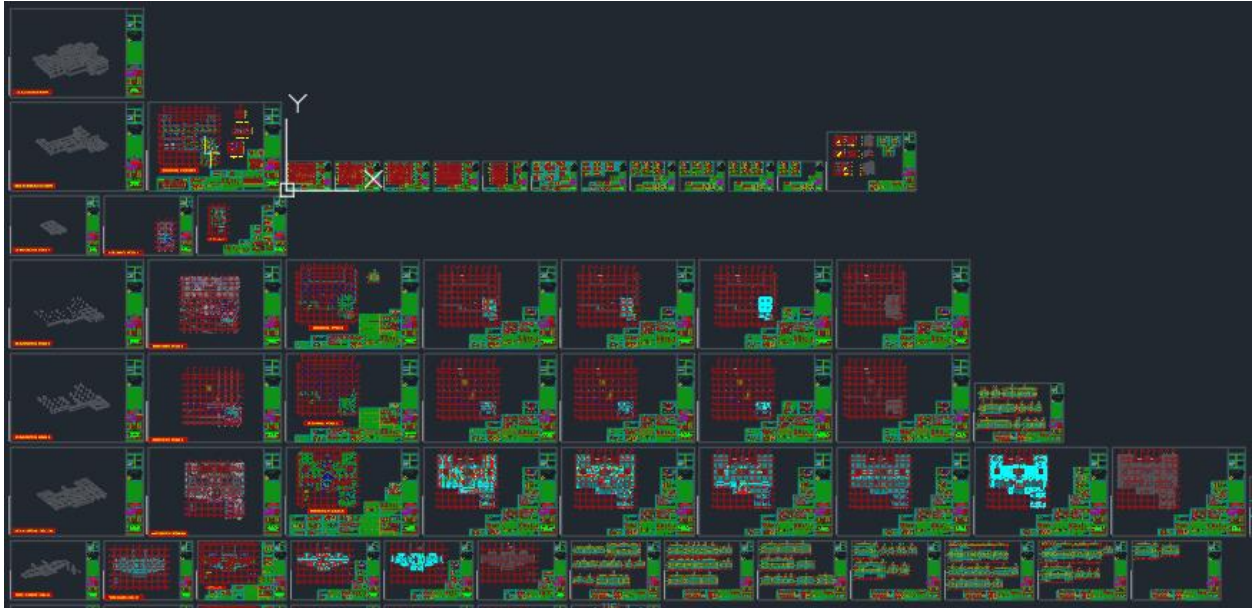


Figura 140. Planos de proyecto ejecutivo (main)

Una vez organizados los planos, se procede a crear un archivo en Excel de cuantificaciones finales, el cual contiene valores exactos del material que se utilizará para ejecutar la obra.

Por último, para cerrar con el trabajo del Departamento de producción, se debe realizar una memoria de cálculo que contenga la información del modelo de cálculo y las comprobaciones de los elementos estructurales.

El proyecto ejecutivo se manda con planos en archivos DWG y PDF, las cuantificaciones en un archivo Excel y la memoria de cálculo en PDF.

Cuando el proyecto es entregado al cliente, las dudas y los cambios que se presenten en la ejecución de la obra serán responsabilidad del Departamento de posventa.

B. Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)

CAPACIDAD DE CARGA (terzaghi)

Solución de la cimentación teniendo en cuenta el tipo y la magnitud de las estructuras integrantes del proyecto, así como las condiciones del subsuelo de la zona

La estratigrafía de esta zona la comprenden arenas mal graduadas (SP) en espesores de 0 a 10 m, con valores de penetración estándar mayor a 50 golpes; se encuentra con compacidad alta. El modelo geotécnico que se utilizó en el sitio:

Tabla 8. Modelo geotécnico del sitio

Sondeo	Modulo de elasticidad del suelo	Angulo de friccion	Modulo en reposo	Relacion de Poisson	Peso volumetrico del suelo	Modulo de reaccion
	Es kPa	ϕ (7) Grados	ko (8)	v (9)	γ (10) kN/m ³	k (kN/m ²)
S-1	143271	45	0.29	0.23	21	67717

Además, se considera conveniente resolver su cimentación mediante elementos superficiales, constituidos por zapatas cuadradas o corridas de concreto reforzado, desplantadas entre 1 y 2 m de profundidad respecto al nivel actual del terreno, o bien losas de concreto reforzado desplantadas superficialmente.

Considerando la magnitud de las estructuras y de los equipos proyectados, para el caso de las zapatas cuadradas se analizaron anchos de base entre 1 y 4 m, mientras que para las zapatas corridas se propusieron anchos en el rango de 1 a 2.5 m. Por su parte, para el caso de losas se analizaron anchos de 7.5 a 15 m.

Cabe resaltar que la geometría definitiva de la cimentación deberá ser establecida por el estructurista en función de las magnitudes de carga que transmitan los equipos o las estructuras, en condiciones estáticas y sísmicas al nivel de desplante.

Tabla 9. Capacidad de carga superficiales (zapatas aisladas)

Ancho de la cimentación (m)	Profundidad de Desplante (m)	Capacidad de carga última (kPa)	FS	Capacidad de Carga Admisible (kPa)			Asentamiento Estimado (cm) para la menor qadm
				Estatica	Por Asentamiento	Accidental	
1	0.5	4106	4	1027	250	325	0.6
2	0.5	6389	4	1597	250	325	2.0
3	0.5	8671	4	2168	250	325	0.5
4	0.5	10953	4	2738	250	325	0.6
1	1.0	5930	4	1482	250	325	0.9
2	1.0	8212	4	2053	250	325	2.6
3	1.0	10495	4	2624	250	325	0.5
4	1.0	12777	4	3194	250	325	0.6
1	1.5	7754	4	1938	250	325	1.2
2	1.5	10036	4	2509	250	325	0.3
3	1.5	12319	4	3080	250	325	0.5
4	1.5	14601	4	3650	250	325	0.6
1	2.0	9578	4	2394	250	325	1.5
2	2.0	11860	4	2965	250	325	0.3
3	2.0	14142	4	3536	250	325	0.5
4	2.0	16425	4	4106	250	325	0.6
Factores Estrato 2		Nc 172	Datos	φ 45			
Espesor		Nq 173		c 0			
1.50		Nγ 271		γ 21.0			
Factores Estrato 1		Nc 172	Datos	φ 45			
Espesor		Nq 173		c 0			
1.50		Nγ 271		γ 21.0			

C. Justificación sísmica

SISMO

Norma utilizada: CFE 2015

Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo. Sección C: Estructuras. Tema 1: Criterios generales de análisis y diseño. México 2015.

Método de cálculo: Análisis modal espectral (CFE 2015, 3.3.6.1)

1.1. Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento

a_0^r : Aceleración máxima en roca (CFE 2015, Fig 1.1)

a_0^r : 128.56 cm/s²

Tipo de terreno (CFE 2015, 3.1.5.2): I

T_s : Periodo dominante del estrato de terreno equivalente (CFE 2015, 3.1.5.2)

T_s : 0.10 s

Sistema estructural

ζ_e : Amortiguamiento (CFE 2015, 3.1.6.5)

ζ_e : 0.05

Q_x : Factor de comportamiento sísmico (X) (CFE 2015, 3.3.1.1)

Q_x : 2.00

Q_y : Factor de comportamiento sísmico (Y) (CFE 2015, 3.3.1.1)

Q_y : 2.00

R_{0x} : Sobrerresistencia índice (X) (CFE 2015, 3.3.1.3)

R_{0x} : 2.00

R_{0y} : Sobrerresistencia índice (Y) (CFE 2015, 3.3.1.3)

R_{0y} : 2.00

ρ_x : Factor por redundancia (X) (CFE 2015, 3.3.1.4)

ρ_x : 1.00

ρ_y : Factor por redundancia (Y) (CFE 2015, 3.3.1.4)

ρ_y : 0.80

Tipo de estructura (CFE 2015, 3.3.2): Muy irregular

Importancia de la obra (CFE 2015, 3.1.2): Grupo B

Estimación del periodo fundamental de la estructura: Especificado por el usuario

T_{ax} : Periodo fundamental aproximado (X)

T_{ax} : 0.88 s

T_{ay} : Periodo fundamental aproximado (Y)

T_{ay} : 0.71 s

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso

: 0.50

Fracción de sobrecarga de nieve

: 0.72

Factor multiplicador del espectro

: 1.00

Efectos de la componente sísmica vertical

No se consideran

Verificación de la condición de cortante basal: Según norma

No se realiza análisis de los efectos de 2º orden

Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Ductilidad baja

Factores reductores de la inercia (CFE 2015, Especificado por el usuario)

Vigas primarias frente a la acción sísmica: 0.5

Forjados primarios frente a la acción sísmica: 1

Pilares primarios frente a la acción sísmica: 0.7

Pantallas: 0.5

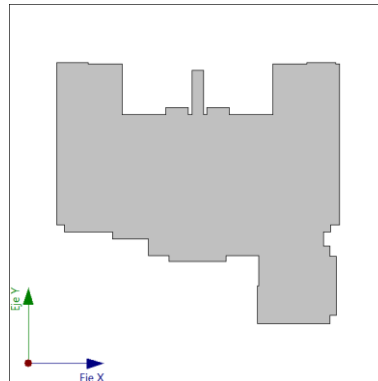
Muros: 0.5

Muros de fábrica: 0.5

Direcciones de análisis

Acción sísmica según X

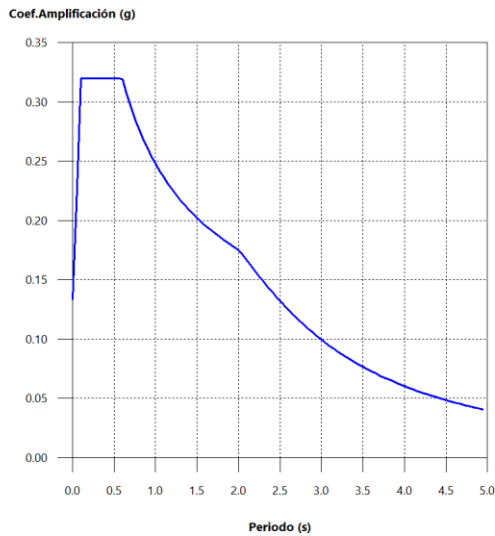
Acción sísmica según Y



Proyección en planta de la obra

1.2. Espectro de cálculo

1.2.1. Espectro elástico de aceleraciones



Coef. Amplificación:

El valor máximo de las ordenadas espectrales es 0.320 g.

CFE 2015 (3.1.6)

Parámetros necesarios para la definición del espectro

a₀: Aceleración máxima del terreno (CFE 2015, 3.1.6.2 - Tabla 1.11)

a₀ : 0.13 g

a₀^r: Aceleración máxima en roca (CFE 2015, Fig 1.1)

a₀^r : 128.56 cm/s²

F_{sit}: Factor de sitio (CFE 2015, Tabla 1.9)

F_{sit} : 1.00

Zona sísmica (CFE 2015, 3.1.3.5): C

Tipo de terreno (CFE 2015, 3.1.5.2): I

c: Aceleración máxima espectral (CFE 2015, 3.1.6.2 - Tabla 1.11)

c : 0.32 g

F_{res}: Factor de respuesta (CFE 2015, Tabla 1.10)

F_{res} : 2.44

Zona sísmica (CFE 2015, 3.1.3.5): C

Tipo de terreno (CFE 2015, 3.1.5.2): I

T_a: Límite inferior de la meseta del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_a : 0.10 s

T_b: Límite superior de la meseta del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_b : 0.60 s

T_c: Periodo característico de inicio de la rama descendente del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_c : 2.00 s

r: Parámetro que controla la caída de las ordenadas espectrales para $T_b \leq T < T_c$ (CFE 2015, Tabla 1.12)

r : 0.50

Zona sísmica (CFE 2015, 3.1.3.5): C

Tipo de terreno (CFE 2015, 3.1.5.2): I

p_c: Factor que define la variación del espectro en la rama descendente (CFE 2015, 3.1.6)

k: Parámetro que controla la caída de las ordenadas espectrales para $T \geq T_c$ (CFE 2015, Tabla 1.12)

k : 1.50

Zona sísmica (CFE 2015, 3.1.3.5): C

Tipo de terreno (CFE 2015, 3.1.5.2): I

β : Factor de amortiguamiento (CFE 2015, 3.2.3)

ζ_e : Amortiguamiento (CFE 2015, 3.1.6.5)

ζ_e : 0.05

T_c : Periodo característico de inicio de la rama descendente del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_c : 2.00 s

F_{IE} : Factor de importancia (CFE 2015, Tabla 1.4)

F_{IE} : 1.00

Importancia de la obra (CFE 2015, 3.1.2): Grupo B

1.2.2. Espectro de diseño de aceleraciones

El espectro de diseño sísmico se obtiene reduciendo el espectro elástico por el factor de reducción ($Q'_R \cdot R \cdot \rho$) correspondiente a cada dirección de análisis:

Q'_{RX} : Factor de reducción corregido por irregularidad (X) (CFE 2015, 3.3.2.4)

Q'_{RY} : Factor de reducción corregido por irregularidad (Y) (CFE 2015, 3.3.2.4)

α : Factor correctivo por irregularidad

α : 0.70

Tipo de estructura (CFE 2015, 3.3.2): Muy irregular

Q'_X : Factor reductor por ductilidad (X) (CFE 2015, 3.2.4)

Q'_Y : Factor reductor por ductilidad (Y) (CFE 2015, 3.2.4)

Q_X : Factor de comportamiento sísmico (X) (CFE 2015, 3.3.1.1)

Q_X : 2.00

Q_y: Factor de comportamiento sísmico (Y) (CFE 2015, 3.3.1.1)
β: Factor de amortiguamiento (CFE 2015, 3.2.3)

Q_y : 2.00

ζ_e: Amortiguamiento (CFE 2015, 3.1.6.5)

ζ_e : 0.05

p_b: Factor que define la variación del espectro en la rama descendente (CFE 2015, 3.2.4)

T_b: Límite superior de la meseta del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_b : 0.60 s

T_c: Periodo característico de inicio de la rama descendente del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_c : 2.00 s

k: Parámetro que controla la caída de las ordenadas espectrales para $T \geq T_c$ (CFE 2015, Tabla 1.12)

k : 1.50

Zona sísmica (CFE 2015, 3.1.3.5): C

Tipo de terreno (CFE 2015, 3.1.5.2): I

R: Factor de reducción por sobrerresistencia (CFE 2015, 3.2.5)

T_a: Límite inferior de la meseta del espectro (CFE 2015, Tabla 1.12)

T_a : 0.10 s

R_{0x}: Sobrerresistencia índice (X) (CFE 2015, 3.3.1.3)

R_{0x} : 2.00

R_{0y}: Sobrerresistencia índice (Y) (CFE 2015, 3.3.1.3)

R_{0y} : 2.00

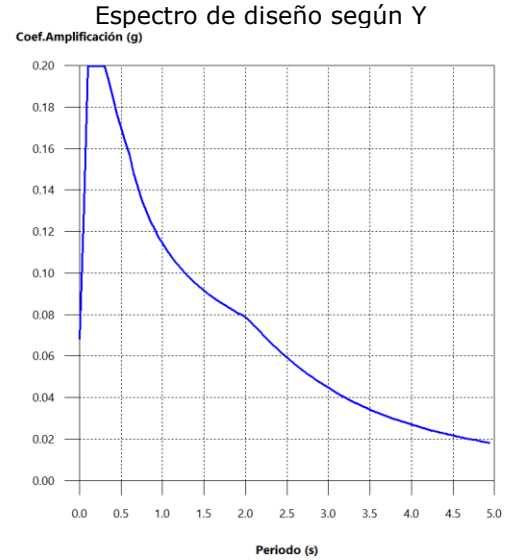
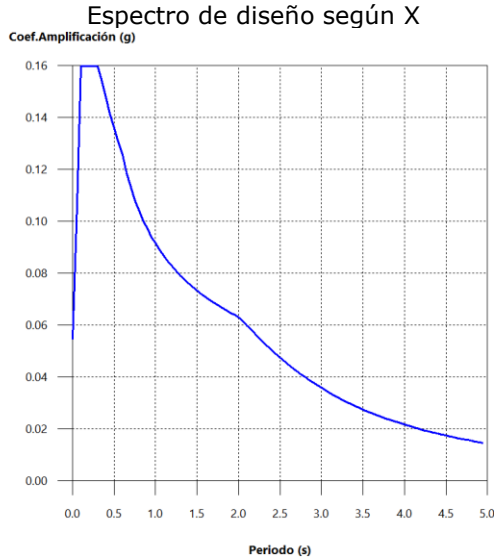
ρ_x: Factor por redundancia (X) (CFE 2015, 3.3.1.4)

ρ_x : 1.00

ρ_y: Factor por redundancia (Y) (CFE 2015, 3.3.1.4)

ρ_y : 0.80

CFE 2015 (3.3.1.7)



1.3. Coeficientes de participación

Modo	T	L _x	L _y	L _{gz}	M _x	M _y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.927	0.0299	0.0122	0.9996	16.04 %	0.06 %	R = 2.7 A = 0.935 m/s ² D = 20.3681 mm	R = 2.16 A = 1.169 m/s ² D = 25.4602 mm
Modo 2	0.848	0.3376	0.0086	0.9412	61.25 %	0.04 %	R = 2.68 A = 0.985 m/s ² D = 17.9587 mm	R = 2.14 A = 1.232 m/s ² D = 22.4483 mm
Modo 3	0.708	0.0118	0.5135	0.858	0.04 %	79.49 %	R = 2.62 A = 1.102 m/s ² D = 13.9936 mm	R = 2.1 A = 1.378 m/s ² D = 17.492 mm
Modo 4	0.319	0.0033	0.135	0.9908	0 %	0.44 %	R = 2.02 A = 1.549 m/s ² D = 3.99953 mm	R = 1.62 A = 1.937 m/s ² D = 4.99941 mm
Modo 5	0.265	0.0017	0.0418	0.9991	0.01 %	4.77 %	R = 2 A = 1.568 m/s ² D = 2.79768 mm	R = 1.6 A = 1.961 m/s ² D = 3.49711 mm
Modo 6	0.253	0.062	0.0008	0.9981	4.48 %	0 %	R = 2 A = 1.568 m/s ² D = 2.54553 mm	R = 1.6 A = 1.961 m/s ² D = 3.18192 mm
Modo 7	0.246	0.0774	0.0108	0.9969	9.81 %	0.19 %	R = 2 A = 1.568 m/s ² D = 2.40818 mm	R = 1.6 A = 1.961 m/s ² D = 3.01023 mm
Modo 8	0.210	0.081	0.0014	0.9967	5.01 %	0 %	R = 2 A = 1.568 m/s ² D = 1.74509 mm	R = 1.6 A = 1.961 m/s ² D = 2.18136 mm
Modo 9	0.196	0.0336	0.6969	0.7164	0.03 %	12.73 %	R = 2 A = 1.568 m/s ² D = 1.52582 mm	R = 1.6 A = 1.961 m/s ² D = 1.90728 mm
Total					96.67 %	97.72 %		

T: Periodo de vibración en segundos.

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

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

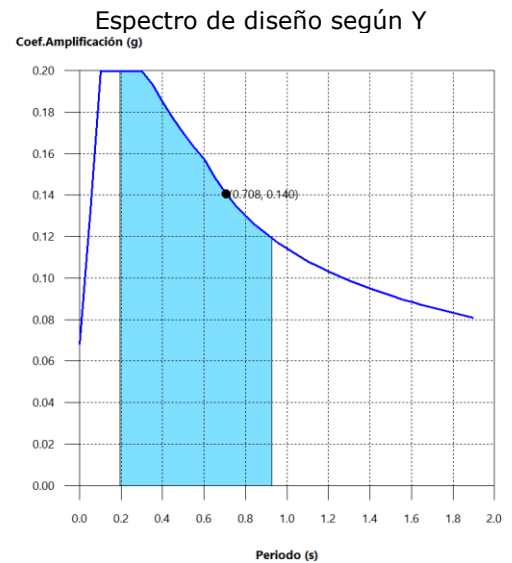
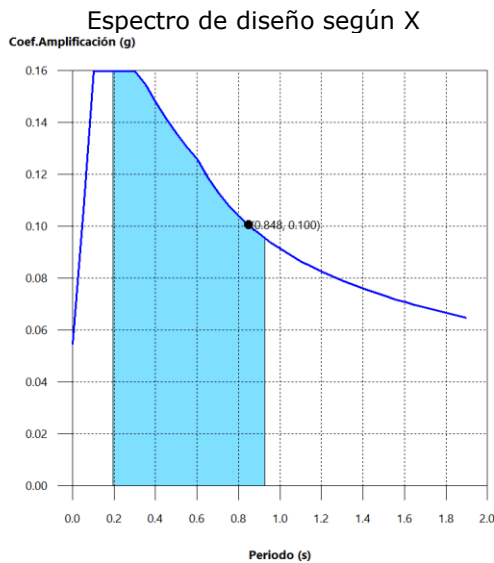
M_x, M_y: Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis.

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

A: Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad.

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

Representación de los periodos modales



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

Hipótesis Sismo X1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 2	0.848	0.100

Hipótesis Sismo Y1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 3	0.708	0.140

1.4. Centro de masas, centro de rigidez y excentricidades de cada planta

Planta	c.d.m. (m)	c.d.r. (m)	e _x (m)	e _y (m)
05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)	(192.21, -44.34)	(192.08, -44.16)	0.13	-0.18
04.nivel2 / +47.70mts (Energy)	(192.07, -45.56)	(192.08, -44.18)	-0.02	-1.38
03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)	(215.93, -61.50)	(216.18, -61.51)	-0.25	0.01
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)	(192.24, -46.04)	(192.09, -44.29)	0.15	-1.75

Planta	c.d.m. (m)	c.d.r. (m)	e_x (m)	e_y (m)
02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	(194.78, -39.13)	(202.76, -55.01)	-7.98	15.87
01.nivelSótanoA / +37.80mts	(204.94, -57.44)	(202.73, -53.96)	2.21	-3.48
00.nivelSótanoB / +34.94mts	(207.01, -53.51)	(203.09, -53.62)	3.92	0.12
00 Cimentación SotanoB / +33.74mts	(207.67, -52.66)	(209.19, -54.79)	-1.52	2.12
00.nivel Sótano C / +32.08mts	(211.65, -52.68)	(211.06, -53.77)	0.59	1.09

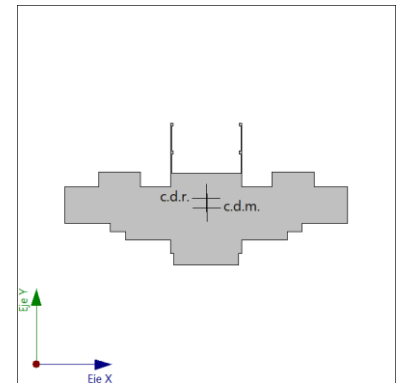
c.d.m.: Coordenadas del centro de masas de la planta (X,Y)

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

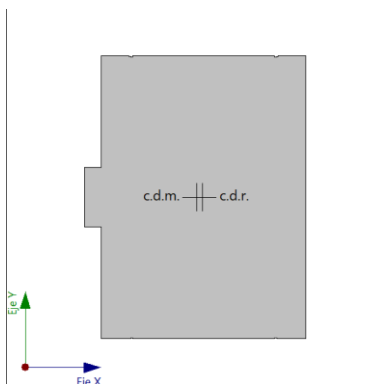
e_x : Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (X)

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

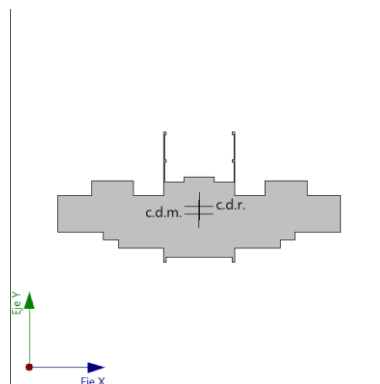
Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta



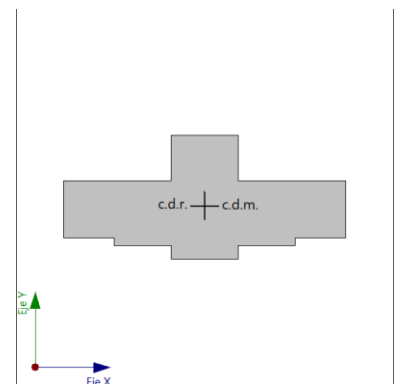
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)



03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)



04.nivel2 / +47.70mts (Energy)



05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)

1.5. Corrección por cortante basal

1.5.1. Cortante dinámico CQC

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

Hipótesis sísmica (X)	Hipótesis modal	V_x (kN)	$V_{d,x}$ (kN)
Sismo X1	Modo 1	342.818	1693.263
	Modo 2	1371.000	
	Modo 3	1.030	
	Modo 4	0.012	
	Modo 5	0.280	
	Modo 6	159.593	
	Modo 7	350.504	
	Modo 8	182.603	
	Modo 9	1.031	

Hipótesis sísmica (Y)	Hipótesis modal	V_y (kN)	$V_{d,y}$ (kN)
Sismo Y1	Modo 1	35.831	2537.660
	Modo 2	2.063	
	Modo 3	2452.915	
	Modo 4	19.342	
	Modo 5	191.582	
	Modo 6	0.090	
	Modo 7	12.765	
	Modo 8	0.121	
	Modo 9	557.305	

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

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

1.5.2. Cortante basal estático

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

$V_{s,x}$: Cortante sísmico en la base (X) (CFE 2015, 3.3.5.1 y 3.3.5.2)

$V_{s,x}$: 2166.208 kN

a'(T_{ax}): Aceleración espectral horizontal de diseño (X)
T_{ax}: Periodo fundamental aproximado (X)

a'(T_{ax}) : $\frac{0.098}{0.88}$ g
T_{ax} : $\frac{0.88}{0.88}$ s

V_{s,y}: Cortante sísmico en la base (Y) (CFE 2015, 3.3.5.1 y 3.3.5.2)

V_{s,y} : 3094.600 kN

a'(T_{ay}): Aceleración espectral horizontal de diseño (Y)
T_{ay}: Periodo fundamental aproximado (Y)

a'(T_{ay}) : $\frac{0.140}{0.71}$ g
T_{ay} : $\frac{0.71}{0.71}$ s

W: Peso sísmico total de la estructura

W : 22103.351 kN

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

w_i: Peso sísmico total de la planta "i"

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

Planta	w _i (kN)
05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)	8285.227
04.nivel2 / +47.70mts (Energy)	6246.443
03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)	1178.058
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)	6393.624
W=Σw_i	22103.351

1.5.3. Verificación de la condición de cortante basal

Cuando el valor del cortante dinámico total en la base (V_d), obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis, es menor que el 70 % del cortante basal sísmico estático (V_s), todos los parámetros de la respuesta dinámica se multiplican por el factor de modificación: 0.70·V_s/V_d.

CFE 2015 (3.3.6.3)

Hipótesis sísmica	Condición de cortante basal mínimo	Factor de modificación
Sismo X1	$V_{d,x1} \geq 0.70 \cdot V_{s,x}$ 1693.263 kN ≥ 1516.345 kN	N.P.
Sismo Y1	$V_{d,y1} \geq 0.70 \cdot V_{s,y}$ 2537.660 kN ≥ 2166.220 kN	N.P.

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

$V_{s,x}$: Cortante basal estático en dirección X, por hipótesis sísmica

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

$V_{s,y}$: Cortante basal estático en dirección Y, por hipótesis sísmica

N.P.: No procede

1.6. Cortante sísmico combinado por planta

El valor máximo del cortante por planta en una hipótesis sísmica dada se obtiene mediante la Combinación Cuadrática Completa (CQC) de los correspondientes cortantes modales.

Si la obra tiene vigas con vinculación exterior o estructuras 3D integradas, los esfuerzos de dichos elementos no se muestran en el siguiente listado.

1.6.1. Cortante sísmico combinado y fuerza sísmica equivalente por planta

Los valores que se muestran en las siguientes tablas no están ajustados por el factor de modificación calculado en el apartado 'Corrección por cortante basal'.

Hipótesis sísmica: Sismo X1

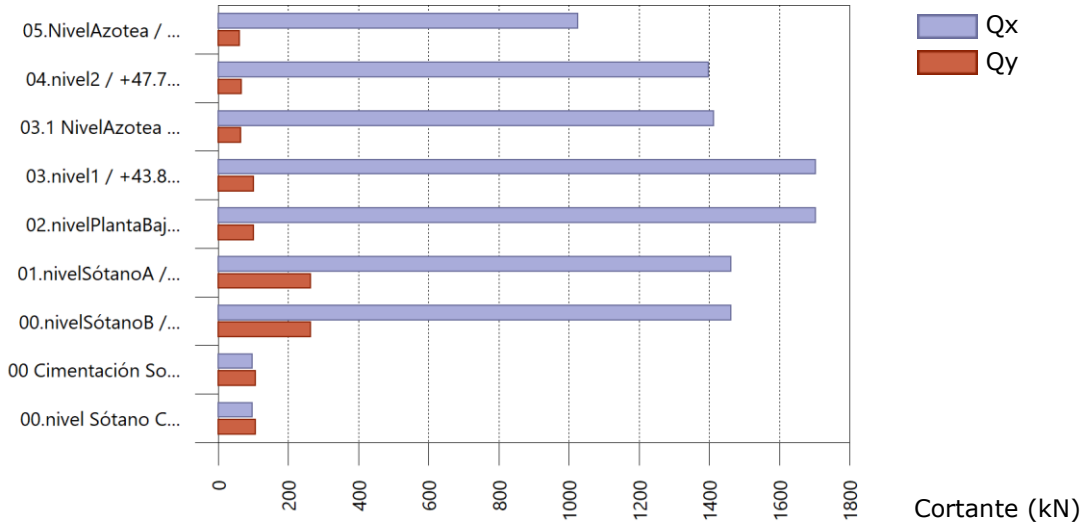
Planta	Q_x (kN)	$F_{eq,x}$ (kN)	Q_y (kN)	$F_{eq,y}$ (kN)
05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)	1025.514	1025.514	61.252	61.252
04.nivel2 / +47.70mts (Energy)	1398.303	626.491	65.438	31.191
03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)	1413.222	187.838	64.006	14.696
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)	1702.459	506.356	99.969	78.526
02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	1702.459	0.000	99.969	0.000
01.nivelSótanoA / +37.80mts	1462.175	599.698	262.943	200.961
00.nivelSótanoB / +34.94mts	1462.296	0.200	262.873	0.182
00 Cimentación SotanoB / +33.74mts	97.087	1370.435	106.514	348.499
00.nivel Sótano C / +32.08mts	97.087	0.000	106.514	0.000

Hipótesis sísmica: Sismo Y1

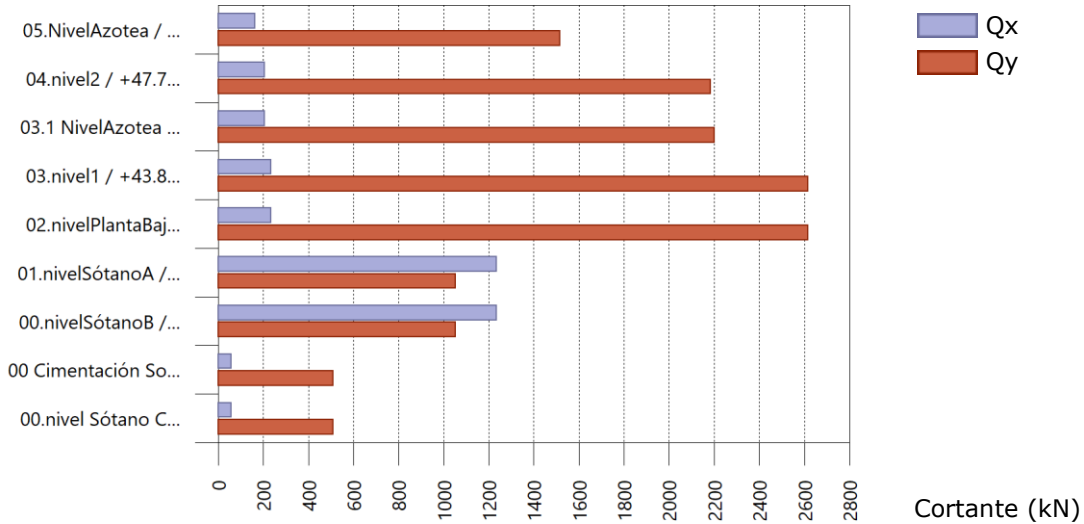
Planta	Q_x (kN)	$F_{eq,x}$ (kN)	Q_y (kN)	$F_{eq,y}$ (kN)
05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)	161.487	161.487	1516.114	1516.114
04.nivel2 / +47.70mts (Energy)	204.753	117.119	2184.061	856.208
03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)	204.799	7.470	2199.185	222.594
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)	234.547	70.147	2615.444	736.565
02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	234.547	0.000	2615.444	0.000
01.nivelSótanoA / +37.80mts	1233.508	1233.126	1051.890	1589.020
00.nivelSótanoB / +34.94mts	1233.265	0.328	1051.933	0.127
00 Cimentación SotanoB / +33.74mts	57.156	1177.158	509.261	555.641
00.nivel Sótano C / +32.08mts	57.156	0.000	509.261	0.000

Cortantes sísmicos máximos por planta

Hipótesis sísmica: Sismo X1

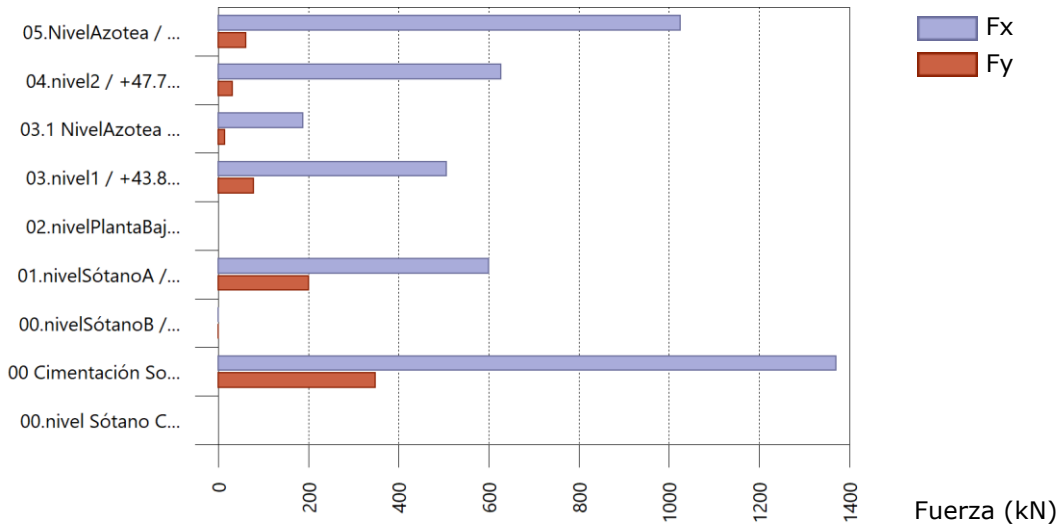


Hipótesis sísmica: Sismo Y1

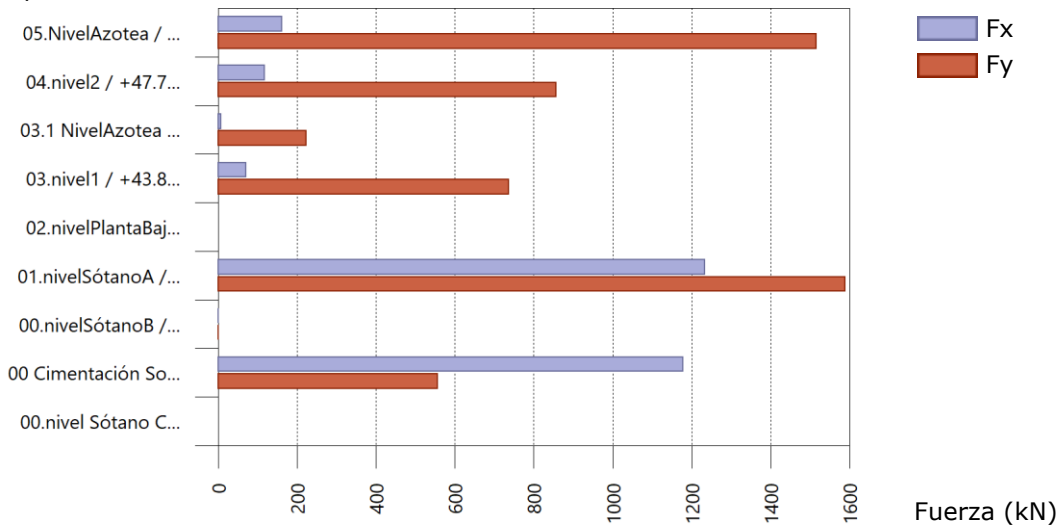


Fuerzas sísmicas equivalentes por planta

Hipótesis sísmica: Sismo X1



Hipótesis sísmica: Sismo Y1



1.6.2. Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte y por planta

El porcentaje de cortante sísmico de la columna 'Muros' incluye el cortante resistido por muros, pantallas y elementos de arriostamiento.

Hipótesis sísmica: Sismo X1

Planta	%Q _x		%Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)	100.00	0.00	100.00	0.00
04.nivel2 / +47.70mts (Energy)	100.00	0.00	100.00	0.00
03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)	100.00	0.00	100.00	0.00
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)	100.00	0.00	100.00	0.00
02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	12.33	87.67	33.64	66.36
01.nivelSótanoA / +37.80mts	12.58	87.42	12.82	87.18
00.nivelSótanoB / +34.94mts	9.62	90.38	12.91	87.09
00 Cimentación SotanoB / +33.74mts	7.63	92.37	6.31	93.69

Planta	%Q _x		%Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
00.nivel Sótano C / +32.08mts	8.60	91.40	7.26	92.74

Hipótesis sísmica: Sismo Y1

Planta	%Q _x		%Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
05.NivelAzotea / +52.37mts (Energy)	100.00	0.00	100.00	0.00
04.nivel2 / +47.70mts (Energy)	100.00	0.00	100.00	0.00
03.1 NivelAzotea / +44.47mts (Servicio)	100.00	0.00	100.00	0.00
03.nivel1 / +43.85mts (Energy)	100.00	0.00	100.00	0.00
02.nivelPlantaBaja /+40.00mts (Energy)	31.39	68.61	8.90	91.10
01.nivelSótanoA / +37.80mts	15.05	84.95	20.35	79.65
00.nivelSótanoB / +34.94mts	9.49	90.51	20.24	79.76
00 Cimentación SotanoB / +33.74mts	3.66	96.34	8.56	91.44
00.nivel Sótano C / +32.08mts	5.08	94.92	9.13	90.87

1.6.3. Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte en arranques

El porcentaje de cortante sísmico de la columna 'Muros' incluye el cortante resistido por muros, pantallas y elementos de arriostramiento.

Hipótesis sísmica	%Q _x		%Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Sismo X1	8.63	91.37	26.53	73.47
Sismo Y1	29.34	70.66	8.36	91.64

D. Distorsiones horizontales de columnas y muros

- h: Altura del nivel respecto al inmediato inferior
- Distorsión:
 - Absoluta: Diferencia entre los desplazamientos de un nivel y los del inmediatamente inferior
 - Relativa: Relación entre la altura y la distorsión absoluta
- Origen:
 - G: Sólo gravitatorias
 - GV: Gravitatorias + viento
- Nota:

Las diferentes normas suelen limitar el valor de la distorsión relativa entre plantas y de la distorsión total (desplome) del edificio.

El valor absoluto se utilizará para definir las juntas sísmicas. El valor relativo suele limitarse en función de la altura de la planta 'h'. Se comprueba el valor 'Total' tomando en ese caso como valor de 'h' la altura total.

Desplome total máximo de los pilares (Δ / H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
1 / 3922 (CE01, CE02)	1 / 3050 (CE01, CE17)	1 / 197 (CE20)	1 / 190 (CE25, CE35)
Notas: ⁽¹⁾ Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.			

Desplome local máximo de los muros (δ / h)				
Planta	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
02.nivelPlantaBaja / +40.00mts (Energy)	----	----	1 / 6711 (MO.02)	1 / 6654 (MP.01)
Notas: ⁽¹⁾ Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.				

Desplome total máximo de los muros (Δ / H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
----	----	1 / 6711 (MO.02)	1 / 6654 (MP.01)
Notas: ⁽¹⁾ Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.			

E. Combinaciones de acciones y cargas

■ Nombres de las hipótesis

PP Peso propio
 CM Cargas muertas
 Qa Sobrecarga de uso
 V(+X) Viento +X
 V(-X) Viento -X
 V(+Y) Viento +Y
 V(-Y) Viento -Y
 SX Sismo X
 SY Sismo Y

■ Categoría de uso

a) Habitación

■ E.L.U. de rotura. Hormigón

NTCRC:2017

Grupo: B

■ E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones

NTCRC:2017

Grupo: B

■ E.L.U. de rotura. Pilares mixtos de hormigón y acero

NTCRC:2017

Grupo: B

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	0.900	0.900							
2	1.300	1.300							
3	0.900	0.900	1.500						
4	1.300	1.300	1.500						
5	0.900	0.900		1.100					
6	1.100	1.100		1.100					
7	0.900	0.900	0.579	1.100					
8	1.100	1.100	0.579	1.100					
9	0.900	0.900			1.100				
10	1.100	1.100			1.100				
11	0.900	0.900	0.579		1.100				
12	1.100	1.100	0.579		1.100				
13	0.900	0.900				1.100			
14	1.100	1.100				1.100			
15	0.900	0.900	0.579			1.100			
16	1.100	1.100	0.579			1.100			
17	0.900	0.900					1.100		
18	1.100	1.100					1.100		
19	0.900	0.900	0.579				1.100		
20	1.100	1.100	0.579				1.100		
21	0.900	0.900						-0.330	-1.100
22	1.100	1.100						-0.330	-1.100

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
23	0.900	0.900	0.579					-0.330	-1.100
24	1.100	1.100	0.579					-0.330	-1.100
25	0.900	0.900						0.330	-1.100
26	1.100	1.100						0.330	-1.100
27	0.900	0.900	0.579					0.330	-1.100
28	1.100	1.100	0.579					0.330	-1.100
29	0.900	0.900						-1.100	-0.330
30	1.100	1.100						-1.100	-0.330
31	0.900	0.900	0.579					-1.100	-0.330
32	1.100	1.100	0.579					-1.100	-0.330
33	0.900	0.900						-1.100	0.330
34	1.100	1.100						-1.100	0.330
35	0.900	0.900	0.579					-1.100	0.330
36	1.100	1.100	0.579					-1.100	0.330
37	0.900	0.900						0.330	1.100
38	1.100	1.100						0.330	1.100
39	0.900	0.900	0.579					0.330	1.100
40	1.100	1.100	0.579					0.330	1.100
41	0.900	0.900						-0.330	1.100
42	1.100	1.100						-0.330	1.100
43	0.900	0.900	0.579					-0.330	1.100
44	1.100	1.100	0.579					-0.330	1.100
45	0.900	0.900						1.100	0.330
46	1.100	1.100						1.100	0.330
47	0.900	0.900	0.579					1.100	0.330
48	1.100	1.100	0.579					1.100	0.330
49	0.900	0.900						1.100	-0.330
50	1.100	1.100						1.100	-0.330
51	0.900	0.900	0.579					1.100	-0.330
52	1.100	1.100	0.579					1.100	-0.330

■ **E.L.U. de rotura. Acero conformado**
 AISI/NASPEC-2007 (LRFD)
 ASCE 7

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	1.400	1.400							
2	1.200	1.200							
3	1.200	1.200	1.600						
4	1.200	1.200		1.600					
5	1.200	1.200	0.500	1.600					
6	1.200	1.200			1.600				
7	1.200	1.200	0.500		1.600				
8	1.200	1.200				1.600			
9	1.200	1.200	0.500			1.600			
10	1.200	1.200					1.600		

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
11	1.200	1.200	0.500				1.600		
12	1.200	1.200						-0.300	-1.000
13	1.200	1.200	0.500					-0.300	-1.000
14	1.200	1.200						0.300	-1.000
15	1.200	1.200	0.500					0.300	-1.000
16	1.200	1.200						-1.000	-0.300
17	1.200	1.200	0.500					-1.000	-0.300
18	1.200	1.200						-1.000	0.300
19	1.200	1.200	0.500					-1.000	0.300
20	1.200	1.200						0.300	1.000
21	1.200	1.200	0.500					0.300	1.000
22	1.200	1.200						-0.300	1.000
23	1.200	1.200	0.500					-0.300	1.000
24	1.200	1.200						1.000	0.300
25	1.200	1.200	0.500					1.000	0.300
26	1.200	1.200						1.000	-0.300
27	1.200	1.200	0.500					1.000	-0.300
28	0.900	0.900							
29	0.900	0.900		1.600					
30	0.900	0.900			1.600				
31	0.900	0.900				1.600			
32	0.900	0.900					1.600		
33	0.900	0.900						-0.300	-1.000
34	0.900	0.900						0.300	-1.000
35	0.900	0.900						-1.000	-0.300
36	0.900	0.900						-1.000	0.300
37	0.900	0.900						0.300	1.000
38	0.900	0.900						-0.300	1.000
39	0.900	0.900						1.000	0.300
40	0.900	0.900						1.000	-0.300

■ **E.L.U. de rotura. Acero laminado**

AISC 360-10 (LRFD)

ASCE 7

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	1.400	1.400							
2	1.200	1.200							
3	1.200	1.200	1.600						
4	1.200	1.200		1.000					
5	1.200	1.200	0.500	1.000					
6	1.200	1.200			1.000				
7	1.200	1.200	0.500		1.000				
8	1.200	1.200				1.000			
9	1.200	1.200	0.500			1.000			
10	1.200	1.200					1.000		

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
11	1.200	1.200	0.500				1.000		
12	1.200	1.200						-0.300	-1.000
13	1.200	1.200	0.500					-0.300	-1.000
14	1.200	1.200						0.300	-1.000
15	1.200	1.200	0.500					0.300	-1.000
16	1.200	1.200						-1.000	-0.300
17	1.200	1.200	0.500					-1.000	-0.300
18	1.200	1.200						-1.000	0.300
19	1.200	1.200	0.500					-1.000	0.300
20	1.200	1.200						0.300	1.000
21	1.200	1.200	0.500					0.300	1.000
22	1.200	1.200						-0.300	1.000
23	1.200	1.200	0.500					-0.300	1.000
24	1.200	1.200						1.000	0.300
25	1.200	1.200	0.500					1.000	0.300
26	1.200	1.200						1.000	-0.300
27	1.200	1.200	0.500					1.000	-0.300
28	0.900	0.900							
29	0.900	0.900		1.000					
30	0.900	0.900			1.000				
31	0.900	0.900				1.000			
32	0.900	0.900					1.000		
33	0.900	0.900						-0.300	-1.000
34	0.900	0.900						0.300	-1.000
35	0.900	0.900						-1.000	-0.300
36	0.900	0.900						-1.000	0.300
37	0.900	0.900						0.300	1.000
38	0.900	0.900						-0.300	1.000
39	0.900	0.900						1.000	0.300
40	0.900	0.900						1.000	-0.300

■ **E.L.U. de rotura. Madera**
ANSI/AWC NDS-2015 (ASD)

1. Coeficientes para situaciones persistentes o transitorias y sísmicas

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	1.000	1.000							
2	1.000	1.000	1.000						
3	1.000	1.000		0.600					
4	1.000	1.000			0.600				
5	1.000	1.000				0.600			
6	1.000	1.000					0.600		
7	1.000	1.000						-0.210	-0.700
8	1.000	1.000						0.210	-0.700
9	1.000	1.000						-0.700	-0.210
10	1.000	1.000						-0.700	0.210

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
11	1.000	1.000						0.210	0.700
12	1.000	1.000						-0.210	0.700
13	1.000	1.000						0.700	0.210
14	1.000	1.000						0.700	-0.210
15	1.000	1.000	0.750	0.450					
16	1.000	1.000	0.750		0.450				
17	1.000	1.000	0.750			0.450			
18	1.000	1.000	0.750				0.450		
19	1.000	1.000						-0.157	-0.525
20	1.000	1.000	0.750					-0.157	-0.525
21	1.000	1.000						0.157	-0.525
22	1.000	1.000	0.750					0.157	-0.525
23	1.000	1.000						-0.525	-0.157
24	1.000	1.000	0.750					-0.525	-0.157
25	1.000	1.000						-0.525	0.157
26	1.000	1.000	0.750					-0.525	0.157
27	1.000	1.000						0.157	0.525
28	1.000	1.000	0.750					0.157	0.525
29	1.000	1.000						-0.157	0.525
30	1.000	1.000	0.750					-0.157	0.525
31	1.000	1.000						0.525	0.157
32	1.000	1.000	0.750					0.525	0.157
33	1.000	1.000						0.525	-0.157
34	1.000	1.000	0.750					0.525	-0.157
35	0.600	0.600							
36	0.600	0.600		0.600					
37	0.600	0.600			0.600				
38	0.600	0.600				0.600			
39	0.600	0.600					0.600		
40	0.600	0.600						-0.210	-0.700
41	0.600	0.600						0.210	-0.700
42	0.600	0.600						-0.700	-0.210
43	0.600	0.600						-0.700	0.210
44	0.600	0.600						0.210	0.700
45	0.600	0.600						-0.210	0.700
46	0.600	0.600						0.700	0.210
47	0.600	0.600						0.700	-0.210

2. Coeficientes para situaciones accidentales de incendio

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	0.900	0.900							
2	1.200	1.200							
3	0.900	0.900	0.500						
4	1.200	1.200	0.500						

■ **E.L.U. de rotura. Aluminio**

EC

Nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	1.000	1.000							
2	1.350	1.350							
3	1.000	1.000	1.500						
4	1.350	1.350	1.500						
5	1.000	1.000		1.500					
6	1.350	1.350		1.500					
7	1.000	1.000	1.050	1.500					
8	1.350	1.350	1.050	1.500					
9	1.000	1.000	1.500	0.900					
10	1.350	1.350	1.500	0.900					
11	1.000	1.000			1.500				
12	1.350	1.350			1.500				
13	1.000	1.000	1.050		1.500				
14	1.350	1.350	1.050		1.500				
15	1.000	1.000	1.500		0.900				
16	1.350	1.350	1.500		0.900				
17	1.000	1.000				1.500			
18	1.350	1.350				1.500			
19	1.000	1.000	1.050			1.500			
20	1.350	1.350	1.050			1.500			
21	1.000	1.000	1.500			0.900			
22	1.350	1.350	1.500			0.900			
23	1.000	1.000					1.500		
24	1.350	1.350					1.500		
25	1.000	1.000	1.050				1.500		
26	1.350	1.350	1.050				1.500		
27	1.000	1.000	1.500				0.900		
28	1.350	1.350	1.500				0.900		
29	1.000	1.000						-0.300	-1.000
30	1.000	1.000	0.300					-0.300	-1.000
31	1.000	1.000						0.300	-1.000
32	1.000	1.000	0.300					0.300	-1.000
33	1.000	1.000						-1.000	-0.300
34	1.000	1.000	0.300					-1.000	-0.300
35	1.000	1.000						-1.000	0.300
36	1.000	1.000	0.300					-1.000	0.300
37	1.000	1.000						0.300	1.000
38	1.000	1.000	0.300					0.300	1.000
39	1.000	1.000						-0.300	1.000
40	1.000	1.000	0.300					-0.300	1.000
41	1.000	1.000						1.000	0.300
42	1.000	1.000	0.300					1.000	0.300

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
43	1.000	1.000						1.000	-0.300
44	1.000	1.000	0.300					1.000	-0.300

■ **Tensiones sobre el terreno**

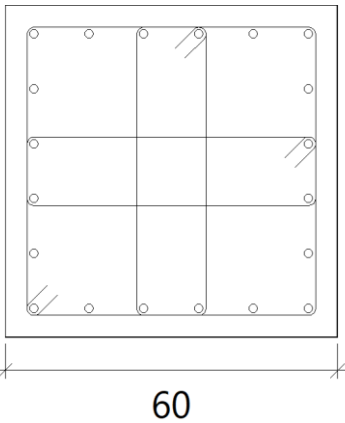
Acciones características

■ **Desplazamientos**

Acciones características

Comb.	PP	CM	Qa	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	1.000	1.000							
2	1.000	1.000	1.000						
3	1.000	1.000		1.000					
4	1.000	1.000	1.000	1.000					
5	1.000	1.000			1.000				
6	1.000	1.000	1.000		1.000				
7	1.000	1.000				1.000			
8	1.000	1.000	1.000			1.000			
9	1.000	1.000					1.000		
10	1.000	1.000	1.000				1.000		
11	1.000	1.000						-1.000	
12	1.000	1.000	1.000					-1.000	
13	1.000	1.000						1.000	
14	1.000	1.000	1.000					1.000	
15	1.000	1.000							-1.000
16	1.000	1.000	1.000						-1.000
17	1.000	1.000							1.000
18	1.000	1.000	1.000						1.000

F. Comprobaciones de columna

2) Datos del pilar	
	Geometría
	Dimensiones : 60x60 cm
	Tramo : 0.000/1.300 m
	Altura libre : 0.70 m
	Recubrimiento geométrico : 3.5 cm
Tamaño máximo de árido : 19 mm	
Materiales	Longitud de pandeo
Hormigón : $f'c=300$	Plano ZX : 0.70 m
Acero : $f_y = 4200$	Plano ZY : 0.70 m
Armadura longitudinal	Armadura transversal
Esquina : 4#5	Estribos : 2e#3+1e#3
Cara X : 8#5	Separación : 10 cm
Cara Y : 8#5	
Cuantía : 1.10 %	

Disposiciones complementarias para elementos comunes. Columnas (NTCRC:2017, 7.3)

7.3.1. Geometría

La relación entre la dimensión transversal mayor de una columna y la menor no excederá de 4. La dimensión transversal menor será por lo menos igual a 200 mm.

Dimensiones transversales: 600 mm x 600 mm. $600 / 600 = 1.0 \leq 4.0$; $600 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$ ✓

7.3.3. Refuerzo longitudinal mínimo y máximo

La cuantía del refuerzo longitudinal de la sección no será menor que 0.01 ni mayor que 0.06. El número mínimo de barra será seis en columnas circulares y cuatro en rectangulares.

Refuerzo longitudinal (f_y : 412 MPa): 20 barras \geq 4 barras ✓

$0.01 \leq 0.0110 \leq 0.0600$ ✓

7.3.4. Requisitos para refuerzo transversal

7.3.4.1. Criterio general

El refuerzo transversal de toda columna no será menor que el necesario por resistencia a fuerza cortante y torsión, en su caso, y debe cumplir con los requisitos mínimos de los párrafos siguientes.

7.3.4.2. Separación

Todas las barras o paquetes de barras longitudinales deben restringirse contra el pandeo con estribos o zunchos con separación no mayor que:

- $269/\sqrt{f_y}$ veces el diámetro de la barra o de la barra más delgada del paquete (f_y , en MPa, es el esfuerzo de fluencia de las barras longitudinales, o $850/\sqrt{f_y}$, con f_y en kg/cm^2);
- 48 diámetros de la barra del estribo; ni que
- La mitad de la menor dimensión de la columna

La separación máxima de estribos se reducirá a la mitad de la antes indicada en una longitud no menor que:

- a) la dimensión transversal máxima de la columna;
- b) un sexto de su altura libre; ni que
- c) 600 mm

arriba y abajo de cada unión de columna con trabes o losas, medida a partir del respectivo plano de intersección.

separación: $100 \text{ mm} \leq \min(105, 228, 150) = 105 \text{ mm}$ ✓

$f_y : 412 \text{ MPa}$

diámetro de la barra del estribo : $\frac{9.5}{\text{mm}}$

menor dimensión de la columna : $\frac{600}{\text{mm}}$

7.3.4.3. Detallado

a) Estribos y zunchos

Los estribos se dispondrán de manera que cada barra longitudinal de esquina y una de cada dos consecutivas de la periferia tenga un soporte lateral suministrado por el doblez de un estribo con un ángulo interno no mayor de 135 grados. Además, ninguna barra que no tenga soporte lateral debe distar más de 150 mm (libres) de una barra soportada lateralmente.

distancia libre entre una barra sin soporte lateral y una barra soportada lateralmente: $99 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$ ✓

En ningún caso se usarán estribos o anillos de diámetro menores de 7.9 mm (número 2.5).

diámetro: $9.5 \text{ mm} \geq 7.9 \text{ mm}$ ✓

Estados Límite de Falla. Combinaciones no sísmicas. Cortante (NTCRC:2017 5.3)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.3 \cdot PP + 1.3 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa$.

$0.531 \leq 1$ ✓

$V_{ux} : 42.60 \text{ kN}$

$V_{uy} : 39.56 \text{ kN}$

5.3.3.1. Fuerza cortante que toma el concreto

5.3.3.1.c. Elementos sujetos a flexión y carga axial

a) Flexocompresión

En miembros a flexocompresión en los que el valor absoluto de la fuerza axial de diseño, P_u , no exceda de

La fuerza cortante que toma el concreto, V_{CR} , se obtendrá multiplicando los valores dados por las ecs. 5.3.1 ó 5.3.2 por

Para evaluar la cuantía p se usará el área de las barras de la capa más próxima a la cara de tensión o a la de compresión mínima en secciones rectangulares, y $0.33 \cdot A_s$ en secciones circulares, donde A_s es el área total de acero en la sección. Para esta últimas $b \cdot d$ se sustituirá por A_g , donde A_g es el área de la sección bruta de la sección transversal.

Si $p < 0.015$

$F_R = 0.75$ para cortante y torsión.

	P_u (kN)	A_g (mm ²)	P	f'_c (MPa)	b (mm)	d (mm)	V_{CR} (kN)
X	18.99	360000	0.00660	29	600	449	109.46
Y	18.99	360000	0.00660	29	600	449	109.46

Estados Límite de Falla. Combinaciones sísmicas. Cortante (NTCRC:2017 5.3)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.1 \cdot PP + 1.1 \cdot CM + 0.578947 \cdot Q_a + 0.33 \cdot SX + 1.1 \cdot SY$.

$$0.948 \leq 1 \quad \checkmark$$

$$V_{ux} : \underline{35.80} \text{ kN}$$

$$V_{uy} : \underline{86.19} \text{ kN}$$

5.3.3.1. Fuerza cortante que toma el concreto

5.3.3.1.c. Elementos sujetos a flexión y carga axial

b) Flexotensión

En miembros sujetos a flexotensión 5.3.1 se obtendrá multiplicando los valores dados por las ecs. 5.3.2 ó V_{CR} por

Para valuar la cuantía p se usará el área de las barras de la capa más próxima a la cara de tensión o a la de compresión mínima en secciones rectangulares, y $0.33 \cdot A_s$ en secciones circulares, donde A_s es el área total de acero en la sección. Para esta últimas $b \cdot d$ se sustituirá por A_g , donde A_g es el área de la sección bruta de la sección transversal.

Si $p < 0.015$

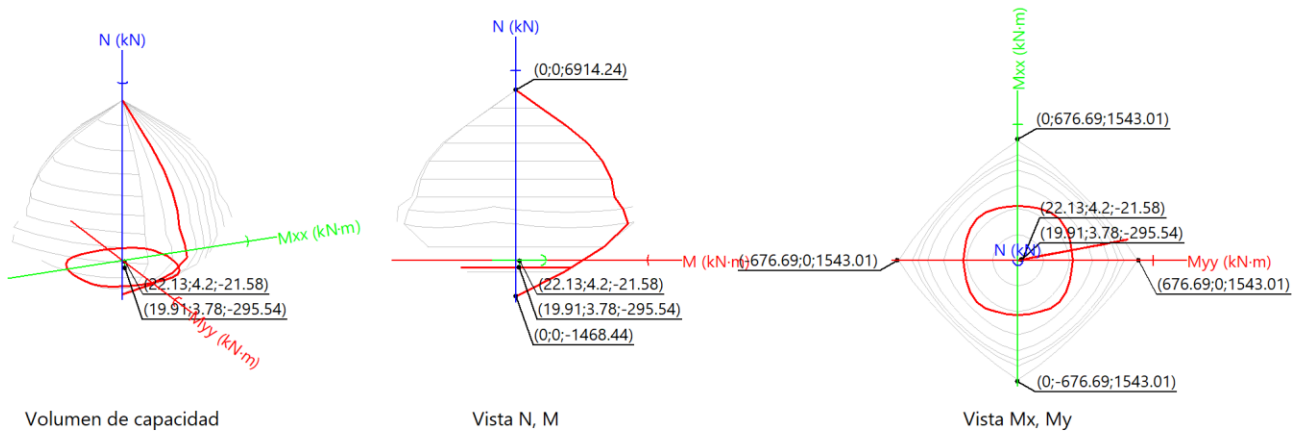
$F_R = 0.75$ para cortante y torsión.

	P_u (kN)	A_g (mm ²)	P	f'_c (MPa)	b (mm)	d (mm)	V_{CR} (kN)
X	-117.28	360000	0.00660	29	600	449	98.40
Y	-117.28	360000	0.00660	29	600	449	98.40

Estados Límite de Falla. Flexión, carga axial y flexocompresión. Combinaciones no sísmicas (NTCRC:2017 3.5, 5.1, 5.2, 5.5)

Los esfuerzos solicitantes pésimos se producen para la sección 0.233 m ($N_u = -21.6$ kN, $M_{u,x} = 22.1$ kN·m, $M_{u,y} = 4.2$ kN·m) para la combinación de acciones: $1.1 \cdot PP + 1.1 \cdot CM + 0.578947 \cdot Q_a + 1.1 \cdot V(+Y)$

$$0.073 \leq 1.00 \quad \checkmark$$



Donde

Esfuerzos de diseño, obtenidos de un análisis elástico de primer orden.

$$\begin{aligned} N_u &: \underline{-21.6} \text{ kN} \\ M_{u,x} &: \underline{22.1} \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{u,y} &: \underline{4.2} \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

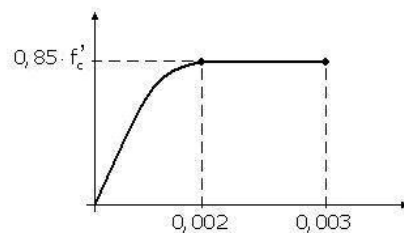
Esfuerzos resistentes, obtenidos a partir de las condiciones de equilibrio, con las mismas excentricidades que los esfuerzos de diseño de primer orden.

$$\begin{aligned} N_R &: \underline{-328.4} \text{ kN} \\ M_{R,x} &: \underline{338.5} \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{R,y} &: \underline{64.0} \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

3.5. Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexión, carga axial y flexocompresión

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una combinación de ambas, se efectuará a partir de las condiciones de equilibrio y de las siguientes hipótesis:

- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana;
- Existente adherencia entre el concreto y el acero de tal manera que la deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente;
- El concreto no resiste esfuerzos de tensión;
- La deformación unitaria del concreto en compresión cuando se alcanza la resistencia de la sección es 0.003;
- Distribución de esfuerzos de compresión en el concreto;

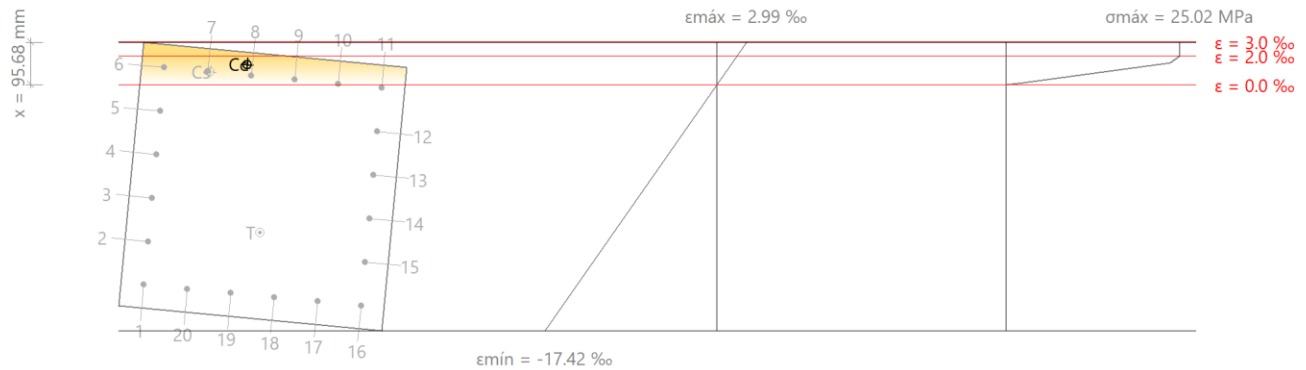


El diagrama esfuerzo-deformación unitaria del acero de refuerzo ordinario, aunque sea torcido en frío, puede idealizarse por medio de una recta que pase por el origen, con pendiente igual a E_s y una recta

horizontal que pase por la ordenada correspondiente al esfuerzo de fluencia del acero, F_y . En aceros que no presenten fluencia bien definida, la recta horizontal pasará por el esfuerzo convencional de fluencia. El esfuerzo convencional de fluencia se define por la intersección del diagrama esfuerzo-deformación unitaria con una recta paralela al tramo elástico, cuya abscisa al origen es 0.002, o como lo indique la norma respectiva de las mencionadas en la sección 2.2. Pueden utilizarse otras idealizaciones razonables, o bien la gráfica del acero empleado obtenida experimentalmente. La resistencia determinada con estas hipótesis, multiplicada por el factor F_R correspondiente, da la resistencia de diseño.

$$F_R = 0.9$$

Equilibrio de la sección para los esfuerzos de agotamiento, calculados con las mismas excentricidades que los esfuerzos de cálculo pésimos



Barra	Designación	X (mm)	Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	#5	-248	248	-412.02	-0.01417
2	#5	-149	248	-412.02	-0.01110
3	#5	-50	248	-412.02	-0.00802
4	#5	50	248	-412.02	-0.00495
5	#5	149	248	-367.68	-0.00187
6	#5	248	248	+235.66	+0.00120
7	#5	248	149	+178.38	+0.00091
8	#5	248	50	+121.11	+0.00062
9	#5	248	-50	+63.83	+0.00033
10	#5	248	-149	+6.55	+0.00003
11	#5	248	-248	-50.72	-0.00026
12	#5	149	-248	-412.02	-0.00333
13	#5	50	-248	-412.02	-0.00641
14	#5	-50	-248	-412.02	-0.00948
15	#5	-149	-248	-412.02	-0.01256
16	#5	-248	-248	-412.02	-0.01563
17	#5	-248	-149	-412.02	-0.01534
18	#5	-248	-50	-412.02	-0.01505
19	#5	-248	50	-412.02	-0.01476
20	#5	-248	149	-412.02	-0.01447

	Resultante (kN)	e_x (mm)	e_y (mm)
Cc	119.89	271.60	60.73
Cs	119.89	247.54	143.17
T	1143.38	-104.94	-4.08

$$N_R : \underline{-328.4} \text{ kN}$$

$$M_{R,x} : \underline{338.5} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{R,y} : \underline{64.0} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde

C_c: Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s: Resultante de compresiones en el acero.

T: Resultante de tracciones en el acero.

e_c: Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_s: Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_T: Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

ε_{c,max}: Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

ε_{s,max}: Deformación de la barra de acero más traccionada.

σ_{c,max}: Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

σ_{s,max}: Tensión de la barra de acero más traccionada.

$$C_c : \underline{695.12} \text{ kN}$$

$$C_s : \underline{119.89} \text{ kN}$$

$$T : \underline{1143.38} \text{ kN}$$

$$e_{c,x} : \underline{271.60} \text{ mm}$$

$$e_{c,y} : \underline{60.73} \text{ mm}$$

$$e_{s,x} : \underline{247.54} \text{ mm}$$

$$e_{s,y} : \underline{143.17} \text{ mm}$$

$$e_{T,x} : \underline{-104.94} \text{ mm}$$

$$e_{T,y} : \underline{-4.08} \text{ mm}$$

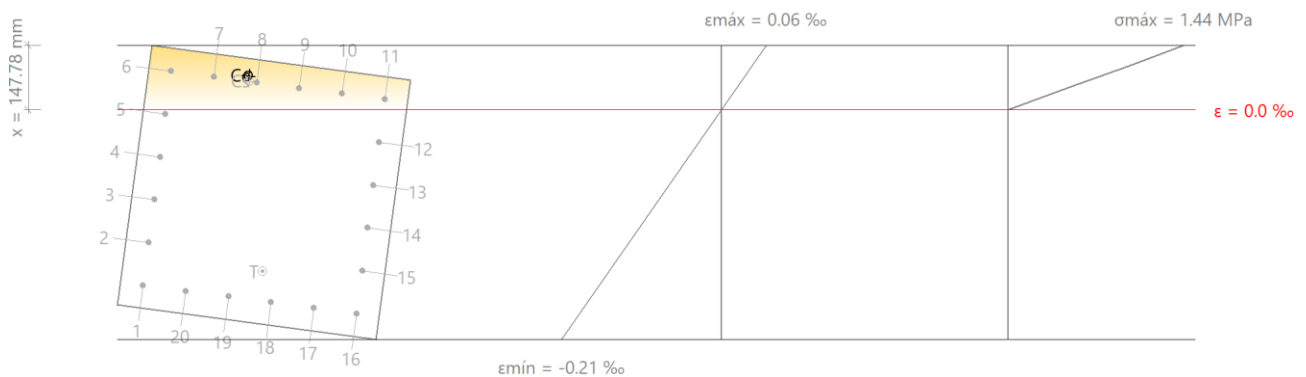
$$\varepsilon_{c,max} : \underline{0.00299}$$

$$\varepsilon_{s,max} : \underline{0.01563}$$

$$\sigma_{c,max} : \underline{25.02} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,max} : \underline{412.02} \text{ MPa}$$

Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos:



Barra	Designación	X (mm)	Y (mm)	σ_s (MPa)	ε
1	#5	-248	248	-31.11	-0.00016
2	#5	-149	248	-23.51	-0.00012
3	#5	-50	248	-15.91	-0.00008
4	#5	50	248	-8.31	-0.00004
5	#5	149	248	-0.72	0.00000
6	#5	248	248	+6.88	+0.00004
7	#5	248	149	+5.87	+0.00003
8	#5	248	50	+4.87	+0.00002
9	#5	248	-50	+3.86	+0.00002
10	#5	248	-149	+2.86	+0.00001
11	#5	248	-248	+1.85	+0.00001
12	#5	149	-248	-5.75	-0.00003
13	#5	50	-248	-13.34	-0.00007
14	#5	-50	-248	-20.94	-0.00011
15	#5	-149	-248	-28.54	-0.00015
16	#5	-248	-248	-36.14	-0.00018
17	#5	-248	-149	-35.13	-0.00018
18	#5	-248	-50	-34.12	-0.00017
19	#5	-248	50	-33.12	-0.00017
20	#5	-248	149	-32.11	-0.00016

	Resultante (kN)	e_x (mm)	e_y (mm)
Cc	5.19	260.41	69.37
Cs	5.19	247.54	66.56
T	63.11	-180.26	-21.09

$$N_u : \underline{-21.6} \text{ kN}$$

$$M_{u,x} : \underline{22.1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{u,y} : \underline{4.2} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

e_c : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_s : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_T : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

$$C_c : \underline{36.35} \text{ kN}$$

$$C_s : \underline{5.19} \text{ kN}$$

$$T : \underline{63.11} \text{ kN}$$

$$e_{c,x} : \underline{260.41} \text{ mm}$$

$$e_{c,y} : \underline{69.37} \text{ mm}$$

$$e_{s,x} : \underline{247.54} \text{ mm}$$

$$e_{s,y} : \underline{66.56} \text{ mm}$$

$$e_{T,x} : \underline{-180.26} \text{ mm}$$

$$e_{T,y} : \underline{-21.09} \text{ mm}$$

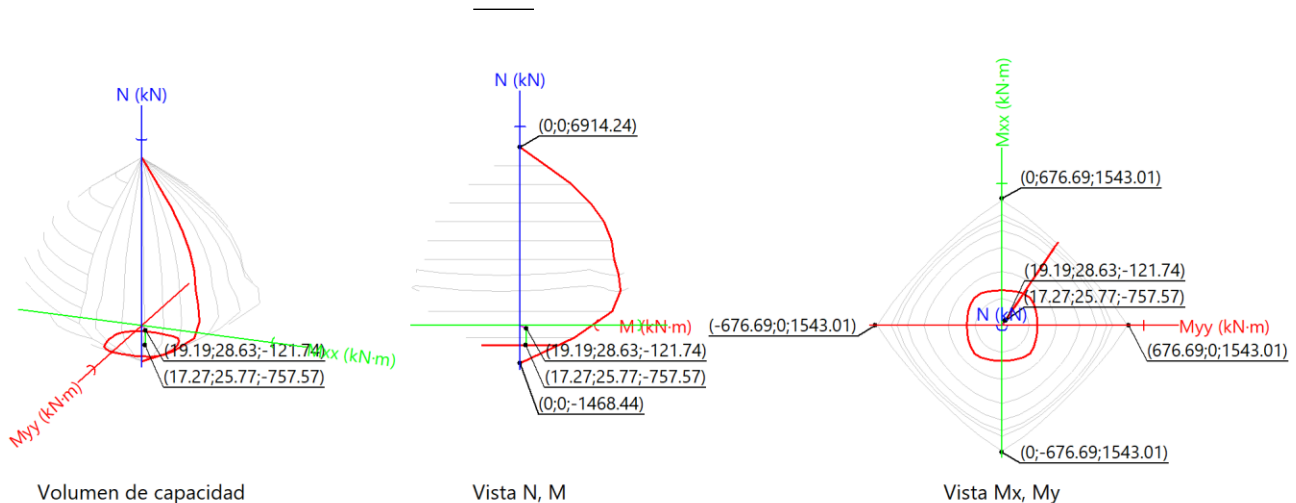
$\epsilon_{c,max}$: Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.
 $\epsilon_{s,max}$: Deformación de la barra de acero más traccionada.
 $\sigma_{c,max}$: Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.
 $\sigma_{s,max}$: Tensión de la barra de acero más traccionada.

$\epsilon_{c,max}$: $\underline{0.00006}$
 $\epsilon_{s,max}$: $\underline{0.00018}$
 $\sigma_{c,max}$: $\underline{1.44}$ MPa
 $\sigma_{s,max}$: $\underline{36.14}$ MPa

Estados Límite de Falla. Flexión, carga axial y flexocompresión. Combinaciones sísmicas (NTCRC:2017 3.5, 5.1, 5.2, 5.5)

Los esfuerzos solicitantes pésimos se producen para la sección Pie ($N_u = -121.7$ kN, $M_{u,x} = 19.2$ kN·m, $M_{u,y} = 28.6$ kN·m) para la combinación de acciones: $1.1 \cdot PP + 1.1 \cdot CM + 0.33 \cdot SX + 1.1 \cdot SY$

0.161 ≤ 1.00 ✓



Donde

Esfuerzos de diseño, obtenidos de un análisis elástico de primer orden.

N_u : $\underline{-121.7}$ kN
 $M_{u,x}$: $\underline{19.2}$ kN·m
 $M_{u,y}$: $\underline{28.6}$ kN·m

Esfuerzos resistentes, obtenidos a partir de las condiciones de equilibrio, con las mismas excentricidades que los esfuerzos de diseño de primer orden.

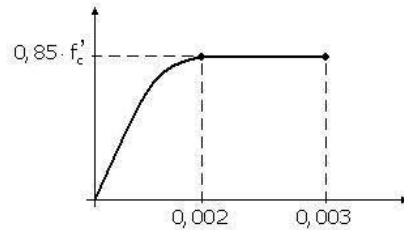
N_R : $\underline{-841.7}$ kN
 $M_{R,x}$: $\underline{132.6}$ kN·m
 $M_{R,y}$: $\underline{197.7}$ kN·m

3.5. Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexión, carga axial y flexocompresión

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una combinación de ambas, se efectuará a partir de las condiciones de equilibrio y de las siguientes hipótesis:

- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana;
- Existente adherencia entre el concreto y el acero de tal manera que la deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente;
- El concreto no resiste esfuerzos de tensión;

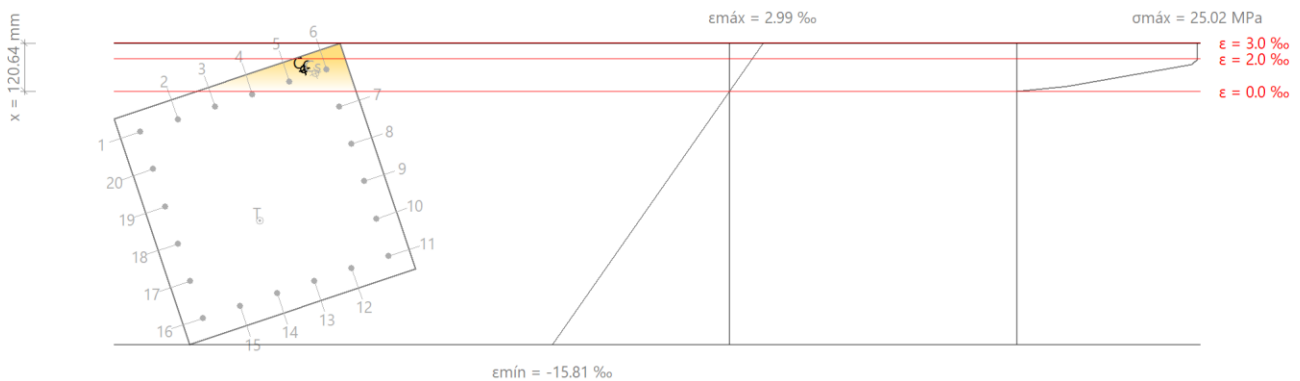
- d) La deformación unitaria del concreto en compresión cuando se alcanza la resistencia de la sección es 0.003;
 e) Distribución de esfuerzos de compresión en el concreto;



El diagrama esfuerzo-deformación unitaria del acero de refuerzo ordinario, aunque sea torcido en frío, puede idealizarse por medio de una recta que pase por el origen, con pendiente igual a E_s y una recta horizontal que pase por la ordenada correspondiente al esfuerzo de fluencia del acero, F_y . En aceros que no presenten fluencia bien definida, la recta horizontal pasará por el esfuerzo convencional de fluencia. El esfuerzo convencional de fluencia se define por la intersección del diagrama esfuerzo-deformación unitaria con una recta paralela al tramo elástico, cuya abscisa al origen es 0.002, o como lo indique la norma respectiva de las mencionadas en la sección 2.2. Pueden utilizarse otras idealizaciones razonables, o bien la gráfica del acero empleado obtenida experimentalmente. La resistencia determinada con estas hipótesis, multiplicada por el factor F_R correspondiente, da la resistencia de diseño.

$$F_R = 0.9$$

Equilibrio de la sección para los esfuerzos de agotamiento, calculados con las mismas excentricidades que los esfuerzos de cálculo pésimos



Barra	Designación	X (mm)	Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	#5	-248	248	-412.02	-0.00255
2	#5	-149	248	-346.98	-0.00177
3	#5	-50	248	-194.40	-0.00099
4	#5	50	248	-41.83	-0.00021
5	#5	149	248	+110.75	+0.00056

Barra	Designación	X (mm)	Y (mm)	σ_s (MPa)	ε
6	#5	248	248	+263.32	+0.00134
7	#5	248	149	-192.50	-0.00098
8	#5	248	50	-412.02	-0.00330
9	#5	248	-50	-412.02	-0.00563
10	#5	248	-149	-412.02	-0.00795
11	#5	248	-248	-412.02	-0.01027
12	#5	149	-248	-412.02	-0.01105
13	#5	50	-248	-412.02	-0.01183
14	#5	-50	-248	-412.02	-0.01261
15	#5	-149	-248	-412.02	-0.01338
16	#5	-248	-248	-412.02	-0.01416
17	#5	-248	-149	-412.02	-0.01184
18	#5	-248	-50	-412.02	-0.00952
19	#5	-248	50	-412.02	-0.00719
20	#5	-248	149	-412.02	-0.00487

	Resultante (kN)	e_x (mm)	e_y (mm)
Cc	74.07	194.24	264.60
Cs	74.07	218.23	247.54
T	1295.71	-32.92	-60.85

$$N_R : \underline{-841.7} \text{ kN}$$

$$M_{R,x} : \underline{132.6} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{R,y} : \underline{197.7} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

e_c : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_s : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_T : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

$\varepsilon_{c,max}$: Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

$\varepsilon_{s,max}$: Deformación de la barra de acero más traccionada.

$\sigma_{c,max}$: Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

$\sigma_{s,max}$: Tensión de la barra de acero más traccionada.

$$C_c : \underline{379.89} \text{ kN}$$

$$C_s : \underline{74.07} \text{ kN}$$

$$T : \underline{1295.71} \text{ kN}$$

$$e_{c,x} : \underline{194.24} \text{ mm}$$

$$e_{c,y} : \underline{264.60} \text{ mm}$$

$$e_{s,x} : \underline{218.23} \text{ mm}$$

$$e_{s,y} : \underline{247.54} \text{ mm}$$

$$e_{T,x} : \underline{-32.92} \text{ mm}$$

$$e_{T,y} : \underline{-60.85} \text{ mm}$$

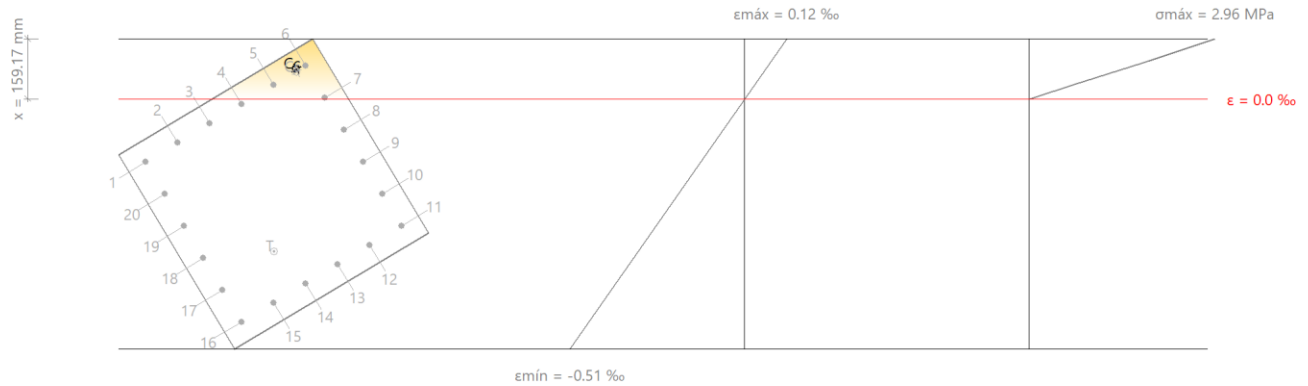
$$\varepsilon_{c,max} : \underline{0.00299}$$

$$\varepsilon_{s,max} : \underline{0.01416}$$

$$\sigma_{c,max} : \underline{25.02} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,max} : \underline{412.02} \text{ MPa}$$

Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos:



Barra	Designación	X (mm)	Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	#5	-248	248	-25.21	-0.00013
2	#5	-149	248	-17.54	-0.00009
3	#5	-50	248	-9.87	-0.00005
4	#5	50	248	-2.20	-0.00001
5	#5	149	248	+5.47	+0.00003
6	#5	248	248	+13.14	+0.00007
7	#5	248	149	+0.34	0.00000
8	#5	248	50	-12.45	-0.00006
9	#5	248	-50	-25.25	-0.00013
10	#5	248	-149	-38.04	-0.00019
11	#5	248	-248	-50.84	-0.00026
12	#5	149	-248	-58.51	-0.00030
13	#5	50	-248	-66.17	-0.00034
14	#5	-50	-248	-73.84	-0.00038
15	#5	-149	-248	-81.51	-0.00042
16	#5	-248	-248	-89.18	-0.00045
17	#5	-248	-149	-76.39	-0.00039
18	#5	-248	-50	-63.59	-0.00032
19	#5	-248	50	-50.80	-0.00026
20	#5	-248	149	-38.00	-0.00019

	Resultante (kN)	e_x (mm)	e_y (mm)
Cc	3.75	222.36	253.46
Cs	3.75	218.97	245.75
T	154.32	-77.49	-132.19

N_u : -121.7 kN

$$M_{u,x} : \underline{19.2} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{u,y} : \underline{28.6} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

$$C_c : \underline{28.83} \text{ kN}$$

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

$$C_s : \underline{3.75} \text{ kN}$$

T : Resultante de tracciones en el acero.

$$T : \underline{154.32} \text{ kN}$$

$e_{c,x}$: Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

$$e_{c,x} : \underline{222.36} \text{ mm}$$

$$e_{c,y} : \underline{253.46} \text{ mm}$$

$e_{s,x}$: Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

$$e_{s,x} : \underline{218.97} \text{ mm}$$

$$e_{s,y} : \underline{245.75} \text{ mm}$$

$e_{T,x}$: Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

$$e_{T,x} : \underline{-77.49} \text{ mm}$$

$$e_{T,y} : \underline{-132.19} \text{ mm}$$

$\epsilon_{c,max}$: Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

$$\epsilon_{c,max} : \underline{0.00012}$$

$\epsilon_{s,max}$: Deformación de la barra de acero más traccionada.

$$\epsilon_{s,max} : \underline{0.00045}$$

$\sigma_{c,max}$: Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

$$\sigma_{c,max} : \underline{2.96} \text{ MPa}$$

$\sigma_{s,max}$: Tensión de la barra de acero más traccionada.

$$\sigma_{s,max} : \underline{89.18} \text{ MPa}$$

Criterios de diseño por sismo (NTCRC:2017)

Debido a la categoría de diseño sísmico de la estructura, no se realiza ninguna comprobación en cuanto a criterios de diseño por sismo.

Estructuras de ductilidad baja. Columnas (7.3) (México NTC DF 2017)

En esta zona no son aplicables las comprobaciones de diseño por capacidad. ✓

7.3.4. Requisitos para fuerza a cortante (México NTC DF 2017)

No se realiza la comprobación debido a la categoría de diseño sísmico de la estructura. ✓

G. Comprobaciones de ELU y ELS de trabe

F. Datos de la viga	
	Geometría
	Dimensiones : 30x65
	Luz libre : 6.1 m
	Recubrimiento geométrico superior : 2.0 cm
	Recubrimiento geométrico inferior : 2.0 cm
	Recubrimiento geométrico lateral : 2.0 cm
	Materiales
	Hormigón : f'c=300
	Armadura longitudinal : fy = 4200
	Armadura transversal : fy = 4200

RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Vano	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (NTCRC:2017)													Estado
	Arm.	Q	Q S.	N,M	N,M S.	T,Dim	T,Ref	T,Det	T,Min(X)	T,Min(Y)	T,Sep	Sism.	Cap. H	
CE65 - CE66	Cumple	'5.437 m' $\eta = 46.0$	'0.618 m' $\eta = 33.3$	'5.437 m' $\eta = 77.9$	'5.437 m' $\eta = 54.9$	'1.729 m' $\eta = 6.1$	'2.343 m' $\eta = 13.1$	'1.729 m' $\eta = 43.3$	N.P. ⁽¹⁾	'1.729 m' Cumple	'1.729 m' Cumple	N.P. ⁽²⁾	Cumple	CUMPLE $\eta = 77.9$
<p>Notación:</p> <p>Arm.: Disposiciones complementarias para elementos comunes. Vigas</p> <p>Q: Estados Límite de Falla. Combinaciones no sísmicas. Cortante (NTCRC:2017 5.3)</p> <p>Q S.: Estados Límite de Falla. Combinaciones sísmicas. Cortante (NTCRC:2017 5.3)</p> <p>N,M: Estados Límite de Falla. Flexión, carga axial y flexocompresión. Combinaciones no sísmicas (NTCRC:2017 3.5, 5.1, 5.2, 5.5)</p> <p>N,M S.: Estados Límite de Falla. Flexión, carga axial y flexocompresión. Combinaciones sísmicas (NTCRC:2017 3.5, 5.1, 5.2, 5.5)</p> <p>T,Dim: 5.4.3. Resistencia a torsión. Dimensiones mínimas</p> <p>T,Ref: 5.4.4. Resistencia a torsión. Refuerzo por torsión</p> <p>T,Det: 5.4.4.2. Resistencia a torsión. Detallado del refuerzo</p> <p>T,Min(X): 5.4.4.1. Resistencia a torsión. Refuerzo mínimo por torsión (X)</p> <p>T,Min(Y): 5.4.4.1. Resistencia a torsión. Refuerzo mínimo por torsión (Y)</p> <p>T,Sep: 5.4.4.2. Resistencia a torsión. Separación de refuerzo por torsión</p> <p>Sism.: Criterios de diseño por sismo</p> <p>Cap. H: Estructuras de ductilidad baja. Vigas (7.2)</p> <p>x: Distancia al origen de la barra</p> <p>η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p> <p>N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>⁽¹⁾ La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.</p> <p>⁽²⁾ Debido a la categoría de diseño sísmico de la estructura, no se realiza ninguna comprobación en cuanto a criterios de diseño por sismo.</p>														

Vano	COMPROBACIONES DE FISURACIÓN (NTCRC:2017)				Estado
	1	2	3	4	
CE65 - CE66	x: 0 m Cumple	x: 6.055 m Cumple	Cumple	x: 6.055 m Cumple	CUMPLE
<p>Notación:</p> <p>1: Estados Límite de Servicio. Agrietamiento en elementos no presforzados que trabajan en una dirección (14.3) (Cara superior)</p> <p>2: Estados Límite de Servicio. Agrietamiento en elementos no presforzados que trabajan en una dirección (14.3) (Cara lateral derecha)</p> <p>3: Estados Límite de Servicio. Agrietamiento en elementos no presforzados que trabajan en una dirección (14.3) (Cara inferior)</p> <p>4: Estados Límite de Servicio. Agrietamiento en elementos no presforzados que trabajan en una dirección (14.3) (Cara lateral izquierda)</p> <p>x: Distancia al origen de la barra</p> <p>η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p>					

Viga	A plazo infinito (Característica) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = \text{Mín.}(L/240+0.00)$	Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = \text{Mín.}(L/480+0.00)$	Estado
CE65 - CE66	$f_{T,max}$: 3.27 mm $f_{T,lim}$: 25.23 mm	$f_{A,max}$: 2.16 mm $f_{A,lim}$: 12.61 mm	CUMPLE

H. Cuantificaciones de la obra

Referencia	Area total [m ²]	Acero GR42 [Kg]	Malla electrosoldada 6x6-06/06 [Kg]	Concreto fc =250 [m ³]	Concreto fc =200 [m ³]	Concreto fc =150 [m ³]	Índice acero de refuerzo GR42 [kg/m ²]	Índice acero de refuerzo GR42 [kg/m ²]	Índice concreto [m ³ /m ²]
TOTAL OBRA	5,004.12	190,039.05	7,855.94	1,594.86	0.00	0.00	119.16	37.98	0.32
SUPERESTRUCTURA	5,004.12	190,039.05	7,855.94	1,594.86	0.00	0.00	119.16	37.98	0.32
Sótano C	30.44	5,891.00	0.00	50.95	0.00	0.00	115.62	193.53	1.67
Sótano B	411.09	33,255.65	620.48	269.53	0.00	0.00	123.39	80.90	0.66
Sótano A	161.87	11,741.40	215.43	118.83	0.00	0.00	98.81	72.54	0.73
Planta Baja	2,327.98	77,766.15	3,921.33	634.71	0.00	0.00	122.52	33.40	0.27
Nivel 1	614.80	20,635.80	897.55	156.54	0.00	0.00	131.82	33.57	0.25
Cubierta (Servicio)	102.56	7,418.70	121.25	47.18	0.00	0.00	157.24	72.34	0.46
Nivel 2	507.70	12,009.45	830.69	112.82	0.00	0.00	106.45	23.65	0.22
Cubierta	847.68	21,320.90	1,249.22	204.31	0.00	0.00	104.36	25.15	0.24
Columnas	0.00	44,270.00	0.00	202.75	0.00	0.00	218.35	0	0
Sótano C	-	2,792.00	-	8.77	-	-	318.36	0	0
Sótano B	-	17,236.00	-	83.08	-	-	207.46	0	0
Sótano A	-	4,039.00	-	17.86	-	-	226.15	0	0
Planta Baja	-	3,177.00	-	13.08	-	-	242.89	0	0
Nivel 1	-	6,635.00	-	29.82	-	-	222.50	0	0
Cubierta (Servicio)	-	4,972.00	-	23.84	-	-	208.56	0	0
Nivel 2	-	0.00	-	0.00	-	-	0	0	0
Cubierta	-	5,419.00	-	26.30	-	-	206.05	0	0
Muros de contención	0.00	38,989.00	0.00	430.84	0.00	0.00	90.49	0	0
Sótano C	-	3,099.00	-	42.18	-	-	73.47	0	0
Sótano B	-	12,838.00	-	145.02	-	-	88.53	0	0
Sótano A	-	5,484.00	-	75.45	-	-	72.69	0	0
Planta Baja	-	17,568.00	-	168.20	-	-	104.45	0	0
Nivel 1	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Cubierta (Servicio)	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Nivel 2	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Cubierta	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Muros de corte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0
Trabes	1,107.90	64,851.00	0.00	562.01	0.00	0.00	115.39	58.54	0.51
Sótano C	30.44	-	-	-	-	-	0	0.00	0.00
Sótano B	118.91	420.00	-	6.00	-	-	70.00	3.53	0.05
Sótano A	48.48	785.00	-	10.74	-	-	73.09	16.19	0.22
Planta Baja	396.96	31,835.00	-	249.81	-	-	127.44	80.20	0.63
Nivel 1	181.18	10,659.00	-	85.93	-	-	124.04	58.83	0.47
Cubierta (Servicio)	11.20	794.00	-	10.41	-	-	76.27	70.89	0.93
Nivel 2	103.58	8,801.00	-	74.53	-	-	118.09	84.97	0.72
Cubierta	217.15	11,557.00	-	124.59	-	-	92.76	53.22	0.57
Losas casetonadas bidireccionales	1,819.48	20,173.65	4,122.03	187.09	0.00	0.00	107.83	11.09	0.10
Sótano C	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Sótano B	228.25	1,885.80	517.10	28.76	-	-	65.57	8.26	0.13
Sótano A	95.09	701.40	215.43	11.98	-	-	58.55	7.38	0.13
Planta Baja	1,442.62	17,068.80	3,268.26	141.37	-	-	120.74	11.83	0.10
Nivel 1	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Cubierta (Servicio)	53.52	517.65	121.25	4.98	-	-	103.95	9.67	0.09
Nivel 2	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Cubierta	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Losas llenas	281.07	7,814.10	0.00	53.03	0.00	0.00	147.35	27.80	0.19
Sótano C	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Sótano B	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Sótano A	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Planta Baja	131.78	3,654.00	-	25.86	-	-	141.30	27.73	0.20
Nivel 1	16.16	489.30	-	2.27	-	-	215.55	30.28	0.14
Cubierta (Servicio)	37.84	1,135.05	-	7.95	-	-	142.77	30.00	0.21
Nivel 2	16.17	495.60	-	2.27	-	-	218.33	30.65	0.14
Cubierta	79.12	2,040.15	-	14.68	-	-	138.97	25.79	0.19
Losas casetonadas unidireccionales	1,648.16	8,040.90	3,733.91	136.58	0.00	0.00	58.87	4.88	0.08
Sótano C	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Sótano B	45.63	1,43.85	103.37	3.87	-	-	37.17	3.15	0.08
Sótano A	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0	0	0
Planta Baja	288.27	1,729.35	653.08	25.93	-	-	66.69	6.00	0.09
Nivel 1	396.18	2,001.30	897.55	35.27	-	-	56.74	5.05	0.09
Cubierta (Servicio)	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Nivel 2	366.67	1,861.65	830.69	32.77	-	-	56.81	5.08	0.09
Cubierta	551.41	2,304.75	1,249.22	38.74	-	-	59.49	4.18	0.07
Escaleras	1,47.51	5,900.40	0.00	22.56	0.00	0.00	261.54	40.00	0.15
Sótano C	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Sótano B	18.30	732.00	-	2.80	-	-	261.43	40.00	0.15
Sótano A	18.30	732.00	-	2.80	-	-	261.43	40.00	0.15
Planta Baja	68.35	2,734.00	-	10.46	-	-	261.38	40.00	0.15
Nivel 1	21.28	851.20	-	3.25	-	-	261.91	40.00	0.15
Cubierta (Servicio)	0.00	0.00	-	0.00	-	-	0	0	0
Nivel 2	21.28	851.20	-	3.25	-	-	261.91	40.00	0.15
Cubierta	0.00	0.00	-	0.00	-	-	0	0	0