



Universidad autónoma del estado de México

Facultad de ingeniería

BIM MANAGEMENT EN MONTEJO BEACH TELCHAC PUERTO, YUCATÁN

Reporte de aplicación de conocimientos

Para obtener el título de:

Ingeniero Civil

Autor:

Julián Espínola

Director de reporte:

Dr. David Joaquín Delgado Hernández

Toluca, Estado de México, 2023

1. Índice de contenido	
1. Índice de contenido	1
2. Índice de figuras	3
3. Índice de tablas	8
4. Listado de Acrónimos	9
5. Resumen	10
6. Definición y caracterización del problema y su relación con el plan de estudios cursado...	10
7. Introducción.....	11
7.1. Antecedentes.	11
7.2. Aplicación de BIM en el proyecto.	19
7.3. Concepto estructural.	25
7.4. Justificación.....	26
7.5. Objetivo y alcance.....	26
8. El Proyecto de construcción.....	26
8.1. Sustentación del edificio.....	26
8.2. Súper estructura (Estructura Portante y Estructura Horizontal).....	28
9. Criterios de Diseño.....	30
10. Softwares utilizados en FSGROUP Engineering México	30
10.1. AutoCAD	30
10.2. Revit	32
10.3. CYPECAD	34
10.4. Jira software y metodología SCRUM	37

10.5.	Confluence	39
11.	Rol Profesional en FSGROUP Engineering México	39
11.1.	Introducción.....	39
11.2.	Departamento de Estudios y Desarrollo de Negocio.....	40
11.3.	Departamento de Producción.....	40
11.4.	Departamento de Posventa.....	40
11.5.	Uso de Autocad, Revit y CYPECAD en FSGroup Engineering México.....	40
11.6.	Entrega ejecutiva archivo Main	46
11.7.	Entrega de proyecto	72
11.8.	Actualizaciones	72
12.	Conclusiones.....	72
13.	Bibliografía	75
14.	Anexo A. Criterios de diseño.....	77
14.1.	Normativa.....	77
14.2.	Modelo analítico.	77
14.3.	Exigencias básicas de la seguridad estructural.	80
15.	Anexo B. Sección 3.2 NTC Diseño y construcción estructuras de concreto	111
16.	Anexo C. Art 148 y 149 Reglamento de Construcciones CDMX.....	117

2. Índice de figuras

Figura 1. Flujo del Building Information Modeling (Fuente: kaizenai.com)	11
Figura 2. Modelado BIM (Fuente: kaizen.com)	15
Figura 3. Países con mandatos de BIM (Fuente: autodesk.com).....	17
Figura 4. Ubicación del predio (Fuente: Google Maps).....	19
Figura 5. Tipos de departamentos (Fuente: masterbrokermexico.com).....	20
Figura 6. Distribución de Garden House Norte (Fuente: masterbrokermexico.com).....	21
Figura 7. Distribución de Garden House Sur (Fuente: masterbrokermexico.com).....	21
Figura 8. Distribución de departamentos con 2 recámaras (Fuente: masterbrokermexico.com) .	22
Figura 9. Distribución de Penthouse (Fuente: masterbrokermexico.com).....	23
Figura 10. Corte transversal torre Norte (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit).....	24
Figura 11. Corte transversal torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)	25
Figura 12. Vista 3D cimentación torre Norte (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit).....	27
Figura 13. Vista 3D cimentación torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit).....	28
Figura 14. Vista en 3D de torre Norte y torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)	29
Figura 15. Losa de vigueta pretensada (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con AutoCAD).....	30
Figura 16. Tipos de modelado 3D en AutoCAD (Fuente: 3dnatives.com).....	32
Figura 17. Introducción de modelado 3D a CYPECAD (Fuente: info.cype.com).....	35
Figura 18. Planta arquitectónica tipo nivel 1 a 5 (Fuente: Másterbroker México).....	41

Figura 19. Aspa de referencia (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad)	42
Figura 20. Planta arquitectónica filtrada nivel 1 a 5(Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad)	43
Figura 21. Archivo plantas.0001 (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad)	43
Figura 22. Vistas input de Revit (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)	44
Figura 23. Vistas output de Revit (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)	45
Figura 24 Vista Work nivel 01	46
Figura 25. Archivo Main torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad, Revit y CYPECAD)	48
Figura 26. Archivo Main torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad, Revit y CYPECAD)	49
Figura 27. Acomodo vista isométrica.	50
Figura 28. Vista isométrica torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)	50
Figura 29. Vista isométrica torre Norte en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)	51
Figura 30. Planta de coordinación amenidades torre Norte en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)	52
Figura 31. Planta de replanteo amenidades torre Norte en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)	53
Figura 32. Detalle de cimentación en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)	54
Figura 33. Archivo reflos, refuerzos negativos de vigueta (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)	55
Figura 34. Archivo reflos, refuerzos cortantes y de momento (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)	55

Figura 35. Archivo Main, refuerzos cortantes y de momento (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad y Revit).....	56
Figura 36. Archivo Main, refuerzos cortantes y de momento (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad y Revit).....	56
Figura 37. Archivo pil, Columna 02 (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD).....	57
Figura 38. Columna 02 filtrada (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad)	57
Figura 39. Cuadro de columnas torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad).....	58
Figura 40. Detalle de muro cortante en torre Norte archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad).....	59
Figura 41. Muros cortantes en torre Norte archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad)	59
Figura 42. Plano de escaleras en torre Norte archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit, Autocad y CYPECAD).....	60
Figura 43. Archivo pórticos, Pórtico 01 (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD).....	61
Figura 44. Trabe 01 filtrada (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad) .	61
Figura 45. Despiece de traves torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad).....	62
Figura 46. Unión 1 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	63
Figura 47. Unión 2 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	63
Figura 48. Unión 3 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	64
Figura 49. Unión 4 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	64

Figura 50. Unión 5 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	65
Figura 51. Unión 6 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	65
Figura 52. Unión 7 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad).....	66
Figura 53. 3D pérgola de nivel cubierta (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad).....	66
Figura 54. 2D uniones torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad).....	67
Figura 55. 2D uniones torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad).....	67
Figura 56. Proyecto ejecutivo Montejo Beach (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit).....	74
Figura 57. Modelo CYPECAD 3D torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD).....	79
Figura 58. Modelo CYPECAD 3D torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD).....	79
Figura 59. Isotacas para un edificio de clase B (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento, CFE 2020).....	94
Figura 60. Aceleración máxima en roca, correspondiente al nivel de referencia ER (a0r) (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015).....	99
Figura 61. Regionalización sísmica de la República Mexicana (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015).....	100
Figura 62. Espectro de diseño transparente regional (Fuente: FSGROUP Engineering México, mediante PRODISIS).....	101
Figura 63. Condiciones de regularidad torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Excel).....	103
Figura 64. Definición de irregularidad torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Excel).....	104

Figura 65. Espectro de diseño torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, mediante PRODISIS)..... 105

Figura 66. Condiciones de regularidad torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México) 107

Figura 67. Definición de irregularidad torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México) 108

Figura 68. Espectro de diseño torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, mediante PRODISIS)..... 109

3. Índice de tablas

Tabla 1. Proceso BIM.....	13
Tabla 2. Colores por elemento estructural.	42
Tabla 3. Descripción de maquetado por tipo de plano.	71
Tabla 4. Combinaciones de cargas en torre Norte y torre Sur.	88
Tabla 5. Recubrimientos generales elementos estructurales.....	92
Tabla 6. Cargas consideradas por zona.....	93
Tabla 7. Pesos específicos de materiales.	94
Tabla 8. Parámetros escogidos para clasificación de la estructura por viento.	95
Tabla 9. Clasificación de las estructuras según su destino (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015)	97
Tabla 10. Grupos y clases estructurales (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015).....	98
Tabla 11. Regionalización sísmica (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015).....	100
Tabla 12. Tipos de terrenos (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015).....	101
Tabla 13. Resumen de parámetros torre Norte.....	102
Tabla 14. Periodos para cortante basal torre Norte.....	105
Tabla 15. Resumen de parámetros torre Sur.	106
Tabla 16. Periodos para cortante basal torre Sur.....	109

4. Listado de Acrónimos

- BIM – Building Information Modeling
- MEP – Mecánico, Eléctrico y Plomería
- ONU – Organización de las Naciones Unidas.
- AEC – Arquitectura, Ingeniería y Construcción
- CAD – Computer Aided Design.
- DWG – Archivo Drawing
- NTC – Norma Técnica Complementaria
- CFE – Comisión Federal de Electricidad
- AISC - American Institute of Steel Construction
- AISI - American Iron and Steel Institute

5. Resumen.

En el siguiente ensayo se presenta un reporte de aplicación de conocimientos ingeniero civil Julián Espínola, el cual expone el uso de la metodología BIM en el proyecto ejecutivo Montejo Beach Telchac Puerto, en Mérida Yucatán en cumplimiento con los requerimientos de presentar este reporte de aplicación de conocimientos como método de titulación por proyecto iniciado y terminado en la empresa FSGROUP Engineering México en la cual el autor se desempeña en el área de producción como becario de Autocad y Revit aportando apoyo a los calculistas y modeladores para entregar de manera correcta los cálculos y modelos recibidos.

Durante el ensayo se demuestra el uso de la metodología BIM en la empresa, desde la contratación del cliente con la empresa, hasta la entrega, presentando todos los correspondientes criterios de cálculo y diseño, y las ventajas y desventajas del uso de BIM en proyectos; además de los procedimientos que fueron realizados por el autor para entregar de manera satisfactoria una edificación de la envergadura de estas torres departamentales.

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

Como parte del plan de estudios de la Universidad Autónoma del Estado de México en la carrera de Ingeniero Civil se debe optar por una línea de acentuación, analizando las 4 opciones que oferta la universidad tomé la línea de acentuación General con la idea de aprender más sobre la gestión de proyectos.

Mi primer acercamiento con el Building Information Modeling (BIM) fue en esta línea de acentuación, en la cual de manera superficial se presentó esta forma de trabajo con un proyecto en Administración de la construcción a cargo del Dr. David Joaquín Delgado Hernández y con ello mi interés en el tema comenzó a crecer. Durante mi último semestre y el primero ya como pasante dediqué mi tiempo a aprender más sobre la metodología, tomando cursos y certificaciones para algún día convertirme en un BIM Manager con toda la responsabilidad que esto conlleva.

Si bien el proyecto en la clase fue pequeño a comparación del que se presentará en el reporte, la base de la metodología es la misma, solo que con mayor número de participantes y mayores problemas; pero el principal problema en el que quiero enfocar esta memoria es en el de coordinación de los equipos y cómo el BIM lo soluciona de una manera eficaz y segura ante todos los proyectos que se desarrollan en cualquier parte del mundo.

Cabe mencionar que durante los 5 años de carrera participé de infinidad de proyectos, los cuales aportaron a mi gestión de proyectos, gestión de equipos y uso de diferentes softwares de modelado, cálculo y comunicación como los utilizados en mi etapa de becario en FSGroup.

7. Introducción.

“En cualquier proyecto de diseño y construcción existen infinitos participantes, existen infinitas interacciones entre partes. Los proyectos son multidisciplinarios e incluyen información que no todos manejan. Entonces, ¿Quién es responsable de qué, en cada proyecto? ¿Hasta dónde llega mi responsabilidad y dónde empieza la tuya? BIM permite ordenar la complejidad de este proceso.” - José Tomás Franco, febrero 2018

7.1. Antecedentes.

7.1.1. ¿Qué es el BIM?

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling, aunque podría ser perfectamente Building Information Management, ya que el BIM tiene mucho que ver con la gestión de la información y no solo con el modelado. BIM es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, y que supone una profunda transformación que afecta a todos los procesos de diseño, constructivos y de gestión de activos.

Este nuevo método de trabajo, integra todos los agentes que intervienen en el proceso de edificación: arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, managers, etc., y establece un flujo de comunicación transversal entre ellos, generando un modelo virtual que contiene toda la información relacionada con el edificio durante todo su ciclo de vida, desde su construcción y toda su vida útil, hasta su demolición como se muestra en la figura 1.

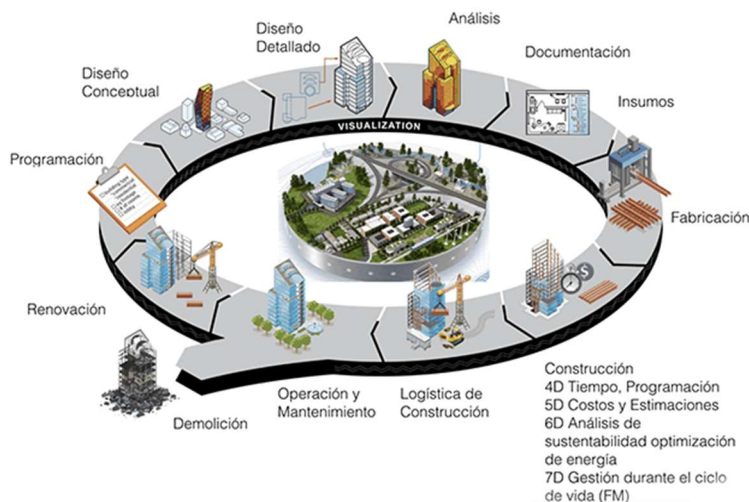


Figura 1. Flujo del Building Information Modeling (Fuente: kaizenai.com)

BIM se utiliza para diseñar y documentar diseños de construcción e infraestructura. Todos los detalles de un edificio se modelan en BIM. El modelo puede utilizarse para análisis, a fin de

explorar opciones de diseño y crear visualizaciones que ayuden a las partes interesadas a comprender cómo se verá el edificio antes de construirlo. A continuación, el modelo se usa para generar la documentación de diseño para la construcción.

La información concentrada y registrada en este modelo virtual es muy diversa y cada vez más completa. Va desde los agentes intervinientes en el proceso, el propio modelo de edificios, aspectos técnicos, estructurales, de instalaciones, de eficiencia energética, económicos, de materiales, comerciales, fases de ejecución, mantenimiento, administración, etc. BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).

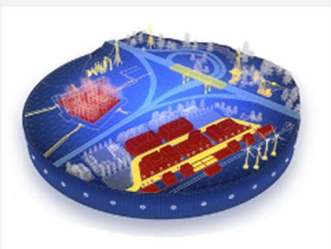
La información que se aporta al modelo BIM, proviene de distintos tipos de software, programas de modelado, cálculo estructural, MEP (Mecánico, Eléctrico y Plomería), software de presupuestos, análisis de comportamiento energético, etc. El conocimiento de todas estas herramientas y de la capacidad de interoperabilidad entre ellas, es fundamental para la correcta implantación del BIM.

7.1.2. ¿Cuál es el proceso de BIM?

El proceso de BIM admite la creación de datos inteligentes que pueden usarse en todo el ciclo de vida de un proyecto de edificio o infraestructura; este proceso se describe en la tabla 1.



Planificar: Se obtiene información para la planificación de proyectos combinando la captura de la realidad con datos reales para generar modelos contextuales del entorno natural y construido.



Diseñar: Durante esta fase, se llevan a cabo el diseño conceptual, el análisis, el detallado y la documentación. El procesar de pre-construcción comienza usando datos de BIM para informar la programación y la logística.



Construir: Durante esta fase, la fabricación comienza utilizando especificaciones de BIM. La logística de la construcción de proyectos se comparte con todos los oficios y los contratistas, para garantizar que el cronograma y la eficiencia sean óptimos.



Operar: Los datos de BIM se trasladan a las operaciones y el mantenimiento de los activos terminados. Los datos de BIM pueden utilizarse más adelante para renovaciones rentables y también para deconstrucciones eficientes.

Tabla 1. Proceso BIM.

7.1.3. Ventajas del modelado BIM.

La implementación de BIM en los proyectos constructivos es todo un reto, pero una vez adoptada, aporta múltiples beneficios, especialmente en el ámbito de la productividad. BIM facilita la creación de visualizaciones, secciones y alzados libremente y ayuda a incorporar esta información más adelante en el proceso de construcción y de mantenimiento de las edificaciones, infraestructuras e instalaciones.

La metodología BIM ayuda a la comunicación entre las distintas áreas involucradas en un proyecto, optimizando los tiempos de desarrollo y los errores que llegan a presentarse en la etapa de diseño. Implementar esta metodología en la etapa de diseño y modelar el proyecto en un archivo al cual las distintas disciplinas tienen acceso y control sobre él vuelve más fácil detectar las interferencias que puedan encontrarse en las distintas áreas.

Las ventajas del BIM respecto al método de trabajo tradicional son evidentes, enumeremos brevemente algunas de ellas:

- Las plataformas BIM actualizan automáticamente la información que es editada en cualquier parte del modelo. Esto quiere decir que si un elemento es modificado en una planta, se modifica automáticamente en las secciones, alzados y vistas 3D, igual que si se

modifica una característica en un listado, cambia automáticamente en todo el proyecto. No hay posibilidad de error humano. La información siempre es coherente.

- Al trabajar todos los agentes sobre un único modelo, no hay posibilidad de pérdidas de información debidas a la descoordinación entre versiones que manejan los distintos profesionales.
- Al establecer este método de trabajo en paralelo, todos los agentes pueden plantear desde el principio las opciones que consideren más convenientes para el proyecto, implicando directamente a toda la organización. El proyecto se desarrolla en tiempo real de forma coordinada en un entorno colaborativo, siempre bajo la supervisión del cliente.
- El BIM permite disponer en todo momento de cualquier información que se requiera, tanto de diseño como técnica, de costes, plazos de ejecución, mantenimiento, etc. También permite hacer modificaciones en tiempo real que actualizarán automáticamente todos estos parámetros, aumentando el grado de personalización y adecuación del proyecto a las necesidades del cliente.
- Las tareas de gestión de instalación se vuelven mucho más eficientes, al tener toda la información real del activo bajo demanda.

Según datos de [ibermatica365](#) “Con BIM el 35% de las entidades ha aumentado la calidad de sus proyectos y reducido los errores e incertidumbres, y el 20% considera que mejora la gestión de los costes, lo que incrementa la eficiencia de la empresa. Además, el 21% nota mayor transparencia de la información, no sólo dentro de la empresa, sino entre arquitectos, proveedores y clientes. En lugar de tener que dedicar tiempo a responder a las consultas de cada parte sobre lo que hacen los demás, esta información es compartida y accesible.”

Estas y otras ventajas tienen como resultado una optimización de todo el proceso de edificación y gestión de activos durante todo el ciclo de vida, que se vuelven infinitamente más eficientes y cuyos costes y plazos de ejecución se reducen considerablemente

En la Figura 2 se puede observar a detalle los diferentes componentes que se presentan en una estructura con el modelado BIM.

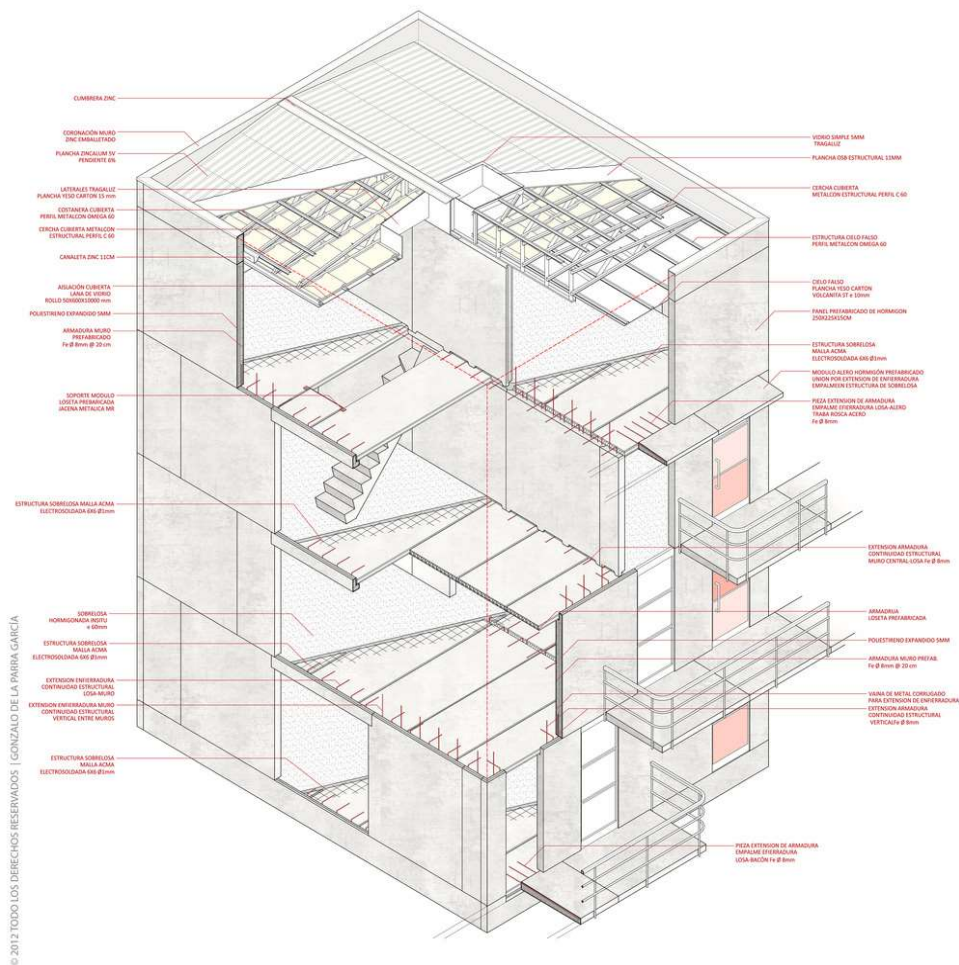


Figura 2. Modelado BIM (Fuente: kaizen.com)

7.1.4. Desventajas del modelado BIM

Los problemas en la aplicación práctica de BIM no se refieren en general a la capacidad de la metodología ni del software BIM, sino a la implementación efectiva dentro de los sistemas existentes y a la formación y equipamiento de los equipos con las habilidades necesarias para aprovechar sus muchas ventajas. Algunas desventajas posibles de la metodología son las siguientes:

Liderazgo débil

Esto se debe a una mala gestión del equipo de trabajo, el gerente del equipo debe conocer de pies a cabeza la metodología y saber aplicarla para sacar su mayor provecho a la forma de trabajo. Sin un liderazgo fuerte que entienda la verdadera dimensión de BIM y adopte las medidas para incorporar a todos los empleados al proyecto, el éxito es mucho más complicado.

Alto coste

Al implantar BIM hay que tener en cuenta que todos los elementos de las operaciones empresariales, desde las aplicaciones de cumplimiento de normas hasta la especificación de los componentes del proveedor, deben racionalizarse e integrarse en un solo sistema. Además, hay que tener en cuenta el posible coste de formar o contratar personal con conocimientos y experiencia suficiente en BIM. En empresas grandes y medianas puede ser más sencillo alinear sus equipos con BIM, ya que tienen equipos amplios que pueden adaptar adecuadamente. En empresas más pequeñas es más difícil comprometer a todo un equipo con el proyecto BIM en un momento o incluso durante un período de tiempo.

Resistencia al cambio

La mayoría de los empleados están acostumbrados a trabajar con herramientas tradicionales que conocen y dominan a la perfección. Existen muchas barreras que impiden a los participantes del proyecto utilizar la última tecnología y el BIM. Las barreras incluyen miedo al fracaso, salida de la zona de confort, tiempo para aprender a utilizar el software y, en muchos casos, falta de apoyo de sus responsables y de la dirección de la empresa.

Convivencia con los sistemas no BIM

El uso de sistemas BIM y no-BIM que funcionan dentro de la misma oficina plantean un problema de dotación de personal. Con una sola plataforma de software como CAD, cualquier miembro del personal está disponible para trabajar en un proyecto relevante. Sin embargo, en la aplicación de BIM, sólo se dispondría de un pequeño grupo de miembros del equipo.

Los proyectos piloto de BIM o de formación en BIM deben seleccionarse cuidadosamente según el tamaño, el calendario y la disponibilidad de los miembros del equipo. Esta división de los miembros del equipo podría costar a la organización la eficiencia del equipo y el tiempo facturable.

Por otro lado, las empresas usuarias de BIM que disponen de un elevado número de activos tienen que hacer frente a una convivencia larga en el tiempo de activos existentes, no diseñados con BIM, con nuevos activos que se incorporarán siguiendo la metodología. La integración de los activos no-BIM en las nuevas herramientas de gestión de activos basadas en BIM será un aspecto clave para lograr una transición eficaz.

7.1.5. ¿Por qué es importante BIM?

Según la ONU (Organización de las Naciones Unidas), en 2050, la población mundial será de 9,7 mil millones. La industria global de AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) debe buscar formas más inteligentes y eficientes de diseñar y construir no solo como un medio de estar al día con la demanda global, sino para ayudar a crear espacios que sean más inteligentes y también más duraderos.

BIM no solo permite a los equipos de diseño y construcción trabajar de forma más eficiente, sino que también les permite capturar los datos que crean durante el proceso para brindar beneficios a las operaciones y las actividades de mantenimiento. Esta es la razón por la que los mandatos de BIM están aumentando en el mundo, en la Figura 3 se muestran los países en los que la metodología BIM es existente y en los que se planea utilizarla.



Figura 3. Países con mandatos de BIM (Fuente: autodesk.com)

7.1.6. BIM en México.

Desde hace algunas décadas, México se enfrenta a un crecimiento poblacional caracterizado por una expansión de la mancha urbana, lo cual ha ocasionado entre otras problemáticas el crecimiento de la demanda para dotar con infraestructura pública, de calidad y moderna a la población, solucionando problemas de movilidad, acceso al agua, intercomunicación, entre otros.

Por otro lado, la situación macroeconómica ha provocado que los gobiernos en países desarrollados y subdesarrollados hayan realizado recortes significativos a la inversión afectando el presupuesto destinado a infraestructura pública y servicios sociales. Estos niveles de inversión también se reflejan en indicadores internacionales.

Derivado de lo anterior, los gobiernos de algunos países dedicaron esfuerzos para eficientizar los recursos públicos en materia de infraestructura, es decir construir más y mejor con la misma inversión, por lo que buscaron implementar mecanismos y metodologías que permitan robustecer los procesos actuales de los proyectos de infraestructura, desde el diseño hasta la operación y mantenimiento de los activos. Asimismo, la iniciativa privada, como proveedora y ejecutora de infraestructura, también ha buscado aumentar su productividad y eficiencia aprovechando los avances tecnológicos actuales.

Una solución innovadora aplicable para mejorar la preparación y ejecución de los proyectos de infraestructura pública es la implementación de la ya presentada Building Information Modeling. Esta metodología de diseño permite a los responsables de los proyectos contar con información actualizada y coherente de todos los elementos y participantes de un proyecto para mejorar la comunicación y coordinación, reducir los problemas o anticiparlos, lo cual permite una reducción de los cambios en la etapa de ejecución, un aumento de la productividad en la construcción y una disminución de los costos del proyecto.

En México, no existe un mandato que obligue el uso de BIM, sin embargo, en el sector público se ha utilizado esta metodología por decisión de las propias instituciones en algunos casos aislados, como es el caso de la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM), en algunos hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y para el mantenimiento y operación de la Planta de Cría y Esterilización de Machos de la Mosca del Mediterráneo del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Por otro lado, existen casos en los que el sector privado ha aplicado BIM en proyectos gubernamentales por iniciativa propia. Cabe señalar que, durante 2017, fue publicada la primera norma mexicana enfocada a BIM, el Plan de Ejecución para Proyectos, en la cual se denomina la metodología BIM como Modelado de Información de la Construcción (MIC), la cual partiendo desde un plan estratégico con los siguientes objetivos:

- Fomentar el uso de BIM en los proyectos de infraestructura
- Mejorar los procesos de los proyectos de infraestructura pública, mediante la metodología y aplicación de herramientas tecnológicas
- Impulsar la participación del sector privado y otros organismos en la estrategia para completar la cadena de valor

- Utilizar los resultados de la implementación de la metodología para una mejora continua en la infraestructura.

7.2. Aplicación de BIM en el proyecto.

7.2.1. Descripción del proyecto.

El proyecto estructural torre de Departamentos Beach Montejo, consiste en un desarrollo inmobiliario ubicado en km 24,5 de la carretera Progreso – Telchac Puerto Yucatán. Dicha ubicación se presenta en la figura 4.

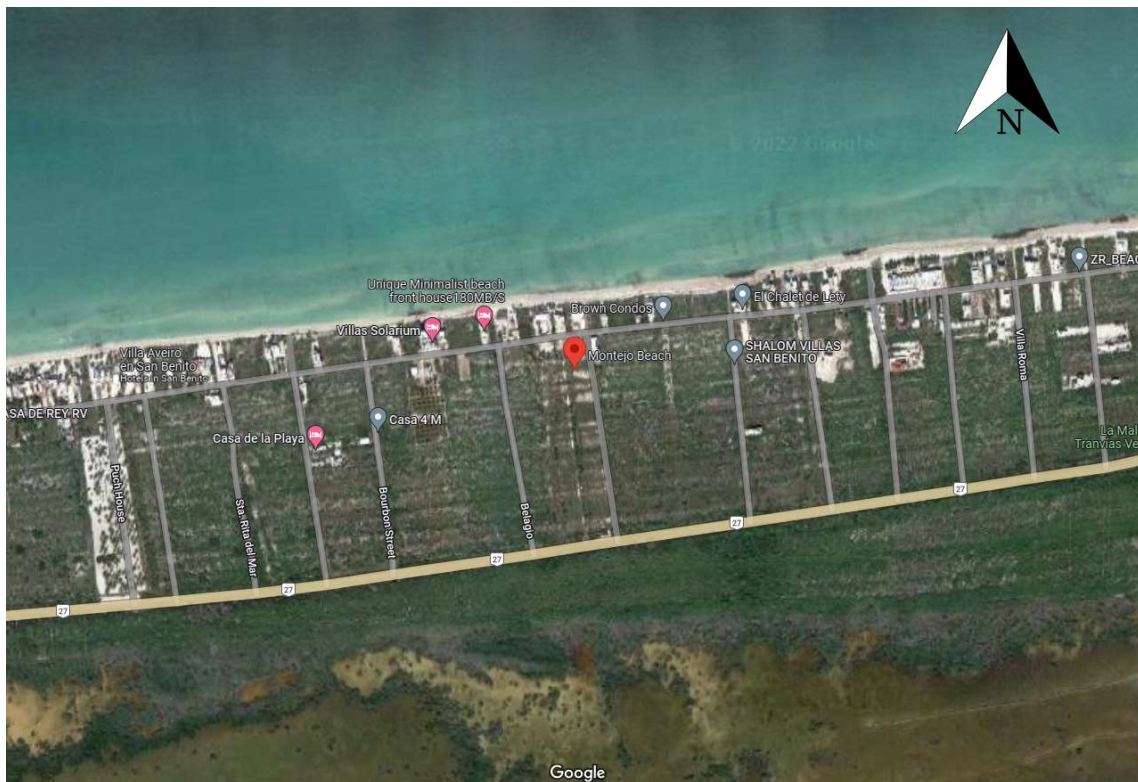


Figura 4. Ubicación del predio (Fuente: Google Maps)

Mérida se distingue por ser una de las ciudades más seguras del país, con un constante crecimiento en la región, tanto económico como arquitectónico. Poseedora de un gran legado cultural y gastronómico, que, combinado con el contraste moderno y colonial, hacen de esta ciudad un destino extraordinario.

Aunado a ello, Mérida es un sitio privilegiado, rodeado de riquezas naturales y litorales únicos que favorecen el desarrollo económico y su proyección internacional como lugar turístico. Las magníficas aguas de las costas de Yucatán son el lugar perfecto para vivir o descansar y salir de la rutina.

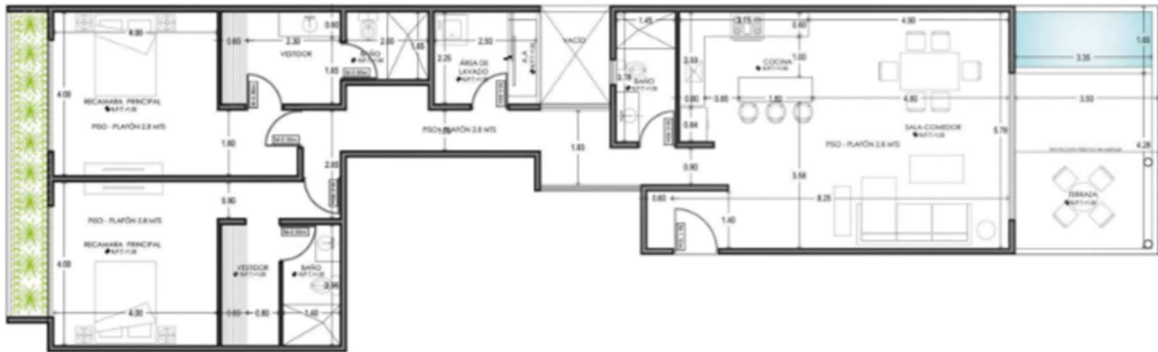
Montejo Beach, es un desarrollo de departamentos en contacto con la naturaleza, que combina a la perfección lo moderno, con un diseño extraordinario y la experiencia única de vivir y disfrutar la playa yucateca. En la figura 5 se puede observar el proyecto de Montejo Beach el cual consta de dos torres con 30 departamentos, torre norte de 7 niveles y torre sur de 9 niveles, de 2 y 3 recámaras, baño, sala, comedor, cuarto de lavado, balcón e increíbles amenidades, cada torre consta de Rooftop con alberca y terraza bar.



Figura 5. Tipos de departamentos (Fuente: masterbrokermexico.com)

El Rooftop con alberca y la terraza bar se aprecian de mejor manera en la figura 6 para la torre Norte y en la figura 7 para la torre Sur, en dichas figuras se aprecia la distribución arquitectónica de ambas plantas obtenidas desde un modelado en Revit.

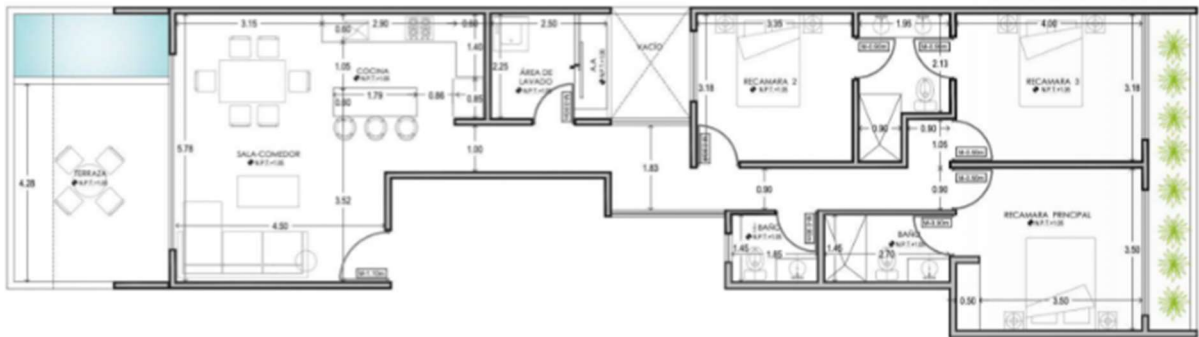
Garden House Norte



Superficie	171 m ²
Recámaras	2
Baños	3
Estacionamiento	2

Figura 6. Distribución de Garden House Norte (Fuente: masterbrokermexico.com)

Garden House Sur



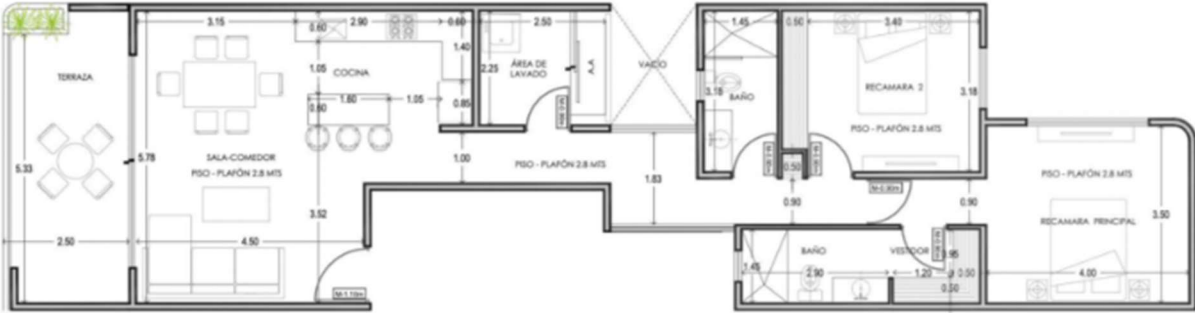
Superficie	149 m ²
Recámaras	3
Baños	2.5
Estacionamiento	2

Figura 7. Distribución de Garden House Sur (Fuente: masterbrokermexico.com)

El diseño arquitectónico propuesto por Masterbroker México de los departamentos con 2 recámaras se presenta en la figura 8, obtenida mediante un modelado en Revit, observamos la

distribución de los espacios, conteniendo 2 baños, 2 recámaras, área de lavado, cocina, sala-comedor y terraza entre otros espacios.

▶ 2 recámaras (N2-N8)



Superficie	114 m2
Recámaras	2
Baños	2
Estacionamiento	2

Figura 8. Distribución de departamentos con 2 recámaras (Fuente: masterbrokermexico.com)

Por último, en la figura 9 se presenta el Penthouse, la cual, también obtenida mediante Revit, presenta la distribución de espacios del último nivel de ambas torres, siendo la zona más lujosa de todo el complejo departamental.

Penthouse



Figura 9. Distribución de Penthouse (Fuente: masterbrokermexico.com)

7.2.2. Descripción torre Norte.

La estructura principal es una torre de 7 niveles destinada a departamentos. La altura sobre rasante asciende a 25.05 m (25.65m los muretes de azotea), referidos al nivel más bajo arquitectónico equivalente a N.P.T +0.00 del proyecto.

La planta tipo tiene unas dimensiones aproximadas de 23.50m y 11.85m. El nivel de desplante está destinado a amenidades y departamentos, los niveles 1 a 6 están destinados a departamentos, el nivel 7 destinado a RoofGarden y terrazas.

Lo anterior mencionado se presenta en la Figura 10.

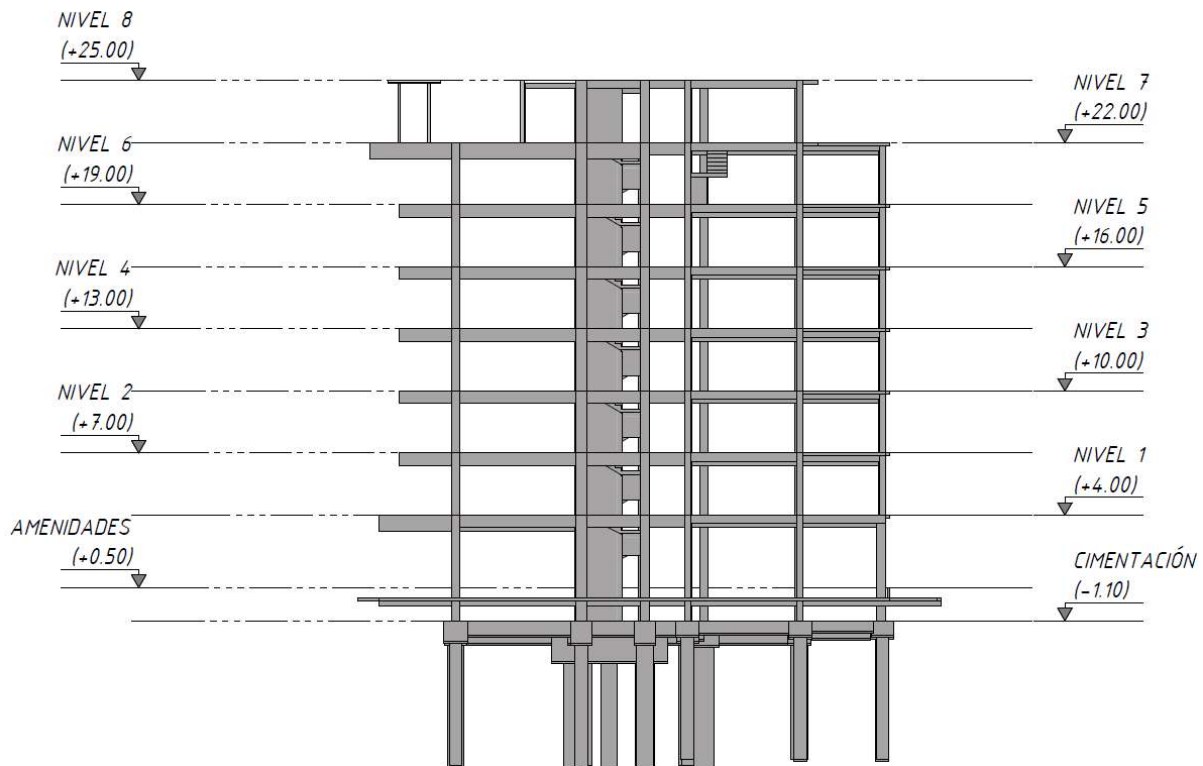


Figura 10. Corte transversal torre Norte (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)

7.2.3. Descripción torre Sur.

La estructura principal es una torre de 9 niveles destinada a departamentos. La altura sobre rasante asciende a 31.05m (31.65m los muretes de azotea), referidos al nivel más bajo arquitectónico equivalente a N.P.T +0.00 del proyecto.

La planta tipo tiene unas dimensiones aproximadas de 23.50m y 11.85m. El nivel de desplante está destinado a amenidades y departamentos, los niveles 1 a 8 están destinados a departamentos, el nivel 9 destinado a RoofGarden y terrazas.

Lo anterior mencionado se presenta en la Figura 11.

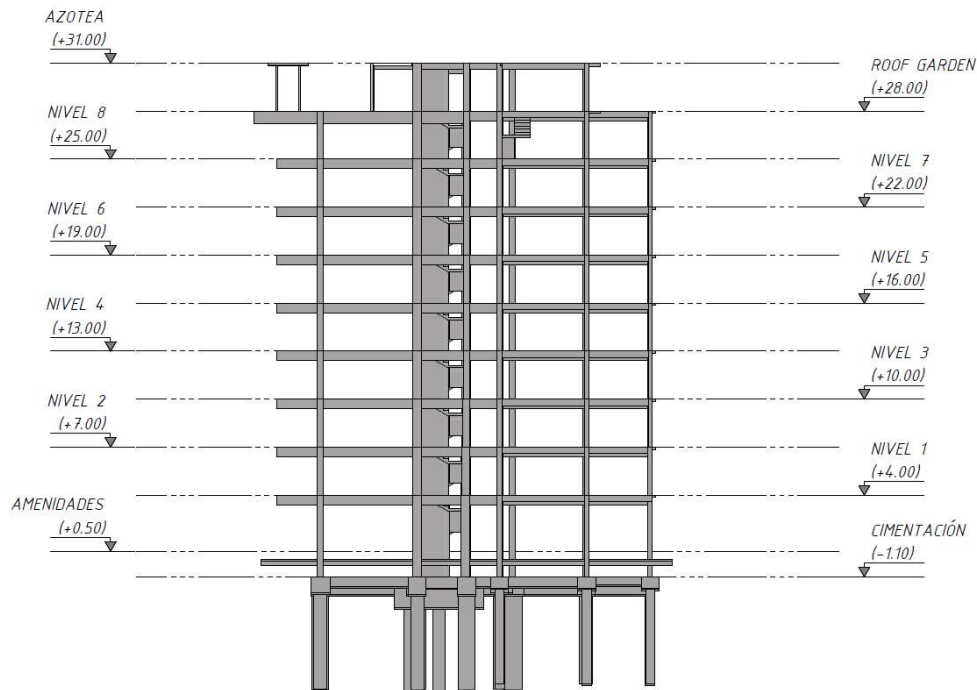


Figura 11. Corte transversal torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)

7.3. Concepto estructural.

Se plantea una estructura fundamentalmente de concreto reforzado, a base de columnas y traveses con un sistema de piso basado en losa de viga pretensada de 17 cm (12 más 5 centímetros de capa de compresión, tamaño de nervadura 13.2 cm, intereje 64 cm y casetón de poliestireno) y muros de corte de espesor 25 cm. Las losas de las albercas se resolverán mediante losa maciza de espesor 20 cm.

Las premisas básicas del proyecto estructural son dos:

- Adecuación al proyecto arquitectónico y las necesidades formales requeridas
- Eficiencia y economía

Para lograr estos objetivos se resuelve la estructura intentando reducir al máximo las cargas de las losas mediante losas aligeradas y traveses peraltados entorno a los elementos verticales y disponiendo de elementos para hacer frente a las acciones horizontales con muros de corte en la zona central de la torre según los planos estructurales.

Se ha buscado una optimización del sistema estructural tanto para resistir los esfuerzos horizontales (viento y sismo) como los gravitatorios y para preservar las alturas libres de los entrepisos, y una menor afección a los espacios arquitectónicos habitables.

7.4. Justificación.

Montejo Beach es un desarrollo de departamentos en contacto con la naturaleza, que combina a la perfección lo moderno, con un diseño extraordinario y la experiencia única de vivir y disfrutar la playa yucateca; FS Group Engineering México fue el despacho encargado de tal proyecto, desarrollando la metodología de BIM de inicio a fin; asentándose como una empresa revolucionaria y única en utilizar dicha metodología en México. Como parte del diseño BIM, FS Group trabaja, a gran escala con los departamentos de Estudios y Desarrollo de Negocio, producción y Posventa.

7.5. Objetivo y alcance.

Analizar desde el punto de vista de ingeniero civil la aplicación de la metodología BIM en el complejo de departamentos Montejo Beach Telchac.

8. El Proyecto de construcción.

8.1. Sustentación del edificio.

8.1.1. Bases de cálculo.

El dimensionado de secciones se realiza según el criterio de diseño por Resistencia (Diseño y construcción de cimentaciones de las normas técnicas complementarias) y el Diseño en Servicio.

8.1.2. Estudio Geotécnico.

Este Proyecto requiere de la mecánica de suelos a fin de conocer las condiciones del subsuelo donde se desplantará la estructura de cimentación. Esta información se obtiene por medio de la determinación de las características estratigráficas, físicas y tiene como fin establecer el tipo de cimentación que se considere más adecuado para soportar las estructuras proyectadas.

Ingeniería y Laboratorios del Golfo, S.A. de C.V, emite el documento “Informe de mecánica de suelos TORRE BEACH MONTEJO” en el que se describen los procedimientos utilizados para definir el proyecto de cimentación más adecuado al proyecto en el que se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- a) El terreno estudiado es apto, desde el punto de vista geotécnico, para recibir la construcción de las torres de departamentos cuerpo A de 4 niveles y cuerpo B de 9 niveles, ambas con roof garden.
- b) El nivel de agua freática se halla a 1.50 m de profundidad promedio, referido a los brocales de los sondeos explorados.

-
- c) Para la cimentación profunda, se emplearán pilas de concreto armado de sección circular, coladas en el lugar. La profundidad de desplante será de 6,0 m, referidos a la superficie del terreno existente en la fecha de la exploración.
 - d) Las cavidades encontradas en los sondeos No. 1, 4 y 5, del Cuerpo B, de nueve niveles, deberán ser selladas hasta profundidades de 12.00 m, 13.80 m y 14.00 m, respectivamente.

8.1.3. Cimentación torre Norte y torre Sur.

De acuerdo con el tipo de proyecto, se recomienda el empleo de cimentación profunda, consistente en pilas de concreto armado coladas en sitio. Basados en la información obtenida en la exploración, el nivel de desplante de las pilas será a la profundidad de 6.0 m referidos a la superficie del terreno existente en los días de la exploración, representado mediante un modelo 3D elaborado con Revit en la figura 12 para la torre Norte y en la figura 13 para la torre Sur.

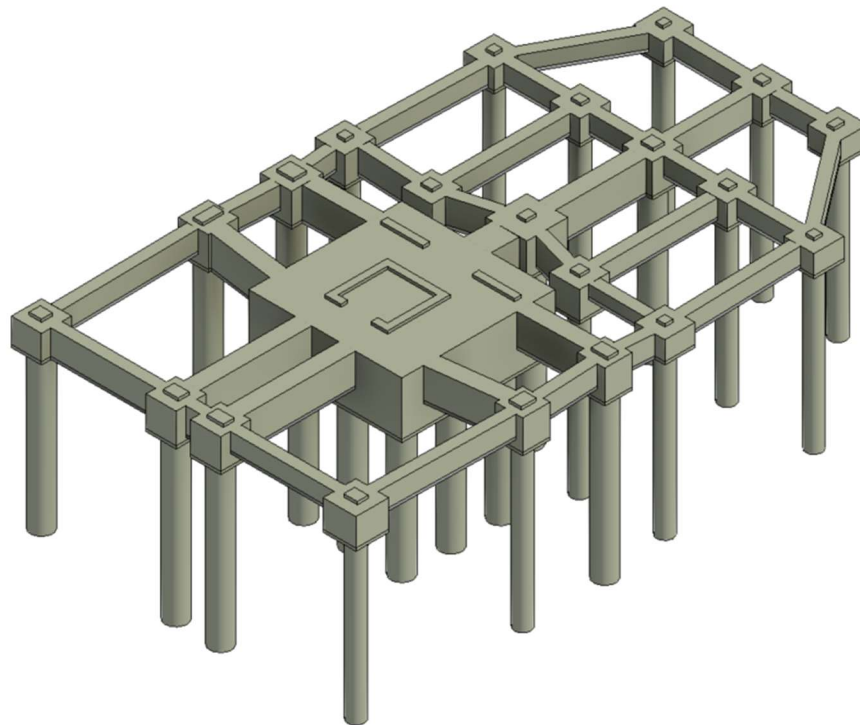


Figura 12. Vista 3D cimentación torre Norte (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)

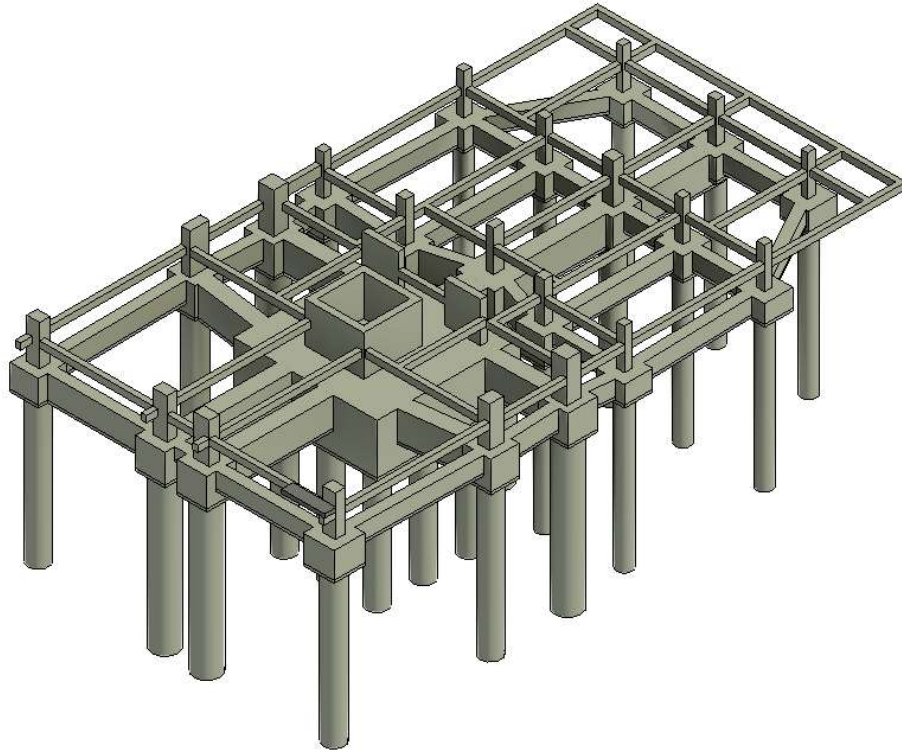


Figura 13. Vista 3D cimentación torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)

8.2. Súper estructura (Estructura Portante y Estructura Horizontal).

8.2.1. Estructura Portante.

La estructura portante está constituida a base de columnas de concreto rectangulares y muros de concreto que sustentan las losas de pisos, constituidos por losas de vigueta pretensada de espesor de 17 centímetros (12 más 5 centímetros de capa de compresión) y vigas alrededor de los elementos verticales de espesor de 60 cm y 40cm.

El tamaño de las columnas se reduce con la altura según el diseño del edificio y a medida que los esfuerzos son menores, tanto los verticales debidos a cargas gravitatorias como los horizontales debidos al viento y a la acción sísmica.

En la figura 14, se puede observar una vista 3D de ambas torres junto con su cimentación y elementos de la superestructura.

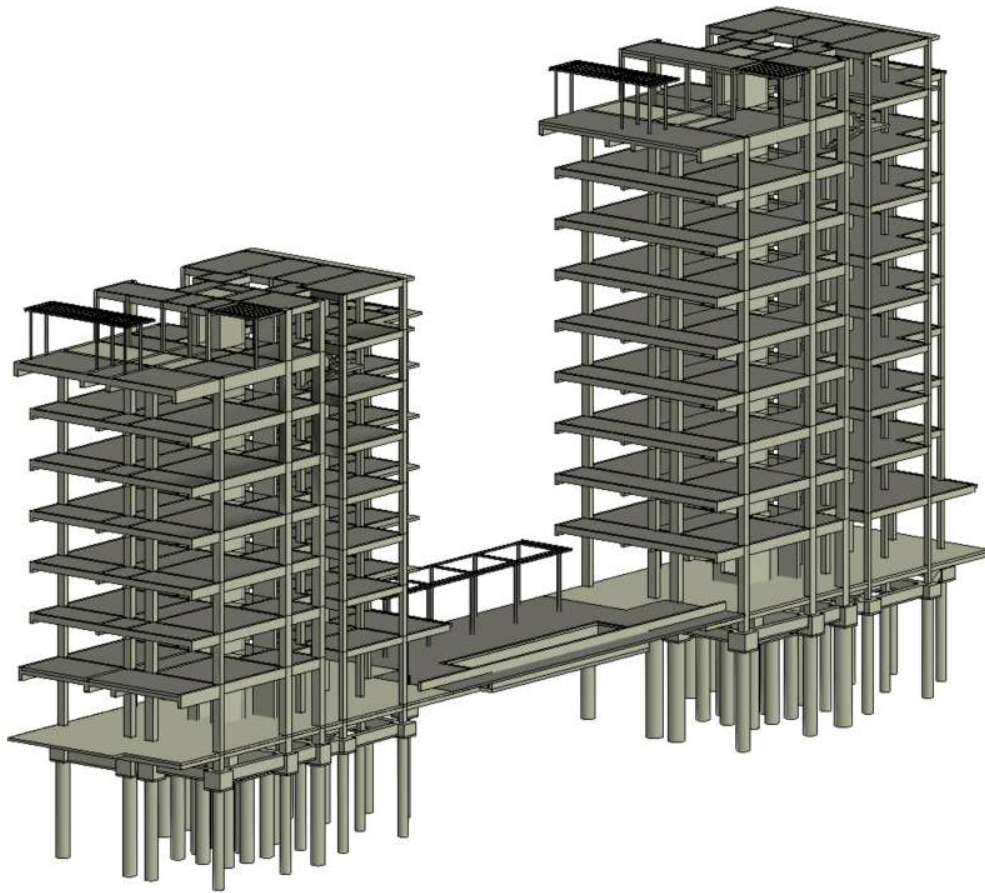


Figura 14. Vista en 3D de torre Norte y torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)

8.2.2. Muros de concreto reforzado de corte.

Para resolver las acciones sísmicas, se disponen de un conjunto de muros de concreto reforzado en el centro de la planta según los planos estructurales.

8.2.3. Escaleras.

Las escaleras se proyectan de concreto reforzado de 15 cm de espesor. Se han calculado como losas biapoyadas y definido su refuerzo inferior longitudinal de forma que resista todo el momento isostático. El resto de los refuerzos se definen por cuantía mínima.

8.2.4. Losas.

Se parte del concepto del diafragma rígido para la transmisión de las fuerzas del piso a los elementos de arriostramiento. El diafragma se configura esencialmente mediante la capa de compresión de la losa de vigueta y bovedilla. El propio diseño del piso contribuye de forma muy

eficaz a la transmisión de los esfuerzos horizontales. El análisis de esfuerzos se hace a través de una malla de elementos finitos comprobando los esfuerzos de punzonamiento, cortantes y momentos flectores.

El intereje de la losa de vigueta y bovedilla de espesor 17 cm (12+5) será de 64 cm y la anchura de la nervadura de 13.2 cm, siendo el peso propio del conjunto del sistema de 210 kg/m².

Será responsabilidad del proveedor garantizar que la losa de vigueta y bovedilla tiene peso propio máximo de 210 kg/cm², además de garantizar que la modulación y el claro libre entre apoyos resiste al menos una sobrecarga de 620 kg/cm² sin considerar el peso propio de la losa.

En la figura 15 se presenta el detalle constructivo de la losa unidireccional pretensada.

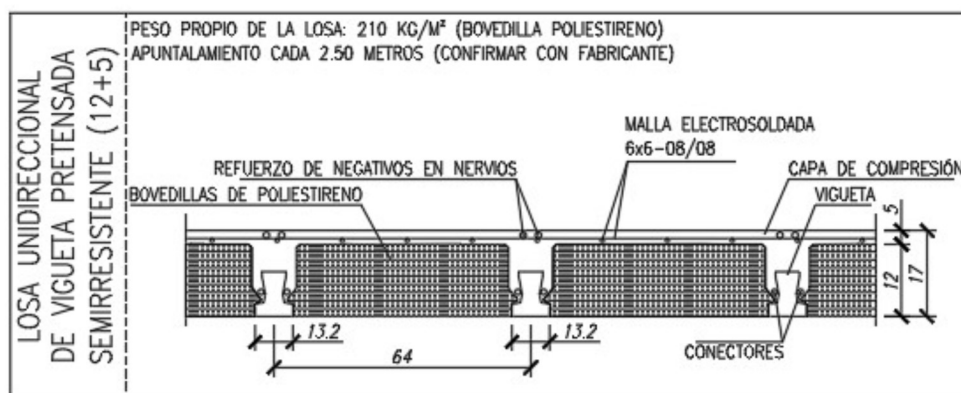


Figura 15. Losa de vigueta pretensada (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCAD)

8.2.5. Estructura metálica.

La estructura metálica ubicada en Roof Garden se resuelve mediante perfiles metálicos tubulares (HSS 5X4X3/16) empotrados en la estructura de concreto según detalles de planos de estructura.

9. Criterios de Diseño.

Los criterios de diseño, para el lector interesado se presentan en el anexo A, ya que el autor no participó directamente en el proceso de cálculo de Montejo Beach, pero se considera indispensable el cálculo dentro del modelado BIM de Montejo Beach.

10. Softwares utilizados en FSGROUP Engineering México

10.1. AutoCAD

10.1.1. ¿Qué es AutoCAD?

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora, de las siglas en inglés Computer Aided Design (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, características de documentación, etc. Incluye características para automatizar tareas y aumentar la productividad, como la comparación de dibujos, el recuento, la adición de objetos y la creación de tablas.

AutoCAD es uno de los softwares más reconocidos internacionalmente debido a la gran variedad de posibilidades de edición que se pueden encontrar. Por esta razón es un programa muy utilizado por arquitectos, ingenieros y diseñadores industriales, entre otros

10.1.2. Historia de AutoCAD

En la actualidad, el software es desarrollado y comercializado por la compañía Autodesk, líder en diseño 3D, ingeniería y software de entretenimiento. Fundada en 1982, la multinacional Autodesk se dedica a la distribución de softwares para las industrias de manufacturas, construcción y medios, entre otros.

El programa apareció el mismo año que surgió Autodesk, con una versión inicial que únicamente contaba con un plano editable y una serie de características limitadas. A pesar de su sencillez, en su momento fue una auténtica revolución que tenía la intención de sustituir el dibujo tradicional a mano por uno digital. El nombre de AutoCAD hace referencia a la empresa (Autodesk) y CAD. En su inicio no se pensó como un software de diseño 3D, sino que únicamente se dedicaba al modelado en dos dimensiones.

Dentro del software, encontramos cuatro tipos de modelados 3D (Figura 16). El primero es el modelado de estructura inalámbrica, una estructura tridimensional que sirve para marcar las referencias geométricas al inicio del diseño. El modelado de sólidos ayuda establecer los parámetros de masa y funciones de sección. El de superficie proporciona un control preciso de las curvas para manipular las superficies minuciosamente. Por último, el modelado de mallas permite funciones de plegado, suavizado y escultura de formas y objetos 3D libres.

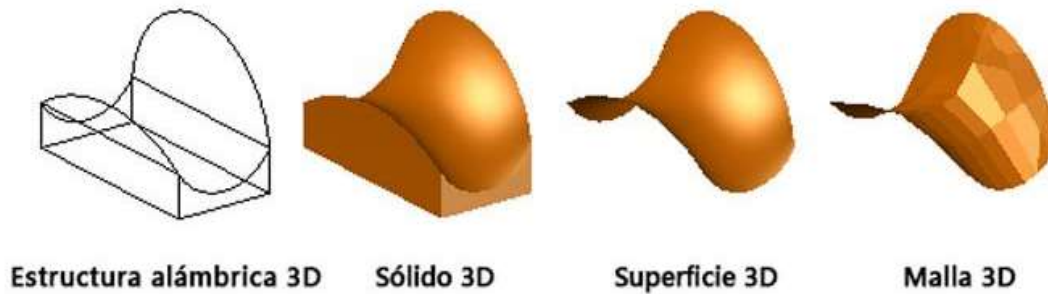


Figura 16. Tipos de modelado 3D en AutoCAD (Fuente: 3dnatives.com)

10.2. Revit

10.2.1. ¿Qué es Revit?

Autodesk Revit es un software de diseño inteligente de modelado BIM para arquitectura e ingeniería, que facilita las tareas de diseño de proyecto y los procesos de trabajo. Lo más característico de este software es que todo lo que se modela es mediante objetos inteligentes (familias paramétricas), las cuales permiten que las propiedades de un objeto no sean fijas, sino que pueden variar en función de las necesidades, y obtenidos en 3D sobre la marcha a medida que vamos desarrollando el proyecto desde la planta baja hacia las plantas superiores. Revit se basa en BIM: metodología de trabajo colaborativa y usando el modelado paramétrico de objetos y elementos constructivos del edificio.

Revit se utiliza para coordinar todas las entradas de datos (incluido CAD) y generar productos para entregar proyectos federados. Ambos programas se utilizan a menudo en la misma empresa, con especialistas en BIM y CAD que trabajan en diferentes aspectos de un proyecto.

AutoCAD y Revit son compatibles entre sí y se pueden utilizar juntos. Por lo general, se utilizan conjuntamente para incorporar diseños creados en AutoCAD en un proyecto de Revit. Las empresas pueden usar AutoCAD en determinados proyectos o componentes de un diseño y utilizar Revit a fin de generar productos de BIM para entregar y permitir la colaboración con otras disciplinas de diseño.

Con Revit no sólo se dibuja, sino que ya se construye virtualmente en 3D, lo que se le conoce como modelado BIM. Se puede ver y revisar el edificio en 3D, y se diseña virtualmente en base a familias (objetos) de muros, ventanas, puertas, de diferentes materiales, almacenar toda esta información es posible gracias a su base de datos relacional que coordina la información durante todo el proceso. Además, en caso de realizarse algún cambio de proyecto, Revit tiene la capacidad de coordinarse automáticamente para mostrar la última versión trabajada, sin que los cambios

influyan a todo el proceso, lo que agiliza el tiempo de trabajo, y minimizando el riesgo de cometer errores durante la ejecución del proyecto.

Dentro de sus muchos usos, cabe destacar que Revit permite:

- **Diseñar:** Elaborar un proyecto desde cero, realizando cambios (modificaciones de proyecto), representar varias fases de proyecto en el mismo archivo, simulaciones energéticas... Además, cuenta con herramientas para la consecución de hitos desde cero. Permite no solo la colocación de elementos sin calcular áreas por pisos, por habitaciones, por plantas, mostrar varias opciones de diseño del mismo edificio en el mismo archivo, etc.
- **Colaborar:** Revit cuenta con funcionalidades propias para todas las disciplinas y agentes implicados en el proceso de creación de un proyecto de construcción, trabajando todos de manera unificada en una única plataforma, por lo tanto, se fomenta el trabajo colaborativo tan importante para la Metodología BIM. Además, coordina las distintas versiones trabajadas para ofrecer siempre a todos los participantes la última versión, actualizada, permitiendo el trabajo de forma simultánea de varios profesionales sobre un mismo archivo al mismo tiempo.
- **Visualizar:** Debido a su simulación en 3D permite visualizar de una manera más real el conjunto del trabajo y obtener una visión más realista del proyecto, de su consecución final.

10.2.2.Historia de Revit

Revit surgió de la mente de Leonid Raiz, el trabajador de una empresa que producía el software “Pro-Engineer”, un programa paramétrico para objetos mecánicos. Su idea era desarrollar un programa similar para la arquitectura, así que abandonó la empresa y se puso manos a la obra.

Partiendo de la completa bi-direccionalidad, es decir, la relación integral entre todas las vistas y entre los datos y lo gráficos, Raiz fundó “Charles River Software” en octubre de 1997, la cual operaba desde la sala de estar de su vivienda situada sobre una pizzería.

Meses después, en febrero de 1998, se unió Irwin Jungreiz, procedente de la misma empresa que Leonid Raiz. Ambos son considerados los creadores de Revit. Buscaron inversores, contrataron arquitectos y programadores y cambiaron el nombre de la compañía por “Revit Corporation”. En abril del año 2000 lanzaron la primera versión de este software, Revit 1.0.

Tan sólo dos años más tarde, en abril de 2002, esa compañía que había sido creada en una sala de estar, fue adquirida por el gigante Autodesk, por la cual pagó la cantidad de 130 millones de dólares, y todos sus empleados se incorporaron a esta empresa.

Ya en manos de Autodesk, el concepto de Revit se amplió a todas las disciplinas y se orientó como la mejor solución de modelado de información para la construcción (BIM), que lo ha llevado a convertirse en el software más utilizado a día de hoy.

10.3. CYPECAD

10.3.1. ¿Qué es CYPECAD?

CYPECAD es una aplicación BIM para el diseño, cálculo y dimensionado de estructuras para edificación y obra civil, sometidas a acciones horizontales, verticales y a la acción del fuego.

Con CYPECAD el usuario tiene control total de todos los datos generales que van a condicionar el cálculo y dimensionamiento de la estructura que desea introducir, como por ejemplo:

- Selección de normativa a emplear
- Selección de materiales
- Opciones de cálculo y tablas de armado
- Definición de acciones
 - Cargas permanentes, sobrecargas de uso, viento, sismo, comprobación de la resistencia al fuego, hipótesis adicionales.
- Coeficientes de pandeo de pilares
- Ambiente para vigas y encepado

Para la introducción de una estructura en CYPECAD se pueden combinar varios de los modos que se detallan a continuación según convenga. La elección del procedimiento dependerá de las preferencias del usuario, del modo en que éste reciba los datos del proyecto o del elemento o información a introducir:

- Introducción manual por coordenadas globales o relativas
- Introducción manual con ayuda de ficheros DXF o DWG usados como plantillas
- Introducción automática mediante la importación de una estructura de CYPE 3D
- Introducción automática, mediante la interpretación de la información de ficheros DXF o DWG
- Introducción automática, mediante la importación de ficheros en formato IFC generados por programas CAD/BIM
- Importación de datos mediante la conexión a un modelo Open BIM

En la figura 17 se presenta un ejemplo de modelado mediante el software BIM.

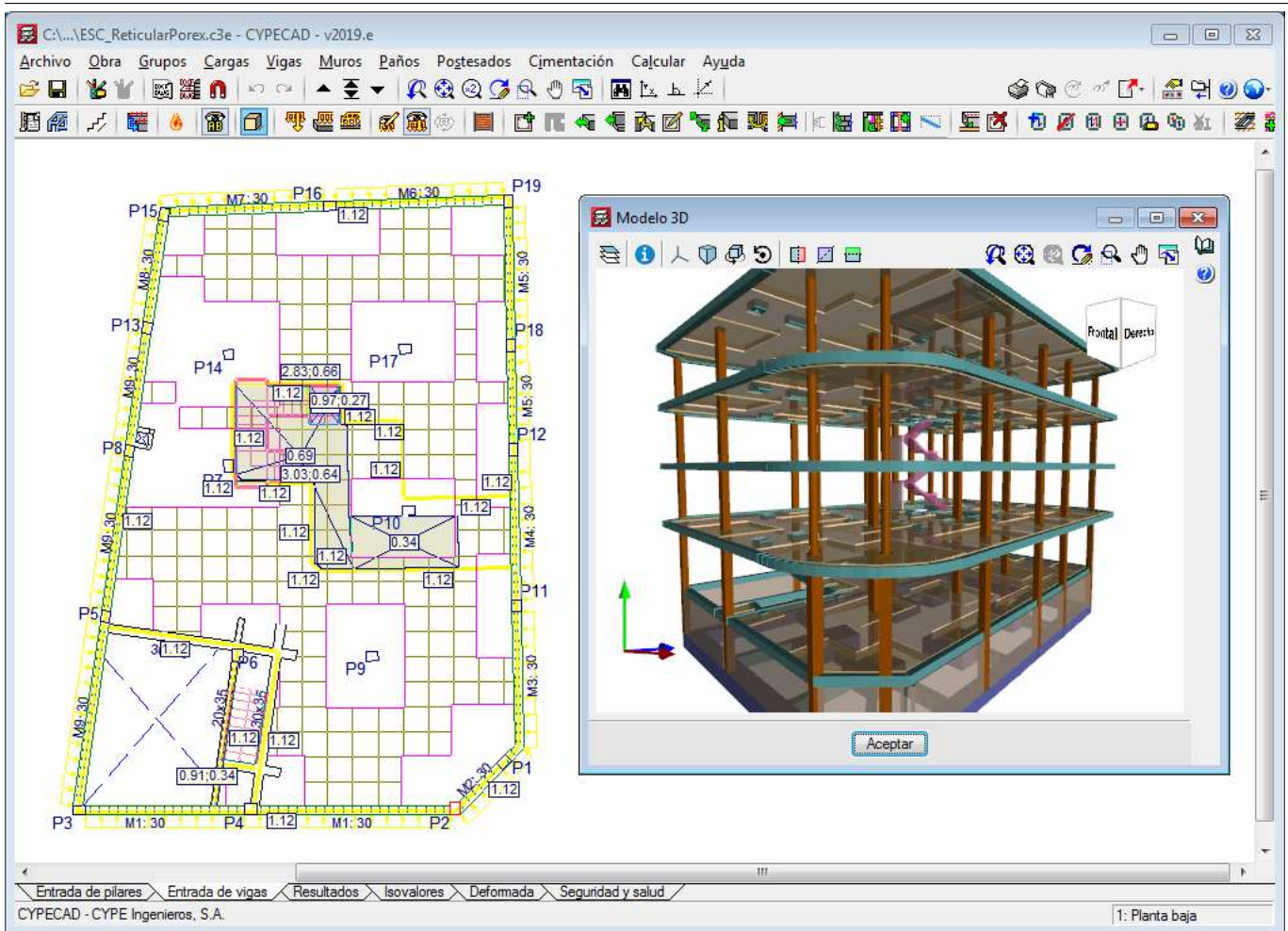


Figura 17. Introducción de modelado 3D a CYPECAD (Fuente: info.cype.com)

Esta versatilidad proporciona rapidez, fiabilidad y eficacia al proceso de introducción de la estructura.

Elementos estructurales analizados

Los elementos estructurales que CYPECAD analiza y dimensiona se presentan en el siguiente gráfico:

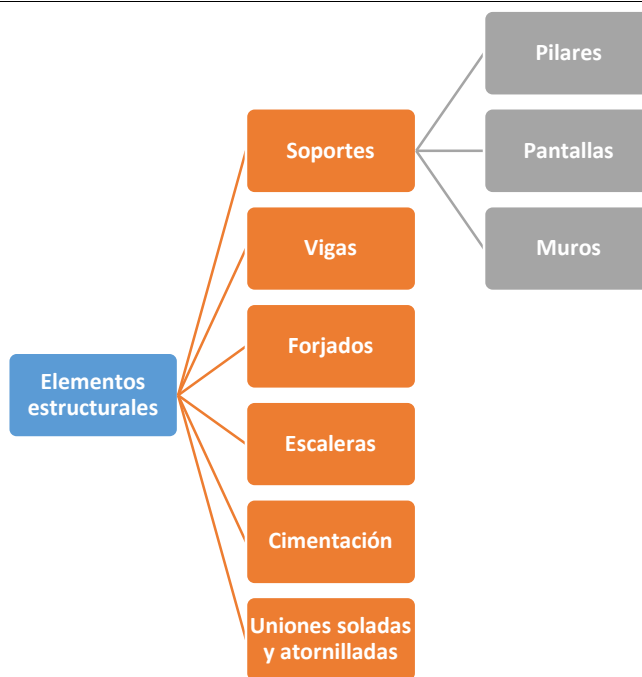


Ilustración 1. Elementos estructurales modelados en CYPECAD (Fuente: cype.com)

Análisis de solicitaciones

El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez, formando todos los elementos que definen la estructura: pilares, muros, vigas y forjados.

Se establece la compatibilidad de deformaciones en todos los nudos, considerando 6 grados de libertad, y se crea la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento rígido del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo (diafragma rígido). Por tanto, cada planta sólo podrá girar y desplazarse en su conjunto (3 grados de libertad).

Cálculo sísmico

El cálculo sísmico se realiza mediante un análisis modal espectral completo que resuelve cada modo como una hipótesis y realiza la expansión modal y la combinación modal para la obtención de esfuerzos.

10.3.2.Historia de CYPECAD

CYPE Ingenieros, S.A. se constituye como sociedad anónima en 1983, siendo su objeto social la realización de todo tipo de proyectos de ingeniería e informática.

El avance tecnológico en la informática y las necesidades de sus usuarios y clientes, llevó a la especialización de ambas actividades. En 1998, dado el arraigo local de la actividad de proyectos de ingeniería, se creó CYPE Ingenieros Estudios y Proyectos, S.A., desvinculándose totalmente de CYPE Ingenieros, S.A. a finales de 2006.

El constante crecimiento de la actividad de proyectos informáticos de CYPE Ingenieros, S.A., tanto en el ámbito nacional como internacional, motivó que concentrara y continuara su actividad en el desarrollo, la comercialización y distribución de software técnico, para la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC).

Desde 1990 inicia la expansión internacional en mercados como Portugal, norte de África y Latinoamérica, así como en Norteamérica, Europa y Asia en la presente década.

La vocación y misión de futuro es ofrecer para el conjunto de aplicaciones del área estructural, instalaciones del edificio y gestión presupuestaria de proyectos y obras, un grado de integración cada vez más completo, a la vez que establecer una mayor conectividad con programas de CAD y del sector AEC.

10.4. Jira software y metodología SCRUM

Jira Software forma parte de una gama de productos diseñados para ayudar a equipos de todo tipo a gestionar el trabajo. En principio, Jira se diseñó como un gestor de incidencias y errores. Sin embargo, se ha convertido en una potente herramienta de gestión de trabajo para todo tipo de casos de uso, desde la gestión de requisitos y casos de prueba hasta el desarrollo de software ágil.

El software elaborado por Atlassian permite organizar los trabajos a realizar en cada proyecto utilizando la metodología Scrum

Scrum es un proceso en el que se aplican de manera regular un conjunto de buenas prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo, y obtener el mejor resultado posible de un proyecto. Estas prácticas se apoyan unas a otras y su selección tiene origen en un estudio de la manera de trabajar de equipos altamente productivos.

En Scrum se realizan entregas parciales y regulares del producto final, priorizadas por el beneficio que aportan al receptor del proyecto. Por ello, Scrum está especialmente indicado para proyectos en entornos complejos, donde se necesita obtener resultados pronto, donde los requisitos son cambiantes o poco definidos, donde la innovación, la competitividad, la flexibilidad y la productividad son fundamentales.

Scrum también se utiliza para resolver situaciones en que no se está entregando al cliente lo que necesita, cuando las entregas se alargan demasiado, los costes se disparan o la calidad no es aceptable, cuando se necesita capacidad de reacción ante la competencia, cuando la moral de los equipos es baja y la rotación alta, cuando es necesario identificar y solucionar ineficiencias sistemáticamente o cuando se quiere trabajar utilizando un proceso especializado en el desarrollo de producto.

En FSGroup esta metodología se aplica usando el software de Jira que se divide en 6 secciones, cada sección presenta tarjetas de trabajo que contienen una cantidad de tiempo específica, este tiempo se pensó y coordinó en reuniones organizadas en la oficina central de FS por parte de los gerentes de los departamentos. Este tiempo en cada tarea permite dar una estimación de cantidad de trabajo a pagar por parte del cliente y la fecha estimada de entrega del proyecto.

Cada una de las secciones se aplica a continuación:

1. To Do (Para realizar)

En esta sección se presentan las tareas a realizar por proyectos, de esta manera al ingresar a la plataforma sabemos exactamente qué trabajos realizar por día laboral.

2. Stand By (En pausa)

Este apartado permite poner en pausa las tareas que se están trabajando, aquí entran pausas para comer, ir al baño, etc, para así mantener el tiempo 100% para trabajo sin interrupciones, el temporizador se detiene.

3. In Progress (En progreso)

Aquí se mueven las tarjetas una vez se empieza a trabajar, el temporizador empieza a descontar el tiempo previsto por los gerentes y representa el tiempo de trabajo neto para cada tarea.

4. To Check (Para revisar)

Esta sección es para informar a los gerentes que la tarea fue completada, y se pasa a esta sección para ser revisada por los mismos.

5. Checking (En Revisión)

Aquí los gerentes podrían detectar errores o cambios que deben ser hechos y regresan la tarjeta a To Do, informando al que hizo la tarea de dichos errores o cambios para realizarla una vez más, en este caso el tiempo continúa una vez se pasa a In Progress por segunda

vez; si la tarea es correcta y se acepta se pasa al siguiente paso. Se tiene un temporizador de revisión diferente al de en progreso que también fue planeado en la reunión previa.

6. Done (Realizado)

En este apartado se da final a la tarea, el tiempo tardado se almacena en los datos de Jira para al final saber qué trabajos tardaron más de lo esperado o menos, qué áreas de mejora se tienen y si el tiempo estimado para cada tarea y con ello del proyecto total fue estimado correctamente.

Esta forma de trabajar se da en cada proyecto que FS es contratado y representa una gestión de proyectos clara y fácil de utilizar para los nuevos empleados; además de generar datos estadísticos de cada empleado y así medir su eficiencia y saber si cumple el número de horas que se deben trabajar por mes.

10.5. Confluence

Confluence es la base de datos de la empresa, en ella podemos encontrar la forma correcta de realizar cada tarea, hay instrucciones para cada acción que se presenta en un proyecto ejecutivo de forma clara y concisa para que no exista posibilidad de error a la hora de elaborar una tarea.

11. Rol Profesional en FSGROUP Engineering México

11.1. Introducción

FS Group es una empresa diseñadora con matriz en Madrid, España que tiene 15 años trabajando en México. Entre sus proyectos más destacados se encuentran: Fairmont Puerta Cortés Baja California Sur, torre New York Ciudad de México, Pitahayas El Marqués Querétaro y Montejo Beach Telchac Yucatán, objeto de estudio de este reporte.

Para cada proyecto que llega a FS se aplican los siguientes pasos, con 3 departamentos que intervienen siendo: Estudios y Desarrollo de Negocio, producción y Posventa.

Cada departamento podría atender proyectos de ingeniería estructural, consultoría de estructuras o Building Information Modeling (BIM), aunque el departamento de producción por ser el de mayor personal generalmente tiene más proyecto que puede acometer.

El autor se desempeña en el área de producción como becario de Autocad y Revit aportando apoyo a los calculistas y modeladores para presentar de manera correcta los cálculos y modelos recibidos. En los siguientes incisos se desarrollan todas las actividades que se realizaron durante el diseño de Montejo Beach, explicando a detalle el proceso que se sigue para entregar un producto de calidad y de acuerdo a los estándares de la empresa

11.2. Departamento de Estudios y Desarrollo de Negocio

En el departamento de Estudios y Desarrollo se hace una valoración y predimensionamiento de los proyectos para poder apoyar al cliente con el coste total de la construcción y estructura, ver áreas de optimización de la estructura o cualquier problema que esta pudiera presentar a la hora de la construcción o de coordinación con la arquitectura. Si al cliente le parece el proyecto y cuantías que se presentan y se ajustan a su presupuesto el cliente decida contratar a FS Group Engineering y con ello, la empresa se asegura que asegurando así que respetamos las mediciones presentadas, pasaría al departamento de Producción.

11.3. Departamento de Producción

En este departamento se va a realizar todo el proyecto ejecutivo al completo contratado, que en nuestro caso suele incluir los modelos de Revit y que dependiendo del cliente puede necesitar que coordinemos con otras disciplinas. Se tiene esta forma de trabajar ya que cada vez más se necesita el modelado 3D para una mejor definición de la estructura y la metodología BIM como detección de interferencias. De esta forma se presentarán estos modelos, así como toda la definición de la estructura, refuerzos y detalle necesarios para la construcción de la estructura.

11.4. Departamento de Posventa

En el departamento de posventa se hace un seguimiento de nuestros proyectos, una vez entregado el proyecto ejecutivo se da por cerrado el proyecto; pero siempre surgen dudas, problemas, cambios o circunstancias dentro de las construcciones que llevaron a la creación del departamento.

Una vez que se hace la entrega del proyecto ejecutivo anteriormente mencionado todas las consultas, dudas y comunicaciones que el cliente necesita hacer se haría con el departamento de Posventa, que en ocasiones necesita también de echar manos del modelo Revit para detectar indefiniciones o dudas en la estructura. También si el cliente lo solicita se puede contratar una asistencia de obra y que lo lleva este mismo departamento, donde se incluirían visitas a obra y otros trabajos de gabinete que nos supongan modificaciones al proyecto original.

Como adicional si en el futuro el cliente desea una modificación, si la estructura debe ser modificada, agregar añadidos y revisar si cumple con las cargas nuevas, en caso de no cumplir el proyecto puede pasar otra vez a producción o a estudios.

11.5. Uso de Autocad, Revit y CYPECAD en FSGroup Engineering México

El siguiente procedimiento descrito en el reporte comienza una vez que el cliente acepta la propuesta realizada por el departamento de estudios.

11.5.1.Replanteo de la estructura con Autocad

El desarrollo BIM comienza en el momento que se reciben los planos arquitectónicos por parte del cliente en formato CAD en el departamento de Estudios, el coordinador del departamento lo envía a los Becarios CAD los cuales realizan un purgado del dibujo. La figura 18 presenta la planta arquitectónica tipo del nivel 1 a 5 de Montejo Beach torre Norte y Sur

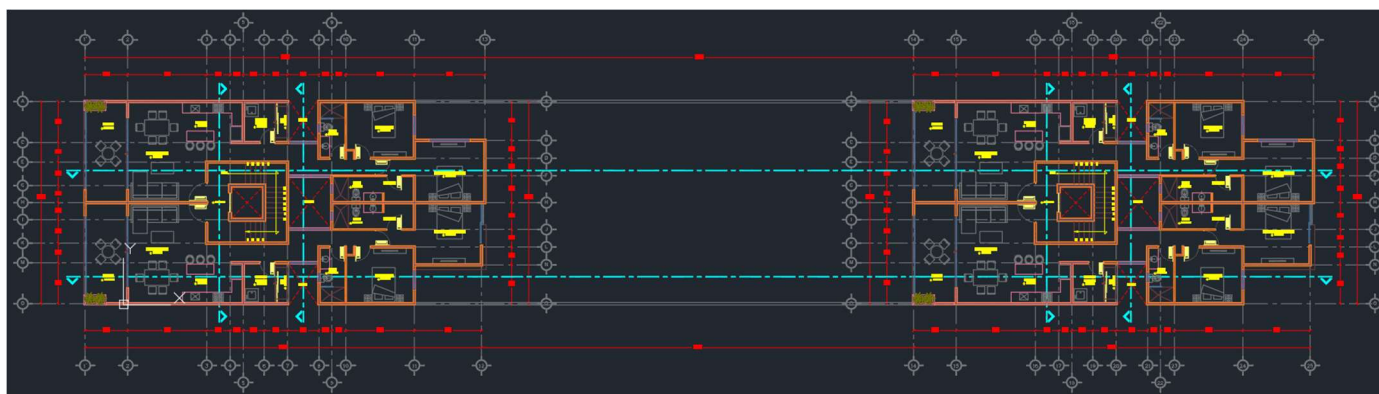


Figura 18. Planta arquitectónica tipo nivel 1 a 5 (Fuente: Másterbroker México)

A este procedimiento dentro de la empresa se le conoce como “Replanteo de una estructura con Autocad”, comienza pegando todas las plantas en un archivo llamado “plantas.0001”, siendo acomodadas desde un punto en común con todos los niveles, este puede ser una columna, un hueco de elevadores o un muro, por lo general se procura que sea en la parte más inferior izquierda de la arquitectura para poder colocar un aspa de referencia, presentada en la figura 19.

La esquina más inferior y a la izquierda de la estructura (no del cerramiento u otro acabado, sino de la estructura) estará en la coordenada 500, 500, 0. A partir de ese punto, redondeando en 500 a 500 unidades, se irán disponiendo el resto de las plantas, hacia la derecha o hacia arriba, en función de la morfología de la planta.

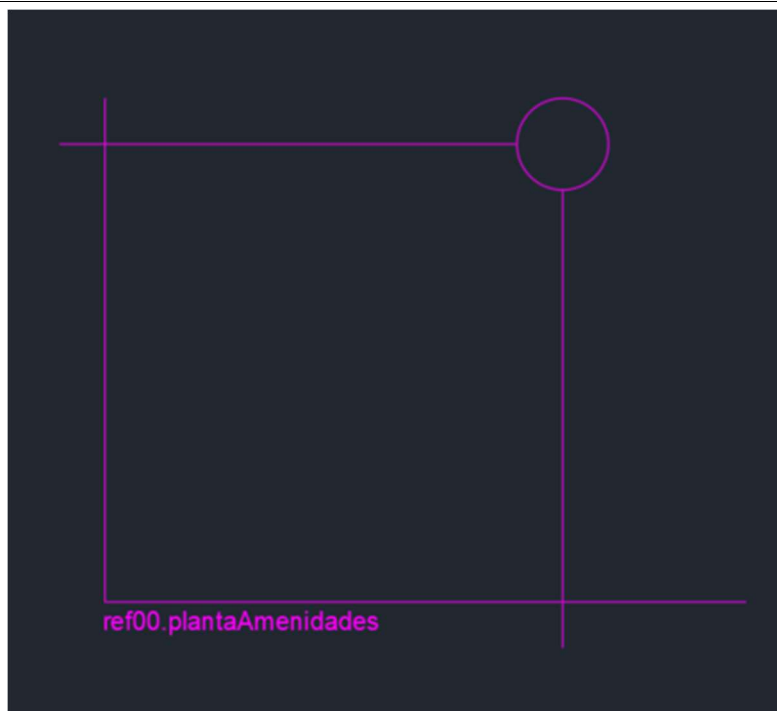


Figura 19. Aspa de referencia (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad)

Una vez acomodadas se les empieza a dar un formato prediseñado por parte de FSgroup, en un inicio la capa 0 debe ser color magenta, la precisión general del dibujo y de los ángulos se establecen al máximo y se establecen las unidades del trabajo en metros con el comando “units”, además con el comando “style” se establece el estilo de texto fseSimplei con la fuente Romans de Windows.

Se elimina toda la vegetación, hatches, vehículos, personas y todo lo que no tenga que ver con la estructura del edificio, después con el comando layers, se crean filtros los cuales dependiendo del nombrado de las capas por parte del cliente identifican los diferentes elementos estructurales, a cada uno de estos elementos le corresponde un color como se identifica en la siguiente tabla.

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

Tabla 2. Colores por elemento estructural.

Como comentario adicional, los nombres de los espacios se dejan para que una vez entregados a producción sepan que cargas vivas y muertas debe tener cada espacio. Una vez cumplidos los pasos anteriores se tiene un archivo como el presentado en la figura 20.

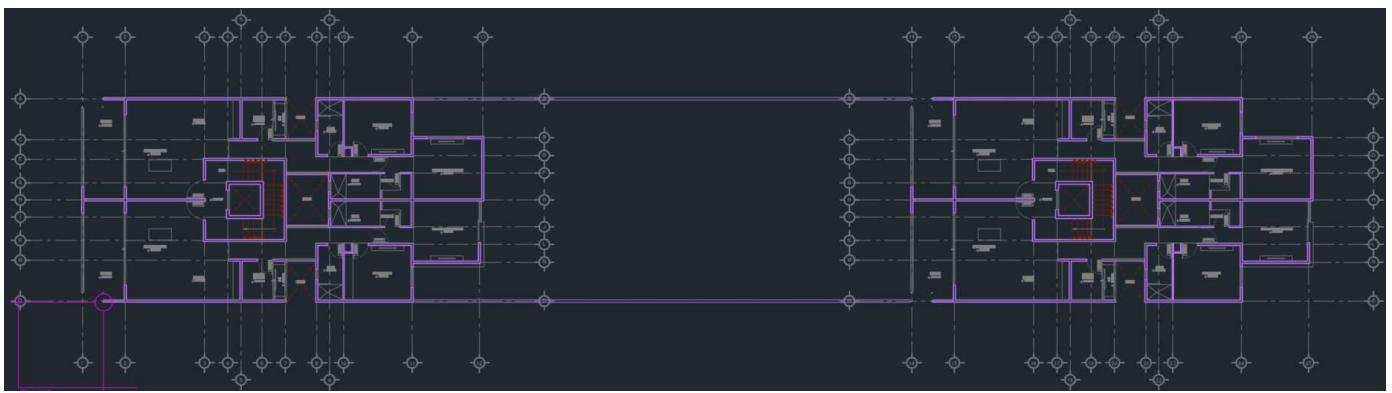


Figura 20. Planta arquitectónica filtrada nivel 1 a 5(Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad)

Este procedimiento es aplicado para cada nivel de la estructura, formando el archivo plantas que luego se divide en las diferentes referencias (o niveles) figura 21, antes de ser devuelto al departamento de Estudios para aprobación y envío al departamento de Producción.

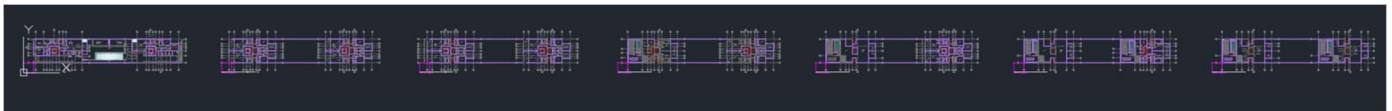


Figura 21. Archivo plantas.0001 (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad)

11.5.2. Modelado en CYPECAD

Una vez el archivo plantas con sus correspondientes referencias es aprobado por Estudios, se envía de nuevo a producción; donde los ingenieros calculistas con el uso de CYPECAD comienzan el cálculo estructural del edificio tomando en cuenta reglamentos, cargas y arquitectura.

Cabe recordar que el autor del reporte no formó parte de este procedimiento por lo tanto se dará una idea general de lo que sucede en este paso del modelado.

Primero se acomodan todas las plantas por niveles en el mismo punto con ayuda del asa de referencia utilizada en el inciso anterior; con ello se va forma el edificio con los diferentes niveles y se empieza con el dimensionado de los elementos. Una vez dimensionados, se exportan los niveles para que el modelador Revit los inserte en su modelo.

11.5.3. Modelado en Revit

El modelado en Revit se inicia una vez se tiene el modelado en CYPECAD. Con ambos planos, los arquitectónicos y los obtenidos desde el programa de cálculo se modela la estructura tomando

las características de los elementos estructurales de CYPECAD, pero alineando con los planos de arquitectura para la conformidad del cliente.

De manera general, el procedimiento de modelado en Revit es el siguiente:

Se crea el modelo con la plantilla de 2019, se cargan las familias de anotación, se rellenan los datos de proyecto y con esto se crea el modelo central, el cual se entrega al cliente, pero para trabajar en conjunto en el mismo proyecto, FSGROUP genera archivos locales para cada modelador BIM para poder hacerlo.

Se continúa con la creación de niveles y ejes, se crean las vistas donde se introducirán los layouts de arquitectura y se crean los niveles; a esa sección se le conoce como input (ingreso en inglés) y se muestra en la figura 22.

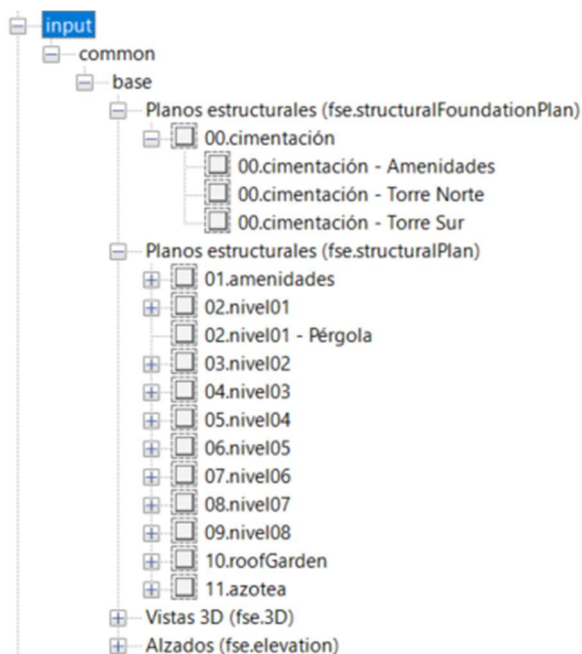


Figura 22. Vistas input de Revit (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)

Los planos incluidos en la sección Base con los de coordinación en el archivo main, en ellos se superponen las vistas generadas en Revit y los planos de arquitectura propuestos por le cliente; se dividen en planos de cimentación y estructurales.

Se continúa con la creación de las vistas de trabajo donde se introducen los replanteos estructurales obtenidos desde CYPECAD (apartado work), en esta vista se pueden modelar todos los elementos de la estructura teniendo como base los replanteos y siguiéndolos uno por uno, una

vez modelado se crean las vistas resul donde se colocan los puntos de crecimiento de las columnas (esto para en caso de cambio en las secciones no tener errores), se anotan los diferentes elementos (columnas, trabes, sistemas de piso) y se acota. Estas vistas se presentan en la sección Output (Egreso en inglés) que se presenta en la figura 23.

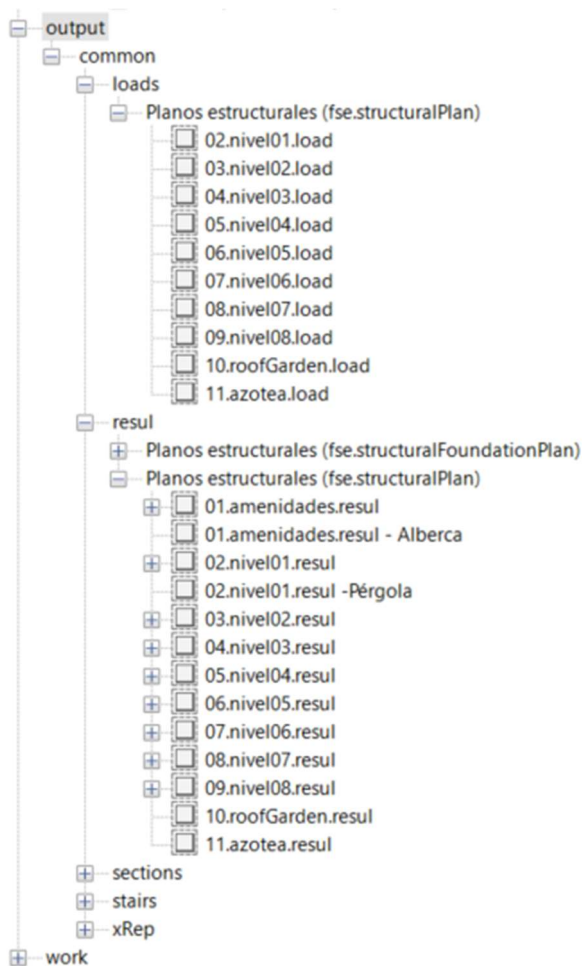


Figura 23. Vistas output de Revit (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)

En Revit se tiene un dicho que dice **“Se modela como se construye y se construye como se modela”** esto hace referencia a que cuando se tienen las vistas listas para el modelado se realiza el siguiente procedimiento de modelado:

1. Modelado de Columnas y muros
2. Modelado de cimentaciones
3. Modelado de trabes principales y secundarias
4. Modelado de losas
5. Modelado de huecos

6. Anotado de elementos
7. Acotado de elementos

En la figura 24 se presenta un ejemplo de vista work, para ejemplificar el procedimiento anteriormente explicado.

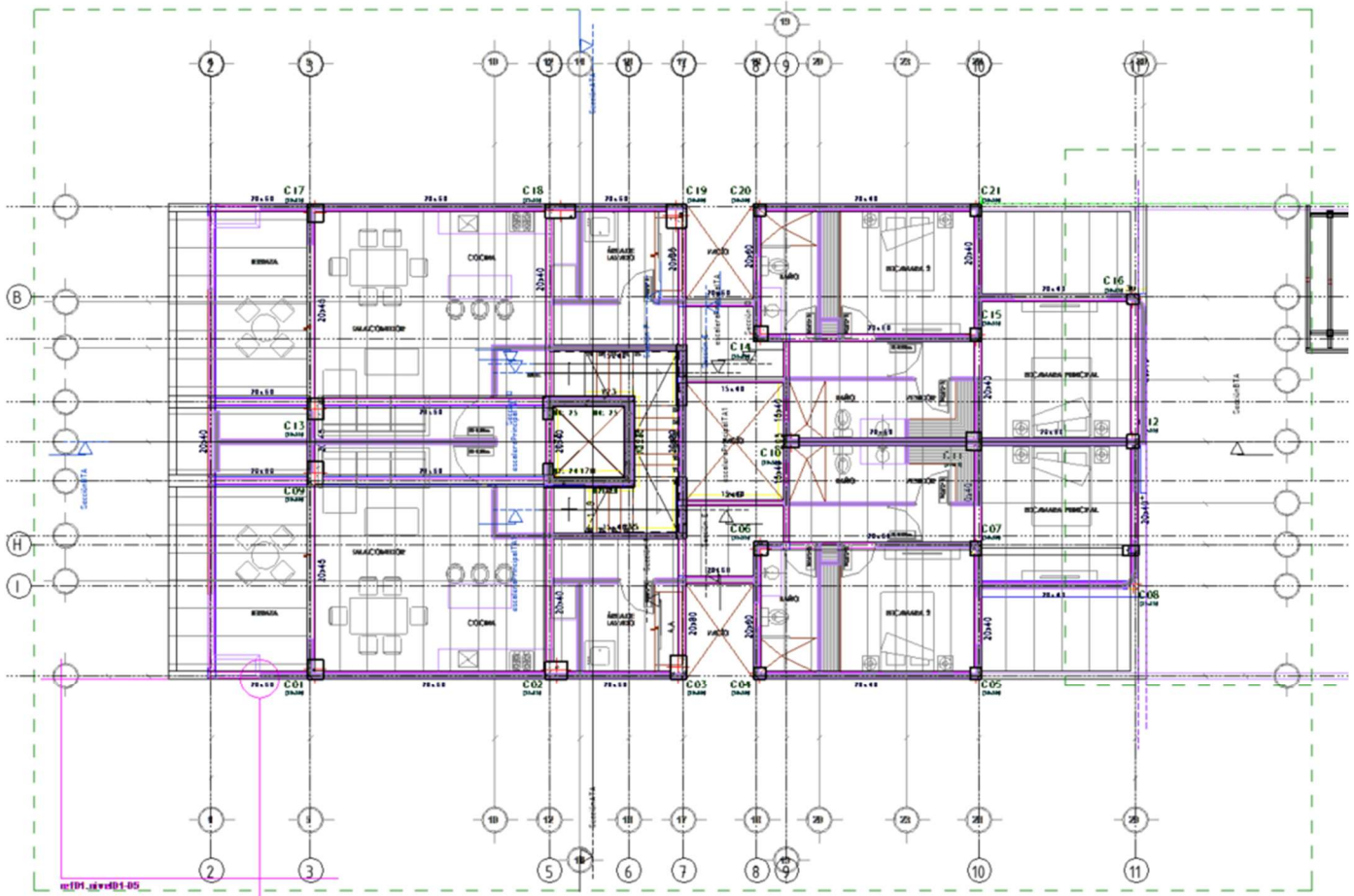


Figura 24 Vista Work nivel 01

Una vez se terminan todos los pasos, el main de Revit está listo para ser exportado en las diferentes vistas que se necesitan para el main de Autocad

11.6. Entrega ejecutiva archivo Main

La palabra Main, proviene del inglés y significa principal, este nombre se aplica al modelo principal donde se está trabajando y el cual va a ser entregado al cliente.

La entrega ejecutiva del archivo Main consta de los siguientes elementos: Isométricos generales y por nivel, planta de coordinación por nivel, planta de replanteo por nivel, detalle de cimentación, refuerzos de losa, cuadro de columnas, detalles de muros cortantes, planos de escaleras, despiece de travesaños y uniones metálicas los cuales se describe su trabajo en los siguientes incisos.

El archivo Main se conforma con referencias externas para no saturar de más el archivo y poder ser trabajado, los cajetines armados y sus correspondientes cuadros de detalle son almacenados dentro de los archivos de la empresa por proyecto para su fácil acceso y uso.

La palabra cajetín, hace referencia a cada uno de los planos dentro del archivo main, así se conocen dentro de la empresa y es como se identifican. En México también se conoce como pie de plano o solapa.

El principal beneficio de utilizar referencias externas es que si se deben modificar automáticamente se actualizan en el archivo principal o "Main" sin necesidad de redibujar o actualizar manualmente, las plantas se van colocando de arriba hacia abajo con un orden establecido por FSGGroup que no cambia en ningún proyecto; a continuación, se presenta la figura 25 con la vista general del archivo Main para la entrega de la torre Norte y la figura 26 con la vista general del archivo Main para la entrega de la torre Sur



Figura 25. Archivo Main torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad, Revit y CYPECAD)



Figura 26. Archivo Main torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con AutoCad, Revit y CYPECAD)

11.6.1. Isométricos

Estos se obtienen mediante el modelado en Revit, a cada nivel se le da una orientación de isométrico como se muestra en la figura 27.



Figura 27. Acomodo vista isométrica.

Una vez se acomoda la vista al estilo isométrico, se esconde la caja de sección y los niveles, entregando una imagen limpia del modelo a exportar como se muestra en la figura 28.

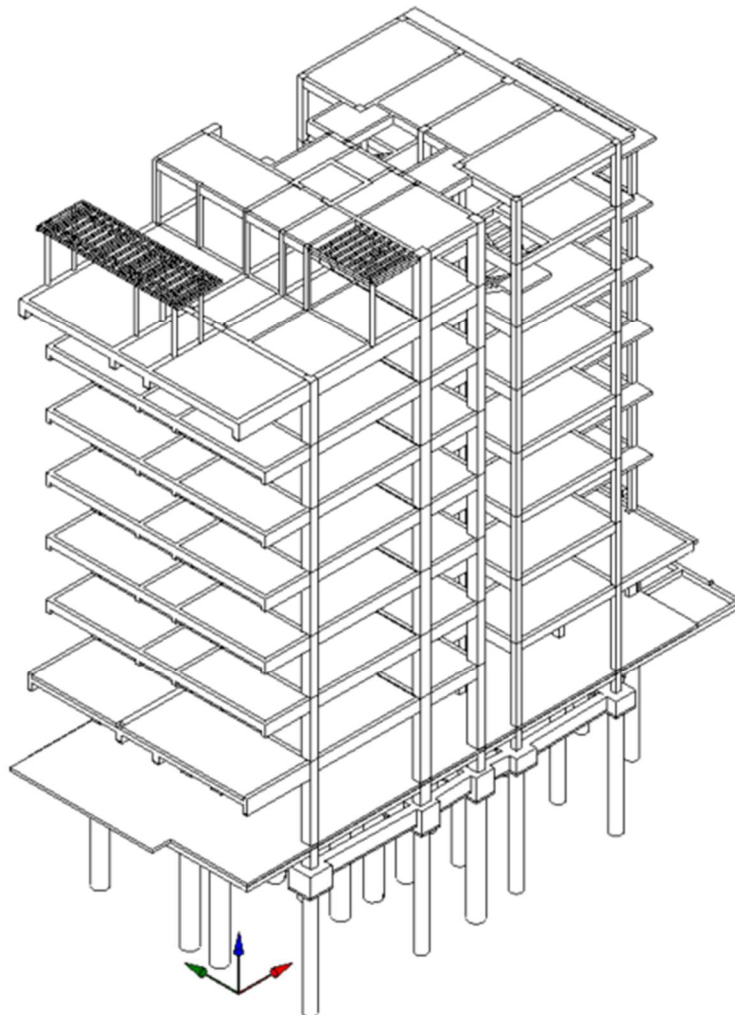


Figura 28. Vista isométrica torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)

Esta vista se exporta como archivo DWG para poder ser insertado como referencia externa dentro del archivo main. Los colores de cada elemento estructural fueron configurados previamente por la empresa, para conseguir igualdad en todos los proyectos; la referencia externa ya insertada en el archivo principal se presenta en la figura 29.

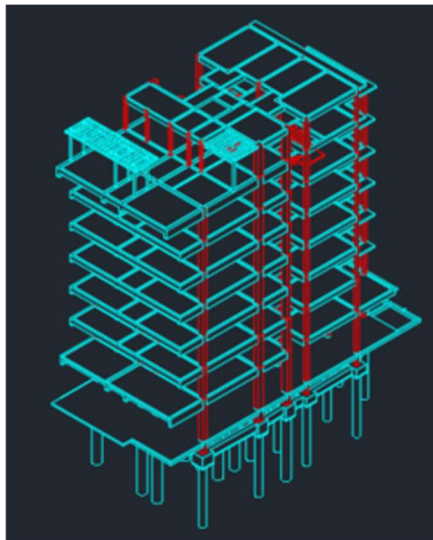


Figura 29. Vista isométrica torre Norte en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)

El mismo procedimiento aplicada para cada uno de los niveles de la estructura, generando un corte para cada uno de ellos y presentando sus elementos de manera tridimensional.

11.6.2.Planta de coordinación

Esta planta se utiliza principalmente para que el cliente revise como queda la estructura en base en sus planos de arquitectura. Obtenidas desde Revit, se acomoda la planta original enviada desde el cliente y se sobrepone la trabajada en Revit, en ella se puede observar la congruencia en los muros, espacios libres, columnas y escaleras, los renombramientos de los ejes pero su congruencia en posición y distancia entre ellos.

Esta planta es exportada de igual manera desde Revit como un archivo DWG para ser insertada al main como referencia externa, recordando que al ser referencia externa cualquier cambio en el dibujo se actualiza automáticamente en el plano CAD. Los colores presentados en la figura 30, son configuraciones dadas por la empresa.

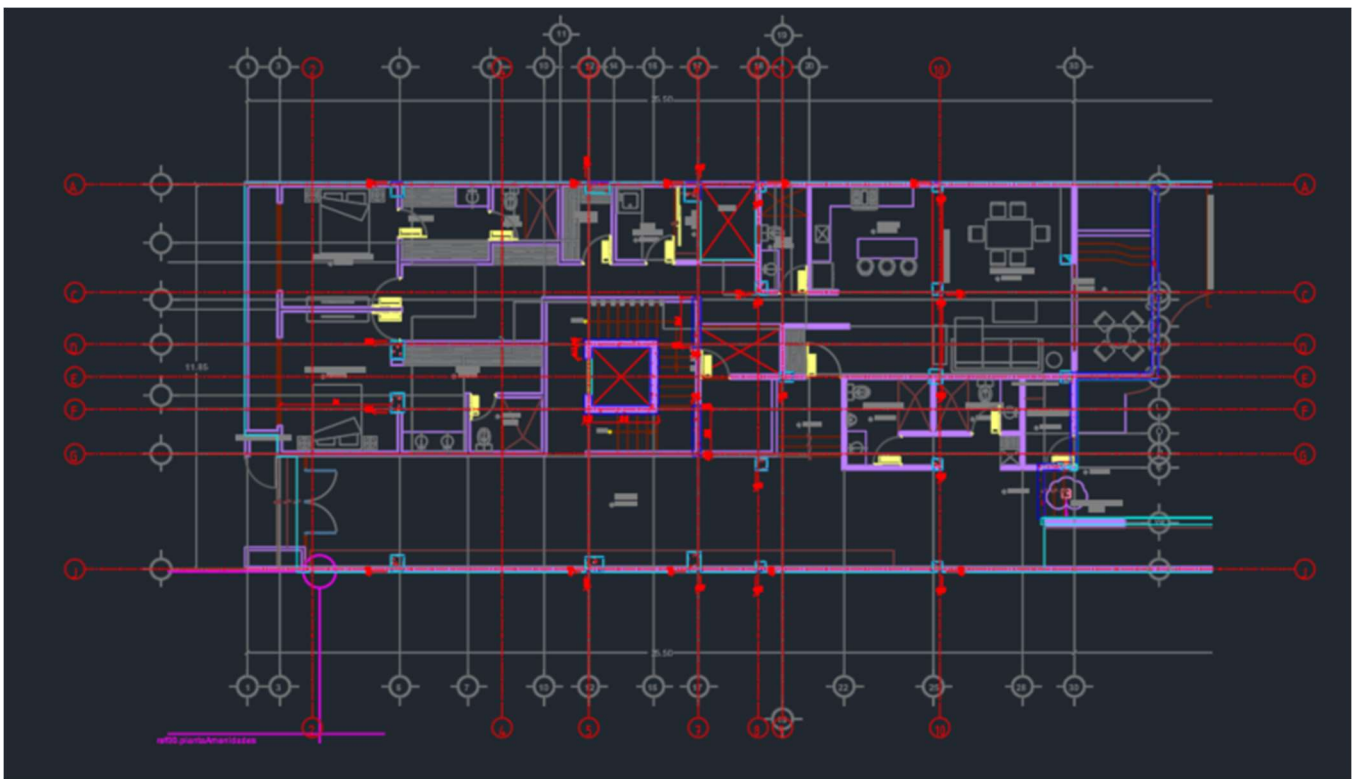


Figura 30. Planta de coordinación amenidades torre Norte en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)

11.6.3.Planta de replanteo

La planta de replanteo muestra todos los cálculos que se hicieron de la estructura, desde el nombramiento de cada una de las trabes y columnas, junto con sus dimensiones hasta el tipo de losa utilizado y su armado. Se aprecian además detalles de elevación, cotas de separación, secciones, espesores de losa y la posición de los ejes, sin olvidar los espacios huecos y escaleras planteadas por el arquitecto.

A continuación, la figura 31, presenta la planta amenidades exportada a Autocad como archivo dwg desde Revit, una vez más los colores son automatizados por la empresa.

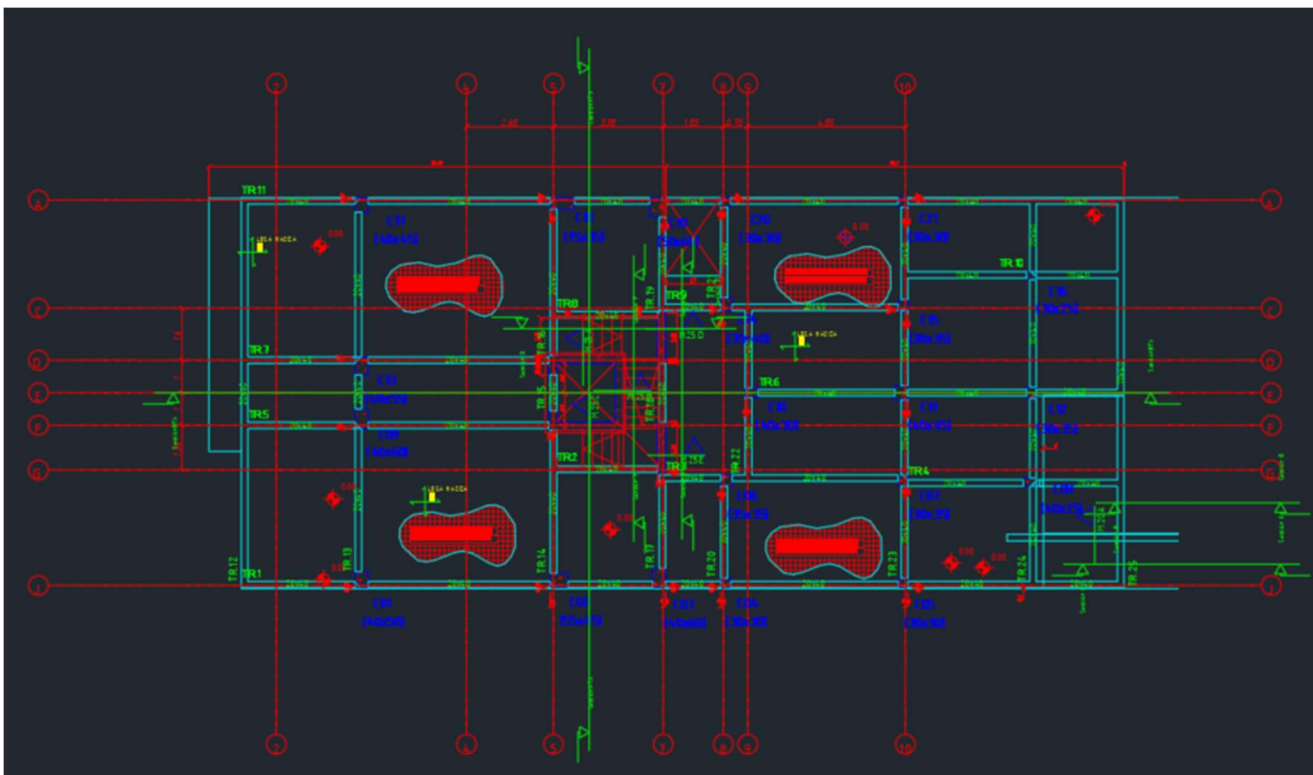


Figura 31. Planta de replanteo amenidades torre Norte en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit)

11.6.4. Detalle de cimentación

En este plano, se presenta un corte de las contratrabes centradoras del complejo departamental, en ellos, se observan los refuerzos longitudinales superior e inferior, el armado por temperatura y su estriado a detalle, sin olvidar sus dimensiones recubrimiento y el nombre que se le asignó tanto en Revit como en CYPECAD.

Dicho detalle se obtiene desde una exportación del programa de cálculo, su acomodo y asignado de colores de cada elemento depende de los dibujantes Autocad que los presentan en una tabla y se insertan al dibujo como referencia externa como se presenta en la figura 32.

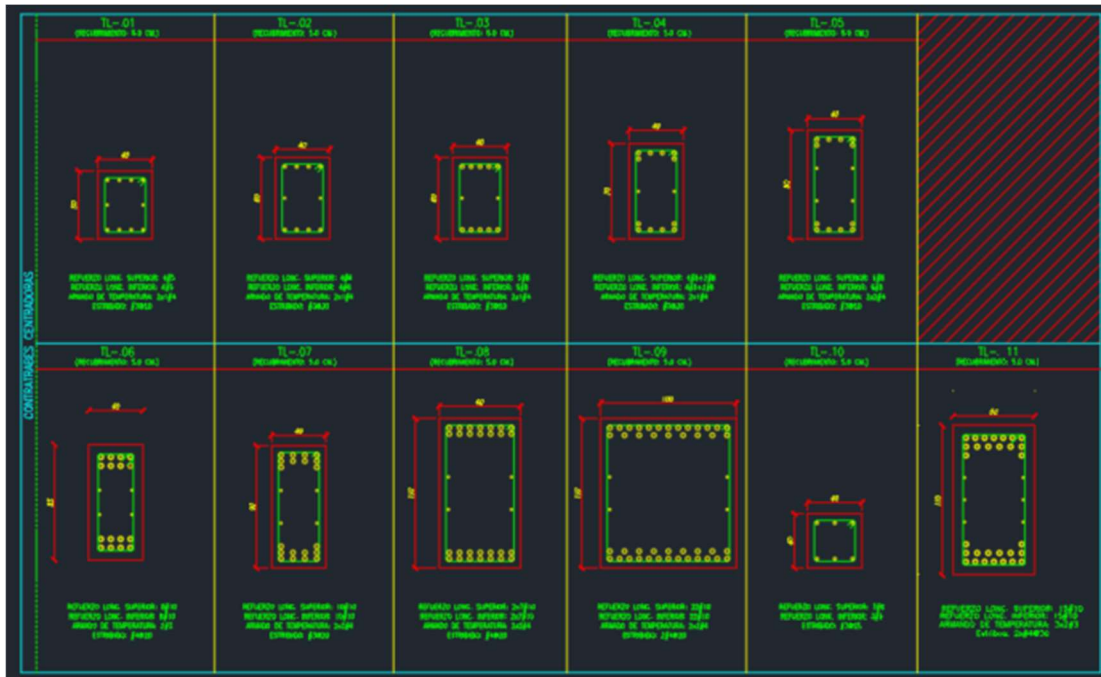


Figura 32. Detalle de cimentación en archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)

11.6.5. Refuerzos de Losa

Los refuerzos de losa son extraídos desde CYPECAD, estos se conforman de refuerzos negativos de viga, refuerzo en cara superior de las losas macizas de concreto y refuerzos de momentos y cortantes de viga, refuerzo en cara inferior de las losas macizas de concreto. Estos se componen de varillas que se presentan dentro de las vigas que forman la losa maciza que compone nuestro edificio. Dado el formato especificado dentro de la empresa, las varillas deben ser corregidas a como son exportadas desde CYPECAD, a continuación, se presentan las imágenes dedicadas a la descripción de los refuerzos de losa.

Las figuras 33 y 34 presentan los refuerzos negativos de viga y momentos y cortantes extraídos de CYPE.

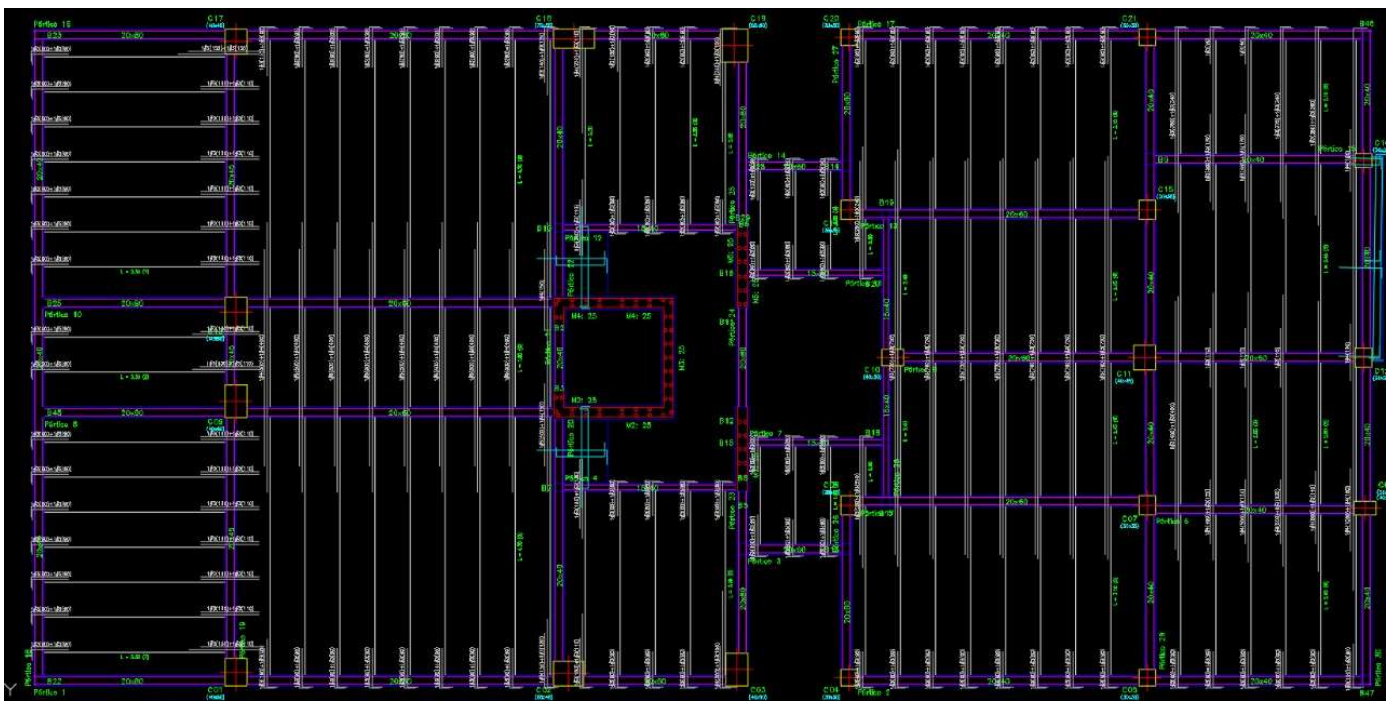


Figura 33. Archivo refljos, refuerzos negativos de vigueta (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)

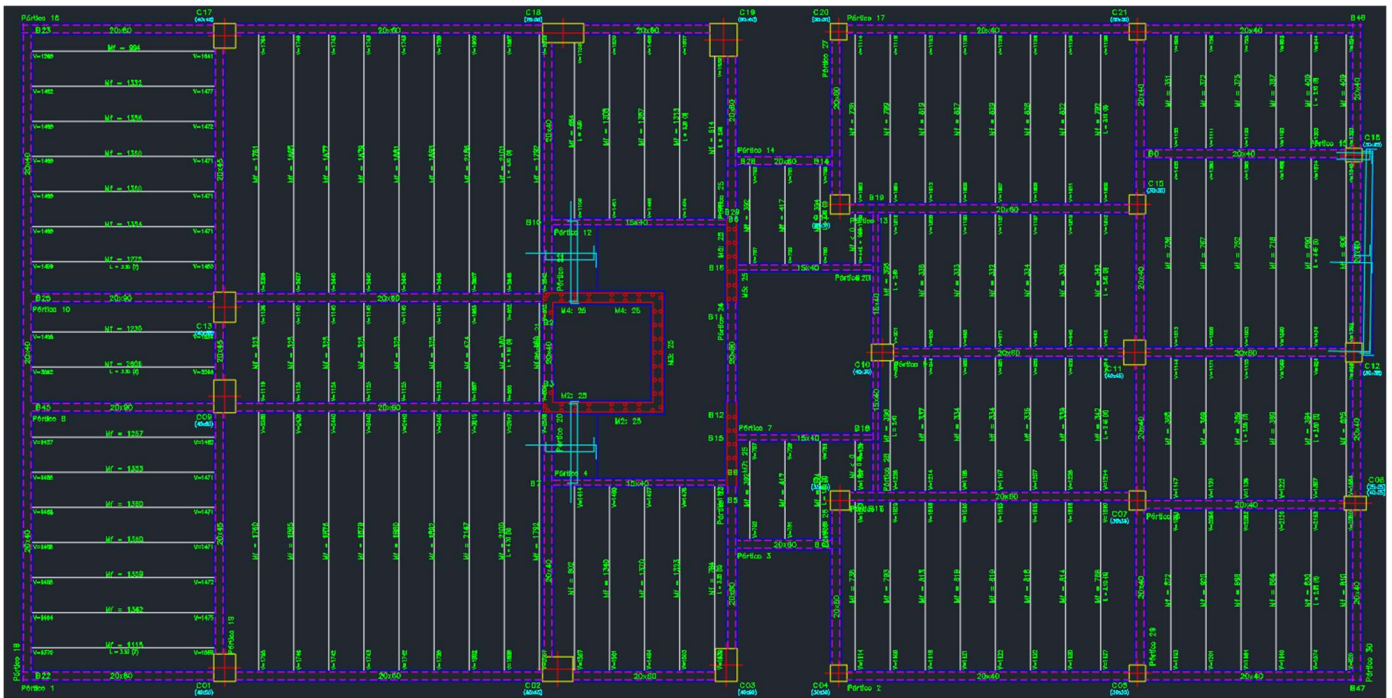


Figura 34. Archivo refljos, refuerzos cortantes y de momento (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)

En contraparte, las figuras 35 y 36 presentan los refuerzos negativos de vigueta y momentos y cortantes extraídos de con formato FSGGroup, para poder se agregados al archivo Main de entrega, cabe mencionar que las varillas presentan cortantes en kN/m y momento en mkN/M, gracias al

11.6.6.Despiece de columnas

El despiece de columnas es una parte fundamental, en este proceso se da formato a un corte de la columna por nivel de la estructura, en el mismo se puede apreciar el armado y la sección de cada una de las columnas de la estructura.

Desde CYPE se obtienen los detalles de cada columna y se presentan con el formato de la figura 37, la figura 38 presenta la misma columna, pero con formato FSGGroup para poder ser insertada en el Main.

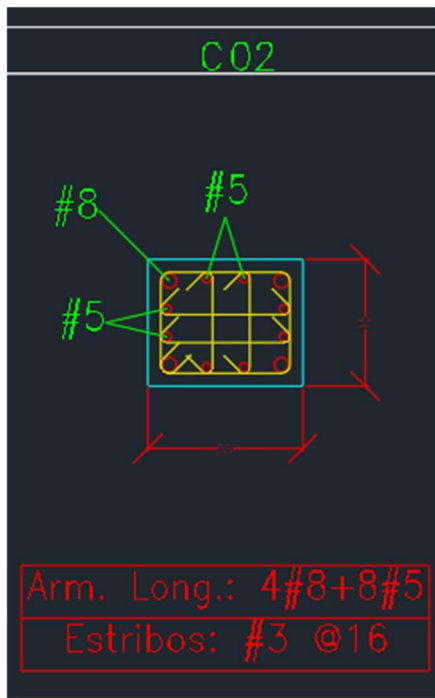


Figura 37. Archivo pil, Columna 02 (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)

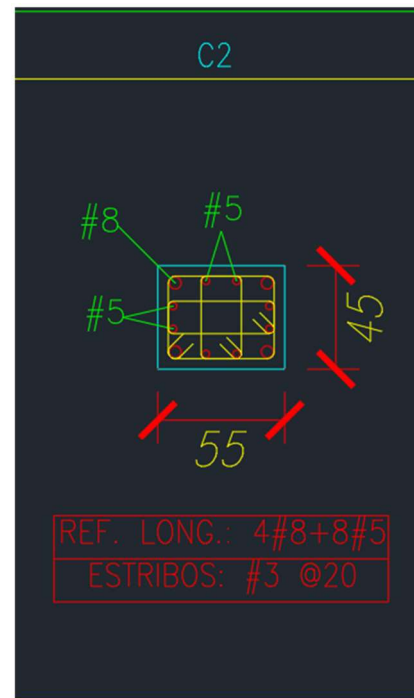


Figura 38. Columna 02 filtrada (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad)

Una vez se les da formato a todas las columnas se acomodan en un “cuadro de columnas” el cual se inserta al archivo Main como una referencia externa. En este cuadro se presentan de una manera ordenada cada uno de los niveles de la estructura con su columna, incluyendo como se presentó anteriormente, su armado y dimensiones. Con esta referencia se tiene un acceso rápido y fácil de entender para el cliente que podrá apreciar cada columna de la estructura a detalle. El cuadro de columnas de la torre Norte se presenta en la figura 39.

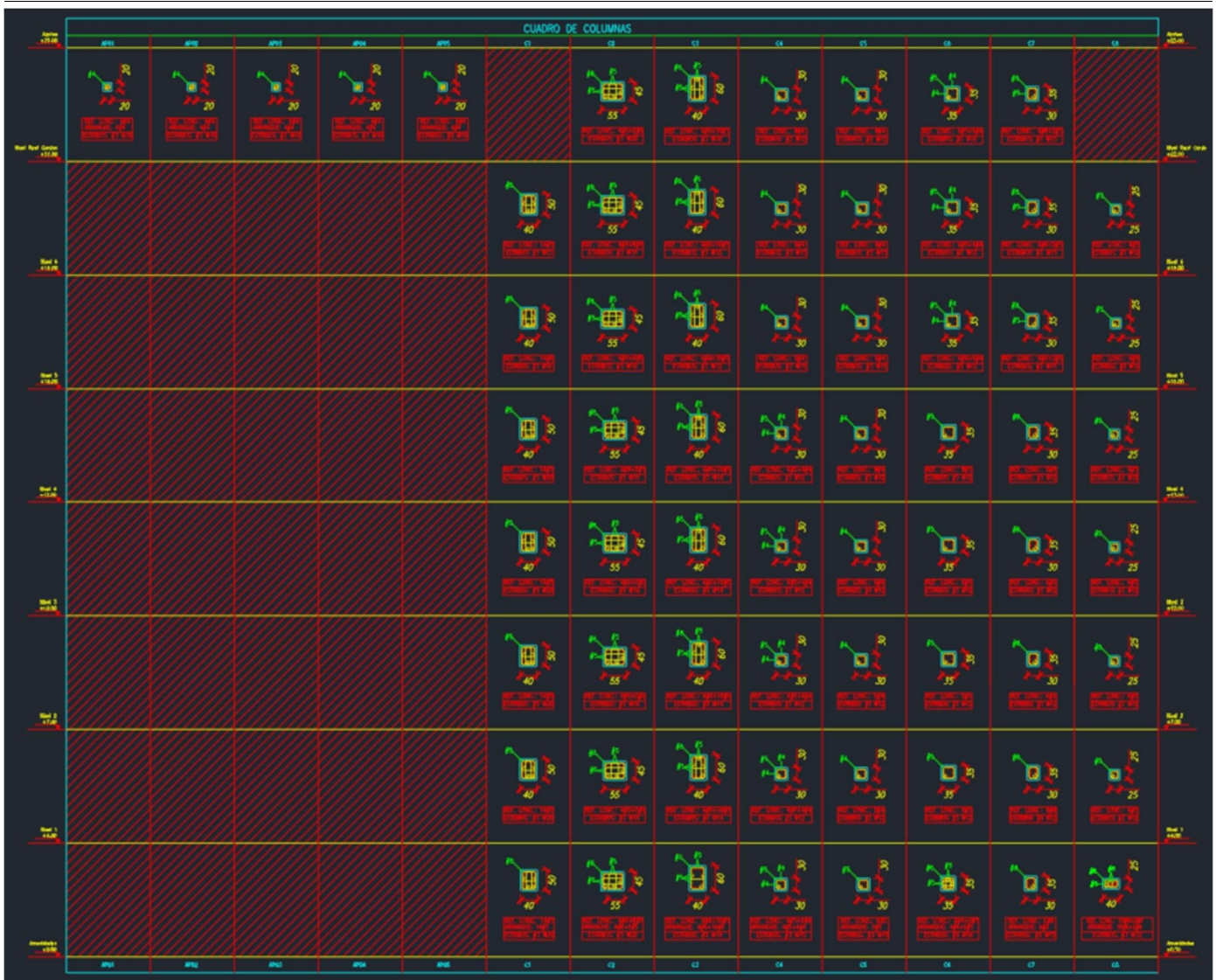


Figura 39. Cuadro de columnas torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad)

Cabe mencionar que en este cuadro sólo se presentan columnas de concreto armado, las columnas de acero se aprecian en la planta de replanteos.

11.6.7. Detalles de muros cortantes

El plano de detalles de muros cortantes muestra todas las secciones de la estructura que constan de ellos, obteniendo una sección horizontal desde Revit y los detalles de armado de CYPECAD, se insertan dichas secciones en el main, dibujando a su lado la referencia de armado en el mismo archivo.

Un ejemplo de esto se presenta en la figura 40, en la cual se observa la sección M.A y M.C, correspondientes a los muros A y C de la torre Norte, en ella se presentan los refuerzos horizontal, vertical y transversal del muro de una forma clara para su construcción, además de presentan el nivel donde lleva dicho refuerzo.

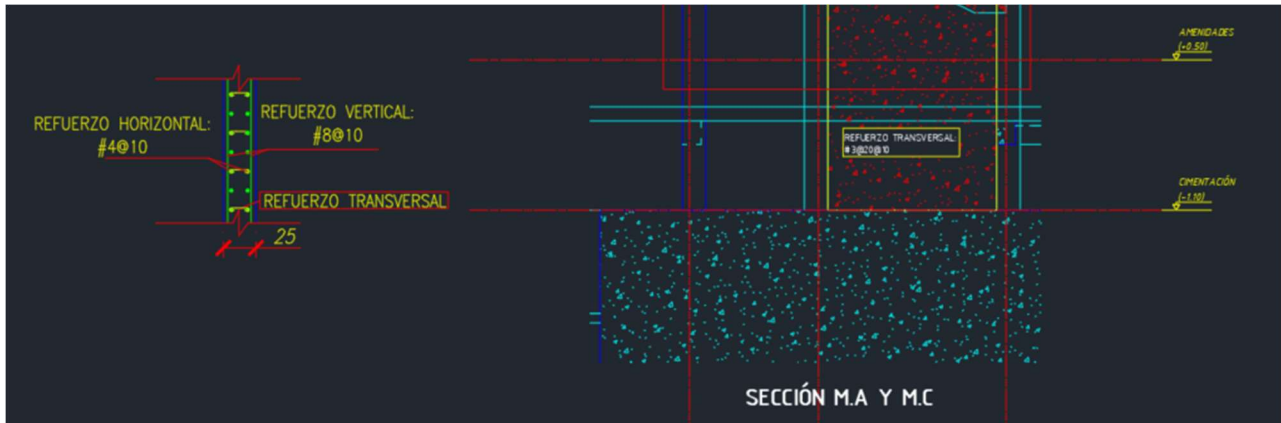


Figura 40. Detalle de muro cortante en torre Norte archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad)

A continuación, se presenta de forma general en la figura 41, todos los muros cortantes de la estructura y su armado en cada nivel.

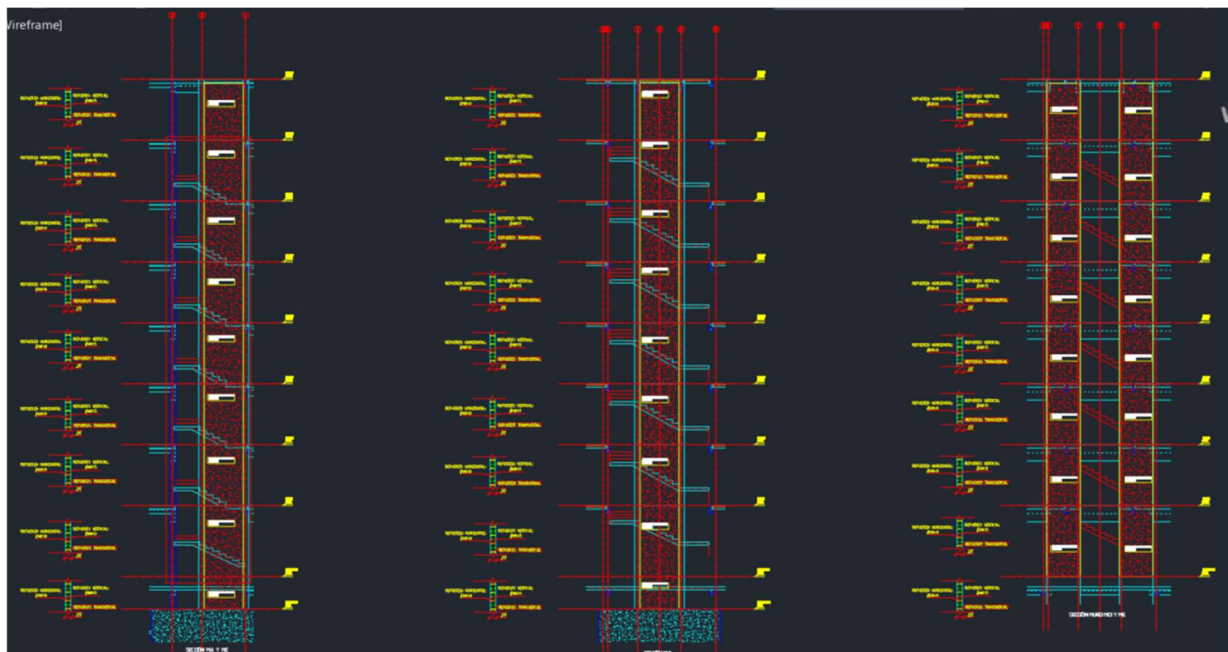


Figura 41. Muros cortantes en torre Norte archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad)

11.6.8. Planos de escaleras

Al igual que con los muros cortantes, los planos de escaleras se hacen en conjunto con los softwares de Revit y Cypecad.

De Revit se obtienen los cortes y las fachadas, en las cuales se puede observar el nivel, dimensiones de la escalera y los entrepisos; mientras que el programa de cálculo se encarga de aportar el armado en el refuerzo longitudinal y transversal.

En ambas torres se cuenta con una escalera principal la cual abarca toda la estructura y se agrega una escalera secundaria que ocupa el último entrepiso, nivel 8 a Roof Garden en torre Sur y nivel 6 a nivel 7 en torre Norte. En la figura 42 se muestra la escalera principal de la torre norte, como ejemplo a ambos cajetines que se incluyen en el archivo main.

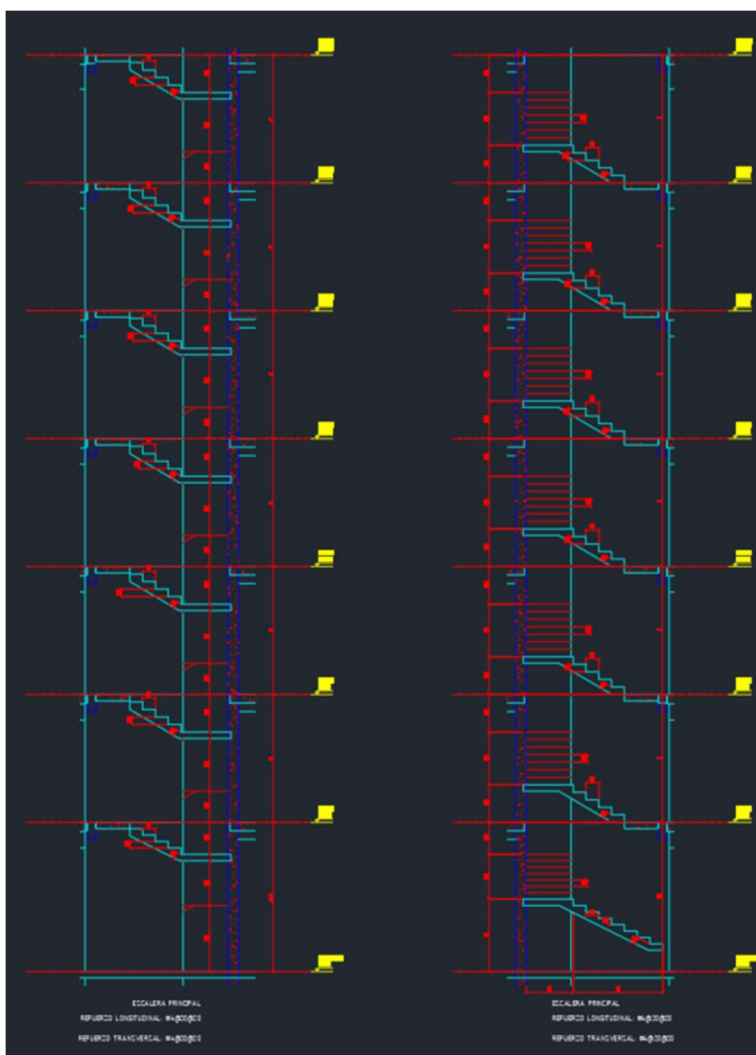


Figura 42. Plano de escaleras en torre Norte archivo Main (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit, Autocad y CYPECAD)

11.6.9.Despiece de Trabas

El despiece de trabes fue la primera tarea que el autor de este reporte tuvo que realizar en AutoCAD entre varias otras (maquetado, despiece de columnas, armado de refuerzos, etc), dada su importancia la exactitud en cada una de las trabes y su formato es fundamental para la entrega ejecutiva y de calidad que FSGGroup fomenta.

Las trabes son exportadas de CYPECAD a formato Autocad; una vez más sin el formato adecuado, además se presenta la sección de la trabe la cual se aumenta para poder ser visible. Cada nivel consta de alrededor de 30 trabes, las cuales son acomodadas por nivel en cajetines al final del Main, ya que dependiendo de su longitud es el número de cajetines que se integran al dibujo.

Las figuras 43 y 44 presentan la misma trabe, del lado izquierdo la trabe exportada de CYPECAD con formato erróneo y del lado derecho la trabe que se adjunta al Main, con el formato correcto. Como principales cambios se observa el cambio en las cotas, el estilo de letra también se cambia y se hacen cambios de textos, en su mayoría dado el idioma de CYPECAD es solo una adaptación al idioma mexicano.



Figura 43. Archivo pórticos, Pórtico 01 (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD)

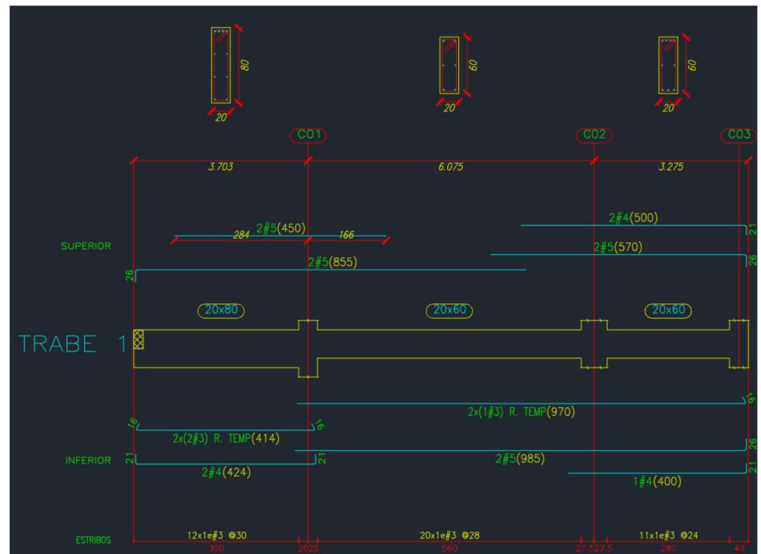


Figura 44. Trabe 01 filtrada (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad)

Por último, una vez se les da formato a todas las trabes se acomodan en cajetines, como se presenta en la figura 45.

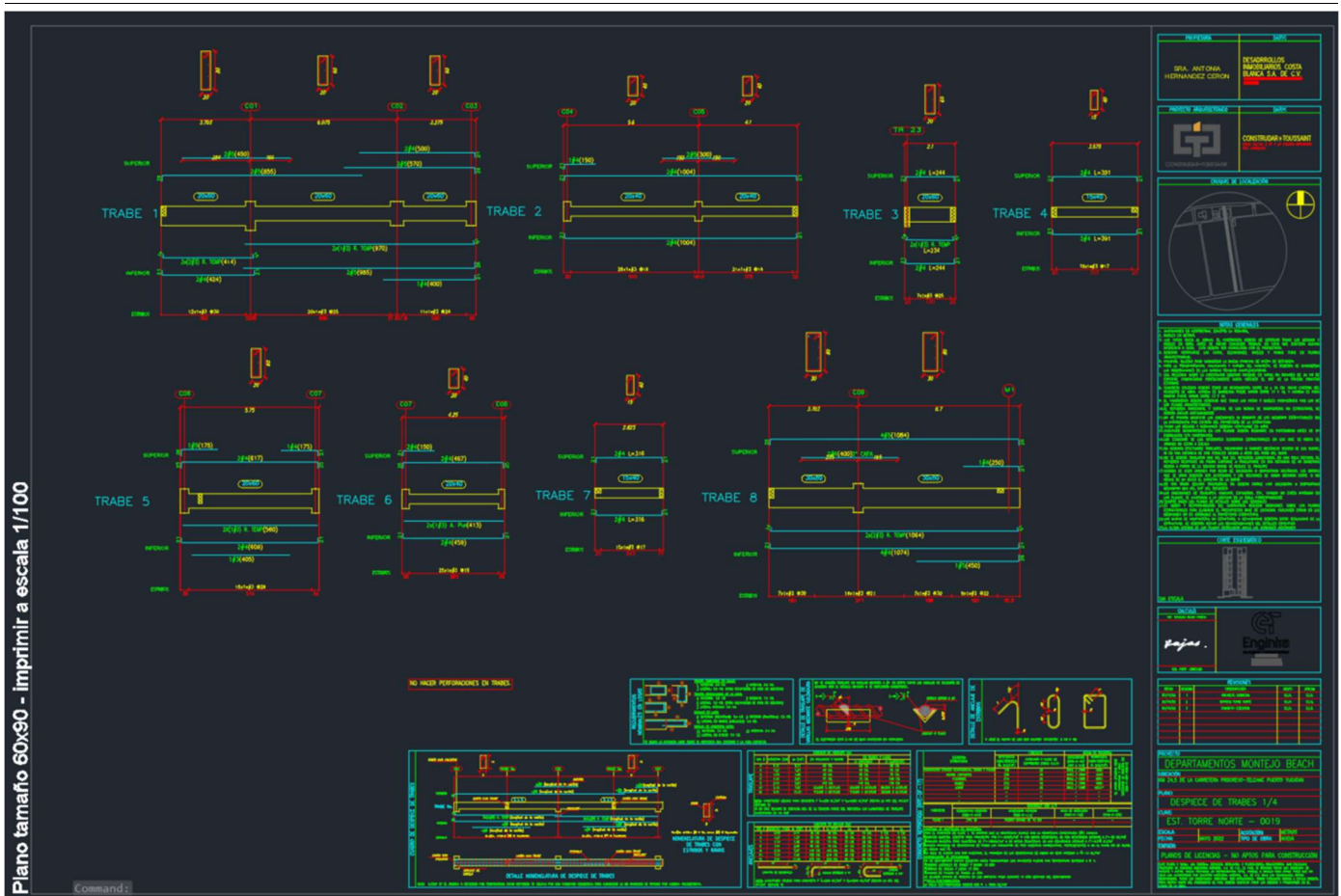


Figura 45. Despiece de traves torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Autocad)

11.6.10. Uniones metálicas

El plano de uniones metálicas consta de todas aquellas uniones de la estructura que requieran un armado especial de un elemento en acero para combinar dos o más elementos. Estas uniones son diseñadas con el programa de cálculo CYPECAD, en el cual el ingeniero calculista a cargo propone los tornillos o soldadura dado el caso, morteros de nivelación, espesor de placas, tipo de anclaje, dimensiones, etc. Utilizando el estándar ANSI/AISC 360-10 que se adapta a la normatividad mexicana.

Con la ayuda del programa de cálculo, es posible obtener las diferentes vistas de la unión diseñada y dichos detalles especificados en el párrafo anterior, además con ayuda de Autocad estas uniones son modificadas para presentarse en el archivo main con los colores correspondientes de FSGGroup; para este proyecto se diseñaron 7 uniones metálicas las cuales se enlistan en el siguiente listado:

UNIÓN 1: Placa base columna metálica – HSS 5X4X5/16”

Consta de una placa base de 250x250x10 mm anclada por 8 pernos de 12.7 mm de diámetro modelo A-307 liso, la cual sustenta un pilar metálico perfil HSS 5X4X5/16" la cual se conecta mediante soldadura hecha en lugar de trabajo de 5 mm de espesor. La figura 46 presenta el corte en sección de la unión.

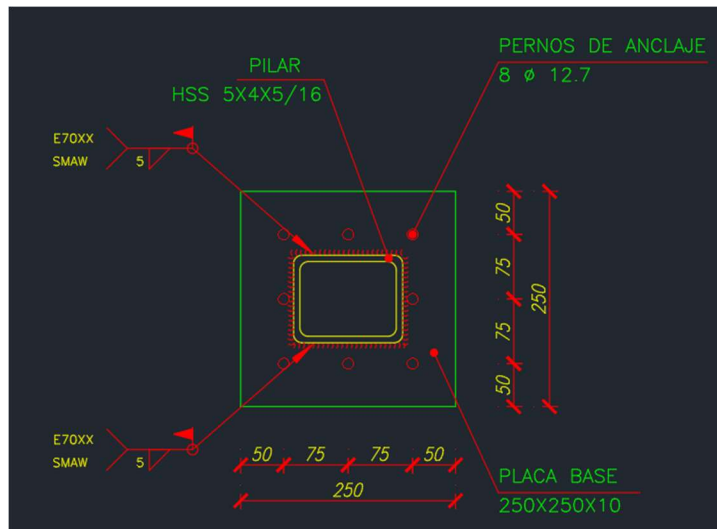


Figura 46. Unión 1 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

UNIÓN 2: Placa base columna metálica – HSS 6X6X5/16”

Consta de una placa base de 300x300x12.5” mm anclada por 12 pernos de 12.7 mm de diámetro modelo A-307 liso, la cual sustenta un pilar metálico perfil HSS. La figura 47 presenta el corte en sección de la unión.

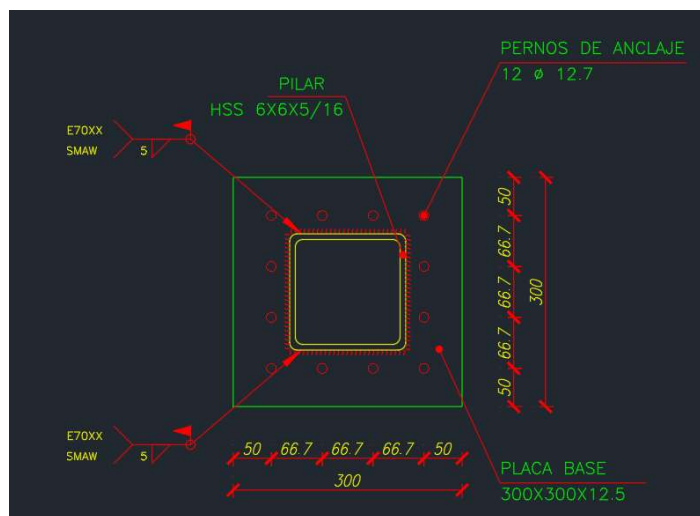


Figura 47. Unión 2 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

UNIÓN 3: Columna – Viga metálica

Consta de una columna metálica de perfil HSS 5X4X5/16" y una viga de perfil W 6X12", ambas secciones metálicas unidas mediante soldaduras de 6 y 7 mm como se muestra en la figura 48.

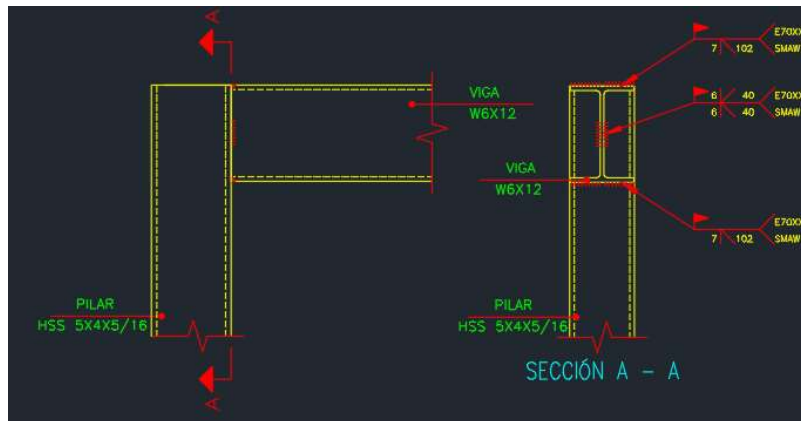


Figura 48. Unión 3 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

UNIÓN 4: Viga principal W 6X12 – Viga secundaria W 4x13 (Central)

Como su nombre lo indica esta unión consta de una columna metálica de perfil W 6x12" y una viga de perfil W 4x13", ambas secciones metálicas unidas mediante soldaduras de 3 mm como se muestra en la figura 49.



Figura 49. Unión 4 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

UNIÓN 5: Viga principal W 6X12 – Viga secundaria W 4x13 (Extremo)

Como su nombre lo indica esta unión consta de una columna metálica de perfil W 6x12" y una viga de perfil W 4x13", ambas secciones metálicas unidas mediante soldaduras de 3 mm como se muestra en la figura 50.

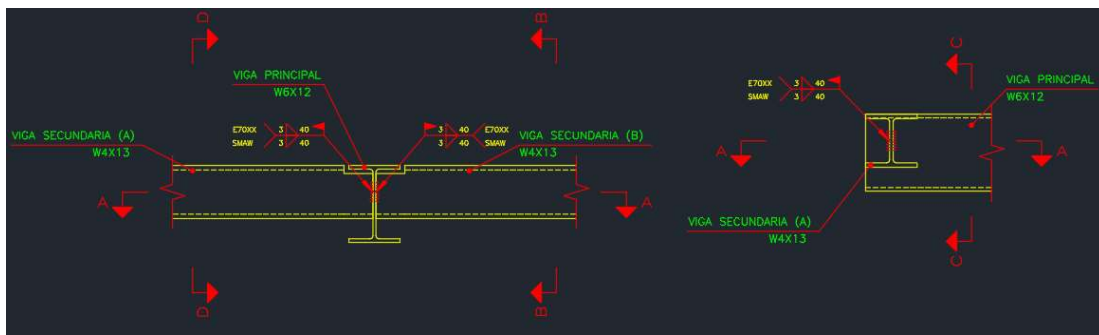


Figura 50. Unión 5 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

UNIÓN 6: Placa base columna metálica – W 4X13”

Consta de una placa base de 250x250x10 mm anclada por 4 pernos de 12.7 mm de diámetro modelo A-307 liso, la cual sustenta un pilar metálico perfil W 4X13” la cual se conecta mediante soldadura hecha en lugar de trabajo de 6 mm de espesor. La figura 51 presenta el corte en sección de la unión.

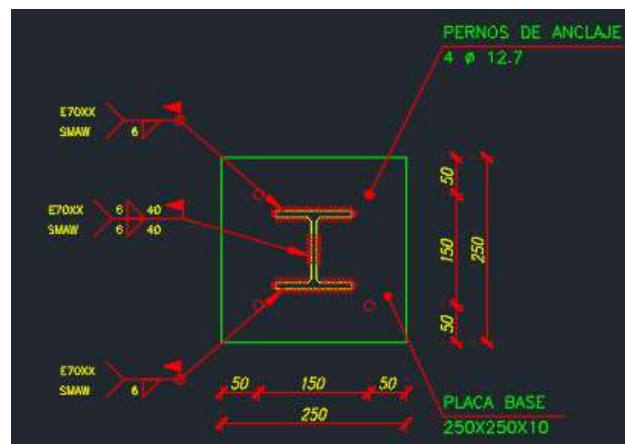


Figura 51. Unión 6 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

UNIÓN 7: Placa base columna metálica – W 4X13”

Consta de una placa base de 250x250x10 mm anclada por 8 pernos de 12.7 mm de diámetro modelo A-307 liso, la cual sustenta un pilar metálico perfil W 6X20” la cual se conecta mediante soldadura hecha en lugar de trabajo de 6 mm de espesor. La figura 52 presenta el corte en sección de la unión.

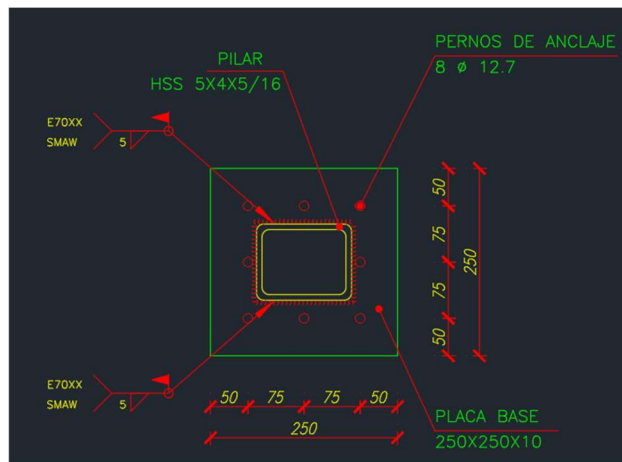


Figura 52. Unión 7 torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con CYPECAD y Autocad)

Las 7 uniones descritas se presentan en ambas torres, siendo utilizadas en el último nivel como sustento de una pérgola metálica presentada en la figura 53 la cual muestra un 3D de la pérgola elaborado con Revit

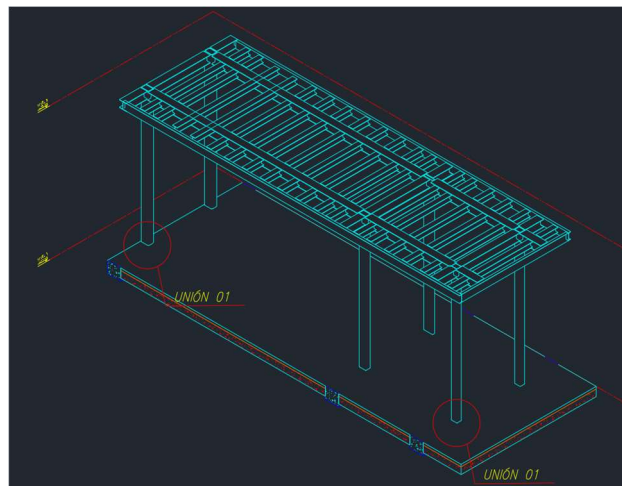


Figura 53. 3D pérgola de nivel cubierta (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad)

En adición a los cuadros de detalle que contienen las uniones previamente mencionadas, se agrega un modelo 2D exportado desde Revit que proporcionan la localización exacta de cada unión, esto se presenta en la figura 54 para la torre Norte y la figura 55 para la torre Sur.

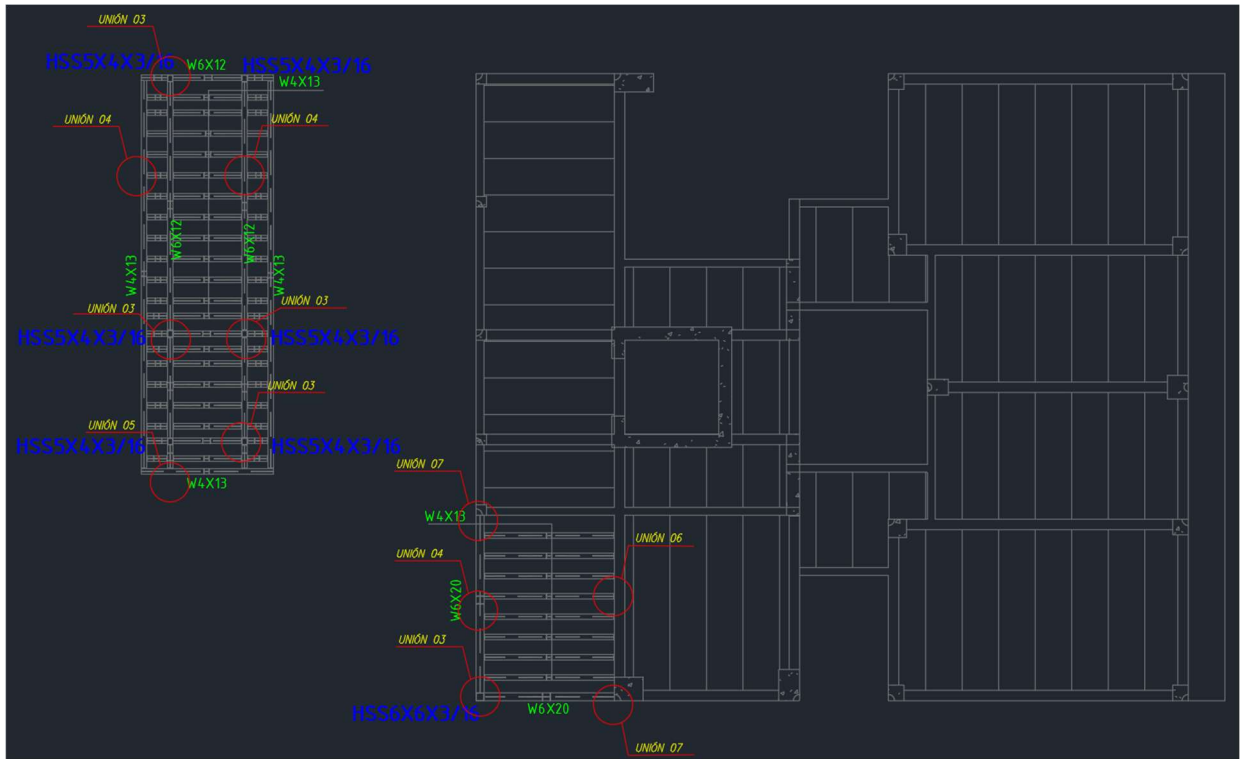


Figura 54. 2D uniones torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad)

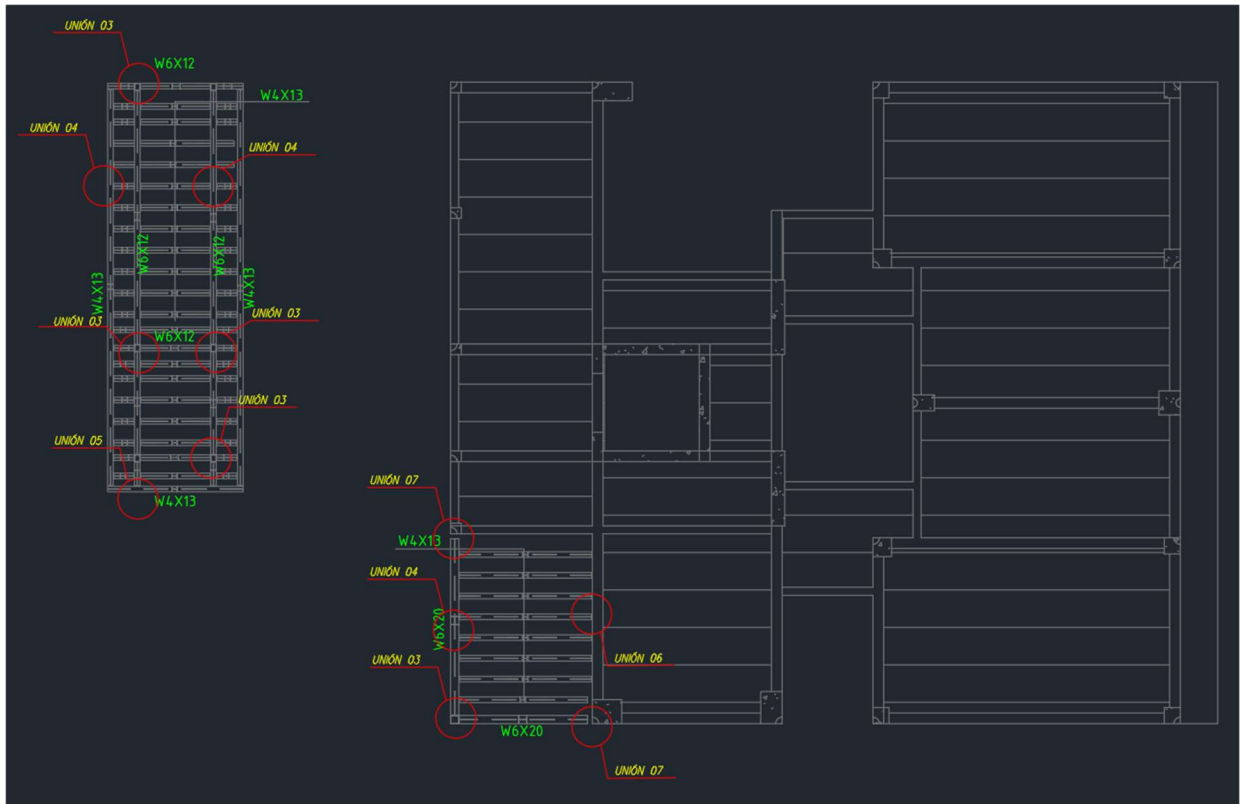
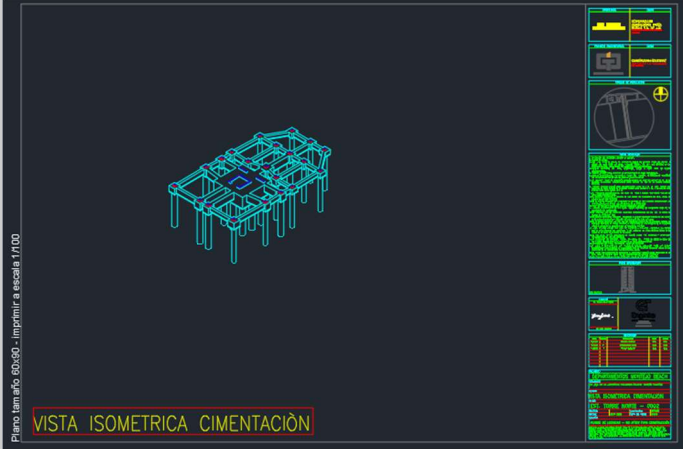
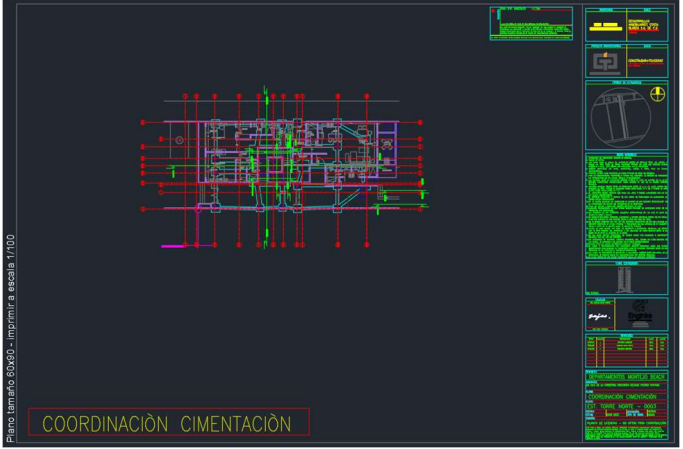


Figura 55. 2D uniones torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Revit y Autocad)

11.6.11. Maquetado

Este es el paso final para la entrega del proyecto ejecutivo, en este paso se numeran los planos finales y se agregan los cuadros de detalle correspondientes a cada uno de los planos. Las especificaciones correspondientes a cada cajetín aseguran una correcta comprensión de lo estipulado en el cálculo para su posterior construcción.

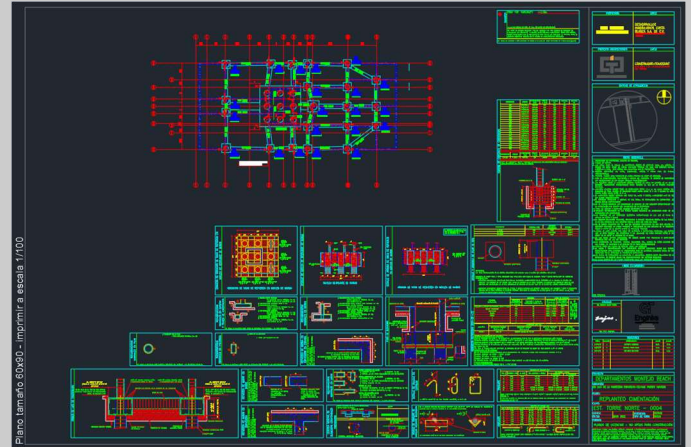
A continuación, se presentará la tabla 3 con los diferentes cuadros de detalle que se presentan para cada cajetín, cabe mencionar que para ambas torres se presentan los mismos cuadros de detalle.

Plano	Descripción	Figura
<i>Isométrico</i>	En estos cajetines no se necesitan cuadros de detalle ya que éstos son solo una representación gráfica tridimensional del nivel o de la estructura completa.	
<i>Coordinación</i>	<p>Este cajetín se utiliza principalmente para que el cliente revise como queda la estructura en base en sus planos de arquitectura.</p> <p>En él, se pueden observar tanto la arquitectura como la estructura superpuestas una con otra para visualizar con claridad la posición de cada elemento.</p>	

Replanteo

Siendo este el cajetín con mayores especificaciones y detalles se tiene la mayor cantidad de cuadros de detalle.

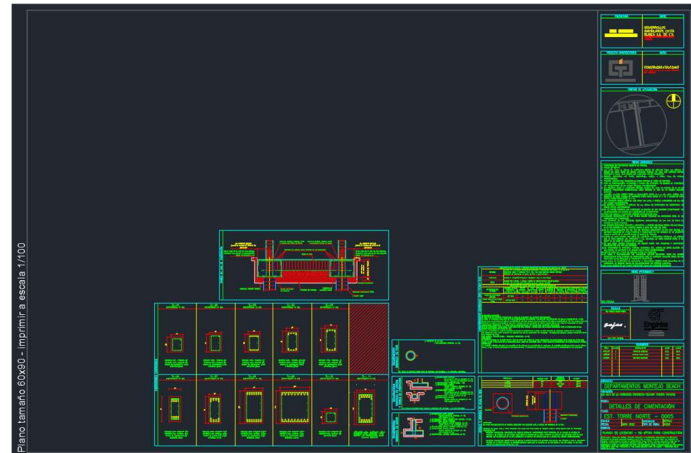
En este cajetín se presentan detalles de anclaje y traslape en varillas y estribos; concreto reforzado, detalles se armados, recubrimientos, refuerzos, entre otros



Cimentación

En este cajetín el principal cuadro de detalle es el despiece de las contratraves centradores y la caracterización geotécnica obtenida del estudio de suelos.

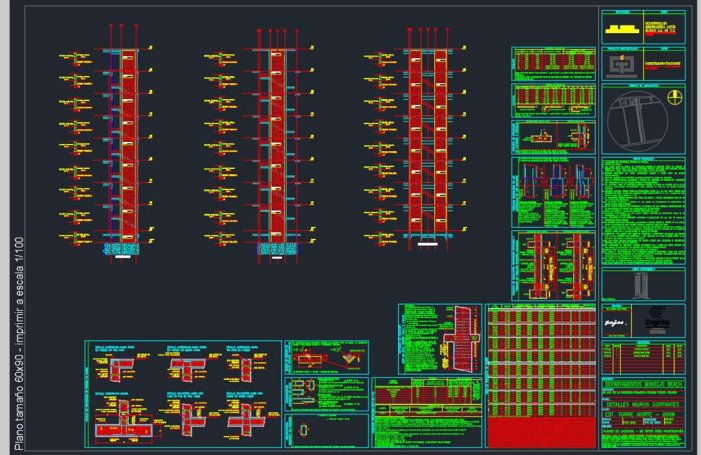
Se presenta además detalles de armados y recubrimientos de pilas y traves de liga de cimentación



*Detalles
muros
cortantes*

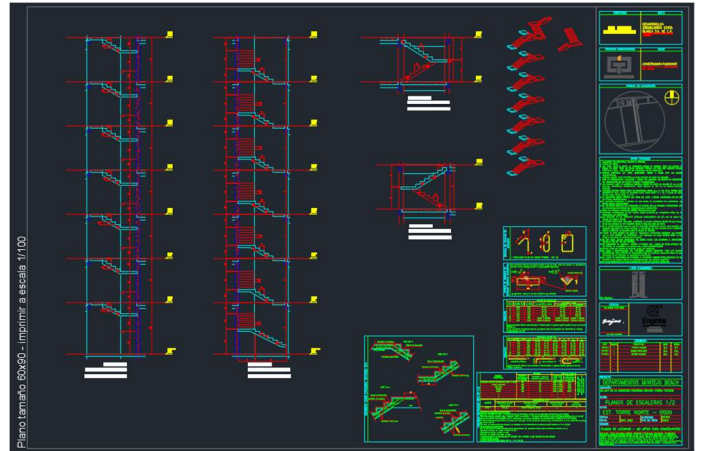
El cajetín de detalles de muros presenta una tabla de refuerzos de muro, listando el tipo de muro, su espesor y refuerzos.

Además, presenta cuadros de detalles de concreto, estribo de las columnas, el armado y el recubrimiento en los muros; detalles de varillas y los arranques.



Escaleras

Siendo las escaleras por lo general genéricas, los cuadros de detalle que se incluyen son detalles de concreto reforzado, refuerzos de las escaleras, además de anclajes y traslapes de varillas y estribos



*Refuerzos
de Losa*

Siendo los planos de refuerzos de losa dependientes del tipo de losa estructural que se maneje, en este caso se agrega un cuadro de detalle de Losa unidireccional de viga pretensada semirresistente (12+5) donde se aprecia el armado de la losa, junto con su peso y su apuntalado.

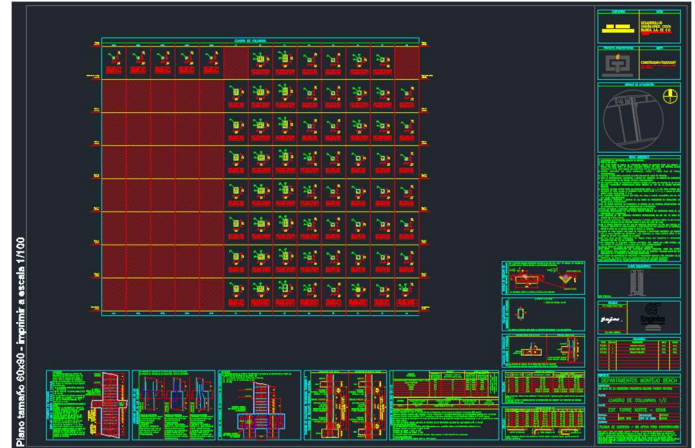
Además del detalle anterior, se agregan detalles de anclajes y traslapes de estribos y varillas, detalle de concreto armado, recubrimientos y refuerzos.



Despiece de columnas

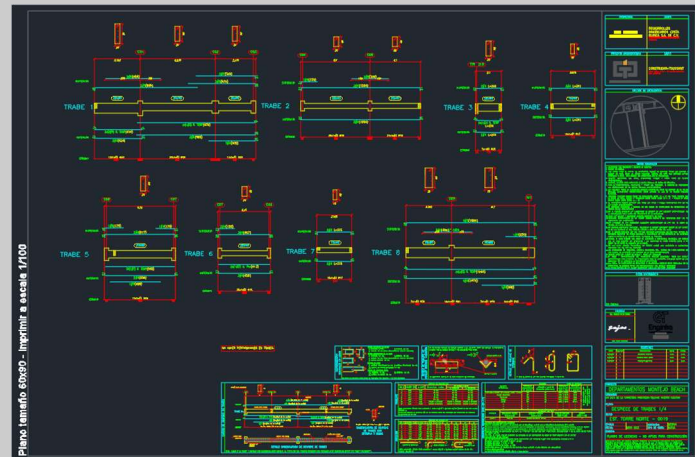
En este cajetín se tienen cuadros de detalle específicos de columnas, detallando la colocación y separación del armado, estribado y arranque.

Se agregan detalles del concreto reforzado, anclajes y traslapes de varillas y detalle de soldadura.



Despiece de trabes

Se presenta un cuadro de despiece de trabes, detalle de concreto armado, detalle de anclaje y traslape de varillas y estribos, y un detalle de recubrimiento en las losas.



Uniones metálicas

Como último cajetín se presenta un despiece de todas las uniones metálicas de la estructura, además de un listado de las simbologías y su significado.

Se agrega un cuadro de detalle de uniones soldadas en estructura metálica de la norma AISC 360.

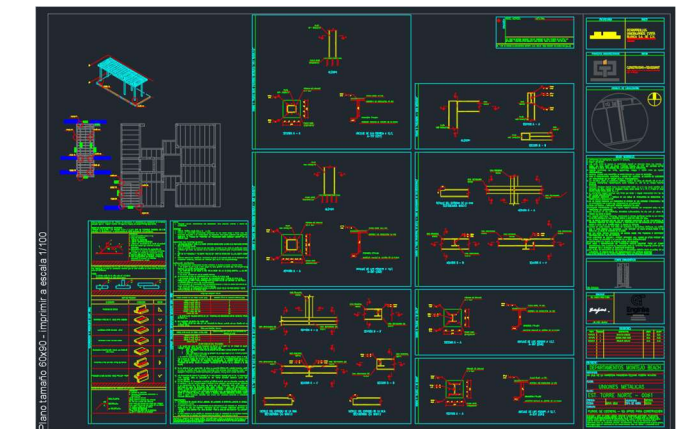


Tabla 3. Descripción de maquetado por tipo de plano.

Como se puede apreciar en FSGroup se trabaja con la mínima oportunidad de error para la firma constructora elegida por el cliente; con cada cuadro de detalle se especifica de manera clara y concisa cada detalle constructivo para toda la estructura.

11.7. Entrega de proyecto

Con la entrega ejecutiva del proyecto, el cliente recibe los planos estructurales en Autocad tanto en formato digital como en formato PDF, además del modelado 3D en archivo de Revit y la memoria estructural del proyecto.

11.8. Actualizaciones

Si en el futuro el cliente o propietario de la estructura decide una ampliación, o desea algún cambio siempre podrá dirigirse al departamento de posventa, el cual tendrá en su poder todos los archivos que se entregaron en la entrega del proyecto; se realiza una evaluación del proyecto y se inicia de nuevo con el modelado BIM.

12. Conclusiones

La tecnología está evolucionando y con ella nuestra forma de pensar. En su momento el sistema CAD supuso una revolución tecnológica en el campo de la construcción, pero es ahora que disponemos de la tecnología adecuada cuando podemos avanzar un paso más allá. Y aquí es donde surge el sistema BIM.

El uso del sistema BIM como metodología en proyectos de construcción, permite la completa gestión de un edificio desde su diseño hasta su demolición, donde demuestra grandes mejoras frente a la metodología tradicional.

Durante mi participación en Montejo Beach participando en el área de producción, pude apreciar esta metodología de primera mano, primero que nada, escuchando de las reuniones de mis jefes con los clientes, presentando los modelos Revit de forma digital y atendiendo a sus cambios y preguntas, resolviéndolas de la manera más eficiente posible. Segundo, mi formación como ingeniero civil me permitió encontrar errores y proponer soluciones en ciertas partes de los planos CAD; además la práctica constante con el software de AutoCAD y Revit me permitieron acelerar ciertos procedimientos que antes tardaban más de lo presupuestado y de esta manera reducir el costo de la obra al cliente al contratar a FSGroup.

La metodología BIM se presentó en mi vida durante mis últimos semestres de universidad en la línea de acentuación general, la cual se enfoca en la gestión de proyectos y no hay mejor gestión

que esta; el trato con los clientes, la solución de problemas, la reducción de tiempos y costos y la generación de proyectos sustentables y modernos hacen de BIM el presente y el futuro de la construcción.

Los errores de proyecto en fase de diseño se pagan muy caro a la hora de la ejecución y con BIM podemos anticiparnos a esos errores gracias a la detección de incidencias por parte del programa BIM y su capacidad de enlazar elementos unos con otros y visualizar el conjunto de forma libre y tridimensional. Esto reduce de forma directa las paralizaciones de obra, desperdicio de material, soluciones más costosas, incumplimiento de lo acordado, etc., que en general se traduce a mejor control de costes y tiempos.

Para demostrarlo se ha llevado esta metodología a la práctica con el proyecto de Montejo Beach Telchac; unificando 3 softwares Autocad, CYPECAD y Revit, la capacidad de un equipo de Estudios, Producción y Posventa, la comunicación entre los distintos departamentos de Arquitectura, Estructura y MEP y los conocimientos aplicados por todos los ingenieros dentro del proyecto para generar un complejo departamental de lujo, con 2 torres modernas sin ni siquiera la necesidad de estar presentes en Yucatán, sitio de la obra; además de un cumplimiento de fechas de entrega en tiempo y forma adecuándonos al presupuesto del cliente.

Como se menciona anteriormente BIM es una herramienta sumamente poderosa y eficaz, pero esto no la exenta de sus posibles desventajas, siendo la mayoría de ellas problemas de los usuarios con desconocimiento, pero con su continua implementación esto irá desapareciendo y pronto se erradicará para afianzar la metodología y acercarla a la perfección.

Como opinión personal tras redactar este proyecto, y haber sido parte del mismo como he llegado a la conclusión de que la metodología BIM funciona y está destinada a ser el futuro de nuestra profesión como ingenieros civiles y que, aunque para algunos suponga un difícil proceso de adaptación, estoy convencido de que merece la pena la introducción de la metodología BIM a México y al resto del mundo.

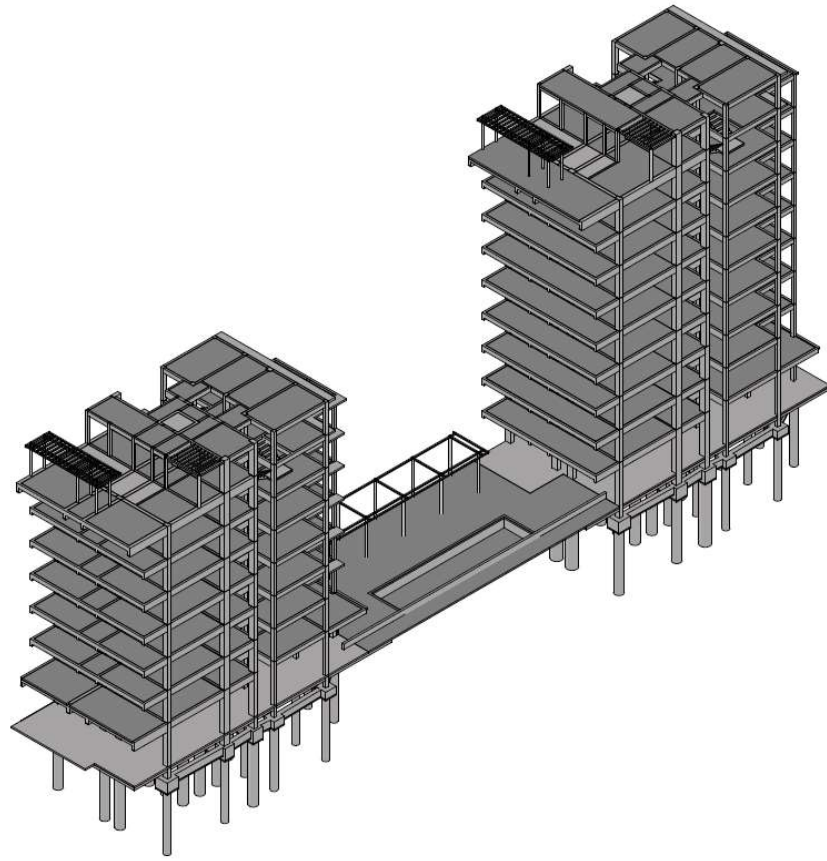


Figura 56. Proyecto ejecutivo Montejo Beach (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con Revit)

13. Bibliografía

- F.S.G.R.O.U.P.E.N.G.I.N.E.E.R.I.N.G. (s. f.-a). FS Group Engineering. FS GROUP ENGINEERING. Recuperado 16 de agosto de 2022, de <https://fsgroup-e.com/mx/>
- M.B.M. (s. f.-b). Montejo Beach - Master Broker México. MasterBroker México. Recuperado 16 de agosto de 2022, de <https://masterbrokermexico.com/montejo-beach/>
- ¿QUÉ ES EL BIM? (s. f.). Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/>
- Norma: NMX-C-527-1-ONNCCE-2017
- Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (MIC) en México. (2019, marzo). Secretaría de Egresos, Unidad de inversiones. Recuperado 20 de octubre de 2022, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/473961/Plan_estrategico_MIC.PDF
- M., A. (2022, 8 junio). ¿Qué es AutoCAD y cuáles son sus características principales? 3Dnatives. Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://www.3dnatives.com/es/autocad-cuales-caracteristicas-del-software-020420202/>
- Software AutoCAD | Obtener precios y comprar el producto AutoCAD 2023 oficial | Autodesk. (2022, 9 agosto). Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://www.autodesk.mx/products/autocad/overview?term=1-YEAR>
- Beneficios de BIM | Modelado de información para la construcción | Autodesk. (s. f.). Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>
- ¿Qué es Revit de Autodesk y para qué sirve? (2022, 3 marzo). RF AECO Competence Center. Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://www.rfaeco.com/que-es-revit-de-autodesk-y-para-que-sirve/>
- CYPE. (2022, 7 septiembre). CYPECAD. Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://info.cype.com/es/producto/cypecad/>
- Atlassian. (s. f.). Jira Software: Funciones. <https://www.atlassian.com/es/software/jira/features>

•Conclusiones Barómetro de Adopción de Building Information Modeling | Ibermatica365. (2018, 12 febrero). Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://www.ibermatica365.com/conclusiones-barometro-de-adopcion-de-building-information-modeling/>

14. Anexo A. Criterios de diseño

14.1. Normativa.

- Reglamento de construcciones del Distrito Federal.
- Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el Distrito Federal (2017).
- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Cimentaciones.
- Normas Técnicas Complementarias sobre diseño y construcción de estructuras de acero.
- Normas Técnicas complementarias sobre diseño y construcción de estructuras de concreto.
- 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 (2008).
- ACI 216R-89 / ACI 2016-1-97 / ACI 216.1-07

14.2. Modelo analítico.

14.2.1. Programa de cálculo.

El programa de cálculo que se utilizó para el proyecto de Montejo Beach fue el de CYPECAD, un software de diseño y análisis estructural, desarrollado por la compañía CYPE Ingenieros, S.A. la cual se dedica a desarrollar y comercializar este tipo de softwares técnicos para los profesionales de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

CYPECAD realiza el diseño, cálculo y dimensionado de estructuras para edificación y obra civil, sometidas a acciones horizontales, verticales y a la acción del fuego. El programa, calcula y dimensiona:

- **Soportes**
 - Pilares (de hormigón, metálicos, mixtos y de madera), Pantallas (de hormigón) y Muros (de hormigón, fábrica y bloque)
- **Vigas**
 - De hormigón, metálicas, mixtas
- **Forjados**
 - Unidireccionales, Placas aligeradas, Losas mixtas, Reticulares, Losas macizas, Postensados (unidireccionales, reticulares y losas)
- **Estructuras de nudos y barras**

-
- De hormigón, acero, aluminio, madera y material genérico (este último sólo cálculo de esfuerzos).
 - **Cimentaciones**
 - Losas, vigas de cimentación, zapatas y encepados
 - **Uniones metálicas**
 - Soldadas y atornilladas (incluidas las placas de anclaje).
 - **Láminas planas**
 - Cálculo de esfuerzos de láminas de hormigón, acero laminado, acero conformado, aluminio o material genérico.

En el proyecto, el programa realiza un cálculo espacial en tres dimensiones por métodos matriciales de rigidez, formando barras con los elementos lineales que definen la estructura: columnas, trabes, viguetas, sistema de entrepiso nervados y reticulares, y láminas planas conformada mediante elementos finitos con los elementos planos: muros y losas.

Se establece la compatibilidad de deflexión en todos los nudos considerando seis grados de libertad y se crea la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento del sistema de entrepiso, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo. A los efectos de obtención de sollicitaciones y desplazamientos, para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático y se supone un comportamiento lineal de los materiales, por tanto, un cálculo en primer orden.

A continuación, se presenta el modelo tridimensional de ambas torres obtenidas de CYPECAD y desarrollado por FSGroup Engineering México. Figuras 57 y 58 respectivamente.



Figura 57. Modelo CYPECAD 3D torre Norte (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con CYPECAD)

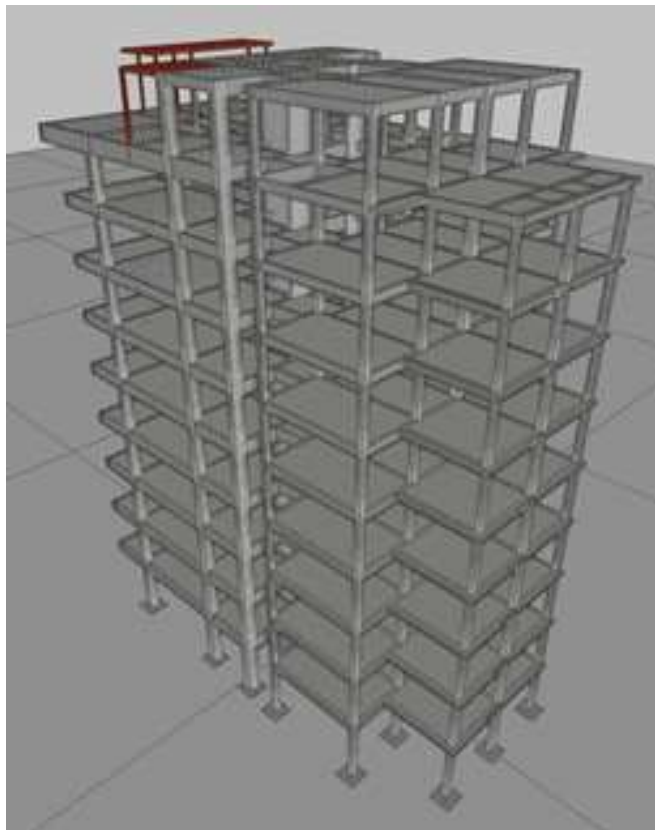


Figura 58. Modelo CYPECAD 3D torre Sur (Fuente: FSGroup Engineering México, elaborado con CYPECAD)

14.2.2.Método de cálculo.

Las fuerzas y momentos internos producidos por las acciones a que están sujetas las estructuras se determinarán de acuerdo con los criterios prescritos tanto en las normas técnicas complementarias para diseño por sismo como en las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones y en la sección 3.2 de las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto (Anexo B).

El dimensionado y el detallado se harán de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio.

14.3. Exigencias básicas de la seguridad estructural.

14.3.1.Introducción.

El objetivo del requisito básico «Seguridad estructural» consiste en asegurar que el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, fabricarán, construirán y mantendrán de forma que cumplan con una fiabilidad adecuada las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.

Las Normas Técnicas Complementarias especifican parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad estructural.

Resistencia y estabilidad: la resistencia y la estabilidad serán las adecuadas para que no se generen riesgos indebidos, de forma que se mantenga la resistencia y la estabilidad frente a las acciones e influencias previsibles durante las fases de construcción y usos previstos de los edificios, y que un evento extraordinario no produzca consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original y se facilite el mantenimiento previsto.

Aptitud al servicio: la aptitud al servicio será conforme con el uso previsto del edificio, de forma que no se produzcan deflexiones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable la probabilidad de un comportamiento dinámico inadmisibles y no se produzcan degradaciones o anomalías inadmisibles.

14.3.2.Proceso.

- Análisis formal y de los condicionantes generales del edificio.
- Abstracción del problema estructural.

-
- Establecimiento de las acciones.
 - Análisis de solicitudes.
 - Dimensionamiento y comprobación de los Estados Límites de la estructura (estados límite de falla y estados límite de servicio).

14.3.3.Método de comprobación.

Diseño por Resistencia, debiéndose comprobar los diferentes estados límite, en cada fase, considerando como mínimo:

- Fase de construcción
- Fase de servicio

14.3.4.Definición del estado límite.

Para fines de aplicación de “Normas Técnicas Complementarias” se alcanza un estado límite de comportamiento en una construcción cuando se presenta una combinación de fuerzas, desplazamientos, niveles de fatiga, o varios de ellos, que determina el inicio o la ocurrencia de un modo de comportamiento inaceptable de dicha construcción. Los estados límite se clasifican en dos grupos según los artículos 148 y 149 del Reglamento:

- Estados límite de falla

Se considerará como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

Las Normas establecerán lo estados límite de falla más importantes para cada material y tipo de estructura.

Además, implican la ocurrencia de daños económicos o la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se haya proyectado la construcción.

- Estados límites de servicio

Se considerará como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas. Los valores específicos de estos estados límite se definen en las Normas.

Incluyen modos de comportamiento que ponen en peligro la estabilidad de la construcción o de una parte de ella, o su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga.

En el anexo C se presenta la bibliografía de este apartado.

14.3.5. Resistencia y estabilidad de estructuras de concreto.

Según las Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones, se entenderá por resistencia la magnitud de una acción, o de una combinación de acciones, que provocaría la aparición de un estado límite de falla de la estructura o cualquiera de sus componentes.

En general, la resistencia se expresará en términos de la fuerza interna, o combinación de fuerzas internas, que corresponden a la capacidad máxima de las secciones críticas de la estructura. Se entenderá por fuerzas internas las fuerzas axiales y cortantes y momentos de flexión y torsión que actúan en una sección de la estructura.

14.3.6. Resistencia y estabilidad de estructuras de acero.

Las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan, en cualquier sección, una resistencia de diseño mayor o igual al efecto de las acciones que intervengan en la combinación de cargas en estudio, multiplicado por los factores de carga correspondientes, según lo especificado en el reglamento vigente.

El requisito básico para el Diseño por Resistencia usando diseño en base a Factores de Carga y Resistencia (LRFD) se puede expresar como:

$\phi * R_N \geq R_U$ donde:

ϕ es el factor de resistencia

R_N es el valor de la resistencia nominal

$\phi * R_N$ es la resistencia de diseño

R_U es el valor de la resistencia requerida (LRFD), igual al producto del factor de carga por la sollicitación de servicio

En el procedimiento de diseño por resistencia, el margen de seguridad se proporciona multiplicando la carga de servicio por un factor de carga, y la resistencia nominal por un factor de reducción de resistencia.

Según el criterio de estados límite de falla, las estructuras deben dimensionarse de manera que la resistencia de diseño de todos los elementos que las componen con respecto a cada fuerza o momento interno que actúe en ellos (fuerza axial, fuerza cortante, momento flexionante, momento de torsión) o a la combinación de dos o más de ellos, sea igual o mayor que el o los valores de diseño de dicha fuerza o momentos internos.

Las acciones de diseño son las producidas por las combinaciones de carga que deban considerarse en el estudio, multiplicadas por el o los factores de carga, FC, correspondientes, como se indica en las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones.

Las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan, en cualquier sección, una resistencia de diseño mayor o igual al efecto de las acciones que intervengan en la combinación de cargas en estudio, multiplicado por los factores de carga correspondientes, según lo especificado en el reglamento vigente.

14.3.7. Aptitud de servicio.

Aunque no corresponden al colapso del edificio, pérdida de vidas o daños a los ocupantes, si se alcanzan los estados límite puede degradarse seriamente la utilidad de la construcción, ocasionar reparaciones costosas y otras consecuencias económicas. En estructuras de acero, el comportamiento que indica el estado límite de servicio es:

- Deformaciones excesivas, que pueden afectar la apariencia, función o drenaje del edificio, o transferir cargas a elementos no estructurales, que pueden resultar dañados.
- Vibraciones excesivas, ocasionadas por las actividades de los ocupantes, que producen molestias en ellos, o funcionamiento inadecuado de equipos.
- Daños locales excesivos (flujo plástico, pandeo local, grietas)

14.3.8. Durabilidad.

Se debe utilizar un sistema adecuado de protección y mantenimiento para minimizar la posibilidad de que se presenten problemas frente al deterioro por el paso del tiempo, como la corrosión. En los elementos estructurales expuestos a la intemperie se protegerán contra la corrosión (excepto si usa acero intemperizable) y se deben satisfacerse las condiciones especificadas para los diferentes ambientes de exposición.

14.3.9. Verificación de la resistencia y estabilidad de la estructura de concreto.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, se revisará para las distintas combinaciones de acciones

especificadas en la sección 2.3. y para cualquier estado límite de falla posible, la resistencia de diseño sea mayor o igual al efecto de las acciones que intervengan en la combinación de cargas en estudio, multiplicado por los factores de carga correspondiente, según lo especificado en la sección 3.4. factor de carga de dicha normativa.

También se revisará que no se rebase ningún estado límite de servicio bajo el efecto de las posibles combinaciones de acciones, multiplicadas por un factor de carga unitario.

De acuerdo con la sección 3.7 de las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, los factores de resistencia (F_r) para elementos de concreto tendrán los siguientes valores:

- Para flexión: 0.90
- Para cortante y torsión: 0.75
- Para transmisión de flexión y cortante en losas o zapatas: 0.65
- Flexocompresión:
 - Cuando el elemento falle en tensión: 0.75
 - Cuando el núcleo este confinado con refuerzo transversal circular que cumpla con los requisitos de la sección 6.1.4., o con estribos que cumplan con los requisitos del inciso 7.3.4, 8.3.4 9.3.4, según el valor de Q usado: 0.75
 - Si el núcleo no está confinado y la falla es en compression:0.65
- Para aplastamiento: 0.65.

Para calcular los factores de reducción F_r de elementos a flexión o flexocompresión se permite usar las disposiciones del apéndice A.

Las resistencias reducidas (resistencias de diseño) son las que, al dimensionar, se comparan con las fuerzas internas de diseño que se obtienen multiplicando las debidas a las cargas especificadas en Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones, por los factores de carga ahí prescritos.

14.3.10.Verificación de la resistencia y estabilidad de la estructura de acero.

$\phi *R_N \geq R_U$ donde:

ϕ es el factor de resistencia

R_N es el valor de la resistencia nominal

$\phi *R_N$ es la resistencia de diseño

R_U es el valor de la resistencia requerida (LRFD), igual al producto del factor de carga por la solicitud de servicio.

Los factores de resistencia (ϕ) en acero según el ANSI/AISC 360-10 son:

- Secciones controladas por tracción: 0.90 o 0.75 1
- Secciones controladas por compresión: 0.90
- Secciones controladas por flexión: 0.90
- Secciones controladas por cortante: 0.90
- Secciones controladas por torsión: 0.90
- Tracción/compresión + flexión + cortante: 0.90
- Flexión + cortante: 0.90
- Cortante + torsión: 0.90
- Aplastamiento en áreas proyectantes de pasadores, fluencia del alma bajo cargas concentradas, cortante en
- tornillos en juntas de fricción: 1.00
- Trabes en flexión y corte, filetes de soldadura con esfuerzos paralelos al eje de soldadura, soldaduras de ranura en
- el metal base: 0.90
- Columnas, aplastamiento del alma, distancias al borde y capacidad de aplastamiento de agujeros: 0.85
- Cortante en el área efectiva de soldaduras de ranura con penetración completa, tensión normal al área efectiva de
- soldaduras de penetración parcial: 0.80
- Tornillos a tensión, soldaduras de tapón o muesca, fractura en la sección neta de miembros a tensión: 0.75
- Aplastamiento en tornillos (excepto tornillos del tipo A307): 0.65
- Aplastamiento en tornillos A307: 0.60

14.3.11. Combinación de acciones en estructuras de concreto.

El valor de cálculo de las acciones se obtiene a partir de las combinaciones siguientes aplicando los coeficientes cuyo valor queda definido en las normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones apartado 2.3 y cuyos factores de carga se especifican en el apartado 3.4 del mismo reglamento.

Para determinar el factor de carga, FC, se aplicarán las reglas siguientes:

a) Para combinaciones de acciones clasificadas en el inciso 2.3.a, se aplicará un factor de carga de 1.3 para cargas permanentes y 1.5 para las variables para edificios de tipo B.

b) Para combinaciones de acciones clasificadas en el inciso 2.3.b, se tomará un factor de carga de 1.1 aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación.

c) Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, el factor de carga se tomará igual a 0.9; además, se tomará como intensidad de la acción el valor mínimo probable de acuerdo con la sección 2.2;

d) Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario.

Así, se establecen las siguientes combinaciones de carga:

Estado Límite Último de rotura. Concreto: NTCRC:2017

Estado Límite Último de rotura. Concreto en cimentaciones: NTCRC: 2017

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones persistentes o transitorias

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Situaciones sísmicas

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{A_E} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Situaciones accidentales

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{A_d} A_d + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Donde:

- G_k Acción permanente
- P_k Acción de pretensado
- Q_k Acción variable
- A_E Acción sísmica
- A_d Acción accidental

- γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
- γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
- $\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
- $\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
- γ_{AE} Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica
- γ_{Ad} Coeficiente parcial de seguridad de la acción accidental
- $\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal
- $\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Estado Límite de Servicio de Fisuración. Concreto: NTCRC:2017

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo a los siguientes criterios:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Donde:

- G_k Acción permanente
- P_k Acción de pretensado
- Q_k Acción variable
- γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
- γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
- $\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
- $\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
- $\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal
- $\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Las combinaciones de cargas de ambas estructuras se presentan en la siguiente tabla de combinaciones, al no depender de las características geométricas de la estructura, dichas combinaciones aplican para ambos cuerpos.

Comb.	PP	CM	Qa(m)	Qa(r)	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SX	SY
1	0.9	0.9								
2	1.3	1.3								
3	0.9	0.9	1.5							
4	1.3	1.3	1.5							
5	0.9	0.9			1.1					
6	1.1	1.1			1.1					
7	0.9	0.9		1.1	1.1					
8	1.1	1.1		1.1	1.1					

9	0.9	0.9				1.1				
10	1.1	1.1				1.1				
11	0.9	0.9		1.1		1.1				
12	1.1	1.1		1.1		1.1				
13	0.9	0.9					1.1			
14	1.1	1.1					1.1			
15	0.9	0.9		1.1			1.1			
16	1.1	1.1		1.1			1.1			
17	0.9	0.9						1.1		
18	1.1	1.1						1.1		
19	0.9	0.9		1.1				1.1		
20	1.1	1.1		1.1				1.1		
21	0.9	0.9							-0.33	-1.1
22	1.1	1.1							-0.33	-1.1
23	0.9	0.9		1.1					-0.33	-1.1
24	1.1	1.1		1.1					-0.33	-1.1
25	0.9	0.9							0.33	-1.1
26	1.1	1.1							0.33	-1.1
27	0.9	0.9		1.1					0.33	-1.1
28	1.1	1.1		1.1					0.33	-1.1
29	0.9	0.9							-1.1	-0.33
30	1.1	1.1							-1.1	-0.33
31	0.9	0.9		1.1					-1.1	-0.33
32	1.1	1.1		1.1					-1.1	-0.33
33	0.9	0.9							-1.1	0.33
34	1.1	1.1							-1.1	0.33
35	0.9	0.9		1.1					-1.1	0.33
36	1.1	1.1		1.1					-1.1	0.33
37	0.9	0.9							0.33	1.1
38	1.1	1.1							0.33	1.1
39	0.9	0.9		1.1					0.33	1.1
40	1.1	1.1		1.1					0.33	1.1
41	0.9	0.9							-0.33	1.1
42	1.1	1.1							-0.33	1.1
43	0.9	0.9		1.1					-0.33	1.1
44	1.1	1.1		1.1					-0.33	1.1
45	0.9	0.9							1.1	0.33
46	1.1	1.1							1.1	0.33
47	0.9	0.9		1.1					1.1	0.33
48	1.1	1.1		1.1					1.1	0.33
49	0.9	0.9							1.1	-0.33
50	1.1	1.1							1.1	-0.33
51	0.9	0.9		1.1					1.1	-0.33
52	1.1	1.1		1.1					1.1	-0.33

Tabla 4. Combinaciones de cargas en torre Norte y torre Sur.

14.3.12. Combinación de acciones en estructuras de acero.

El valor de cálculo de las acciones se obtiene a partir de las combinaciones siguientes aplicando los coeficientes cuyo valor queda definido en las normas AISC/AISC 360-10 (American Institute of Steel Construction) para acero laminado y AISI S100-2007 (American Iron and Steel Institute)

Así, se establecen las siguientes combinaciones de carga:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + 0.5(L_R \text{ o } S \text{ o } R)$
- $1.2D + 1.6(L_R \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.5W)$
- $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_R \text{ o } S \text{ o } R)$
- $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- $0.9D + 1.3W$
- $0.9D + 1.0E$

Donde:

D: Carga permanente debido al peso propio de la estructura y el resto de elementos permanentes sobre el piso

E: carga de sismo

F: carga de fluidos con presiones y alturas máximas bien definidas

FA: carga de inundación

H: carga por presión lateral del suelo, presión de agua en el suelo, o presión de materiales a granel

L: sobrecarga

L_R : sobrecarga en cubierta

R: carga de lluvia

S: carga de granizo

T: carga por efectos acumulados de variación de temperatura, flujo plástico, retracción y asentamiento diferencial

W: carga de viento

Adicionalmente, se presentan las siguientes excepciones:

- El factor de incremento de carga para L en las combinaciones 3, 4 y 5 puede ser 0,5 para todos los casos en los que L_0 SEA IGUAL O MENOR QUE 4.8 kN/m^2 en la tabla 1.2; con excepción de las áreas destinadas a estacionamientos y reuniones públicas
- Cuando la carga H esté presente, se incluirá como sigue:
 - $1.6H$ cuando el efecto de H contribuye a la acción de otras cargas sobre la estructura
 - $0.9H$ cuando el efecto de H contrarreste la acción de otras cargas sobre la estructura

-
- El factor de incremento de carga para H, se puede considerar igual a cero, si la acción estructural debido a H contrarresta o neutraliza la acción debida a W o E
 - La aplicación de la carga S en las combinaciones 2, 4 y 5 será considerado como carga de granizo en cubiertas planas (Pf) o en cubiertas con pendientes (Ps)
 - Cuando esté presente la carga F, se debe incluir para el factor de incremento para la carga permanente, en las combinaciones 1 a 5 y en la 7
 - Cuando se aplique los efectos de la carga T en las estructuras, en la combinación con otras cargas, se debe utilizar un factor de incremento igual o mayor a 1.0
 - La carga sísmica E, será determinada de acuerdo a:
 - Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo. Comisión Federal de Electricidad (2015).

14.3.13.Verificación de la aptitud de servicio en estructuras de concreto.

Se considera un comportamiento adecuado en relación con las deflexiones, las vibraciones o el deterioro si se cumple que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto.

Desplazamiento Vertical

Se considera lo especificado en el Capítulo 4 de las Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones. En el caso general estima el desplazamiento vertical máximo en:

Un desplazamiento vertical en el centro de trabes en el que se incluyen efectos a largo plazo, igual al claro entre 240 cm.

en miembros en los cuales sus desplazamientos afecten a elementos no estructurales, como muros de mampostería, que no sean capaces de soportar desplazamientos apreciables, se considerará como estado límite a un desplazamiento vertical, medido después de colocar los elementos no estructurales, igual al claro de la trabe entre 480 cm más.

Para elementos en voladizo los límites anteriores se duplicarán.

Desplazamiento Horizontal

Se considera lo especificado en el Capítulo 4 de las Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones. En el caso general estima: el desplazamiento horizontal máximo en:

-
- El desplazamiento horizontal relativo entre dos niveles sucesivos de la estructura, igual a la altura del entrepiso dividido entre 500. para edificaciones en las cuales se hayan unido los elementos no estructurales capaces de sufrir daños bajo pequeños desplazamientos; en otros casos, el límite será igual a la altura del entrepiso dividido entre 250 cm.

Respecto a los desplazamientos laterales del edificio debido a las acciones horizontales (sismo), se comprueba el cumplimiento de la sección 3.3.7.2 de la CFE-2015 para diseño por sismo, multiplicadas por QR (siendo Q el factor de comportamiento sísmico y R el factor por sobrerresistencia de la estructura), no excedan los valores especificados para la distorsión límite (δ_{max}) en la tabla 3.5 distorsiones permisibles de entrepiso, según el sistema estructural que se haya adoptado.

Para el cumplimiento del requisito de limitación de daños ante sismos frecuentes, se Deberá cumplir las condiciones de los incisos 3.3.7.1. desplazamientos horizontales por limitación de daños a elementos no estructurales (límite de servicio) y 3.3.7.2. desplazamientos horizontales para seguridad contra colapso de la CFE-2105,

Para desplazamientos por limitación de daños a elementos no estructurales, las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos debidos a las fuerzas cortantes horizontales, calculadas con alguno de los métodos de análisis sísmico para las ordenadas espectrales del estado límite de servicio que se describe en el inciso 3.3.1.7 de la CFE-2015, no excederán a 0.002 veces las diferencias de elevaciones correspondientes, salvo que no haya elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como los muros de mampostería, o estos estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En este caso, el límite será de 0.004.

Para desplazamientos horizontales para seguridad contra colapso, las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos producidos por las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso, no excederán las distorsiones de entrepiso indicadas en la tabla 3.5, según los sistemas estructurales correspondientes.

Respecto a los desplazamientos permisibles del edificio debido a las acciones horizontales (viento), se comprueba el cumplimiento del apéndice B del Manual de diseño de obras civiles por viento (CFE-2008).

14.3.14. Resistencia/Estabilidad 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 lo que establecen las Tablas 4.5-a y 4.5-b.

En este caso podemos deducir de estas tablas que el grado de riesgo es alto por tener más de diez niveles. Por eso, es necesaria una resistencia mínima al fuego de los elementos estructurales de 180 minutos. Así mismo, esta resistencia al fuego es la exigida por los técnicos competentes.

Por tanto, se deberán realizar las actuaciones necesarias para garantizar una resistencia al fuego de todos los elementos estructurales de Rf 180 (180 minutos), en niveles tanto bajo rasante cómo sobre ésta según el capítulo 4 de las normas técnicas complementarias para el proyecto arquitectónico.

Para ello, se deberán respetar los recubrimientos generales especificados en la siguiente tabla para cada elemento estructural.

Elemento Estructural	Resistencia reportada	Recubrimiento especificado a cara exterior del refuerzo longitudinal o del estribado, si existe (mm)
Pilas	R: 180	75
Dados	R: 180	75 en contacto con terreno, 50 en caso contrario
Cara de losa en contacto con plantilla de concreto pobre	R: 180	50
Muros	R: 180	50
Columnas	R: 180	50
Losas llenas	R: 180	30
Losas de escaleras	R: 180	30
Losas aligeradas	R: 180	30
Trabes	R: 180	30

Tabla 5. Recubrimientos generales elementos estructurales.

14.3.15. Cargas gravitacionales en la estructura.

Las cargas gravitatorias consideradas se corresponderán con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (Ed. 2017).

La siguiente tabla resume las cargas consideradas para las diferentes zonas y usos que se tienen en el proyecto:

Cargas superficiales (kg/m²)

Usos	Uso a) Habitación	Uso b) Oficinas, despachos y laboratorios	Uso k) Garajes y estacionamiento	Uso h) Azoteas con pendientes no mayor de 5%
P.P. Losa llena (20)	480	NA	NA	-
P.P. Losa vigueta	220	NA	NA	220
Carga Muerta Total	220	NA	NA	100
Acabado en piso*	30	NA	NA	0
Divisiones Internas	100	NA	NA	0
Instalaciones	2	NA	NA	20
Plafond	30	NA	NA	30
Impermeabilizante	0	NA	NA	10
Adicional NTC-17	40	NA	NA	40
Carga viva máxima, W_m	190	NA	NA	100
Carga viva instantánea, W_a	100	NA	NA	70
Carga viva media, W	80	NA	NA	15
Total CM+CV				
Combinaciones gravitatorias	410	NA	NA	200
Combinaciones Sísmicas	320	NA	NA	170
Efectos a largo plazo	300	NA	NA	115
Cargas perimetrales (kg/m)				
Fachadas perimetrales	700			
Divisiones mediante block	550			

Tabla 6. Cargas consideradas por zona.

Para la estimación del peso propio de la estructura, se tomarán las densidades de los materiales según la siguiente tabla:

Concreto reforzado	2400 kg/m ²
Concreto en masa	2200 kg/m ²
Acero estructural	7850 kg/m ²

Tabla 7. Pesos específicos de materiales.

14.3.16.Carga del viento (CFE-2020).

Las cargas debidas a la acción del viento se corresponderán con el Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por viento. Comisión Federal de Electricidad (Ed. 2020)

Se toman isotacas para un periodo de retorno de 50 años, correspondiente a un edificio de clase “B”, mostradas en la figura 59.

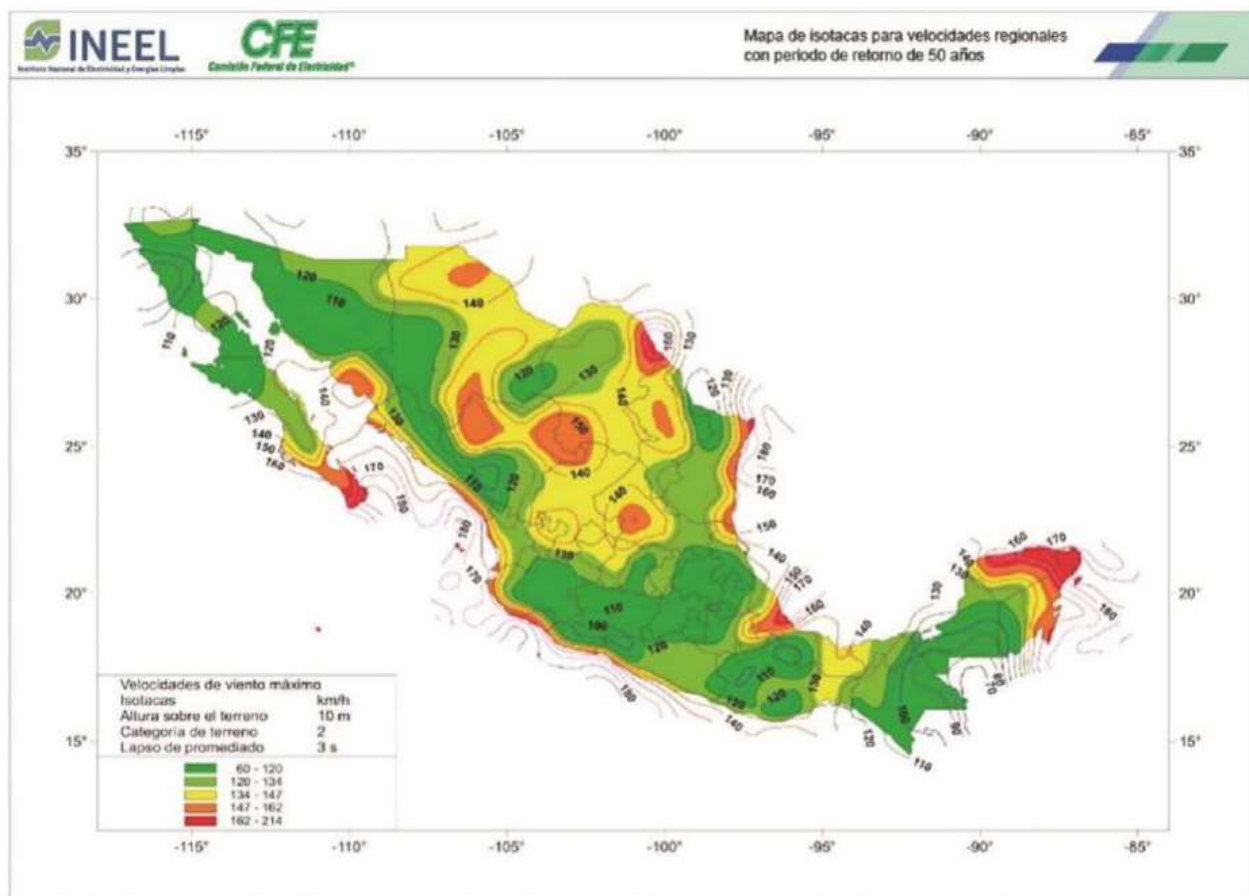


Figura 59. Isotacas para un edificio de clase B (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento, CFE 2020)

Los parámetros escogidos se presentan en la tabla 8 y son los siguientes:

Parámetro	Valor
-----------	-------

Clasificación de la estructura según su importancia	Grupo B ¹
Clasificación de la estructura según su respuesta ante la acción del viento	Tipo 1 ²
Categoría del terreno en función de su rugosidad y factor de exposición	Categoría 1 ³
Factor de topografía	Normal ⁴
Velocidad regional para un periodo de retorno de 50 años	172 km/h
Altitud topográfica	22 metros
Temperatura ambiental	26.5 °C
Velocidad de diseño para el cálculo estático en la altura de coronación del edificio	151.22 km/h
Presión dinámica base para el cálculo estático considerando una densidad del aire típica de la altitud de Yucatán	5.1 kg/m ²
Factor de topografía	Normal ⁵

Tabla 8. Parámetros escogidos para clasificación de la estructura por viento.

Notas:

1. Según se cita en el Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento, CFE 2020, apartado 1.3, Tabla 1.1 Clasificación de las estructuras según su importancia:

“Estructuras en las que se requiere un grado de seguridad moderado. Construcciones cuya falla ocasionaría la pérdida de un número reducido de vidas, pérdidas económicas moderadas, o pondría en peligro otras construcciones de este grupo y/o causaría daños moderados a las del grupo A+ y A.

Ejemplos de ellas son las estructuras no fundamentales, tales como: 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, vivienda, edificios de departamentos u oficinas, hoteles, bardas cuya altura sea mayor que 2.5 m. también pertenecen a este grupo: Salas de reunión y espectáculo. Estructuras de depósitos urbanas o industriales no incluidas en el Grupo A. Los recubrimientos, tales como cancelerías y elementos no estructurales que forman parte de las fachadas y techos, pertenecerán a este grupo B, siempre y cuando no causen daños corporales y materiales (incluyendo contenidos) importantes al desprenderse; en caso contrario, se analizarán con las condiciones para el grupo A o A+.”

2. Según se cita en el Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento, CFE 2020, apartado 1.4 Tabla 1.2 clasificación de las estructuras según su respuesta ante la acción del viento:

“Estructuras poco sensibles a los efectos dinámicos inducidos por las ráfagas del viento. Se agrupan en este tipo aquellas En las que la relación de esbeltez, λ , (definida como la relación entre la altura y la menor dimensión en planta), Es menor o igual que 5 y con periodo fundamental del primer modo de vibrar, Menor, igual que un segundo.

Se consideran dentro de este tipo la mayoría de los edificios para habitación u oficinas, bodegas, naves industriales, teatros y auditorios, paneles solares, parapetos, bardas con altura hasta 2.5 m, puentes con claros menores que 100 m. Para través y para armaduras simples o continuas, la relación de esbeltez se obtendrá al dividir el claro mayor por la menor dimensión perpendicular a éste. incluye también las construcciones cerradas con sistemas de cubierta rígidos capaces de resistir las cargas debidas al viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las cubiertas flexibles como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada proporcionada por la aplicación de un pre-esfuerzo u otra medida conveniente, Se limite la respuesta estructural dinámica de manera que se satisfagan los requerimientos aquí establecidos.”

3. Según se cita en el Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento, CFE 2020, apartado 2.1 Tabla 2.1 Categoría del terreno según su rugosidad:

“Descripción: Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua.

Ejemplos: franjas costeras planas, bahías, zonas de pantanos o de lagos, Campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo, sin setos o bardas, superficies nevadas planas.

Limitaciones: las obstrucciones existentes tienen alturas menores que 1.5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno a la dirección del viento debe ser de 2000 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.”

4. Según se cita en el Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento, CFE 2020, apartado 2.4 Tabla 2.3 Factor de topografía local, F_T :

“Sitio: Normales.

Ejemplos de topografía local: Terreno prácticamente plano: Ausencia de cambios topográficos importantes, Con pendientes menores de 5%.

F_T : 1.0”

14.3.17.Carga sísmica (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 el destino se recoge en la tabla 9:

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A+	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. Ejemplos de estructuras de importancia extrema son las grandes presas y las plantas nucleares.
A	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. 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.
B	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. 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.

Tabla 9. Clasificación de las estructuras según su destino (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015)

La clasificación de construcciones en función de su tamaño y relación con el sector energético o industrial se puede englobar en la tabla 10:

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

Tabla 10. Grupos y clases estructurales (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015)

El espectro de respuesta probabilista se construye con la influencia de todas las fuentes sísmicas relevantes, considerando su sismicidad (o frecuencia con que producen temblores) y su intensidad (dada por leyes de atenuación en función de magnitud y distancia, principalmente). Se consideran dos tipos de espectros de respuesta probabilistas:

- Espectro de respuesta de Referencia (ER). Es el espectro para todas las estructuras del Grupo B con que se fija el nivel de seguridad mínimo recomendado por la norma, y proporcionado por el programa PRODISIS.
- Espectro de respuesta para Periodo de Retorno especificado (EPR). Es el espectro para un periodo de retorno especificado por una norma internacional, nacional o por las bases de licitación, siempre que éste tenga un nivel de seguridad similar o superior al ER.

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).

Para la torre de departamentos Montejo Beach, debido a que su uso principal es departamentos y su altura asciende a 31.05 metros, la estructura se clasifica como B1 y por tanto tiene un análisis sísmico con un espectro regional probabilista de referencia ER. Para la obtención del espectro se tendrá en cuenta las consideraciones incluidas en el estudio de mecánica de suelos y verificadas mediante el programa Prodisis.

El análisis sísmico se realiza mediante el método dinámico (análisis modal espectral).

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

- a) Aceleración máxima en roca a_{0r} , correspondiente al nivel de referencia ER
- b) Aceleración máxima en roca a_{0r} , EPR, correspondiente a un periodo de retorno especificado
- c) Espectro de respuesta de referencia en roca (ER)
- d) Espectro de respuesta para periodo de retorno especificado en roca (EPR)
- e) Espectro de diseño transparente en roca
- f) Espectro de diseño transparente regional
- g) Espectro de diseño modificado

En la figura 60 se presentan las aceleraciones máximas en la roca en las regiones de México.



Figura 60. Aceleración máxima en roca, correspondiente al nivel de referencia ER (a_{0r}) (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015)

Mediante estas aceleraciones máximas en roca a_{0r} , para el nivel de referencia dado en el ER, se obtiene la regionalización sísmica.

Las intensidades del peligro sísmico varían en el territorio mexicano en forma continua, tanto los valores de referencia, como los asociados a periodos de retorno. Se propone una regionalización en que se consideran cuatro zonas: dos de baja y dos de alta sismicidad. Para determinar la zona sísmica se proporciona un criterio simple basado en el valor de la aceleración máxima en roca, a_{0r} , para el nivel de referencia dado en el ER, obtenido con el programa PRODISIS.

En la figura 61 se presenta la regionalización sísmica de la República Mexicana.

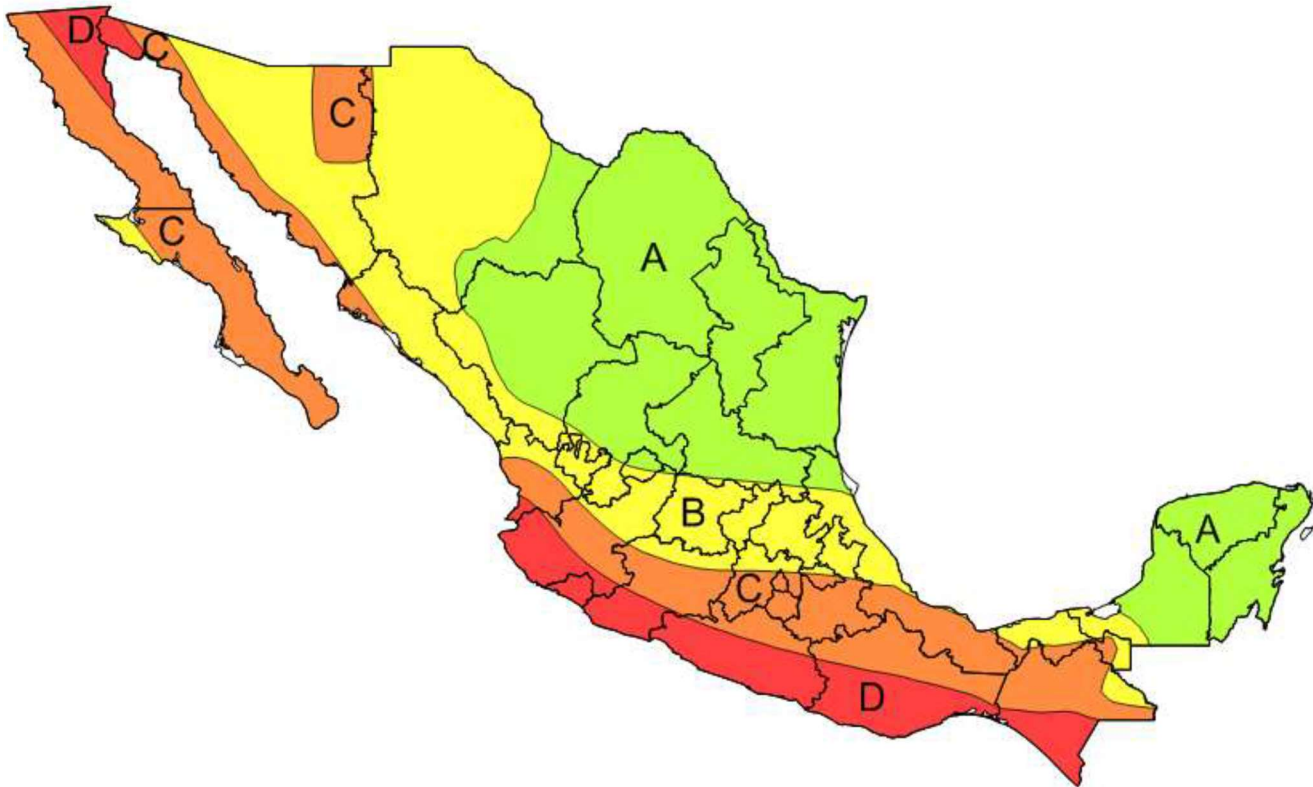


Figura 61. Regionalización sísmica de la República Mexicana (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015)

La intensidad sísmica dependiendo del tipo de zonas se presenta en la siguiente tabla:

Aceleración máxima en roca, a_0^r (cm/s ²), 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

Tabla 11. Regionalización sísmica (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015)

A continuación, se presenta la tabla 12 con la descripción del tipo de terreno y las condiciones del tipo:

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 $H_s > H_c$ 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 $2 < H_s \leq H_c$

Tabla 12. Tipos de terrenos (Fuente: Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, CFE 2015).

En función de la definición de estos parámetros, se obtiene el espectro de diseño transparente regional presentado en la figura 62:

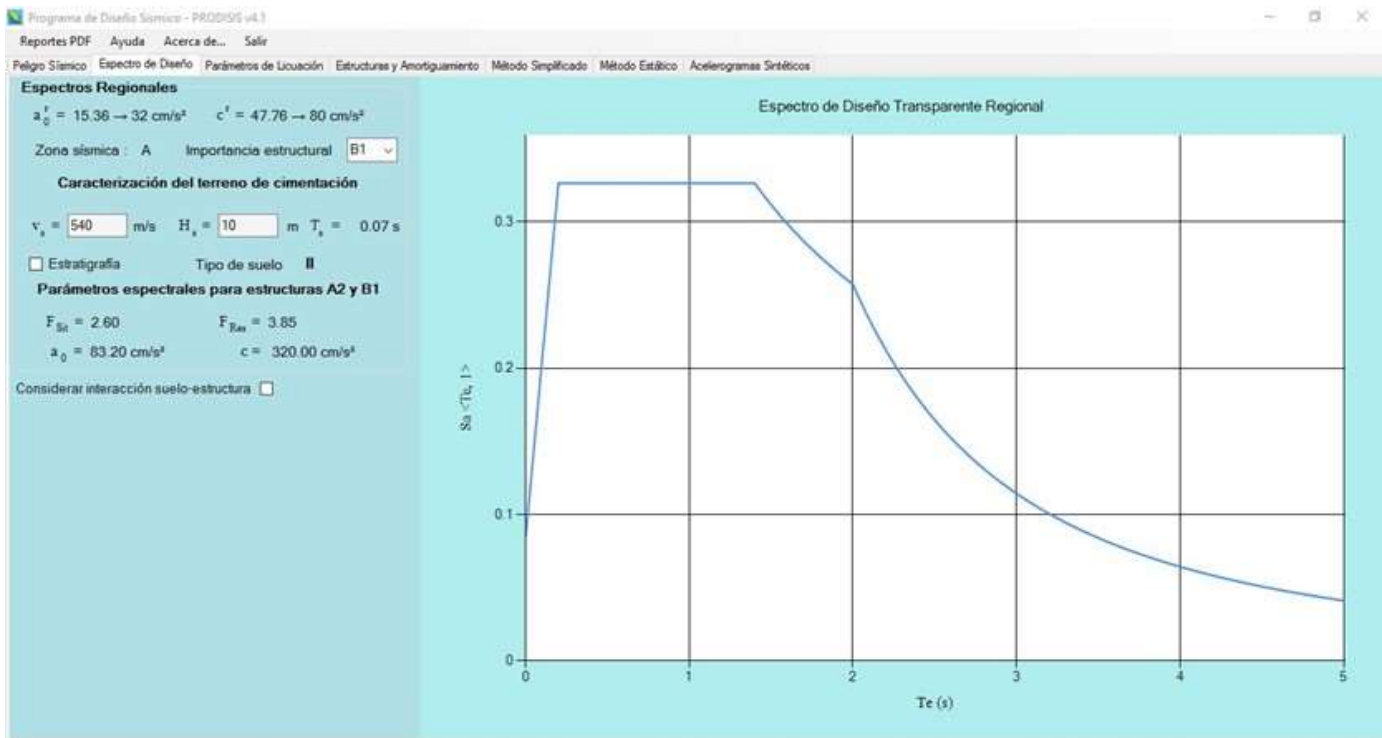


Figura 62. Espectro de diseño transparente regional (Fuente: FSGROUP Engineering México, mediante PRODISIS).

Para obtener el espectro de diseño modificado se deben determinar los diferentes parámetros en función de la sección 3.3. estructuras tipo II: edificios de la CFE-2015

En forma de resumen los parámetros escogidos para la torre Norte son los siguientes, presentados en la tabla 13:

torre Norte	
Parámetro	Valor
Regionalización sísmica	A

Clasificación de la estructura según su importancia	B1
Aceleraciones máximas consideradas en el suelo rocoso (a_0^r)	32.00 cm/s ²
Factor de sitio (F_{sit})	2.60
Factor de respuesta (F_{res})	3.85
Suelo considerado	Tipo II
Amortiguamiento	0.05
Factor de comportamiento sísmico Q (normalmente asociado a la ductilidad de la estructura)	2.00
Factor reductor por sobrerresistencia (R_o)	2.00
Factor de redundancia (r)	1.00
Condición de regularidad	Medianamente Regular

Tabla 13. Resumen de parámetros torre Norte.

- **Factor reductor por sobrerresistencia $R_o=2$** para los siguientes sistemas estructurales:

Marcos de concreto reforzado, de acero estructural o compuestos de los dos materiales diseñados con $Q=3$ o $Q=2$; columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, por marcos o estructuraciones hechas con elementos de concreto prefabricado o presforzado; por marcos contraventeados o con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos de los dos materiales diseñados con $Q=2$, 3 y 4; por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior o por marcos y armaduras de madera.

- **Factor de redundancia $\rho=1.00$** En con al menos dos marcos o líneas de defensa paralelas en la dirección de análisis y que cada marco o línea de defensa disponga de la menos dos crujías o estructuraciones equivalentes.

- **Condiciones de irregularidad torre Norte**

En las figuras 63 y 64 se presentan las condiciones de regularidad de la torre Norte de Montejó Beach.

TORRE NORTE - MONTEJO BEACH

Condiciones de regularidad (Art. 3.3.2 CFE)

Nº	Condición	Descripción	
1	Sistemas sismo-resistentes paralelos	La distribución en planta de masas, muros y otros elementos resistentes, es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Estos elementos son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.	OK
2	Altura/ancho mínimo < 2.5	La relación entre la altura y la dimensión menor de la base no es mayor que 2.5.	OK
3	Largo/ancho < 2.5	La relación de largo a ancho de la base no es mayor que 2.5.	OK
4	Salientes grandes	En planta no se tienen entrantes ni salientes cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la entrante o saliente.	OK
5	Diafragmas rígidos en pisos	En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente, lo que deberá justificarse con resultados de análisis de modelos simplificados del sistema de piso a utilizar.	OK
6	Huecos grandes	No se tienen aberturas en los sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la abertura. Las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede, en ningún nivel, 20% del área de la planta.	OK
7	Diferencia en peso entre pisos	El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110% ni menor que 70% del correspondiente al piso inmediato inferior. El último nivel de la construcción está exento de condiciones de peso mínimo.	NO
8	Diferencia de dimensiones entre pisos	Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% ni menor que 70% de la del piso inmediato inferior. El último piso de la construcción está exento de condiciones de área mínima. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.	OK
9	Columnas restringidas en pisos	En todos los pisos, todas las columnas están restringidas en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.	OK
10	Rigidez lateral	La rigidez y la resistencia al corte de cada entrepiso no excede en más de 50% a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de esta condición.	OK
11	Excentricidad torsional	En cada entrepiso, la excentricidad torsional calculada estáticamente no excede en más de 10% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad torsional.	OK

Figura 63. Condiciones de regularidad torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Excel)

DEFINICION DE IRREGULARIDAD EN LA ESTRUCTURA		
TORRE NORTE - MONTEJO BEACH		
Estructuras Regulares (1.0)	Debe satisfacer todas las condiciones del apartado 3.3.2.1	No Cumple
Estructuras Medianamente Regular (0.9)	Cuando no se cumpla una condición de regularidad enumeradas del 1 al 9 del inciso 3.3.2.1	Estructura medianamente Regular
Estructuras Irregulares (0.8)	Cuando no se cumplan dos o más condiciones de regularidad, o no se cumpla con la condición 10 o 11 de regularidad del inciso 3.3.2.1	No Cumple
Estructuras Fuertemente Irregulares (0.7)	<p>1) La excentricidad torsional calculada estáticamente en algún entrepiso excede en más de 20% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad</p> <p>2) La rigidez o resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 100% a la del piso inmediatamente inferior.</p> <p>3) No cumple simultáneamente con las condiciones 10 y 11 de regularidad descritas en el inciso 3.3.2.1.</p> <p>4) No cumple con cuatro o más de las condiciones de regularidad descritas en el inciso 3.3.2.1.</p>	No Cumple

Figura 64. Definición de irregularidad torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, elaborado con Excel)

Aplicando los diferentes factores que se han explicado en la tabla anterior se obtiene el siguiente espectro de diseño o reducido presentado en la figura 65:

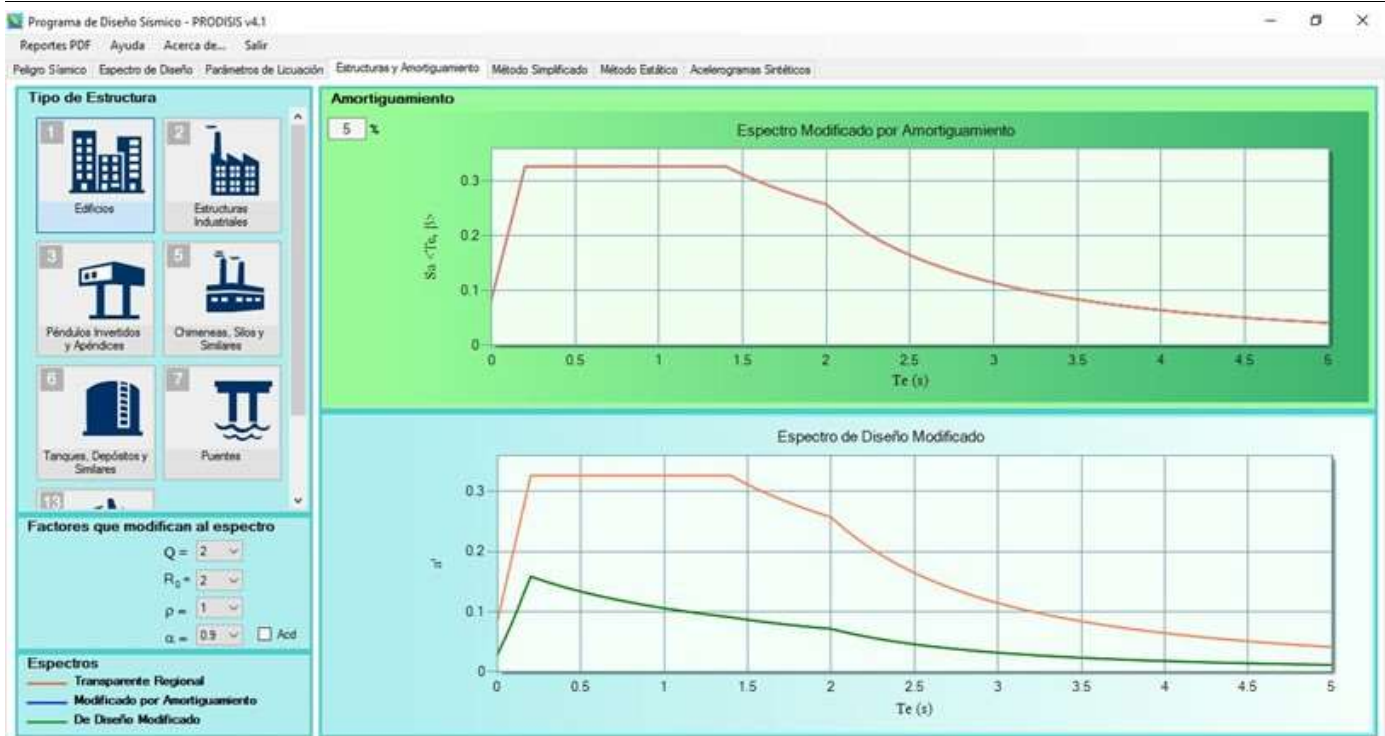


Figura 65. Espectro de diseño torre Norte (Fuente: FSGROUP Engineering México, mediante PRODISIS)

Para la comprobación del cortante basal se obtienen unos períodos propios de:

Dirección 'X'	1.070 segundos
Dirección 'Y'	0.826 segundos

Tabla 14. Periodos para cortante basal torre Norte.

En forma de resumen los parámetros escogidos para la torre Sur son los siguientes, presentados en la tabla 15:

Torre Sur	
Parámetro	Valor
Regionalización sísmica	A
Clasificación de la estructura según su importancia	B1
Aceleraciones máximas consideradas en el suelo rocoso (a_0')	32.00 cm/s ²
Factor de sitio (F_{sit})	2.60
Factor de respuesta (F_{res})	3.85
Suelo considerado	Tipo II
Amortiguamiento	0.05

Factor de comportamiento sísmico Q (normalmente asociado a la ductilidad de la estructura)	2.00
Factor reductor por sobrerresistencia (R_o)	2.00
Factor de redundancia (r)	1.00
Condición de regularidad	Irregular

Tabla 15. Resumen de parámetros torre Sur.

- **Factor reductor por sobrerresistencia $R_o=2$** para los siguientes sistemas estructurales:

Marcos de concreto reforzado, de acero estructural o compuestos de los dos materiales diseñados con $Q=3$ o $Q=2$; columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, por marcos o estructuraciones hechas con elementos de concreto prefabricado o presforzado; por marcos contraventeados o con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos de los dos materiales diseñados con $Q=2, 3$ y 4 ; por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior o por marcos y armaduras de madera.

- **Factor de redundancia $\rho=1.00$** En con al menos dos marcos o líneas de defensa paralelas en la dirección de análisis y que cada marco o línea de defensa disponga de la menos dos crujías o estructuraciones equivalentes.

- **Condiciones de irregularidad torre Sur**

En las figuras 66 y 67 se presentan las condiciones de regularidad de la torre Norte de Montejó Beach.

TORRE SUR - MONTEJO BEACH

Condiciones de regularidad (Art. 3.3.2 CFE)

Nº	Condición	Descripción	
1	Sistemas sismo-resistentes paralelos	La distribución en planta de masas, muros y otros elementos resistentes, es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Estos elementos son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.	OK
2	Altura/ancho mínimo < 2.5	La relación entre la altura y la dimensión menor de la base no es mayor que 2.5.	NO
3	Largo/ancho < 2.5	La relación de largo a ancho de la base no es mayor que 2.5.	OK
4	Salientes grandes	En planta no se tienen entrantes ni salientes cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la entrante o saliente.	OK
5	Diafragmas rígidos en pisos	En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente, lo que deberá justificarse con resultados de análisis de modelos simplificados del sistema de piso a utilizar.	OK
6	Huecos grandes	No se tienen aberturas en los sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la abertura. Las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede, en ningún nivel, 20% del área de la planta.	OK
7	Diferencia en peso entre pisos	El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110% ni menor que 70% del correspondiente al piso inmediato inferior. El último nivel de la construcción está exento de condiciones de peso mínimo.	NO
8	Diferencia de dimensiones entre pisos	Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% ni menor que 70% de la del piso inmediato inferior. El último piso de la construcción está exento de condiciones de área mínima. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.	OK
9	Columnas restringidas en pisos	En todos los pisos, todas las columnas están restringidas en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.	OK
10	Rigidez lateral	La rigidez y la resistencia al corte de cada entrepiso no excede en más de 50% a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de esta condición.	OK
11	Excentricidad torsional	En cada entrepiso, la excentricidad torsional calculada estáticamente no excede en más de 10% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad torsional.	OK

Figura 66. Condiciones de regularidad torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México)

DEFINICIÓN DE IRREGULARIDAD EN LA ESTRUCTURA		
TORRE SUR - MONTEJO BEACH		
Estructuras Regulares (1.0)	Debe satisfacer todas las condiciones del apartado 3.3.2.1	No Cumple
Estructuras Medianamente Regular (0.9)	Cuando no se cumpla una condición de regularidad enumeradas del 1 al 9 del inciso 3.3.2.1	No Cumple
Estructuras Irregulares (0.8)	Cuando no se cumplan dos o más condiciones de regularidad, o no se cumpla con la condición 10 o 11 de regularidad del inciso 3.3.2.1	Estructura Irregular
Estructuras Fuertemente Irregulares (0.7)	<p>1) La excentricidad torsional calculada estáticamente en algún entrepiso excede en más de 20% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad</p> <p>2) La rigidez o resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 100% a la del piso inmediatamente inferior.</p> <p>3) No cumple simultáneamente con las condiciones 10 y 11 de regularidad descritas en el inciso 3.3.2.1.</p> <p>4) No cumple con cuatro o más de las condiciones de regularidad descritas en el inciso 3.3.2.1.</p>	No Cumple

Figura 67. Definición de irregularidad torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México)

Aplicando los diferentes factores que se han explicado en la tabla anterior se obtiene el siguiente espectro de diseño o reducido presentado en la figura 68:

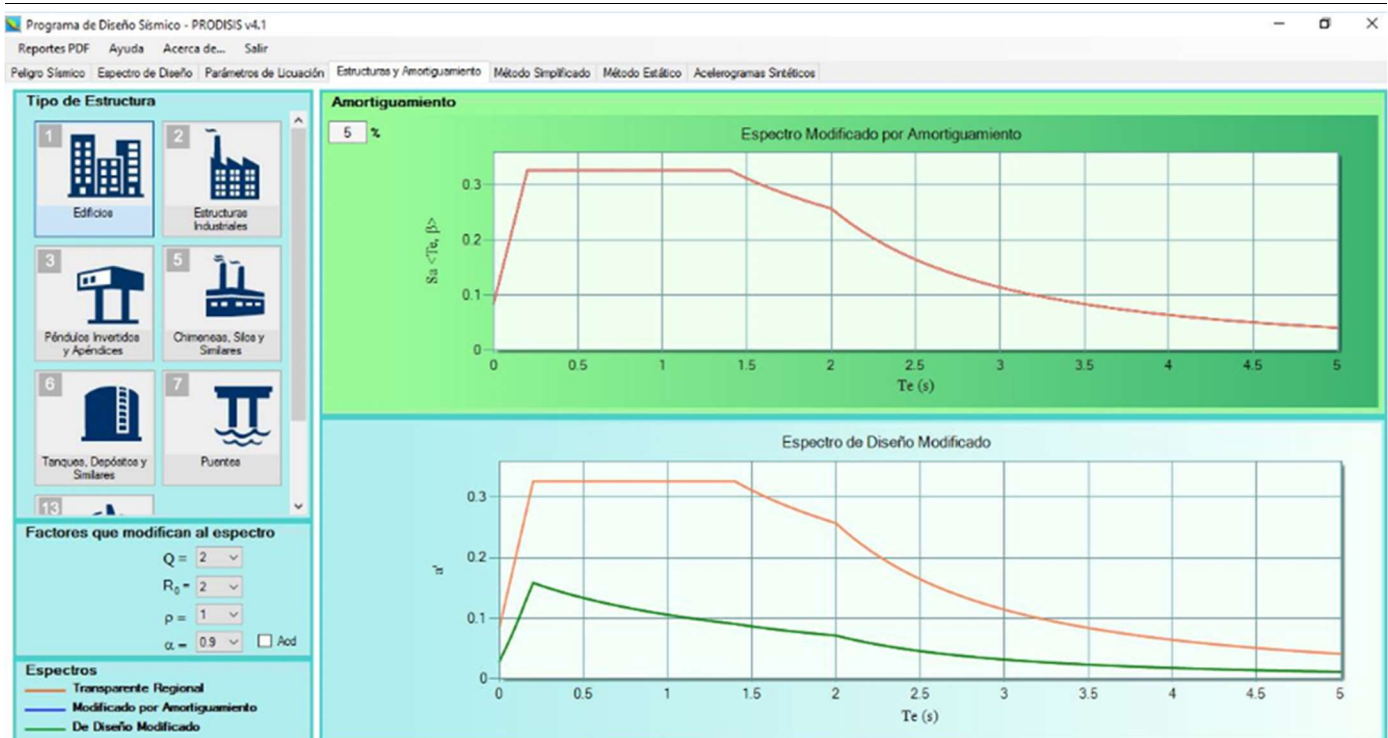


Figura 68. Espectro de diseño torre Sur (Fuente: FSGROUP Engineering México, mediante PRODISIS)

Para la comprobación del cortante basal se obtienen unos períodos propios de:

Dirección 'X'	1.437 segundos
Dirección 'Y'	1.088 segundos

Tabla 16. Periodos para cortante basal torre Sur.

14.3.18. Factor de Sobrerresistencia

El factor de sobrerresistencia surge de las diferencias encontradas entre los ensayos experimentales y los modelos numéricos. Cuando se realiza una idealización numérica, se subestiman capacidades de resistencia en los materiales y se maximizan las acciones de las cargas en la estructura, además de que se consideran algunas idealizaciones simples en el proceso de análisis que no siempre concuerdan del todo con la realidad; derivado de todas estas idealizaciones, las estructuras suelen tener en la práctica mayores resistencias a las obtenidas por métodos numéricos.

Los métodos de análisis nos proponen la implementación de un sistema de marcos en los cuales las columnas tengan mayor resistencia que las trabes que los conforman, es comúnmente llamado "viga débil, columna fuerte", esto quiere decir, que en el suceso en que se presente alguna acción accidental, los elementos que podrán estar propensos a falla serán las vigas y no las columnas, dando así espacio a una deformación permisible, más no al colapso de la estructura, dicha

consideración nos genera que las columnas sean elementos resistentes, con mayor capacidad que las trabes. Las trabes son consideradas elementos que portan a los sistemas de piso y a su vez transfieren las cargas de estos a las columnas, quienes son las encargadas de hacer la descarga hacia nuestros elementos de cimentación que están en contacto con el suelo.

Teniendo en consideración que los modelos numéricos subestiman la resistencia de la estructura y sobrestiman las acciones de las cargas, y que las columnas son las encargadas de transmitir las cargas de la estructura al suelo en que se desplante, el factor de sobrerresistencia hace modificaciones a las cargas sísmicas que afectan nuestra estructura para tener descargas más acorde a la realidad y que nuestra estructura pueda así tener el comportamiento esperado en la idealización con la que fue concebida su sistema estructural.

Cabe señalar que estas consideraciones son parte del análisis por fuerzas sísmicas y que cada reglamento de análisis tiene sus propios parámetros para la consideración de las mismas.

Para el caso específico de Montejo Beach, el reglamento de análisis sísmico considerado fue el propuesto por la Comisión Federal de Electricidad en su Manual de diseño de Obras Civiles.

Aun habiendo utilizado el reglamento propuesto por el Manual de Diseño de Obras Civiles en su apartado de diseño por sismo, se tomó el tiempo y esfuerzo de realizar una revisión a la cimentación con la consideración que proponen las NTC para diseño por Sismo y se encontró que el comportamiento de la estructura es adecuado.

En conclusión, se han considerado los parámetros de sobrerresistencia que propone el reglamento de Sismo propuesto por el Manual de Diseño de Obras Civiles y se considera que el comportamiento de la estructura está dentro de los parámetros permisibles que este reglamento propone, razón por la cual se considera una solución adecuada.

15. Anexo B. Sección 3.2 NTC Diseño y construcción estructuras de concreto

3.1.2 Restricciones y limitaciones para SERFGS que deban resistir acciones sísmicas

El sistema básico estructural o SERFGS deben conformarse con alguno de los tipos indicados en la tabla 4.1 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo o una combinación de sistemas en las direcciones de análisis.

3.2 Análisis

3.2.1 Aspectos generales

Las estructuras de concreto se analizarán con los métodos prescritos en los capítulos 2, 6 y 7 de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Sismo, según sea el caso.

3.2.1.1 Análisis lineal

Cuando se apliquen métodos de análisis lineal, en el cálculo de las rigideces de los miembros estructurales se tomará en cuenta el efecto del agrietamiento. Se admitirá que se cumple con este requisito si las rigideces de los elementos se calculan con el módulo de elasticidad del concreto, E_c , y con los momentos de inercia de la tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1 Momentos de inercia para cálculo de rigideces

Elemento	Momento de inercia
Vigas y muros agrietados ¹	0.5I _g
Columnas agrietadas	0.7I _g
Columnas y muros no agrietados	I _g

¹ En vigas T se deberán incluir los anchos de patín especificados en el inciso 5.1.1.2.

En estructuras constituidas por losas planas y columnas, las rigideces se calcularán con las hipótesis de los incisos 3.4.2 y 3.4.3. Los momentos de inercia obtenidos con estas hipótesis se modificarán con los factores aplicables a vigas y columnas de la tabla 3.2.1 para tomar en cuenta el efecto del agrietamiento. En estructuras continuas se admite redistribuir los momentos flexionantes obtenidos del análisis elástico, satisfaciendo las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos en vigas, nudos y entrepisos, pero sin que ningún momento se reduzca, en valor absoluto, más de 20 por ciento en vigas y losas apoyadas en vigas o muros, ni que se reduzca más de 10 por ciento en columnas y en losas planas.

3.2.1.2 Análisis no lineal

Los métodos de análisis no lineal para estructuras de concreto son, en general, del tipo denominado de plasticidad concentrada. En estos métodos los miembros estructurales, diseñados para que los daños que puedan ocurrir sean predominantemente por flexión, se modelan con una barra que en su parte central tiene un comportamiento elástico y en sus extremos tiene zonas de comportamiento inelástico llamadas articulaciones plásticas, figura 3.2.1. La zona central puede considerarse de comportamiento lineal con una rigidez a flexión efectiva como la usada en los métodos de análisis lineal, ver párrafo anterior, o bien, como se establece en la ecuación D.2.1 del Apéndice D. Las zonas de los extremos, a partir de que se presente el fenómeno de plastificación, pueden considerarse como resortes elásticos con una rigidez mucho menor, la cual puede determinarse como se indica en los incisos 3.6.1 y 3.6.2. Las articulaciones plásticas se diseñarán de acuerdo con lo prescrito en las secciones 8.1 y 9.1.

En los momentos de diseño y en las deformaciones laterales de las estructuras deben incluirse los efectos de esbeltez valuados de acuerdo con el inciso 3.2.2.

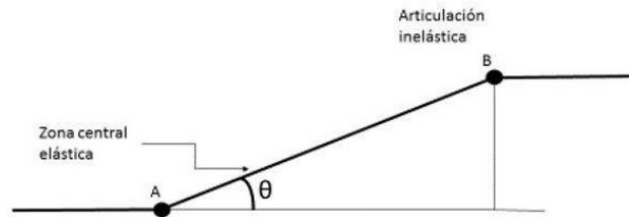


Figura 3.2.1 Elemento con zonas inelásticas concentradas en sus extremos

3.2.2 Efectos de esbeltez

Se admitirá evaluar los efectos de esbeltez mediante el método de amplificación de momentos flexionantes del inciso 3.2.2.2 o por medio del análisis de segundo orden especificado en el inciso 3.2.2.3.

3.2.2.1 Conceptos generales

a) Restricción lateral de los extremos de columnas

Se supondrá que una columna tiene sus extremos restringidos lateralmente cuando estos extremos no se desplacen un respecto al otro de manera apreciable. El desplazamiento puede ser despreciable por la presencia en el entrepiso de elementos de una elevada rigidez lateral, como contravientos o muros, o porque la estructura puede resistir las cargas aplicadas sin sufrir desplazamientos laterales considerables.

En el primer caso, puede suponerse que no hay desplazamientos laterales considerables si la columna forma parte de un entrepiso donde la rigidez lateral de contravientos, muros u otros elementos que den restricción lateral no es menor que 85 por ciento de la rigidez total de entrepiso. Además, la rigidez de cada diafragma horizontal (losa, etc.), a los que llega la columna, no debe ser menor que diez veces la rigidez de entrepiso del marco al que pertenece la columna en estudio. La rigidez de un diafragma horizontal con relación a un eje de columnas se define como la fuerza que debe aplicarse al diafragma en el eje en cuestión para producir una flecha unitaria sobre dicho eje, estando el diafragma libremente apoyado en los elementos que dan restricción lateral (muros, contravientos, etc.).

En el segundo caso, puede considerarse que no hay desplazamientos laterales apreciables si

$$Q \frac{\Delta_i}{h_i} \leq 0.08 \frac{V_i}{W_u} \quad (3.2.1)$$

donde:

- Q factor de comportamiento sísmico definido en estas Normas y en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. Cuando los desplazamientos laterales sean debidos a acciones distintas del sismo se tomará $Q = 1.0$;
- V_i fuerza cortante del entrepiso i ;
- Δ_i desplazamiento de entrepiso i producido por la fuerza lateral V_i ;
- W_u suma de las cargas de diseño, muertas y vivas (cargas especificadas en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones) multiplicadas por el factor de carga correspondiente, acumuladas desde el extremo superior del edificio hasta el entrepiso considerado; y
- h_i altura del entrepiso i , medida entre ejes.

b) Longitud libre, H , de un miembro a flexocompresión

Es la distancia libre entre elementos capaces de darle al miembro apoyo lateral. En columnas que soporten sistemas de piso formados por vigas y losas, H será la distancia libre entre el piso y la cara inferior de la viga más peraltada que llega a la

columna en la dirección en que se considera la flexión. En aquéllas que soporten losas planas, H será la distancia libre entre el piso y la sección en que la columna se une al capitel, al ábaco o a la losa, según el caso.

c) Longitud efectiva, H' , de un miembro a flexocompresión

La longitud efectiva de miembros cuyos extremos estén restringidos lateralmente puede determinarse con el nomograma de la figura 3.2.1. Si se usa dicho nomograma, la longitud efectiva se podrá obtener como:

$$H' = kH \quad (3.2.2)$$

o, de forma aproximada usando:

$$k = 1.35 - \sqrt{1.35 (1.35 - k_A - k_B) + \frac{1}{2}(k_A^2 + k_B^2)} \quad (3.2.3)$$

donde el factor de restricción lateral de los extremos A y B de la columna está dado por:

$$k_{A,B} = \frac{0.4 + \Psi_{A,B}}{0.8 + \Psi_{A,B}} \quad (3.2.4)$$

y donde Ψ_A y Ψ_B se calcularán usando los momentos de inercia correspondientes a la flexión en el plano considerado mediante:

$$\Psi_{A,B} = \frac{\Sigma (I/L)_{columnas}}{\Sigma (I/L)_{miembros \text{ de flexión}}} \quad (3.2.5)$$

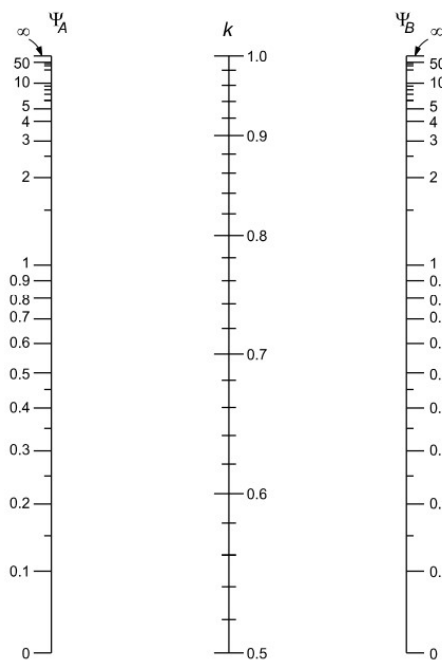


Figura 3.2.1 Nomograma para determinar longitudes efectivas, H' , en miembros a flexocompresión con extremos restringidos lateralmente

3.2.2.2 Método de amplificación de momentos flexionantes

a) Miembros en los que pueden despreciarse los efectos de esbeltez

En miembros con extremos restringidos lateralmente, los efectos de esbeltez pueden despreciarse cuando se cumpla:

$$\frac{H'}{r} < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \quad (3.2.6)$$

En la expresión anterior, M_1 es el menor y M_2 el mayor de los momentos flexionantes en los extremos del miembro; el cociente M_1/M_2 es positivo cuando el miembro se flexiona en curvatura sencilla y negativo cuando lo hace en curvatura doble; si $M_1 = M_2 = 0$, el cociente M_1/M_2 se tomará igual a 1.0.

b) Miembros en los que no pueden despreciarse los efectos de esbeltez

En miembros con extremos restringidos en los que se cumpla:

$$\frac{H'}{r} > 100 \quad (3.2.7)$$

se deberá efectuar un análisis de segundo orden de acuerdo con lo prescrito en el inciso 3.2.2.3.

En miembros con extremos no restringidos lateralmente, los efectos de esbeltez no podrán despreciarse.

c) Momentos de diseño

Los miembros sujetos a flexocompresión en los que, de acuerdo con el inciso 3.2.2.2a, no pueden despreciarse los efectos de esbeltez, se dimensionarán para la carga axial de diseño, P_u , obtenida de un análisis elástico de primer orden y un momento amplificado, M_c , obtenido en forma aproximada y, según el caso, de acuerdo con lo estipulado en el inciso 3.2.2.2d o en 3.2.2.2e.

d) Miembros con extremos restringidos lateralmente

Los miembros se diseñarán con un momento amplificado, M_c , que se calculará con la expresión

$$M_c = F_{ab} M_2 \quad (3.2.8)$$

donde:

$$F_{ab} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \geq 1.0 \quad (3.2.9)$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad (3.2.10)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 E I}{(H')^2} \quad (3.2.11)$$

$$EI = 0.4 \frac{E_c I_g}{1 + u} \quad (3.2.12)$$

u cuando se considere la acción de carga muerta y carga viva, u será la relación entre la carga axial de diseño factorizada, producida por carga muerta y carga viva sostenida, y la carga axial de diseño factorizada total producida por carga muerta y carga viva total máxima. Cuando se considere la acción de carga muerta, viva y accidental, u será la relación

entre la máxima fuerza cortante de piso factorizada producida por carga muerta, carga viva sostenida instantánea y accidental, la máxima fuerza cortante factorizada en el mismo entrepiso asociada a la misma combinación de cargas. En ningún caso se tomará u mayor que 1.

El momento M_2 , que es el mayor de los momentos en los extremos del miembro, se tomará con su valor absoluto y debe estar multiplicado por el factor de carga. No se tomará menor que el que resulte de aplicar la excentricidad mínima prescrita en el inciso 5.2.2.1.

e) Miembros con extremos no restringidos lateralmente

Los momentos en los extremos del miembro se calcularán con las ecuaciones:

$$M_1 = M_{1b} + F_{as} M_{1s} \quad (3.2.13)$$

$$M_2 = M_{2b} + F_{as} M_{2s} \quad (3.2.14)$$

donde:

- M_{1b} momento flexionante multiplicado por el factor de carga, en el extremo donde actúa M_1 , producido por las cargas que no causan un desplazamiento lateral apreciable, calculado con un análisis elástico de primer orden;
- M_{1s} momento flexionante multiplicado por el factor de carga, en el extremo donde actúa M_1 , producido por las cargas que causan un desplazamiento lateral apreciable, calculado con un análisis elástico de primer orden;
- M_{2b} momento flexionante multiplicado por el factor de carga, en el extremo donde actúa M_2 , producido por las cargas que no causan un desplazamiento lateral apreciable, calculado con un análisis elástico de primer orden;
- M_{2s} momento flexionante multiplicado por el factor de carga, en el extremo donde actúa M_2 , producido por las cargas que causan un desplazamiento lateral apreciable, calculado con un análisis elástico de primer orden; y

$$F_{as} = \frac{1}{1 - \lambda} \geq 1 \quad (3.2.15)$$

donde λ está dado por la ecuación:

$$\lambda = \frac{W_u Q \Delta_i}{h V_i} \quad (3.2.16)$$

Si F_{as} calculado con la ecuación 3.2.15 excede de 1.5, se deberá hacer un análisis de segundo orden de acuerdo con el inciso 3.2.2.3.

En estructuras cuyas columnas no tienen restringidos lateralmente sus extremos, las vigas y otros elementos en flexión se dimensionarán para que resistan los momentos amplificados de los extremos de las columnas. Cuando la torsión de un entrepiso sea significativa se deberá hacer un análisis de segundo orden.

f) Si un miembro sujeto a flexocompresión con extremos no restringidos tiene una relación

$$\frac{H}{r} \geq \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c' A_g}}} \quad (3.2.17)$$

se diseñará para la carga P_u y un momento flexionante amplificado M_c calculado según se especifica en el inciso 3.2.2.2d, pero calculando M_1 y M_2 como se especifica en el inciso 3.2.2.2e y con el valor de u correspondiente a la combinación de carga considerada.

3.2.2.3 Análisis de segundo orden

Los análisis de segundo orden consisten en obtener las fuerzas y momentos internos tomando en cuenta los efectos de las deformaciones sobre dichas fuerzas y momentos, la influencia de la carga axial en las rigideces, el comportamiento no lineal y agrietamiento de los materiales, duración de las cargas, cambios volumétricos por flujo plástico, así como la interacción con la cimentación.

3.3 Análisis de losas

3.3.1 Método de análisis

Además de los métodos semiempíricos de análisis propuestos a continuación para distintos casos particulares, puede utilizarse cualquier otro procedimiento reconocido. Es admisible aplicar la teoría de líneas de fluencia, o cualquier otra teoría basada en el análisis al límite, siempre que el comportamiento bajo condiciones de servicio resulte adecuado en cuanto a deflexión, agrietamiento y vibraciones.

Si aparte de soportar cargas normales a su plano la losa tiene que transmitir fuerzas contenidas en su plano a marcos, muros u otros elementos rigidizantes, dichas fuerzas deben tomarse en cuenta en el diseño de la losa.

3.3.2 Momentos flexionantes debidos a cargas uniformemente distribuidas

Los momentos flexionantes en losas perimetralmente apoyadas se calcularán con los coeficientes de la tabla 3.3.1 si se satisfacen las siguientes limitaciones:

- Los tableros son aproximadamente rectangulares;
- La distribución de las cargas es aproximadamente uniforme en cada tablero;
- Los momentos flexionantes negativos en el apoyo común de dos tableros adyacentes difieren entre sí en una cantidad no mayor que 50 por ciento del menor de ellos; y
- La relación entre carga viva y muerta no es mayor de 2.5 para losas monolíticas con sus apoyos, ni mayor de 1.5 en otros casos. Para valores intermedios de la relación, m , entre el claro corto, a_1 , y el claro largo, a_2 , se interpolará linealmente.

Tabla 3.3.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, franjas centrales¹

Tablero	Momento	Claro	Relación de lados corto a largo, $m = a_1/a_2$													
			0		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0	
			I ²	II ³	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Interior Todos los bordes interiores continuos	Negativo en bordes interiores	corto	998	1018	553	565	489	498	432	438	381	387	333	338	288	292
		largo	516	544	409	431	391	412	371	388	347	361	320	330	288	292
	Positivo	corto	630	668	312	322	268	276	228	236	192	199	158	164	126	130
		largo	175	181	139	144	134	139	130	135	128	133	127	131	126	130
De borde Un lado corto discontinuo	Negativo en bordes interiores	corto	998	1018	568	594	506	533	451	478	403	431	357	388	315	346
		largo	516	544	409	431	391	412	372	392	350	369	326	341	297	311
	Negativo en bordes discontinuos	largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0
		Positivo	corto	630	668	329	356	292	306	240	261	202	219	167	181	133
		largo	179	187	142	149	137	143	133	140	131	137	129	136	129	135



I. Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada, y

II. No rebasar ningún estado límite de servicio ante combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación.

El cumplimiento de estos requisitos se comprobará con los procedimientos establecidos en este Capítulo y en las Normas.

Los criterios generales de diseño aplicables a todos los tipos de estructuras se definen en las Normas sobre Criterios y Acciones de Diseño.³⁵¹

ARTÍCULO 148.- Se considerará como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

Las Normas establecerán los estados límite de falla más importantes para cada material y tipo de estructura.

ARTÍCULO 149.- Se considerará como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas. Los valores específicos de estos estados límite se definen en las Normas.

ARTÍCULO 150.- En el diseño de toda estructura deben tomarse en cuenta los efectos de las cargas muertas, de las cargas vivas, del sismo, del viento cuando este último sea significativo. Las intensidades de estas acciones y sus combinaciones habrán de considerarse en el diseño y la forma en que deben calcularse sus efectos se especifican en las Normas correspondientes.³⁵²

Cuando sean significativos, deben tomarse en cuenta los efectos producidos por otras acciones, como los empujes de tierras y líquidos, los cambios de temperatura, las contracciones de los materiales, los hundimientos de los apoyos y las sollicitaciones originadas por el funcionamiento de maquinaria y equipo que no estén tomadas en cuenta en las cargas especificadas en las Normas correspondientes.

³⁵¹ Adición publicada en la GOCDMX el 17 de junio de 2016

³⁵² Reforma publicada en la GOCDMX el 17 de junio de 2016
