



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**“PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA
ESTRUCTURA DEL EDIFICIO TORRE REFORMA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO:
MAESTRO EN INGENIERÍA**

INGENIERÍA CIVIL - CONSTRUCCIÓN

**P R E S E N T A:
ING. EMILIANO LÓPEZ PALACIOS**

**TUTOR
ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI
MALDONADO**



2012

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Ing. Luis Armando Díaz Infante de la Mora

Secretario: M.I. Héctor Sangines García

Vocal: Ing. Carlos Manuel Chavarri Maldonado

1^{er}. Suplente: Ing. Alejandro Vázquez Vera

2^{do}. Suplente: Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez

MÉXICO, CIUDAD UNIVERSITARIA 2012

TUTOR DE TESIS:

ING. CARLOS M. CHAVARRI MALDONADO

FIRMA

Agradecimientos

Agradezco profundamente a todas aquellas personas que me dieron su apoyo y comprensión para que esta tesis fuera posible en su realización.

A mis padres, por el amor, cariño y apoyo que me han dado a lo largo de mi vida.

Al Arquitecto **Benjamín Romano**, por su autorización y por la confianza que deposito en mí, a la Arq. Julieta Boy, por sus valiosas aportaciones y consejos, a la Arq. Antonella Moritu, por su paciencia y dedicación, al Ing. Edmundo Bernal por el apoyo, confianza y tiempo que me dedico cuantas veces fue necesario. De manera general, agradezco a todo el equipo de *LBR Despacho Arquitectónico*.

A mi muy entrañable profesor y director de esta tesis, el Ing. Carlos Chávarri Maldonado, por todo el apoyo que me ha brindado y porque es parte fundamental en la formación de mi vida profesional.

A mis profesores de posgrado, por todos los conocimientos y experiencias que a lo largo de dos años me transmitieron para hacer de mí un mejor profesionista.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser mi *Alma Máter*, y de quien siempre me sentiré orgulloso por toda la sabiduría que de ella he adquirido.

A todos gracias...

ÍNDICE

“PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO TORRE
REFORMA”

Introducción

Capítulo I

1 Antecedentes	2
1.1 Proyecto Torre Reforma 483	3
1.2 Normativa de uso de suelo	4
1.3 Características Generales	7
1.4 Estudios preliminares	9
Estudio de asoleamiento y fachadas	
Estudio de viento	
1.5 Acciones de mitigación y seguridad	10
1.6 Proyecto estructural	11
Descripción de la estructura	
Estructuración	
1.7 Proyecto arquitectónico	17
Instalación hidráulica	
Instalación sanitaria	
Muebles sanitarios	
Sistema de aguas pluviales	
Sistema de protección contra incendio	
Aire Acondicionado	
Instalación eléctrica	
1.8 El Conjunto de Torre Reforma	19

Capítulo II

2 Planeación para la construcción de la estructura de concreto	21
2.1 Restricciones	22
Restricciones constructivas	
Restricciones físicas y normativas	
Restricciones arquitectónicas	
2.2 Descripción de los muro de concreto sobre los ejes “E”, “Y” y “I”	26
2.3 Selección de equipo para el montaje de la estructura de concreto	33
Cimbra	
Criterios para la selección de la cimbra	
Selección de la cimbra	
Modulación para los muros C1, W1, C2 y W2	
Modulación para los muros C3, C4 y C5	
Piezas especiales para huecos en fachada	
Secuencia de escalada de la cimbra	
2.4 Transportación del concreto	49
Fabricación en obra	
Concreto premezclado	
2.5 Colocación del concreto	54
2.6 Vibrado del concreto	59
2.7 Curado del concreto	62
2.8 Acero de refuerzo	64

Capítulo III

3 Montaje de la estructura metálica	71
3.1 Descripción de la estructura de acero	71
3.2 Restricciones	76
Transportación	
Plan de montaje	
Restricciones para la selección de grúa	
Restricciones para la selección de equipos auxiliares	
Constructivas	
3.3 Transportación Propuesta	82
3.4 Plan de montaje	84
Seccionamiento	
Secuencia de montaje	
3.5 Selección de la grúa	100
Ubicación de las grúas dentro de la obra	
Capacidad de carga	
Montaje de grúas	
Maniobras de izaje	
3.6 Selección de equipos auxiliares	109
Colocación y ubicación de elevadores	
Colocación y ubicación de escalera andamial	
Selección de la mini-grúa	
Selección de <i>MEWPs</i>	
Barandales y malla	
Conclusión	117
Bibliografía	121
Anexos	123
Apéndice	140

INTRODUCCIÓN

“PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA
ESTRUCTURA DEL EDIFICIO TORRE REFORMA”

Hoy en día para referirnos a una construcción de gran escala podemos hacer uso de varias acepciones para dicho término, así por ejemplo, edificio, término más común, se refiere a una construcción fija, hecha con materiales resistentes, para habitación humana o para otros usos¹, torre, se refiere a una edificación de mucha más altura que superficie y finalmente rascacielos, cuyo término se refiere a un edificio de gran altura y muchos pisos, a fin de cuentas, cualquiera de estos términos hacen mención a una construcción de grandes proporciones y sobre todo de muchos metros de altura. Una construcción de estas características está destinada a albergar diferentes actividades de la vida cotidiana del ser humano, pero sobre todo trata de optimizar los espacios, de ahí que característica singular de los edificios es que son construcciones propias de las zonas urbanas y de grandes metrópolis donde los espacios para la construcción cada vez son más escasos y reducidos, generando uno de los grandes retos de la ingeniería civil radica en optimizar y maximizar el aprovechamiento del suelo.

Para nuestro caso, el edificio al cual haremos alusión en este trabajo es el que estará ubicado en el No. 483 de Paseo de la Reforma, sitio donde se ubican los edificios y construcciones más modernas del país, muchos de ellos dedicados al comercio, hoteles, otros más a la vida laboral y de oficina, así como a la vivienda. Cada vez, las construcciones que se ubican en esta avenida son de mayor altura, lo cual no quiere decir que sea una característica propia de la zona, los tipos de construcciones que se ubican sobre dicha avenida son de diferentes estilos, épocas, técnicas y diseños arquitectónicos, también hay edificios históricos y muestra de esto está el que se ubica en el No. 1, “El Moro”, considerado como uno de los principales rascacielos de México, actualmente dicho edificio alberga las oficinas de la Lotería Nacional, dentro de las características principales destaca su construcción de cimentación “flotante” y cuyo proyecto fue realizado por el Ingeniero José Antonio Cuevas y fue inaugurado el 28 de noviembre de 1946. El área total del edificio es de 22,000 m² y fue construido con un predio con más de 2,000 m² que estuvo ocupado por casonas de tiempos del porfiriato. Posee 104 m de altura y tiene 20 pisos, a los cuales se accede por medio de cinco ascensores, finalmente cabe destacar que para su construcción se emplearon acero, cristalería y concreto; además de que fue dotado de

¹ Diccionario de la Real Academia Española, Madrid, 1991.

instalaciones hidráulicas y eléctricas, telefónicas y ascensores que para la época era tecnología novedosa y moderna².

Por otra parte, es importante mencionar que por muchos años la Torre Latinoamericana fue el edificio más alto, no sólo de México sino de toda Latinoamérica, fue construida con tecnología mexicana y se rompieron varios records en ingeniería, una de las características que la hace singular, es la resistencia a los sismos de 1957 y 1985 sin sufrir daño alguno. Fue inaugurada el 30 de abril de 1956, durante su construcción se tomaron aspectos novedosos de la época como son el empleo de un sistema de rieles que protegen a la estructura de sufrir daños ocasionados por los sismos, a un año de su inauguración salió bien librada del terremoto de 1957, haciéndose acreedora a un reconocimiento internacional como el edificio más alto que había resistido un terremoto, posteriormente volvió a superar la prueba con el terremoto de 1985. Cuenta con 43 pisos, una antena de radio y televisión y un excelente mirador desde donde se pueden apreciar los cuatro puntos cardinales de la Ciudad de México. La Torre Latinoamericana conserva un lugar especial entre los habitantes de la ciudad al ser el rascacielos clásico de la urbe y uno de sus hitos urbanos más distintivos, pese a ser superada por altitud por edificios más altos como son la Torre de Pemex, el World Trade Center y más recientemente por la Torre Mayor.

Por lo que respecta a Paseo de la Reforma, está en plena transformación, porque con grandes obras como la Torre Mayor, la Torre del Ángel, sede de un corporativo bancario, el senado de la república y la remodelación de otras edificaciones, hacen de esta avenida un corredor de edificaciones modernistas y vanguardistas de la ingeniería civil mexicana.

Torre Reforma está proyectada para ser el edificio más alto de México y de América Latina con 244 m. de altura, sin embargo lo que la hace singular es su diseño arquitectónico sustentable, así como de la última tecnología a favor de la funcionalidad y eficiencia en el uso de recursos. Torre Reforma pretende alcanzar la certificación internacional LEED Platino por sus características, para garantizar un proyecto sustentable, a través de medidas

² Construcciones emblemáticas, Revista Ingeniería Civil, órgano del Colegio de Ingenieros civiles de México, No. 505, Mayo, 2011, pág. 36.

como son: ahorro de agua, y electricidad principalmente, aunado a esto, la estructura principal no contempla columnas y trabes visibles, sino más bien ahogadas en el concreto para dar una mayor sensación de espacios libre. De esta manera, el gran aporte a nivel urbano del edificio o de la torre es justamente aprovechar la estratégica localización de este terreno y utilizar al máximo su potencial construible, valiéndose así de toda la infraestructura urbana existente.

El presente trabajo está conformado por tres capítulos, en el capítulo I se tratarán aspectos básicos sobre la ubicación geográfica de Torre Reforma, de la misma manera haremos un breve recorrido por la historia del Paseo de la Reforma hasta nuestros días, esto nos permitirá conocer más de cerca el paisaje urbano donde quedará ubicado el edificio más alto de México y posiblemente de América Latina. Al final de esta sección daremos las características técnicas generales de las cuales estará conformada esta obra majestuosa de la arquitectura y la ingeniería mexicana. En el capítulo II, estaremos exponiendo lo relacionado al armado y colocación del concreto de la estructura del *cluster* 7, esto, a partir de una descripción de la estructura principal de concreto, identificando las diferentes restricciones a que está sujeto el proyecto, para posteriormente dar una propuesta de solución para cada una de ellas. Finalmente en el capítulo III explicaremos principalmente lo relacionado a la planeación del montaje de la estructura metálica, sus restricciones, selección de la mejor opción para realizar el montaje de la misma, así como la ubicación de las grúas y algunas recomendaciones para la selección de equipos auxiliares.

Emiliano López Palacios

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1 Antecedentes

El Paseo de la Reforma nace en el año de 1872 bajo el mandato presidencial de Sebastián Lerdo de Tejada, surge con la idea de llevar a cabo un proyecto monumental de estética urbana, el cual enalteciera el honor de la patria ganado en la Guerra de Intervención, y que exaltara la trascendencia histórica y política del ya fallecido Benito Juárez. De esta manera, bajo el decreto presidencial del año de 1872 la Calzada Degollado pasaría a ser parte del embellecimiento como en ningún otra parte de la ciudad, dejando de lado las mezquinas prácticas de ornato y los discretos mobiliarios decorativos, para colmarla de tal cantidad de gracias vegetales y escultóricas, que llegaría a ofrecer un ambiente de hechizo favorable a los mayores extravíos artístico y arquitectónico. De esta manera, lo siguiente sería cambiar el nombre de Calzada Degollado a Paseo de la Reforma.

“...la calzada que conduce desde la estatua ecuestre de Carlos IV hasta Chapultepec se denominará en lo sucesivo Paseo de la Reforma”¹.

Sin embargo, durante las primeras décadas del siglo XX y hasta nuestros días, el Paseo de la Reforma ha sufrido una serie de transformaciones, y no es sino hasta las últimas dos décadas del siglo pasado, que los urbanistas de la capital, convencidos de mejorar las condiciones ciudadanas fueron modificando el paisaje original del Paseo de la Reforma, bajo la justificación que representaba el acelerado proceso industrial de la capital, la necesidad del desplazamiento rápido y eficaz de bienes y servicios, y la movilidad de personas a diferentes puntos de la Ciudad, lo cual requería de amplias arterias de circulación para dar salida a las necesidades de circulación de manera funcional.

¹ Ignacio Ulloa del Río, *El paseo de la Reforma*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1997, p. 39

Hoy en día el Paseo de la Reforma, está convertido en uno de los espacios más concurridos de la Ciudad de México por su singularidad cosmopolita², oficinas públicas, bancos, hoteles, librerías, boutiques de modas, agencias de viajes, cines restaurantes, casas de cambio y de bolsa, centros de diversión, esculturas



Ilustración 1.1
Paseo de la Reforma

clásicas y modernistas adornan los camellones, todo esto hacen un espacio propicio para la construcción de una nueva generación de complejos arquitectónicos urbanos de usos mixtos, cumpliendo con los requisitos de las especificaciones LEED³. Actualmente, el Paseo de la Reforma cuenta con la infraestructura necesaria para soportar el crecimiento inmobiliario que se experimenta desde hace poco más de una década. Se cuenta con la infraestructura suficiente para este tipo de desarrollos, hay red hidráulica, drenaje, red eléctrica. Todo se da abasto, las capacidades del suelo también, quizá el mayor problema o riesgo es la saturación vehicular, la cual posiblemente tenga ya una solución, al unificar los criterios del transporte público y confinar carriles de uso exclusivo para el transporte público.

1.1 Proyecto Torre Reforma 483

Torre Reforma es un proyecto arquitectónico sustentable e innovador que promueve el desarrollo con una visión de futuro para la Ciudad de México, igualando a los mejores edificios del mundo. Es concebida con base al nuevo orden urbano de la Delegación Cuauhtémoc, guardando la debida proporción con su entorno, realizando un uso más eficiente de los recursos básicos mejorando la calidad de vida de sus usuarios y vecinos.

Para su diseño se han aplicado tecnologías avanzadas “de punta” y en su desarrollo participan las más prestigiadas instituciones nacionales e internacionales.

² Carlos Martínez Assad, *La Patria en el Paseo de la Reforma*, México, FCE., 2005, p.162

³ Leadership in Energy & Environmental Design

Datos Generales del proyecto

Superficie del terreno	2,788.21 m ²
Superficie de construcción total	76,082.63 m ²
Fecha de inicio de construcción	2008
Fecha de terminación de construcción	2013
Altura de la construcción	244 m (57 niveles)
Responsable del proyecto arquitectónico	LBR Arquitectos
Responsable de la construcción	Fondo Hexa
Monto total de inversión	100 millones de dólares



Ilustración 1.2
Paseo de la Reforma, corredor y eje económico de la Ciudad de México y del país

La construcción de Torre Reforma se ha decidido llevar a cabo sobre Avenida Paseo de la Reforma debido a que los expertos en urbanismo han coincidido en que esta importante vialidad es y seguirá siendo un importante eje económico y cultural dentro de la Ciudad de México y del país, las inversiones del gobierno de la ciudad y los desarrolladores inmobiliarios lo proyectan como un nuevo centro de negocios, puesto que la zona cuenta ya con importantes vialidades y medios de transporte público, trayendo consigo un aumento en el valor de la tierra y las propiedades para obtener una mejor calidad de vida para las personas que se desarrollan en esta zona.

1.2 Normativa de uso de suelo

Ubicación. El edificio estará ubicado sobre Avenida Paseo de la Reforma 483, col. Cuauhtémoc al poniente de la Ciudad de México dentro de la Delegación del mismo nombre.

El área donde se asienta el proyecto mencionado cuenta con una superficie total de terreno de 2,788.21 m², que originalmente estaba dividido en seis predios, ubicándose en Paseo de la Reforma No. 483, en las calles de Río Elba No. 56 y Río Atoyac Nos. 72 y 68, Colonia y delegación Cuauhtémoc.

Según el plan parcial para la delegación Cuauhtémoc, expedido por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del D.F., acreditó que los predios mencionados serán para el desarrollo de oficinas, comercios, restaurantes, bares y entretenimiento, de tal manera que la superficie de construcción será de un total de 54,123.99 m² sobre nivel de banquetta (s.n.b.) distribuida en cinco cuerpos desplantados en una superficie de 1,748.13 m² (62.70%) aportando un área libre de 1,040.08 m² (37.30%).

Se espera que el edificio integre en su concepto 5 usos diferentes para uso público: restaurantes, bares, cafés, centros de entrenamiento y oficinas. Contará con 9 niveles subterráneos de estacionamiento, en donde se delimitarán 1,161 cajones, en un total de 57 niveles y 9 sótanos utilizados como estacionamiento⁴.

El proyecto consiste en una torre principal de 57 niveles (s.n.b.), con una altura de 159.60 m y a partir de ese punto comienza a subir en diagonal hasta llegar a una altura total de 244.00 m (s.n.b.) con una superficie de construcción de 44,195.49 m² distribuida de la siguiente forma; en la planta baja se localizará el acceso, llegando al *lobby* principal y vestíbulos con un entrepiso de 16.80 m, del 4° nivel al 9° se alojara un gimnasio, en el 6° se localizará una alberca, en el 7° el área de aparatos; del 10° al 21° se localizará la primer parte de oficinas llamada “Low Rise”, en los niveles 22° y 23° el cuarto de máquinas, elevadores y una cisterna, además de un salón de usos múltiples con capacidad para 140 personas, tendrá en su interior el *lobby* principal “Sky Lobby”, del nivel 24° al 53° se localizará la segunda parte de oficinas denominada “Mid Rise y High”, los niveles 54° y 55° estarán ocupado por los equipos de instalación mecánica, el nivel 56° tendrá máquinas montacargas y el nivel 57° será designado a la azotea del edificio.

⁴ El reglamento de construcción del Distrito Federal marca como ley 830 lugares de estacionamiento, los cuales podrán ser usados por visitas, vecinos o como pensión.

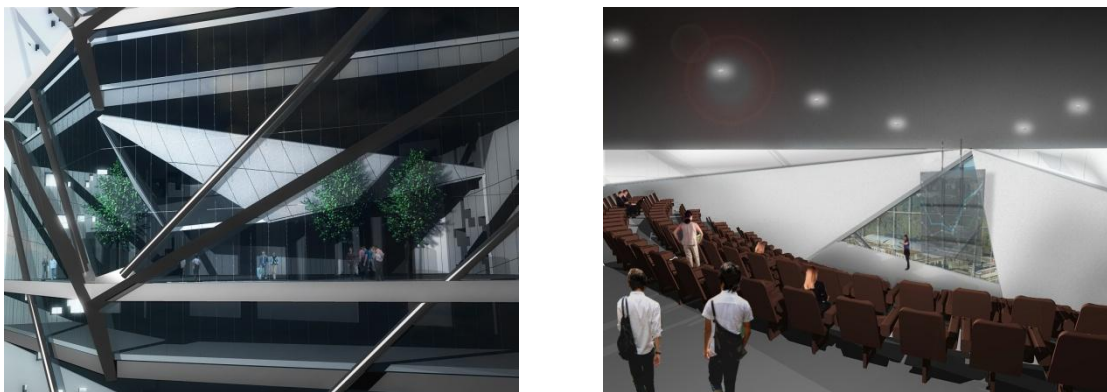


Ilustración 1.3
Vista exterior e interior del auditorio, situado en los pisos 22 y 23

Una de las características especiales que tiene el inmueble es una casa catalogada por el Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), como patrimonio artístico de la Ciudad, la cual estará integrada a la Torre en su explanada, con una superficie de construcción de 658.68 m² y albergará los usos de café, restaurante y galería; la construcción del ascensor que comunica al lobby de Planta Baja con el Sky Lobby de vehículos será denominado “Shuttle” con un área de 943.79 m² distribuida en 32 niveles con una altura de 138.60 m, y por último, las dos construcciones dobles de los estacionamientos robóticos de 13 y 10, con una altura de 39.90 m y 30.98 m, respectivamente y 10 y 8 niveles con alturas de 30.98 m y 22.05 m sobre el nivel de banqueta con una superficie total de construcción de 23,681.64 m² bajo el nivel de banqueta, que corresponde 1,723.00 m² área habitable, superficie que cuantificará en la superficie construida sobre nivel de banqueta, la superficie restante de 21,613.31 m² corresponderá a 9 medios sótanos y cuartos técnicos 345.33 m², que corresponden a área no habitable. El proyecto contará con una superficie total de construcción de 76,082.63 m², sobre y bajo nivel de banqueta.

Tabla de aspectos normativos

Normativa⁵.	
Dictamen Normativo al proyecto	SEDUVI
Dictamen de sitios patrimoniales	SEDUVI
Visto bueno para intervención de inmueble catalogado	INBA
Certificación único de uso de suelo y factibilidad	SEDUVI
Constancia de alineamiento y número oficial	Delegación Cuauhtémoc
Licencias de fusión de predios	Delegación Cuauhtémoc/INBA
Licencias para demolición	Delegación Cuauhtémoc
Sistema alternativo para reutilizar el agua pluvial	SACM
Permiso administrativo para el uso del bien del dominio público para la construcción de un estacionamiento subterráneo	Oficialía Mayor. GDF
Manifestación impacto ambiental	Secretaría del Medio Ambiente DF
Manifiesto impacto urbano	SEDUVI
Visto bueno de la Dirección General de Servicios Urbanos de la Delegación Cuauhtémoc para retiro de árboles sobre la calle de Río Elba	Delegación Cuauhtémoc
Donación de árboles de la Unidad Departamental de Parques y Jardines Vivero San Simón	Delegación Cuauhtémoc
Manifestación de construcción tipo C	Delegación Cuauhtémoc
Polígono de actuación	SEDUVI
Donación de árboles a la unidad departamental de parques y jardines de Azcapotzalco	Delegación Azcapotzalco

Fuente: Proyecto Torre Reforma www.torrereforma.com

1.3 Características Generales

En cuanto al soporte sísmico, el edificio estará diseñado para resistir un sismo de hasta 9.5 grados en escala Richter, tomando en cuenta que el suelo en esta zona de la Ciudad de México no tiene agua en demasía como el centro de la ciudad, el predio donde se ubica Torre Reforma está en una de las llamadas zona de transición entre lo que fuera lago y suelo duro, haciendo de Torre Reforma un edificio de los más seguros construidos en América Latina.

El inmueble buscará obtener la denominación platino de LEED, que reconoce a los edificios nobles con el entorno, que reducen al máximo sus emisiones de agua a los drenajes, utilizan energía solar en parte de sus procesos de calefacción, y emplean modos

⁵ El proyecto cuenta con todos los permisos y aprobaciones de acuerdo a la normatividad vigente

alternativos para enfriar su interior. Toda la estructura estará diseñada para reducir el consumo de electricidad, optimizar y reducir al máximo el gasto de agua y minimizar las descargas al drenaje de la colonia Cuauhtémoc.

El agua será reciclada y mediante caídas del líquido, se instalará un doble sistema de tubería de alimentación y drenaje para separar aguas negras y grises; para tratarse dentro del edificio, contará con un pozo de absorción, planta de tratamiento, cisterna de aguas tratadas, así como un sistema de refrigeración para ese mismo tipo de aguas, además de instalar muebles y accesorios de bajo consumo de agua, lo cual representará un 55 % de ahorro en relación con edificios convencionales.



Ilustración 1.4
Vista de Torre Reforma desde el
IMSS

Se instalarán luminarias de alta eficiencia energética las cuales funcionan con sol o red eléctrica. Tendrá un sistema híbrido de ventilación el cual utilizara viento del exterior introduciéndola a diferentes alturas y después filtrándolo, también será instalado un sistema de recolección solar para calentar el agua y se utilizará cristalería de baja absorción. Los pisos subterráneos tendrán ventiladores automáticos de inyección y renovación de aire fresco para evitar la concentración excesiva de contaminantes producidos por la combustión, estos están conectados al sistema inteligente del edificio.

Como otra medida sustentable el edificio integrará áreas verdes con árboles de altura promedio de 12 a 15 m, así como vegetación baja generando invernaderos en cada grupo de 4 niveles, reduciendo la emisión de CO₂.

En cuanto al uso público la torre tendrá un estacionamiento que estará formado por 9 niveles subterráneos el primero de ellos designado como área comercial, en donde se delimitarán 1,588 cajones para ser usados por visitas, vecinos o pensión.

Uno de los cinco predios que ocupará Torre Reforma incluye una casa construida en la primera mitad del siglo XX, actualmente catalogada como Patrimonio Artístico de la Ciudad. La normatividad para la intervención de inmuebles catalogados señala, que éste debe restaurarse y conservarse en su estado original en fachadas, por lo que el proyecto aprobado contempla la realización de los trabajos necesarios⁶.

1.4 Estudios preliminares

Estudio de asoleamiento y fachadas

El estudio de asoleamiento para el diseño de Torre Reforma fue realizado por la Universidad de Pensilvania en su centro *TC Chan*, con el propósito de optimizar la utilización de energía, de los sistemas de iluminación, fachadas, ventilación, aire acondicionado y temperatura interior para lograr un proyecto eficiente en el uso de recursos sustentables.

El sistema de fachadas para Torre Reforma que se ha propuesto, busca optimizar el rendimiento térmico, sin sacrificar: confort térmico, iluminación natural, vistas, acústica y facilidad de mantenimiento de la fachada, así como la protección contra incendio del mismo edificio, cumpliendo con los requisitos estructurales y estéticos que el proyecto requiere.

El sistema de fachadas en Torre Reforma está conformado por cuatro diferentes superficies:

- Superficie SE/SW
- Superficie NE/NW
- Superficie Este
- Superficie plana del techo

Estudio de viento

El estudio de viento para Torre Reforma se realizó con el fin de identificar las fuerzas a las que será sometido el edificio cuando esté en funcionamiento, además para identificar la

⁶ Gobierno de la Ciudad de México, SEDUVI, Normatividad para uso de suelo [en línea], México, 2010, <http://ciudadmx.df.gob.mx:8080/seduvi/>, consultada el 30 de enero de 2012.

fuerza generadora de corrientes cruzadas al interior de la torre, las cuales una vez ubicadas permitirán el aprovechamiento de la fuerza para generar energía eléctrica para el autoconsumo del propio edificio.

1.5 Acciones de mitigación y seguridad

Durante la construcción de Torre Reforma se buscará mantener un orden urbano a sus alrededores para no perturbar el ambiente y la vida cotidiana de la zona, a través de las siguientes acciones:

- Disminuir las molestias que conllevan a un proyecto de esta magnitud
- Mejorar la calidad de vida en la zona
- Generar espacios de convivencia, aprendizaje y esparcimiento

Durante su etapa de construcción como medida de seguridad el acceso será restringido pudiendo sólo acceder por la caseta de vigilancia, para mantener el control de los trabajadores que laboren dentro de la obra, durante el primer año habrá un máximo de 70 trabajadores, en el segundo y tercer año se espera que el número de trabajadores no rebase a los 300. Se instalarán luminarias especiales alrededor del predio para la seguridad de los transeúntes.

Toda el agua a utilizar para la limpieza de camiones y calles será agua tratada, a nivel de calle se edificará una gran plaza, la cual rodeara a la casa catalogada, con el fin de ofrecer un nuevo espacio público en Paseo de la Reforma. Se reconstruirán las banquetas y repavimentarán las calles de Río Elba y Río Atoyac además de instalar modernas luminarias para incrementar la seguridad de la zona, junto con la reforestación de árboles altos en sustitución de los actuales existentes.

Como parte de la seguridad y responsabilidad civil durante la etapa de construcción cabe mencionar que Torre Reforma cuenta con una póliza de seguro, en caso de un percance ya sea a propiedad privada o de accidentes laborales.

A continuación se describen las bases y criterios de análisis y diseño propuestos por la empresa ARUP en el desarrollo del proyecto estructural de Torre Reforma. Como ya lo hemos mencionado anteriormente, el espacio donde se ubica el complejo, contiene una casa catalogada por el INBA, Dicha casa fue construida durante el primer tercio del siglo XX, la cual debe protegerse y mantenerse en el sitio, teniendo cuidado en cualquier momento durante la construcción del rascacielos.

- Al norte con un edificio de cinco niveles y con la calle Atoyac
- Al sur con la Av. Paseo de la Reforma
- Al oriente una casa con planta baja y un nivel, protegida por el INBA
- Al poniente con la calle Río Elba frente al anexo de Torre Mayor



El proyecto arquitectónico contempla una torre de oficinas de 57 niveles totales, la cual está conformada por plantas irregulares, que en un principio van creciendo al poniente y a partir del nivel 37 empieza a estrecharse desde el sur, las dimensiones máximas de planta son 39.40 m por 36.60 m, las cuales forman una “L”. La altura máxima del proyecto es de

243.10 m. A partir del nivel N-22.40 m hasta el nivel N+0.00 m existirán 9 niveles subterráneos de estacionamiento y a partir del nivel N+0.00 m hasta el nivel N+243.10 m, será el área designada a las oficinas con altura de 4.20 m de entre piso.

Dentro de los objetivos que se fijaron para un buen diseño estructural de la Torre, radica en el diseño estructural, el cual debe integrarse al diseño arquitectónico, teniendo que ser un sistema estructural eficiente y económico, además de lograr una reducción de tiempo en el programa de construcción y por último cumplir con los requerimientos de sismos, de viento y de robustez.

El sistema estructural de Torre Reforma tiene que cumplir con tres funciones básicas y principales, soportar las cargas verticales del edificio, así como las generadas por su propio peso, resistir a la acción sísmica inducida en el sitio y resistir la acción estática, cuasi-estática y dinámica del viento, esto para minimizar o eliminar el tiempo de inactividad y los costos generados después de un importante evento sísmico.

El diseño de la estructura se realiza de acuerdo con los requisitos de los siguientes reglamentos, documentos y normatividades:

- Reglamento de Construcciones para el D.F., 2004 (RCDF-04)
- 2005 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-05)
- 2006 International Building Code (IBC-06)
- 2008 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08)
- 2005 Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-05)
- 2005 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings
- 2008 Recommendations for the seismic design of high-rise building, Council of Tall Buildings and Urban Habitat
- 2001 Motion perception, tolerance, and mitigation, Council of Tall Buildings and Urban Habitat

Estructuración

El sistema estructural de Torre Reforma tendrá como característica especial, ser una estructura de concreto conformada principalmente por dos muros en forma de “L”, con un tercer muro que une a los otros dos para formar un núcleo triangular. Mientras que las otras dos caras del edificio estarán conformadas por fachadas de vidrio.



Ilustración 1.6
Estructura primaria

Para describir como se conforma la estructura general de Torre Reforma es necesario aclarar que la estructura está conformada por 14 partes, y a cada una de estas partes se le denominará *cluster*. Un *cluster* estará conformado por 4 niveles el cual estará colgado por elementos diagonales compuestos por una serie de perfiles metálicos, colgando desde el piso más bajo de cada *cluster*, es por ello que los niveles N1, N2 y N3 de cada *cluster* estarán arremetidos, dejando a la planta baja de cada *cluster* sobresaliendo para conectar los perfiles diagonales que darán soporte a la estructura.

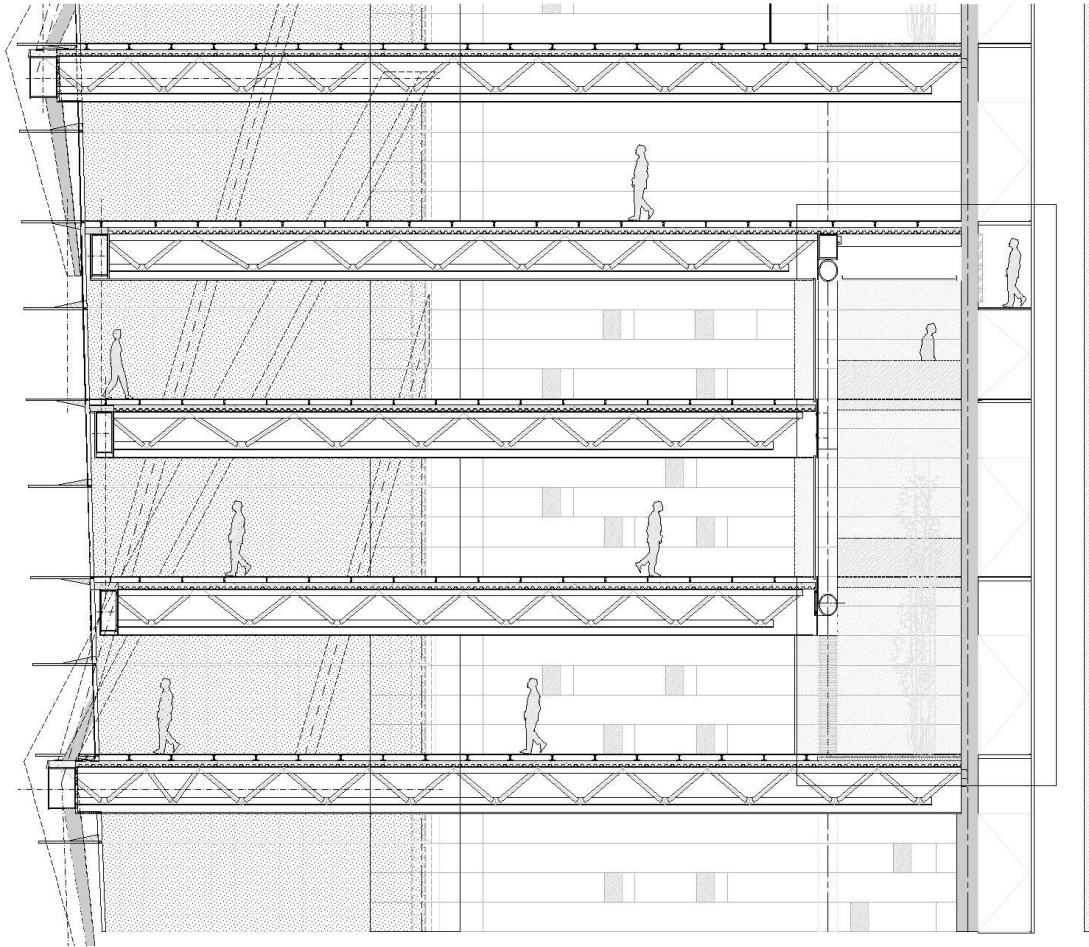


Ilustración 1.7
Corte de Torre Reforma donde se aprecia el acomodo de las losas por *cluster*

La función de cada uno de estos perfiles es soportar la demanda de cargas del nivel, los cuales a su vez son soportados por dos muros de concreto armado que conforman la fachada Norte y Este de la torre, es así que la función principal de estos muros es la de soportar toda la carga principal de la estructura, esto debido a que el diseño arquitectónico pretende no dejar a la vista traveses y columnas, dejándolas ahogadas en el muro de concreto para cada uno de los niveles, por lo que podemos decir que consistirá en un sistema colgado.

El sistema de pisos de la torre con excepción de las plantas más altas y los primeros niveles, será de la siguiente forma, se tendrán dos tipos de losas, la primera será una losa continua que se colocará cada vez que inicie un *cluster*, la cual será llamada Planta Baja y teniendo

como principal característica jardineras, el segundo tipo de nivel consiste en una losa que no es continua, la cual contiene vacíos en el lado colindante a los muros de concreto y se repite los siguientes dos niveles y el último nivel del *cluster* estará conformado por una losa similar a la de la planta baja, también siendo una losa corrida.

Cada una de las losas será soportada por armaduras metálicas, llamadas tridi-trabes, y por perfiles estructurales entre el perímetro de la fachada y los muros de concreto, sin embargo el armado de cada losa es diferente, a continuación describiré los dos tipos de armada que hay en las losas.

Las losas corridas estarán soportadas en la fachada sur por dos perfiles metálicos que se van abriendo, el sistema se completa con perfiles metálicos y armaduras tridi-trabe, los cuales varían de largo dependiendo el nivel de separación entre sí de 3.50 m, la función de estos elementos es conectar el muro de concreto con los dos perfiles metálicos de la fachada.

Por otra parte la losa que no es continua en la parte perimetral de la fachada sur tiene el mismo armado que la losa continua, sin embargo los perfiles metálicos y las tridi-trabes no llegan a conectar con el muro de concreto, por lo tanto tendrán que ser apoyadas en una armadura metálica que abarca todo el ancho del nivel. La función principal de esta armadura es el de repartir la carga de la losa a lo largo de los lados del edificio, con el apoyo de la base en un extremo y las columnas de los estabilizadores en el otro.

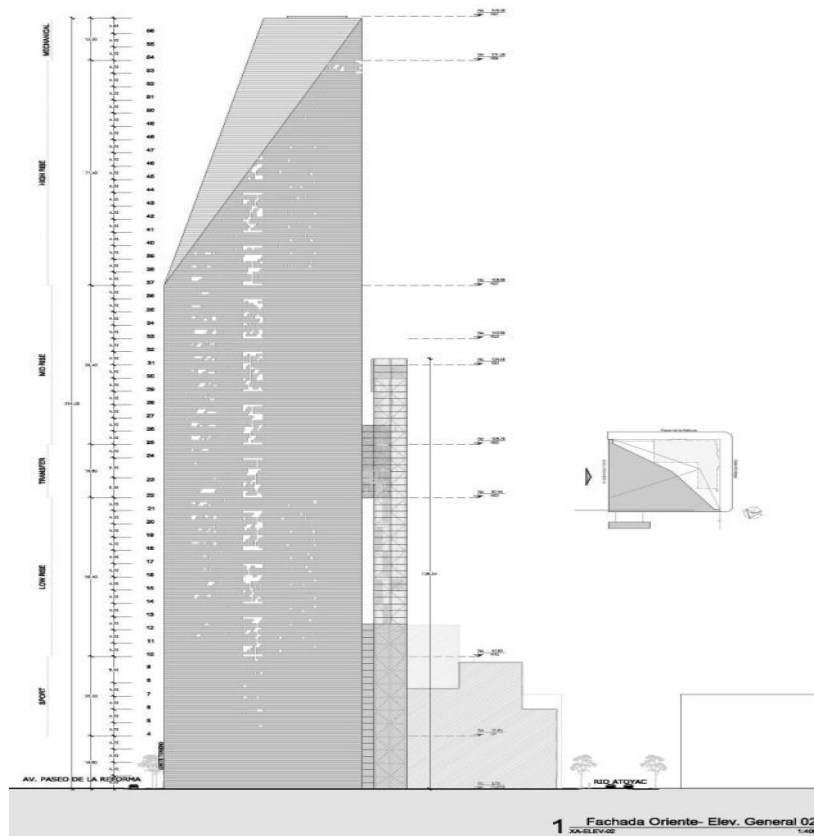


Ilustración 1.8
Proyecto Torre Reforma

El estacionamiento robótico de Torre Reforma ocupará una posición adyacente a la torre, con acceso por la calle de Río Elba, este elemento de la superestructura, formará parte de la estructura principal de la torre, compartiendo el acero estructural y concreto. Cada losa de esta estructura, no está unida lateralmente a la estructura principal de la torre del estacionamiento, por lo que requiere de un sistema totalmente independiente. La estabilidad lateral de esta edificación se obtiene principalmente por medio de marcos arriostrados concéntricamente, así como el apoyo de la torre principal de oficinas.

1.7 Proyecto arquitectónico

A continuación se describirá el proyecto arquitectónico de acuerdo a lo establecido en los reglamentos y normas, internacionales y nacionales, apoyados en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

Instalación hidráulica

Se planea que el agua potable sea llevada por medio de una línea de conducción al tanque principal, ubicado en un nivel bajo de la torre, con un volumen estimado para soportar 48 horas sin suministro de agua en caso de interrupción del servicio, por lo que se consideró un gasto promedio de 35 litros por día por persona.

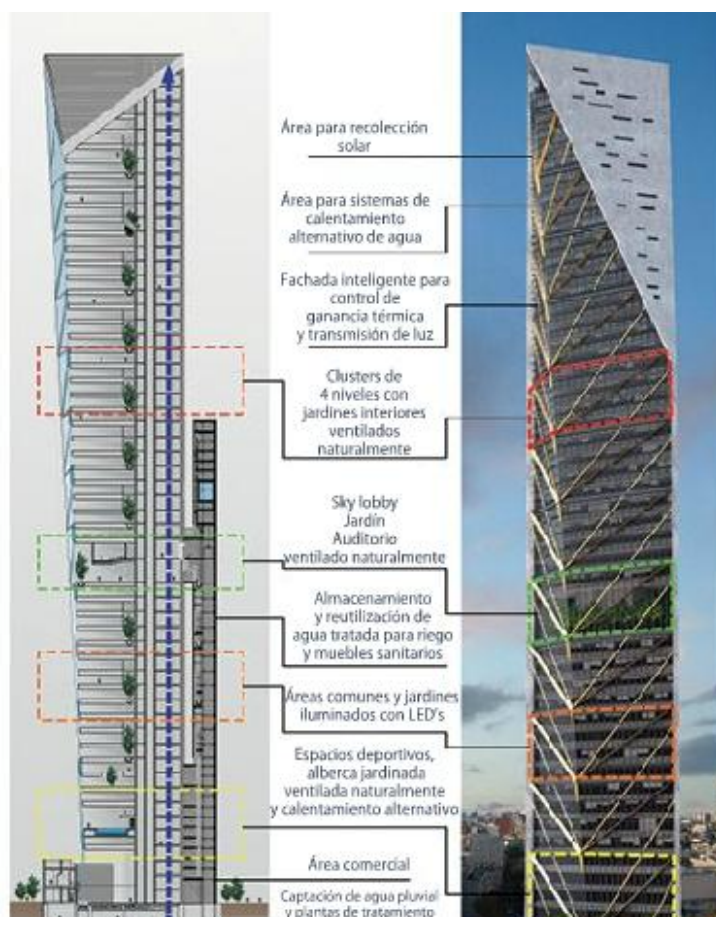


Ilustración 1.9
Torre Reforma edificio a la vanguardia internacional.

Instalación sanitaria

La construcción de la instalación sanitaria, contará con tuberías de pendientes uniformes, pudiendo operar todo el sistema por medio de gravedad, el agua residual será transportada por medio de tuberías hacia la calle, por otra parte los residuos de grasas provenientes de los restaurantes serán descargados a una trampa de grasas situada fuera del edificio antes de ser descargadas al sistema de drenaje de la ciudad.

Muebles sanitarios

Como Torre Reforma pretende obtener una certificación LEED platino, se ha propuesto utilizar muebles sanitarios de bajo consumo de agua, ejemplo de ello son llaves automáticas, mingitorios sin agua y armarios de limpieza con llaves ahorradoras, pudiendo

proporcionar una reducción significativa en cuanto al uso de agua, además de sólo utilizar agua fría en todos estos accesorios.

Sistema de aguas pluviales

El sistema de aguas pluviales estará diseñado para captar 150 mm/hora, su diseño se basa en flujos normales dentro de las tuberías, bajo condiciones normales de tormenta. Toda el agua recolectada será dirigida hacia un tanque de tormenta, para posteriormente reutilizar para el riego de áreas verdes.

Sistema de protección contra incendio

Todo el sistema contra incendios estará integrado por rociadores, además de contar con tomas siamesas a nivel de banqueta, estas últimas teniendo como toma principal un tanque principal de almacenamiento de agua, situado en el nivel S 10.

Aire Acondicionado

Como objetivo principal el sistema de aire acondicionado pretende proporcionar un ambiente agradable de temperatura en los 57 niveles del rascacielos, para sus habitantes tanto en las oficinas, como en el gimnasio y auditorio. Además, el sistema mecánico HVAC principalmente estará dirigido a la ventilación de los primeros 20 niveles por encima del estacionamiento robótico, junto con los 10 niveles subterráneos de este mismo.

El diseño del sistema mecánico deberá facilitar el acceso para la instalación y mantenimiento de los equipos, además de tomar en cuenta el confort de los ocupantes que habitaran en él, y por último la selección correcta del sistema debe considerar las condiciones geográficas, disponibilidad de equipos y fabricantes, así como el procedimiento constructivo y mantenimiento de los equipos.

Dentro del diseño se buscará que el rascacielos este diseñado para aprovechar al máximo la luz natural del día y al mismo tiempo reducir el calor solar ganado para mejorar la eficiencia energética, para así obtener una temperatura agradable dentro del edificio.

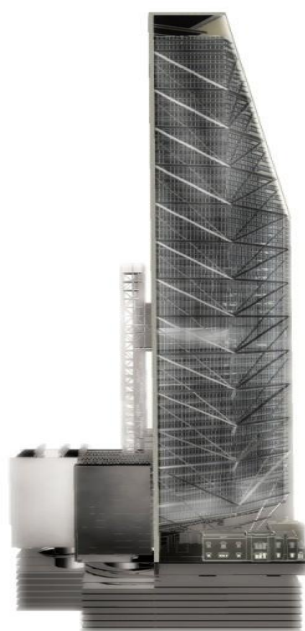
Instalación eléctrica

Como medida de ahorro en cuestión de energía, todas las luminarias de Torre Reforma serán ahorrativas, además de que cada área contará con luces activadas por sensores de movimiento o bien por sistemas computarizados para un uso eficiente de la energía eléctrica dentro de las áreas comunes del edificio. También se planea la instalación de sensores de luz para así poder regular el consumo de luz eléctrica y poder lograr una reducción significativa en el consumo de luz eléctrica aprovechando la luz natural.

1.8 El Conjunto de Torre Reforma

Como ya se menciona anteriormente el conjunto Reforma 483 estará conformado por cuatro edificios, el principal de ellos será la torre de 57 niveles, que tendrá las características ya antes mencionadas, integrando a la casa catalogada por el INBA, innovando así un estilo único sobre el conjunto de edificaciones que hay sobre Paseo de la Reforma.

Otra edificación principal, que se integra a este conjunto es el edificio denominado Shuttle ubicándose adyacentemente por la parte norte de la torre, el cual tendrá en su interior elevadores y algunos pisos serán destinados para la instalación de equipos mecánicos.



**Ilustración 1.10 Conjunto
Torre Reforma 483**

Por ese mismo lado, se encontraran los dos edificios que corresponderán a los 268 cajones del estacionamiento robótico, teniendo acceso por la calle de Río Elba y Río Atoyac.

Con esta última parte, se puede decir que el proyecto ha sido descrito de manera general, por lo que en el siguiente capítulo, se estará profundizando en el montaje de la estructura de concreto y todo lo que ello conlleva.

CAPITULO II

PLANEACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE
LA ESTRUCTURA DE CONCRETO

2 Planeación de la construcción de la estructura de concreto

En este capítulo se describen las actividades correspondientes a los elementos que componen el *cluster* 7 de la Torre Reforma, como ya lo mencionamos anteriormente dicho *cluster* comprende los niveles 25, 26, 27 y 28, cabe mencionar que los *clusters* 3, 4, 5, 8 y 9 tendrán la misma configuración que el *cluster* en cuestión. Para ello, es necesario tener en cuenta que la columna vertebral del edificio está conformado por las tres grandes estructuras de concreto ubicadas sobre los ejes “E”, “Y” y “1”, formando entre los tres el núcleo del rascacielos en la parte central, y *las dos piernas*, ubicadas sobre los ejes “1” y “E” al exterior del núcleo.

Una de las características que hace único al proyecto de Torre Reforma es la forma en la que se optimiza la estructura, el diseño arquitectónico está en función del sistema estructural, todos los elementos comúnmente utilizados en las estructuras, como son vigas, trabes y columnas, se encontrarán ahogados en el concreto, formando tres grandes muros a todo lo alto de la estructura, para sostener de una forma colgada a todos los demás elementos que conformarán el edificio.

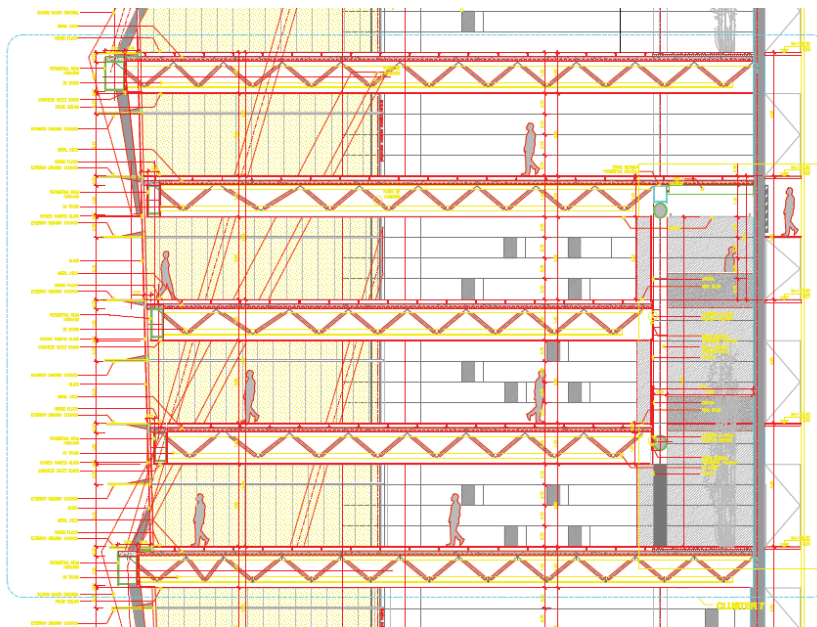


Ilustración 2.1
Corte general del cluster 7 de Torre Reforma

Como se puede apreciar, parte importante de este proyecto es la planeación, pues llevarla a cabo en tiempo y forma implicará que los objetivos planteados se alcancen, para ello será necesario fijar la atención en todas y cada una de las tareas que de una u otra manera engloban los diferentes procesos constructivos implicados en el proyecto. De ahí la importancia de realizar un análisis exhaustivo que verifique y determine posiciones, tiempos y rendimientos de cada propuesta que optimice y permita la viabilidad al montaje de las estructuras.

2.1 Restricciones

Dado que el proyecto Torre Reforma estará conformado en cuanto a su estructura principal por concreto, será necesario hacer ciertas restricciones, sin que, el proyecto se vea afectado en su proceso constructivo principal. Para ello, es necesario tener presente la propia fabricación y aplicación del concreto, el cual se elabora en estado plástico, lo que obliga a utilizar cimbras mientras adquiere suficiente resistencia y logra así una estructura autosoportante. Ahora bien, una de las principales ventajas que ofrece este material es la facilidad con que puede lograrse la continuidad de la estructura. También se debe considerar la ubicación de la obra, así como los requerimientos estéticos del edificio.

Las restricciones que presenta el proyecto se pueden dividir en tres grupos:

- Constructivas
- Físicas y normativas
- Arquitectónicas

Restricciones constructivas¹

Los muros principales del edificio tendrán que ser colados *in situ*, esto para facilitar la continuidad de la estructura, con todas las ventajas que esto supone, de esta manera, algunas de las principales restricciones en este ámbito están determinadas por:

¹ Las restricciones que menciono en este trabajo, son sólo algunas de las que hasta este momento han sido definidas, esto no implica que sean todas, sino por el contrario, son las más generales y más visibles en el inicio del proyecto.

Colocación de concreto

- Implica que a mayor altura, mayor problema para la transportación del concreto, de ahí que tanto el curado del concreto como su bombeo deban estar sujetos a lo especificado en el proyecto original.
- En cuanto a la colocación del acero de refuerzo, está sujeto a una maniobrabilidad bastante reducida, debido al poco espacio que la propia construcción tiene asignada para estas tareas.
- Ciclos de trabajo cortos, la colocación de 70 cm de altura por especificación del mismo proyecto, marca un avance gradual y medurado, lo cual permite en cierta forma mantener un orden y la calidad deseada.
- La cimbra que se utilizará debe de ser auto-trepante, debido a las condiciones del montaje de la estructura.
- Mantener el ritmo de trabajo entre el montaje del acero de refuerzo y la colocación del concreto en todo el proyecto.

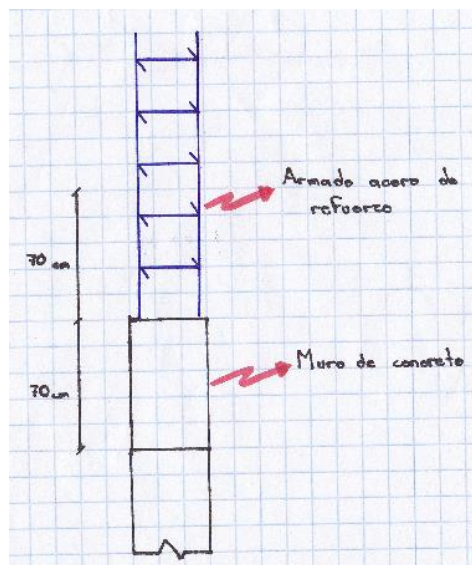


Ilustración 2.2
Esquema de secuencia del montaje

Por otra parte, es necesario considerar que, para la colocación del concreto y armado de los muro, las tareas se realizarán a una gran altura, por lo que será necesario la utilización de grúas, pluma colocadora de concreto, y otros equipos auxiliares previamente definidos en la

planeación como son: la escalera andamial, elevador de servicio, entre otros, todo esto, con el objeto de no interferir con actividades paralelas en el proyecto.

Restricciones físicas y normativas

La obra está situada dentro de un área urbana, en la delegación Cuauhtémoc, en la colonia del mismo nombre, sobre avenida Paseo de la Reforma esquina con la calle Río Elba. Se deben tomar en cuenta las colindancias de la obra y ver cuáles son los riesgos o ventajas que implica cada una de ellas. Las colindancias que se tienen son las siguientes, al norte con la calle Río Atoyac y un pequeño edificio de Planta baja y cuatro niveles con uso habitacional y comercial, al sur con Av. Paseo de la Reforma, al poniente con la calle Río Elba frente al anexo de Torre Mayor y por ultimo al oriente con un inmueble protegido por el INBA.

Dentro de estas restricciones se debe considerar el poco espacio que hay para el almacenaje de materiales y realización de maniobras, los predios sobre los cuales se desplanta la torre tienen una superficie de 692.74 m^2 , de los cuales 395.67 m^2 son ocupados por la planta baja de la Torre y 159.40 m^2 son ocupados por la casa protegida, dejado sólo 137.67 m^2 para realizar maniobras y almacenar material, esto implica que, sí se desea ocupar el área del estacionamiento robótico la losa-tapa del mismo, actualmente no está diseñada para soportar grandes cargas, en este caso tampoco para almacenaje de material, por lo que si se quisiera ocupar, el diseño estructural de está, se tendrá que revisar y rediseñar, en caso de utilizar este espacio lo más recomendable será montar la estructura de la torre y después continuar con el montaje del edificio que albergará al estacionamiento robótico, el siguiente plano muestra la distribución de las áreas de trabajo, espacios utilizados y áreas de almacenamiento.



Ilustración 2.3
Áreas para realización de trabajos

Por último, se deben tener en cuenta las restricciones sobre la casa protegida por el INBA, esta se encuentra dentro del predio que ocupará el desarrollo de la Torre, de esta manera podemos decir que más que restricción es un reto, pues la propiedad no debe sufrir alteración alguna ni en su estructura ni en su fachada, por lo que la casa protegida deberá ser considerada como parte del proyecto mismo.

Restricciones arquitectónicas

El acabado del muro debe ser aparente, de ahí que el sistema elegido para la construcción tenga que considerar esta restricción, lo que implica tomar las debidas pertinencias y cuidados a fin de no dejar marcas en el muro, así como respetar las especificaciones del proyecto arquitectónico original.

Por otra parte, el proyecto arquitectónico deberá cumplir las correctas especificaciones, respecto a los muros de concreto, que tendrán entrecalles a cada 70 cm, para dar forma y textura única a la fachada, lo que hace una particularidad de esta construcción no sólo de las edificaciones adyacentes sobre Paseo de la Reforma, sino de los edificios de la Ciudad de México.

Cada nivel de la Torre medirá 4.20 m de altura, teniendo esto en cuenta, cada nivel estará conformado por 6 hiladas de 70 cm de concreto y a su vez cada *cluster* estará integrado por 24 hiladas. Por otra parte, sólo se permitirá colar una tira por día con el propósito de dar una textura y cambio de coloración a todo lo alto de la torre, lo que requiere proponer una secuencia determinada para las operaciones de colocación del muro, de esta manera, para dar inicio a una nueva etapa de construcción será necesario esperar que se haya concluido la etapa anterior.

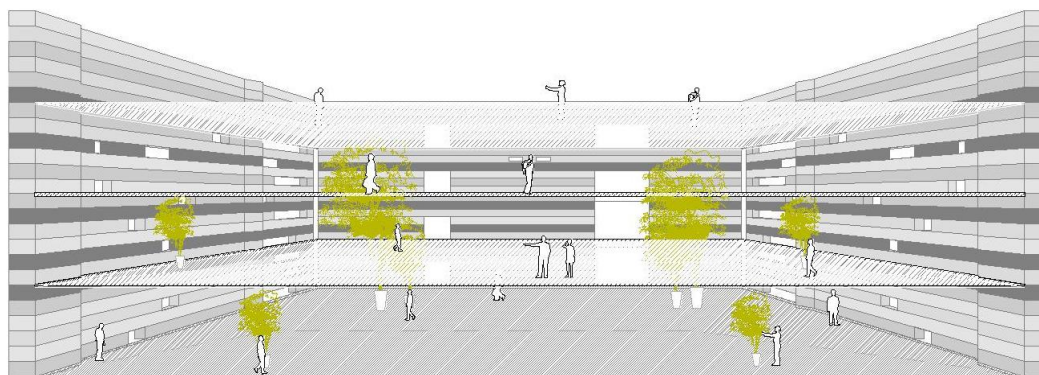


Ilustración 2.4
Representación arquitectónica de los Muros del Cluster

2.2 Descripción de los muro de concreto sobre los ejes “E”, “Y” y “1”²

Como ya se ha mencionado anteriormente, los tres muros principales de la torre son de suma importancia, ya que de ellos depende la estabilidad de todo el edificio. En estos muros (“E”, “Y” y “1”) recae la carga total del edificio, de ahí que la estructura principal de la torre estará compuesta por un muro de concreto en forma de “L” en el perímetro del edificio, con un tercer muro que conecta a los dos muros perimetrales formando un núcleo triangular al centro del edificio, mientras que una tercera cara quedará formada por cancelería. Todo el diseño estructural del edificio se realizó siguiendo los criterios del ACI (American Concrete Institute) y el reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

² Las especificaciones y normas a las cuales se hace referencia en este apartado se encuentran en el plano **S-102** correspondiente a los planos estructurales del proyecto Torre Reforma, bajo resguardo de la empresa propietaria Fondo Hexa.

A todo lo alto del edificio en los tres muros el concreto deberá ser reforzado y tener una resistencia de $f'c$ de 560 kg/cm^2 , cumpliendo la condición de que $f'c$ debe adquirir esta resistencia a los 28 días y en caso de ser concreto de alta resistencia inicial a los 7 días. Todas las mezclas utilizadas tendrán que cumplir los requisitos establecidos en el reglamento de construcciones para el Distrito Federal, así como los de la norma ACI 318. El diseño de cada mezcla que conformará a cada uno de los muros deberá ser suministrado por el contratista y ser aprobadas por un laboratorio externo y en caso de existir alguna mezcla defectuosa, deberá ser presentada al personal de obra responsable para su revisión y aprobación.

Todo el cemento utilizado en los muros estará obligado a cumplir lo establecido en la norma ASTM C 150. Los diferentes tipos de cementos como son el cemento portland puzolánico, escoria granulada de alto horno, humo de sílice o de escoria granulada de alto horno, deberán ser utilizados para reducir la cantidad total de cemento portland para la mezcla.

Los agregados utilizados para la construcción de los tres muros serán de peso normal y deberán ajustarse a las especificaciones establecidas en la norma ASTM C 33, en caso de que se utilicen agregados de peso ligero deberán apegarse a lo determinado en la norma ASTM C 330 y ASTM C 157.

Todos los elementos fabricados de concreto, en el muro deberán estar dispuestos y contruidos para proporcionar los peraltes determinados indicados en los planos estructurales y obligados a cumplir lo establecido en la norma ACI 318-05, de la misma manera, los elementos con esquinas salientes, como las columnas, vigas muros y demás componentes de la estructura, estarán formadas con bisel de 19 mm, a menos que se indique lo contrario en los planos arquitectónicos.

Las juntas constructivas deberán contar con pasadores, ensambladores y las superficies deberán ser limpiadas, quitando el residuo de colados anteriores, antes de cada colado, un ingeniero debe aprobar el área que se va a trabaja, por lo que las juntas deberán quedar

limpias en su superficie y tener un acabado rugoso con una amplitud mínima de 6 mm la cual puede ser obtenida por medios mecánicos. Las juntas constructivas deberán estar indicadas en los planos estructurales y deben estar provistas de una junta neumática que evite la absorción de agua del concreto fresco.

En cuanto al acero de refuerzo deberá cumplir las especificaciones marcadas por la norma ASTM A 615, y en caso de existir la necesidad de soldar el acero se deberán cumplir las especificaciones establecidas en las normas ASTM y AWS. Por otra parte, para todo aquel acero de refuerzo marcado como continuo en los planos, deberá ser empalmado a tensión, a menos que se indique lo contrario en los planos del proyecto. Todo el acero de refuerzo que no sea continuo al final deberá tener un gancho estándar. Finalmente el desarrollo de los empalmes se realizará de acuerdo a las tablas de detalle.

Todos los pasadores utilizados en la construcción de los muros deberán estar plenamente trabajando a tensión, a menos que se indique lo contrario y aquellos pasadores que estén unidos con paredes y columnas deberán tener el mismo fortalecimiento correspondiente de la pared o columna.

Las mallas electrosoldadas a utilizar en el proyecto deberán estar ajustadas a la ASTM A 185 y solo se podrán utilizar hojas planas.

Todo el acero de refuerzo se deberá mantener de forma segura con el fin de mantener su correcta posición mientras se coloca el concreto. Las silletas, separadores, acero de refuerzo adicional y estribos, tendrán que ser proporcionados por el contratista.

Para la realización de los colados en el muro el contratista deberá instalar todos los elementos necesarios, previamente consultando los detalles típicos de las penetraciones de las limitaciones de su posición en cuanto a refuerzo. No se debe cortar ningún refuerzo que pueda interferir con la colocación de los elementos incorporados. No se deberá mover ningún refuerzo para dar cabida a los elementos integrados excepto donde se muestre el detalle tipo, siempre y cuando sea aprobado por algún ingeniero estructural. Todas las

instalaciones mecánicas y/o conductos eléctricos no pasarán a través de columnas y vigas de concreto, a menos que se encuentre específicamente detallado en planos.

El contratista deberá notificar al laboratorio, arquitectos, ingenieros y propietario con 24 horas de anticipación antes de realizar un colado, para que se verifique la inspección tanto de diseño como de refuerzo. El colado no se llevara a cabo a menos que todos los refuerzos e instalaciones hayan sido inspeccionados.

Todas las juntas de construcción en paredes serán introducidas de acuerdo con el detalle de las juntas de construcción mostrado en los planos estructurales. Las juntas verticales de construcción en las paredes se llevarán a cabo a una distancia máxima de 12 mm. El contratista deberá asegurarse que la superficie donde realizará el siguiente colado se encuentre totalmente endurecida y sea una superficie rugosa con 6 mm de amplitud como mínimo.

Finalmente cuando los aditivos utilizados en la mezcla de concreto sean inclusores de vacíos deberán ser rígidos de poliestireno cerrado ampliado conforme a la norma ASTM C 578. Incluso el aire deberá normarse a 10% de deformación cuando sea sometido a las siguientes cargas según la norma ASTM 01621.

A continuación se mencionan las características particulares de cada uno de los muros, cuya ubicación y función de cada uno es diferente, además, se deben tener ciertos cuidados durante su construcción. Para hacer más sencilla la mención de estos muros se utilizara la nomenclatura utilizada en el proyecto, señalando cada muro en el siguiente esquema y presentando la información en la tabla³.

³ Para mayor referencia de la nomenclatura véase el plano **S-411**, del proyecto estructural Torre Reforma, bajo resguardo de la empresa propietaria Fondo Hexa.

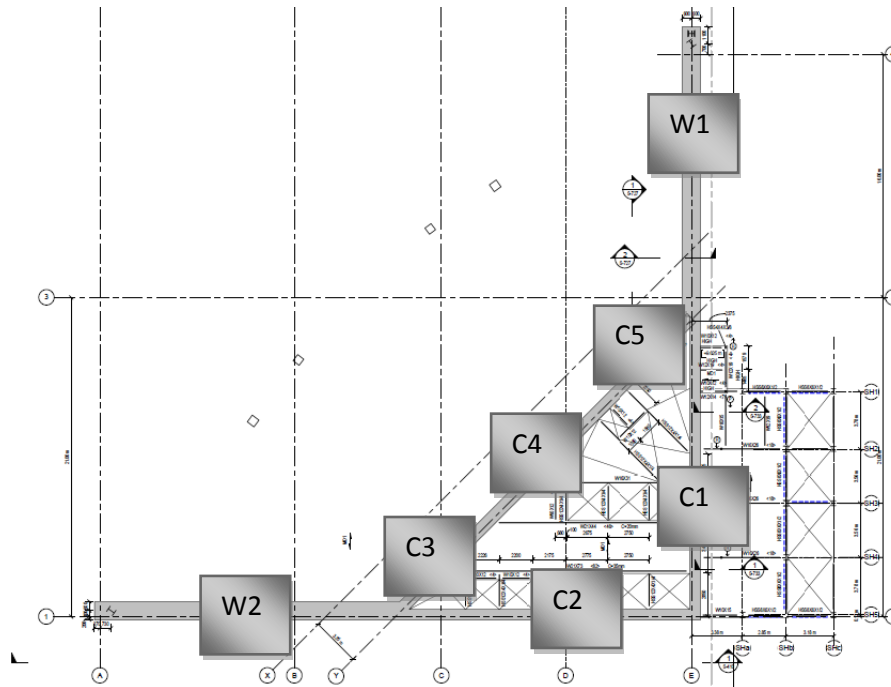


Ilustración 2.5
Vista en planta de los muros principales de Torre Reforma

Muro	Eje	Longitud (m)
C1	E	18.90
W1	E	20.10
C2	1	21.10
W2	1	18.90
C3, C4 y C5	Y	26.27

Los muros C1 y W1, están ubicados sobre el eje “E” del proyecto, en conjunto tiene una longitud de 39 m y una altura de 244 m, juntos tiene la forma regular de un rectángulo y ambos tiene como colindancia principal el edificio que albergará el estacionamiento robótico y el *Shuttle*, el espesor de estos muros varia a todo lo alto de la torre.

Los muros C2 y W2, están ubicados sobre el eje “1”, los cuales tiene una longitud de 40 m y al igual que los muros del eje “E” tienen un espesor variable a todo lo alto del edificio, la forma que tienen estos dos muros en conjunto es un trapecio rectangular, con una altura máxima de 244 m, ambos muros tienen como colindancia una casa protegida por el INBA, en el predio marcado con el número 479 adyacente al predio de construcción de la Torre Reforma.

Es necesario mencionar que tanto el muro W1 y W2 a todo lo alto en sus primeros 3 m en dirección horizontal tendrán un espesor de 1.20m, y posteriormente tendrán un espesor variable dependiendo el nivel y la altura de cada uno de estos muros, para mayor entendimiento, en la siguiente tabla se muestran los espesores de cada muro dependiendo del nivel donde se encuentre.

Tabla de espesores por nivel⁴

Muro	Nivel	Espesor (m)	Volumen (m ³)
C1 y W1	PB-4	0.90	302.4
	4-10	0.70	940.8
	10-25	0.60	1612.8
	25-41	0.45	1209.6
	41-49	0.40	537.6
	49-57	0.40	537.6
C2 y W2	PB-4	1.20	806.4
	4-10	0.70	705.6
	10-25	0.60	1612.8
	25-41	0.45	1181.8
	41-49	0.40	328.2
	49-57	0.30	108.9

El armado y estructuración de estos muros es el mismo en ambos casos, los primeros tres metros consisten en un gran armado conformado por una zona densa en acero, la cual en su centro tiene perfiles metálicos y que en conjunto deben cumplir la función de una gran columna, la parte media tendrá un armado convencional de muro por medio de parrillas, posteriormente se encontrara otra columna, teniendo como estructuración otro perfil metálico junto con un armado denso, con la finalidad de ser los apoyos principales para las armaduras colocadas sobre el eje “X”, la siguiente zona, nuevamente será un armado por parrillas, para conformar otro muro y el último cuerpo del muro será nuevamente un columna solamente armada con acero de refuerzo.

Arquitectónicamente ambas fachadas tendrán huecos a todo lo alto, el proyecto contempla fachadas automáticas en los cuatro muros (C1, W1, C2, W2), lo que implica que tengan un

⁴ Cfr. Plano **S-410**, revisión, 6 de mayo de 2011

patrón variable con el propósito de mostrar una vista estética en dos de las fachadas del rascacielos.

Por otra parte los muros C3, C4 y C5 ubicados sobre el eje “Y”, integran un tercer muro en conjunto, con una longitud de 28 m, al igual que los otros dos muros tiene un espesor variable y su forma es similar a la de un trapecio rectangular, sin embargo la punta está cortada y tiene una terminación recta, la altura máxima de este muro es de 244 m y como única característica tiene dos huecos que se repiten en cada nivel, uno de 2.15 m y otro de 4.40 m ya que serán los pasos que conectarán el área de elevadores con la parte de oficinas de la torre.

El armado del muro C3 simplemente consta de dos columnas armadas en sus extremidades y en el centro de este una parrilla doble, el armado del muro C4 que es la parte central del muro en conjunto, está integrado por dos columnas en sus extremos y por una parrilla doble en su centro y por último el muro C5 tiene un armado similar que el muro C3, solo que este tiene más longitud.

El espesor variable del muro C3, C4 y C5 se muestra en la siguiente tabla.

Muro	Nivel	Espesor (m)	Volumen (m ³)
C3, C4 y C5	PB-4	0.80	362.9
	4-10	0.60	408.2
	10-25	0.50	907.2
	25-57	0.40	1451.5

El corte general de estos dos muros se muestra a continuación en las ilustraciones siguientes.

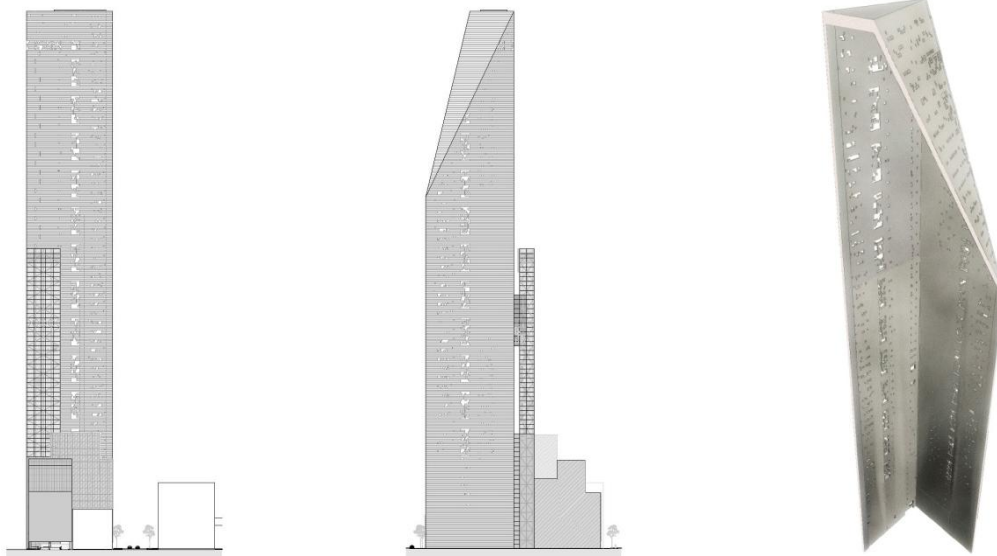


Ilustración 2.6, 2.7 y 2.8
Vista de fachadas del Edificio Torre Reforma, cortes de fachada general

2.3 Selección de equipo para el montaje de la estructura de concreto

Para la construcción de la estructura principal de concreto las características mecánicas de los materiales que se utilizarán son las siguientes:

- Concreto de $f'_c = 560 \text{ kg / cm}^2$
- Acero de refuerzo de $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$

Debido a que el concreto es un material plástico, será necesario elaborar y realizar una planeación, para determinar:

- tipo de cimbra a utilizar
- transportación del concreto
- colocación del concreto
- curado del concreto
- vibrado del concreto
- colocación de los armados
- equipos auxiliares

Cimbra

Para determinar el tipo de cimbra es necesario determinar los puntos donde esta será constante y donde presentará cambios. A continuación se muestran dichos puntos en planta y corte de fachada.

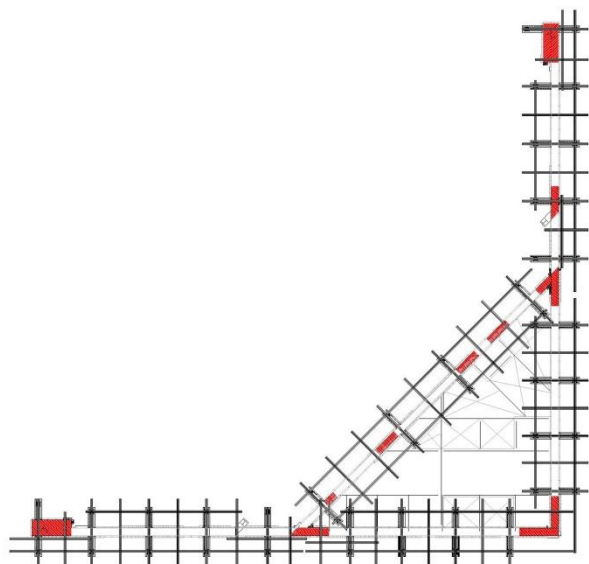


Ilustración 2.9 y 2.10
Cimbra discontinua durante el colado

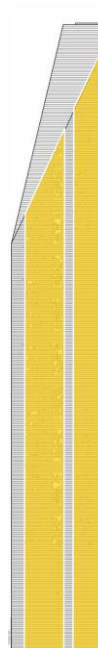
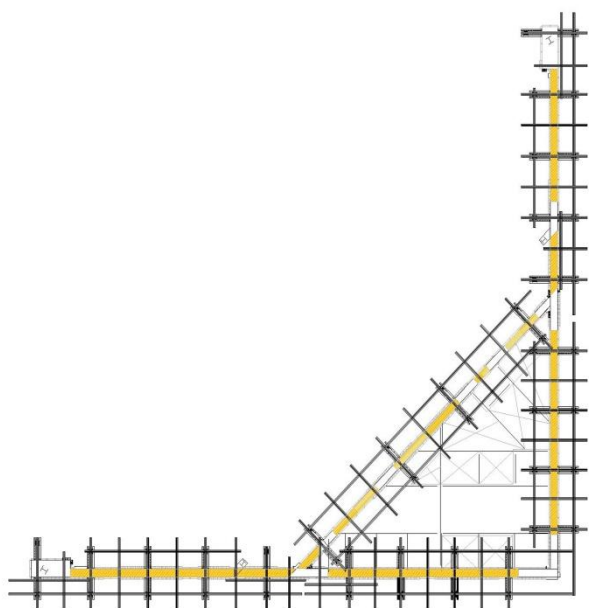


Ilustración 2.11 y 2.12
Cimbra continua durante el colado

En las siguientes imágenes se aprecian las fachadas, donde la cimbra presentará cambios.



Ilustración 2.13
Vista desde el norte de la ciudad



Ilustración 2.14
Vista desde el oriente de la ciudad

También se deberá tomar en cuenta para la selección del equipo la división del clúster, ya que cada uno mide 16.80 m de altura divididos en 4 niveles de 4.20 m.

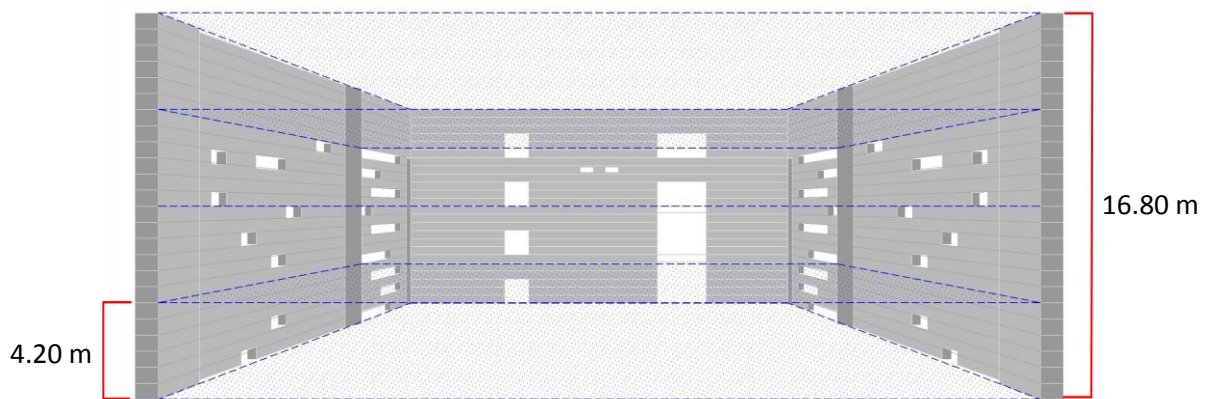


Ilustración 2.15
División del cluster

Además se debe tener presente que cada nivel está dividido en tiras de 70 cm, marcados por una entrecalle, detalle que obliga a ser considerado en el diseño y construcción de la cimbra, por otra parte se tiene que tomar en cuenta que cada una de estas tiras tendrá que ser colada en un día, ya que el tiempo ideal será completar un nivel en una semana.

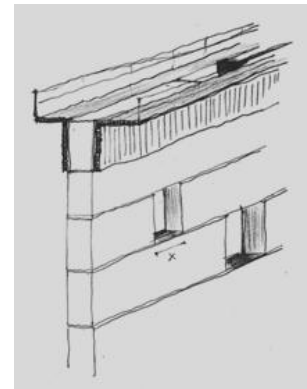


Ilustración 2.16
División del cluster y detalle de entrecalle

Con este análisis podemos decir que, el equipo conveniente a utilizar para el montaje de la estructura deberá ser una cimbra auto-trepante pues el proyecto arquitectónico exige una ingeniería de construcción compleja, debido al impresionante diseño arquitectónico que se ha proyectado. Durante el proceso de construcción será necesario el apoyo del contratista que fabrique la cimbra, debiendo garantizar el proceso de construcción que se lleve a cabo durante el montaje del edificio de la manera más rentable y óptima, ya que los niveles de

seguridad deben ser de un alto nivel de calidad, para que de esta manera esté asegurada la protección del personal que labore en la obra.

Criterios para la selección de la cimbra

La ventaja de utilizar una cimbra auto-trepante facilita la secuencia de construcción, permitiendo controlar las propiedades del concreto, como, el tiempo de fraguado, lo cual provoca que se tenga un mayor progreso en el montaje de la estructura.



Ilustración 2.17
Cimbra auto-trepante

El equipo seleccionado debe ofrecer seguridad para el personal que laborará en el montaje del muro, por lo que en su diseño debe considerar plataformas protegidas de trabajo en los andamios y encofrados, por medio de protecciones en los bordes para proveer seguridad contra caídas, además de ofrecer protección contra viento y lluvias cuando se trabaja a grandes alturas.

Otro aspecto importante es brindar la seguridad durante el movimiento de la cimbra, por lo que los sistemas utilizados deberán ser extremadamente fiables. Los sistemas se deberán ajustar cualquier carga asimétrica por medio de un sistema hidráulico, lo que implica que las plataformas siempre deberán subir en posición horizontal.

Durante el diseño de la cimbra es necesario tomar en cuenta las fuertes cargas de viento a las que será sometida, por lo que será necesario contar con equipo de apoyo, como pueden ser grúas, en caso de realizar alguna maniobra de desplazamiento. De forma predeterminada, la construcción de la cimbra habrá de ser diseñada para altas velocidades del viento de acuerdo a las normas de calidad.

Durante el montaje de la estructura, será necesario contar con técnicos especializados en el manejo de este equipo con el fin de proporcionar ayuda y apoyo, incluso más allá de la fase inicial.

El proceso de construcción con la cimbra auto-trepante optimiza todos los procesos realizados en la obra ya que no se necesita grúa alguna para la elevación de la cimbra, logrando una independencia de cada uno de los trabajos a realizar. Esto permite que las secuencias de funcionamiento previsto se mantengan o puedan acelerarse, incluso ofreciendo como ventaja el que pueda subir la cimbra bajo cualquier situación climática, ofreciendo al personal de trabajo condiciones confortables y seguras para realizar los trabajos en las plataformas, como si trabajaran a nivel de banqueta, Todas las plataformas de trabajo pueden ser cerradas para proporcionar protección en contra de las adversidades climáticas y protección de los trabajadores.



Ilustración 2.18 y 2.19
Cimbra auto-trepante con pluma colocadora de concreto

La seguridad en el diseño de la cimbra es de suma importancia, pues al dar una mayor estabilidad, la productividad de los trabajadores aumentará, es por ello que las plataformas de trabajo deben ser capaces de soportar grandes cargas, como el de la pluma colocadora de concreto o el acero de refuerzo para las secciones posteriores.

El mecanismo de escalda es la parte más importante del sistema de la cimbra auto-trepante, pues en esta parte se debe concentrar toda la fuerza para desplazar el sistema, este desplazamiento de escalada debe ocurrir sin tirones, para que todas las cargas se transfieran de manera segura durante toda la fase de escalada.

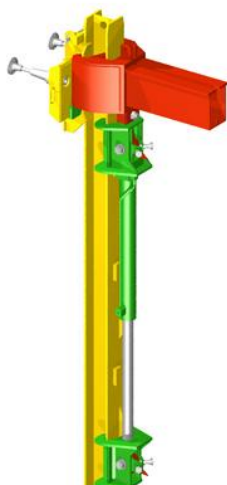


Ilustración 2.20
Mecanismo hidráulico de escalada

La velocidad de desplazamiento de la cimbra ocurre entre los 0.3 m/min. y 0.5 m/min, operación que tarde unos 15 minutos para subir un piso de altura media, que se realiza por medio de un mecanismo hidráulico, haciendo de esta maniobra silenciosa posible de realizar fuera del horario normal de trabajo sin molestar a los alrededores. El sistema puede subir y bajar, además de que también puede mover las cargas horizontales⁵.

Los anclajes utilizados para sostener los rieles por los cuales se desplazara la cimbra deben transferir las cargas hacia el edificio, esto es particularmente importante debido a que el

sistema se desplaza al día siguiente que se colocó la última sección, es por ello que deben realizarse una serie de consideraciones, tales como la estructura del edificio, la carga, el espesor y la dureza del concreto, para determinar el calzado óptimo de escalada, *climbing shoes* y el tipo de anclajes a seleccionar, junto con la determinada posición, para lograr una correcta transferencia de las fuerzas de compresión y tensión.

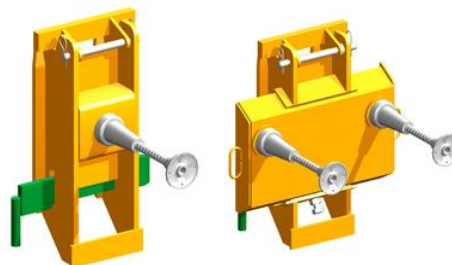


Ilustración 2.21
Diferentes tipos de anclaje (climbing shoes)

Selección de la cimbra

La cimbra más conveniente para la construcción de Torre Reforma, será una cimbra regular metálica, por las siguientes razones, los tres muros que se construirán son de forma regular y no presentan mayor cambio en su superficie, además que una cimbra metálica permite un descimbrado mucho más rápido que una cimbra de madera, la cimbra metálica permitirá

⁵ PERI, Self-Climbing Technology, PERI GmbH, 2008, p. 9

una mayor rapidez en el trabajo debido a que no se tendrán que realizar ajustes sobre el detalle arquitectónico, que llevan los muros a todo lo alto del rascacielos, ejemplo de esto, lo tenemos en las entrecalles que integran la fachada del edificio⁶.

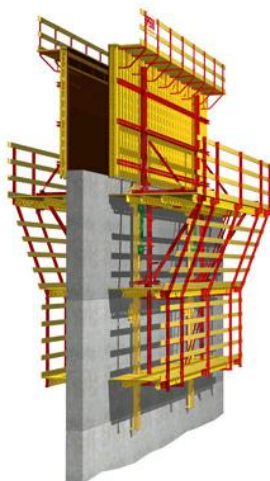


Ilustración 2.22
Cimbra regular

La cimbra regular ofrece condiciones necesarias y suficientes para su utilización, de esta manera el sistema es ideal para utilizarse en las grandes áreas de la estructura, donde las paredes tienen que ser totalmente accesibles por encima de la forma. Por otra parte, los ensamblados, parrillas y jaulas de refuerzo pueden ser levantados y colocados en su posición sin trabas.

Como característica principal para las áreas de trabajo la cimbra deberá contar con plataformas de trabajo proporcionadas, las cuales deberán tener las dimensiones adecuadas para realizar los trabajos requeridos, por lo que tendrán que tener un ancho de 2.40 m, que es lo necesario para realizar trabajos y maniobras para todo el personal que se encuentre laborando en la obra, por otra parte toda la cimbra deberá contar con barandales, ya sean de madera o metálicos y mallas, como cielo mallas, que envuelvan a todas las plataformas de trabajo para dar seguridad al personal de trabajo que labore en el montaje de la estructura de concreto.

⁶ En el momento de elaboración de este trabajo, aun no se habían definido la forma de la entrecalle, quedando pendiente dicho proceso que fundamenta la forma final del encofrado.

Las plataformas de trabajo que se deben incluir deberán ser las suficientes para ejecutar los trabajos de colocación del acero de refuerzo, para la colocación del concreto y para los trabajos de acabados. Es por ello que la cimbra deberá contar con 3 niveles cada uno de ellos para desarrollar dichas actividades.

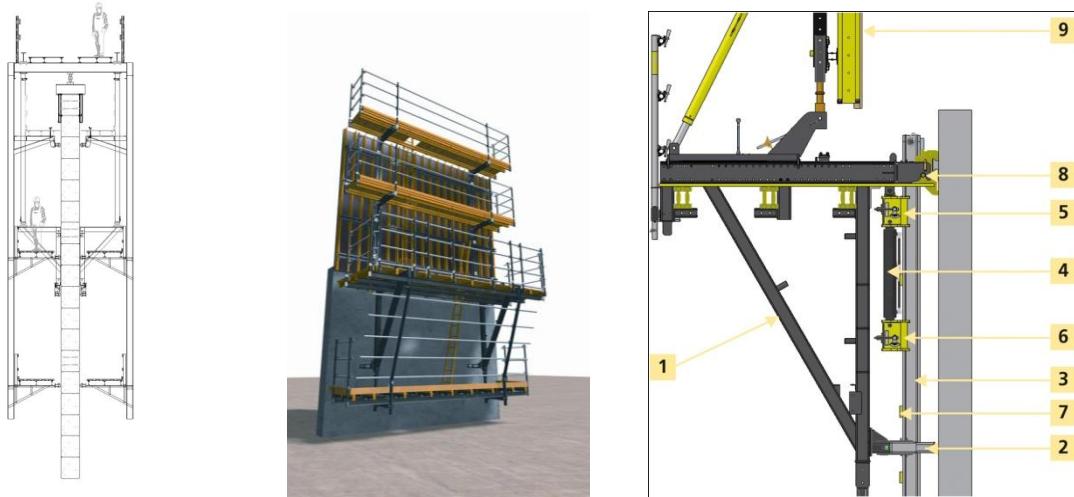


Ilustración 2.23 y 2.24

Muestran las plataformas de trabajo para desarrollar las diferentes actividades del montaje, mientras que 24 muestra el mecanismo para desplazar la cimbra⁷

Un aspecto muy importante de la cimbra y que se debe tener presente, es la modulación, la cual está en función de los tramos en que el muro será continuo y los puntos donde el muro no será continuo, por ello es necesario tener en cuenta la cimbra que se ocupara para la formación de la fachada automática de la torre, obligando a analizar diferentes tipos de materiales para la preparación de estos huecos, además de los distintos tamaños de las piezas determinando la pieza de mayor longitud y menor longitud.

Modulación para los muros C1, W1, C2 y W2

La cimbra auto-trepante no puede ser de la magnitud de los dos muros de 40 m, debido al peso que representa, esto implica una maniobra bastante compleja para su desplazamiento, de ahí que sea necesario modular la cimbra de tal forma que se obtenga el acomodo correspondiente, por tal motivo se propone lo siguiente:

⁷ 1 Soporte de escalada, 2 Anclajes de escalada, 3 Riel, 4 Gato hidráulico, 5 Cabeza superior de escalada, 6 Cabeza inferior de escalada, 7 Bloque del riel, 8 Anclaje de soporte, 9 Encofrado

1. La primera sección serán dos cimbras de 3 m cada una, la primera de ellas correspondiente a la columna que soportará en los extremos a la torre y tendrá un espesor de 1.20 m no variable a todo lo alto de la torre, mientras que la segunda será de espesor variable.
2. La segunda modulación serán dos cimbras de 4.90 m en la primera de ellas la fachada de la torre presenta cambios, por ello será necesario tomar en cuenta preparaciones durante su colado, mientras tanto la segunda cimbra presenta cambios mínimos, el espesor en ambas es variable.
3. La tercera modulación será de 4.20 m y corresponde a la sección donde la fachada presenta más cambios y huecos más grandes, además de que el espesor también es variable.
4. La cuarta sección de la cimbra será de 6.65 m correspondiente a la columna del eje “X” por lo que será necesario realizar las preparaciones y ajustes que requiere el proyecto en esta posición, además el muro presentará pequeñas variaciones de continuidad y será de espesor variable.
5. La quinta modulación será igual que la segunda, sólo con la diferencia de que el muro ya es continuo.
6. El último componente de la cimbra será de 3.50 m, correspondiente a la columna que va en el punto de intersección de los muros C1 y C2.

En el siguiente esquema se puede observar la modulación propuesta.

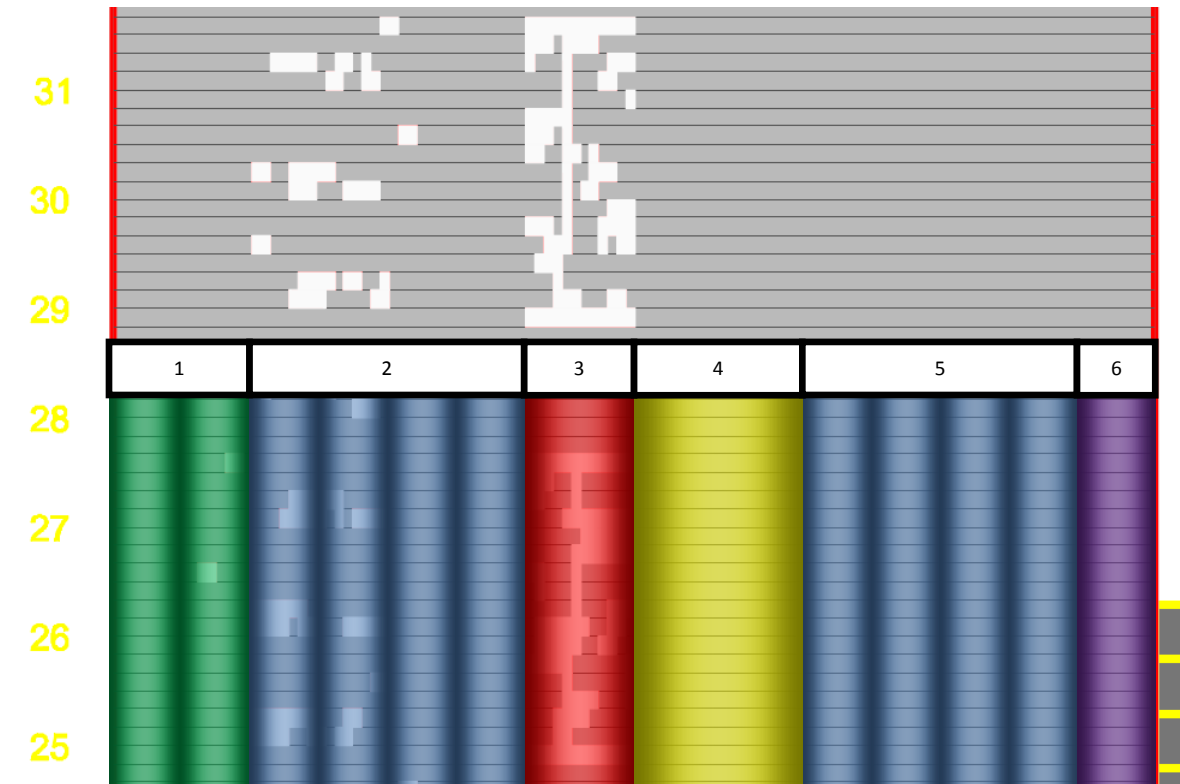


Ilustración 2.25
Modulación de la cimbra para los muros C1, W1, C2 y W2

En los módulos de la cimbra donde se presenta variación de espesor, según lo indique el proyecto, la cimbra deberá contar con un mecanismo para ir adaptando el espesor requerido.

Modulación para los muros C3, C4 y C5

Al ser un muro de 27 m y con dos ejes discontinuos la modulación es mucho más sencilla y se propone de la siguiente la manera:

1. La primera sección de la cimbra será de 3.15 m que corresponde al muro C3 y en uno de sus extremos, el que da hacia el interior de la torre, deberá tener paneles plegables para dejar las preparaciones para cuando el muro sea continuo o discontinuo.
2. El segundo componente de la cimbra serán dos cimbras una de 3.60 m que corresponden al muro C4, al igual que la primera modulación deberá contar con paneles plegables.

3. La ultima modulación de la cimbra serán dos cimbras una de 3 y la otra de 3.50 m que corresponde al muro C5, la cual en su frontera interior también deberá contar con el panel plegable.

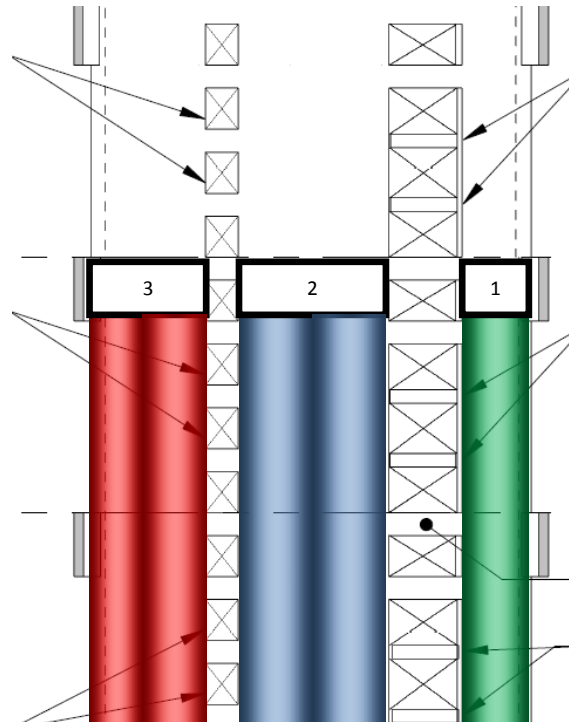


Ilustración 2.26
Modulación de la cimbra para los muros C3, C4 y C5

Piezas especiales para huecos en fachada

Como se ha visto el proyecto arquitectónico de Torre Reforma requiere de los huecos en las fachadas, lo que hace que el muro presente discontinuidades, obligando a planear las preparaciones para dichos huecos, creando la necesidad de fabricar juegos de piezas metálicas de diferentes medidas y espesores para realizar dichos huecos, con una altura de 0.70 m cada uno.

Para determinar el tamaño de las piezas será necesario examinar el tamaño de los huecos que existirán en ambos muros, por lo que se analizarán el hueco más grande del *cluster 7* para determinar el patrón y medidas de estas piezas especiales.

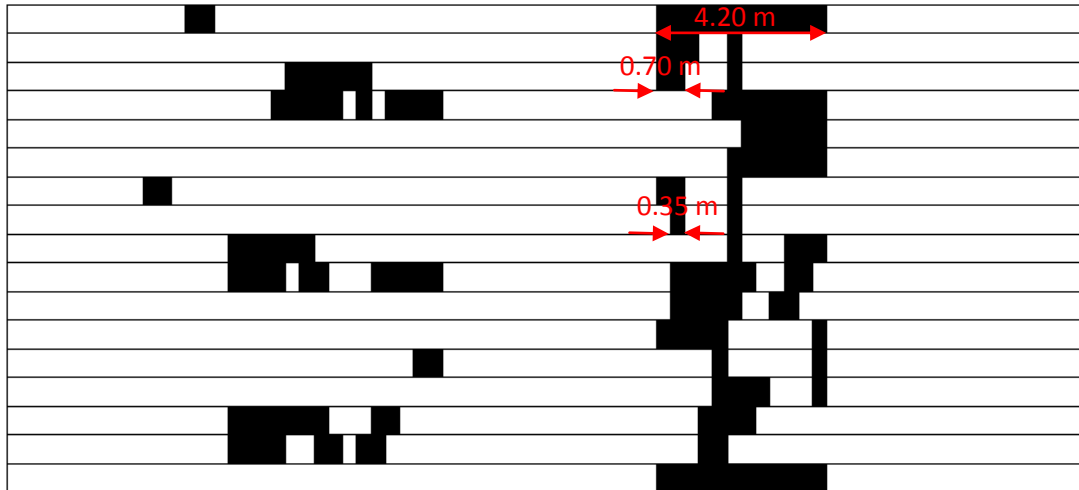


Ilustración 2.27
Huecos ubicados en el cluster 7 de Torre Reforma

Del análisis podemos concluir que, el tamaño de las piezas debe estar en función de múltiplos de 0.35 m, ya que es el tamaño más pequeño que se encontró, de esta manera se determinó que los huecos están formados de esta medida, y siendo los más grandes de 4.20 m, es por ello que se propone que las piezas que se manden fabricar sean de las siguientes medidas, 0.35, 0.70 y 2.10 m⁸

Estas piezas serán fabricadas en acero, material adecuado que resulto del siguiente análisis.

Material	Ventaja	Desventajas	Calificaciones
Madera	Es el material más utilizado para realizar la cimbra, se utiliza comúnmente para dar un acabado aparente al concreto. Su fabricación es sencilla y de bajo costo, en comparación con otros materiales y es de fácil transportación.	Para dar un acabado aparente como el que se busca obtener en Torre Reforma se debe trabajar lo suficientemente la madera para lograr el efecto deseado. El número de usos que permite la cimbra de madera es limitado, por lo que se tendrían que estar fabricando continuamente piezas. El almacenamiento del material debe ser cuidadoso, pues no puede estar expuesto a la intemperie, puede sufrir daños y quedar inservible. El tiempo de cimbrado y descimbrado es mayor,	Regular

⁸ El tipo de material está a consideración del contratista, al igual que las medidas para la cimbra de los huecos.

		debido a los ajustes que se deben estar realizando y por lo tanto requiere de mayor mano de obra.	
Acero	Al igual que la madera es un material comúnmente utilizado para la fabricación de cimbras y su almacenamiento a diferencia de la madera es mucho más sencillo, pues presenta mayor resistencia a la intemperie. Se puede construir por paneles de lámina modulando las piezas que se requieran para la formación de los huecos, además de que el acabado que toman las piezas es perfecto en su apariencia. Hay un ahorro considerable en la mano de obra y en el tiempo de los procesos de cimbrado y descimbrado, además de no requerir mano de obra especializada. La utilización de la cimbra metálica es más conveniente para las estructuras de gran altura, debido a su facilidad de instalación y sus capacidades de carga.	El costo de material es superior al de la madera, sin embargo, sólo se requiere hacer una sola inversión debido a que permite muchos más usos. La transportación de la cimbra de madera es complicada debido al peso de cada uno de los elementos, por lo que en algunas ocasiones se requerirá de otros equipos para realizar sus movimientos. Uno de los principales problemas de este tipo de cimbra, es que no pueden tomar cualquier forma a menos que sean cimbras sobre la medida por lo que los ajustes que se realicen son con madera para poder lograr las dimensiones deseadas.	Excelente
Fibra de Vidrio	Este tipo de cimbra es económica y recuperable, permite que se le pueda dar un uso entre 7 y 9 veces. El descimbrado es rápido, se realiza por medio de aire a presión utilizando una válvula plástica, por lo que hay un ahorro de tiempo y de mano de obra, no siendo necesario el uso de mano de obra calificada. Los problemas en cuanto almacenamiento y maniobras se cancelan, además de eliminar los costos de construcción de piso y tarima. Se minimiza el uso del acero de refuerzo y por lo tanto hay un ahorro en el peso del edificio, además de que la transportación es mucho más sencilla que la del acero. El trabajo se hace más eficiente, lo que contrae una reducción en costos y pudiendo adelantar la fecha de entrega de la obra, además de que no existe la	Uno de los principales problemas de este tipo de cimbra es el cambio de volumen que sufre al momento del fraguado del concreto, debido al peso del mismo. El acabado que deja la cimbra de vidrio no es del todo bueno, debido a las preparaciones previas que se realizan para colocar los casetones de fibra vidrio, los cuales dejan marcas sobre el acabo final, y como en Torre Reforma lo que se quiere es un acabado aparente, esto representa un gran problema.	Bueno

	perdida por fracturas de los blocks.		
Unicel	Es un material fácil y ligero de transportar además de optimiza costos y mano de obra. El unicel es económico y fácil de cortar, para adaptarlo a los huecos que se requieren en la fachada automática de la torre. El almacenaje del unicel no requiere instalaciones o preparaciones especiales haciéndolo más económico.	El unicel es un material que al estar en contacto con el concreto se reduce, debido al calor que desprende el concreto al momento de estar fraguando.	Malo

Las piezas metálicas que se fabricarán contarán con tapas intercambiables debido a que el espesor de los muros a lo largo de toda la torre va cambiando, a continuación se muestra un esquema de las piezas propuestas.

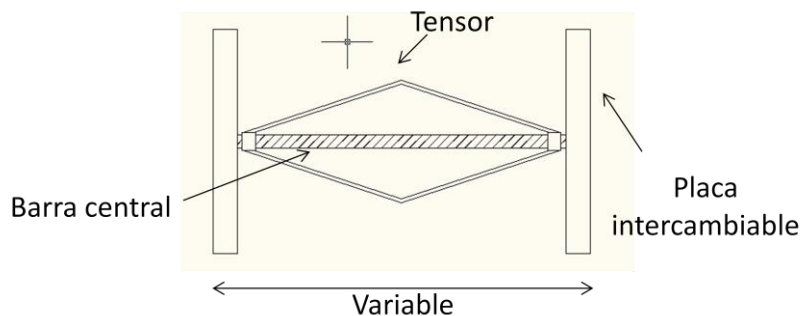


Ilustración 2.28
Piezas especiales para huecos en la fachada

Las piezas propuestas para realizar los huecos de los muros y que serán insertadas dentro de la cimbra, estarán integradas de la siguiente forma: tendrán una barra, la cual conectará a las dos placas intercambiables en sus extremos, además estará constituida con un par de tensores, para evitar alguna deformación durante el fraguado del concreto.

Secuencia de escalada de la cimbra

A continuación se muestra de manera secuencial el ciclo de trabajo, de la cimbra autotrepante.

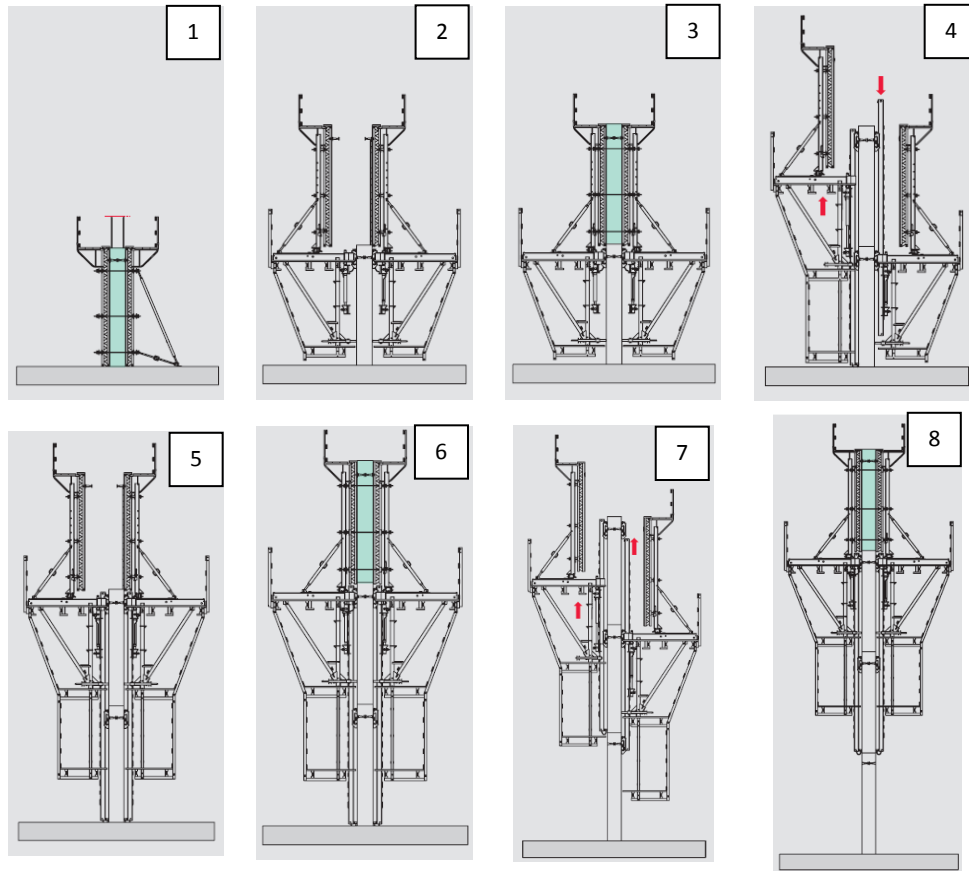


Ilustración 2.29
Secuencia de montaje con la cimbra auto-trepante

1. Se instala el encofrado junto con su plataforma de trabajo, se coloca uno de los gatos hidráulicos y se cuela la primera sección del muro (0.70 m).
2. Se descimbra, a la vez que se instala la plataforma de trabajo inferior, instalándose todo el equipo hidráulico para el desplazamiento de la cimbra y se levanta el encofrado.
3. Se colocan los armados y se coloca el concreto de la siguiente sección del muro.
4. Se descimbra, se colocan y se aseguran los rieles para el desplazamiento de la cimbra, se instala la plataforma de trabajo para acabados y se desplaza la cimbra.
5. Se coloca y se alinea el encofrado, se aseguran los rieles por medio de la anclas.
6. Se colocan los armados y se coloca el concreto de la siguiente sección del muro.
7. Se descimbra, se desplaza la cimbra y se asegura para construir la siguiente sección del muro.
8. Se colocan los armados y el concreto para volver a repetir el mismo procedimiento desde el paso 5.

2.4 Transportación del concreto

Para esta situación se plantean dos alternativas, la primera, que el concreto sea fabricado en obra, por medio de una pequeña planta dentro de la misma obra y la segunda, traer el concreto ya fabricado de una planta, es decir premezclado.

Fabricación en obra

La fabricación del concreto dentro de la obra implicará muchos cuidados y por la tanto un alto control de calidad, con el fin de evitar sobre costos, riesgos estructurales, grietas, filtraciones y muchos otros posibles problemas, es por ello, que es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones durante su fabricación, aplicación y protección del concreto hecho en obra.

Concreto premezclado

Una de las ventajas más sobresalientes que presenta el concreto premezclado es la garantía de su producción en cuanto a las propiedades mecánicas del material, avalados no sólo por un riguroso control de calidad mediante continuas pruebas que se realizan en el proceso de fabricación, sino también en el tratamiento y análisis estadístico de los mismos, así como la capacitación permanente del personal involucrado en las tareas de fabricación.

Para los dos casos anteriores sí se desea disponer de un buen concreto, se recomienda seguir los siguientes punto:

- contar con un proporcionamiento satisfactorio
- seleccionar materiales adecuados
- tener patios de almacenamiento limpios
- almacenar los pétreos por capas
- extraer el material desde abajo
- proteger al cemento de la humedad
- cumplir con el proporcionamiento requerido
- vigilar que no se vierta más agua que la especificada
- verificar que el tiempo mínimo de mezclado sean tres minutos

A continuación se muestra un análisis de las ventajas y desventajas de cada una de estas alternativas:

Concreto fabricado en obra		Concreto premezclado	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Control de componentes			
	Se deben realizar pruebas a todos los agregados pétreos que ingresen a la obra, para determinar sus características físicas, además de monitorear siempre el material entrante para asegurar la homogeneidad del concreto.	Todo proveedor de concreto premezclado antes de decidir el uso de una fuente de agregados pétreos, debe determinar sus diversas características físicas. Una vez aceptados, se monitorean continuamente para que las características perduren al recibir nuevos materiales y asegurar la homogeneidad del concreto durante su proceso de elaboración. En el caso de que se decida emplear aditivos químicos, se realizan ensayos en los laboratorios de planta, lo que permite efectuar la mejor elección y dosificación de los mismos de acuerdo con la mezcla de cemento y agregados que se vaya a emplear.	
Almacenamiento			
	Es más fácil que los materiales se contaminen debido al movimiento que hay dentro de la obra, además de que al poco espacio que hay dentro no dificulta los métodos adecuados para que no se modifiquen las propiedades de los materiales.	No existe la necesidad de almacenar material debido a que ya viene fabricado de una planta.	
Concreto y vida útil			
El concreto es un material que presenta la particularidad de que puede ser realizado en cualquier lugar y de cualquier manera, pero se debe tener bien en	El concreto es uno de los pocos materiales o productos que no son almacenables; por lo tanto, no se puede producir y mantener para comprobar su calidad	Como el concreto es un material no almacenable, solo cuando se requiera se solicita la cantidad necesaria a la planta.	

claro que de la forma de ejecución, del control de los materiales, de su colocación y curado, depende la calidad futura de la estructura de concreto en toda su vida útil.	antes de ser utilizado en la obra (con excepción de los elementos prefabricados).		
Dosificación por volumen			
	Al realizarse una mezcla de concreto con maquinaria correspondiente, se obtiene un concreto de baja calidad. A este material preparado en obra solamente se le puede exigir una resistencia acorde a estructuras de menor importancia con resistencias bajas a la compresión.	Al tratarse de una estructura compleja y con requerimientos especiales, se debe tener un eficiente control de calidad resistencia y durabilidad, condiciones que se contralan en las plantas de concreto.	
Dosificación por peso			
	Es muy difícil lograr una dosificación por peso y exacta dentro de la obra para el concreto, y más si el proyecto presenta requerimientos específicos y complejos, como es el caso de Torre Reforma.	La dosificación del concreto premezclado se realiza siempre por peso en las plantas premezcladoras. El operador de la planta recibe del personal del laboratorio las dosificaciones finales con las que debe trabajar, cuyos contenidos están dentro de los límites establecidos por las normas en vigencia, determinando la humedad de los materiales y garantizando de esta manera una proporción adecuada de agregado grueso y fino, lo que redundará en un concreto más homogéneo, cohesivo en estado plástico y más durable en estado endurecido.	
Espacio a utilizar			
La producción de concreto se puede realizar en cualquier momento y si se tiene una idea de cuánto	Como es necesaria la instalación equipos, y el espacio dentro de la obra es reducido, esto implicaría reducir aún	No es necesaria una gran área, solo se necesita un espacio para la descarga del concreto a colocar.	

concreto se requiere por día los colados se pueden realizar de forma continua, pues no es necesario esperar que el concreto llegue a la obra.	más los espacios para que otros equipos realicen maniobras, como la reducción de espacios para el almacenamiento del material, además, una planta premezcladora de concreto produce demasiado polvo y en un área urbana intensifica la contaminación del medio ambiente.		
---	--	--	--

Los principales problemas que presenta el concreto mezclado en obra son los siguientes:

- a) reducción de la durabilidad
- b) agrietamientos
- c) variaciones de la resistencia a la compresión o flexión
- d) segregación de los materiales componentes
- e) falta de continuidad en el elemento estructural
- f) importantes contracciones
- g) aumento en la permeabilidad
- h) aumento en el sangrado
- i) riesgo en la estabilidad de la estructura
- j) reducción de la capacidad de adherencia con el acero de refuerzo
- k) reducción o variación del módulo de elasticidad

En caso de utilizar la planta para la fabricación del concreto el área donde se instalaría sería en un predio adyacente a la obra⁹, y el almacenamiento del material sería un área cercana a esta, con el problema que se tendrían que hacer instalaciones especiales para que los materiales no se contaminen, además de diseñar un sistema, posiblemente de bandas transportadoras, para llevar ya el concreto fabricado a su posición final.

⁹ De llevarse a cabo este proceso, implicaría gestionar los permisos correspondientes ante la delegación Cuahutémoc para que la calle Río Elba permanezca cerrada a la circulación durante el proceso construcción de la Torre.

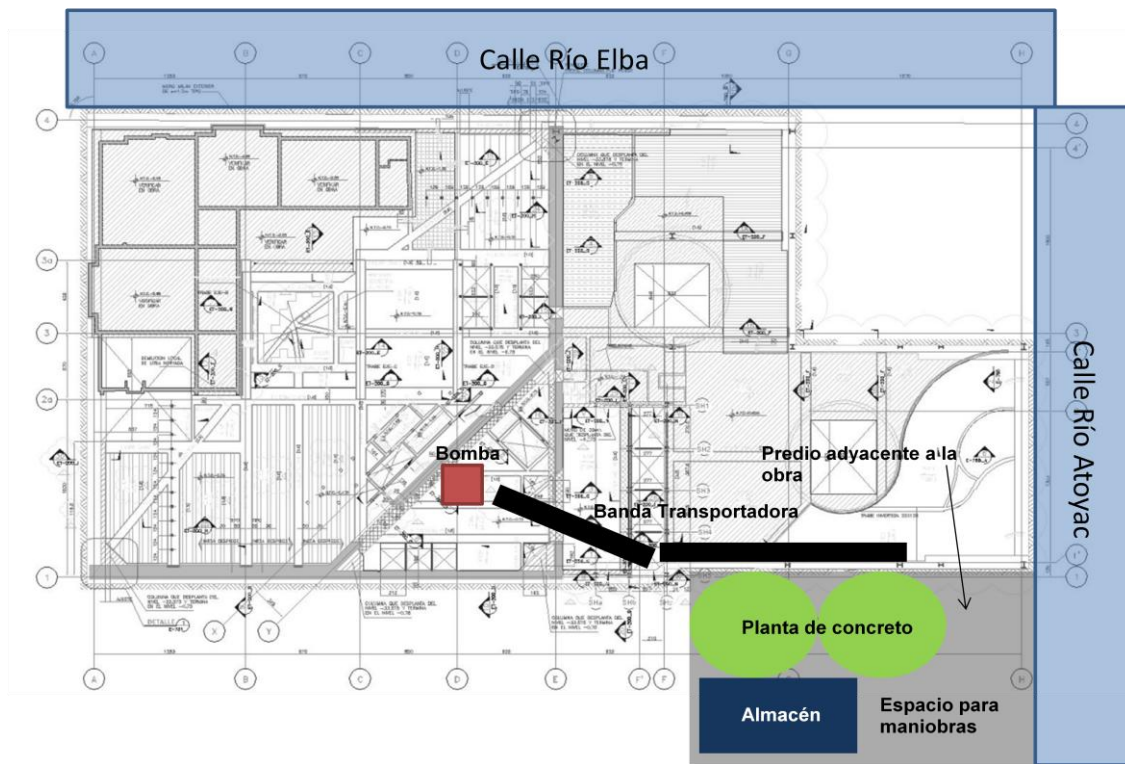


Ilustración 2.30
Propuesta con fabrica de concreto dentro de la obra

En caso de utilizar concreto premezclado estas serían las múltiples ventajas que se presentarían:

- a) considerables avances en la tecnología y el equipamiento
- b) adecuado control de calidad sobre el concreto suministrado
- c) provisión de materiales componentes con pesadas controladas y precisas
- d) posibilidad de suministro las 24 horas
- e) no se requiere espacio de almacenamiento para los agregados y el cemento en la obra.
- f) eliminación de desperdicios o fugas de materiales
- g) menor control administrativo por el volumen y dispersión de compras de agregados y cemento
- h) mayor limpieza en la obra, evitando multas por invadir frecuentemente la vía pública con los materiales
- i) asesoramiento técnico especializado sobre cualquier aspecto relacionado con el uso o característica del concreto

- j) la máxima experiencia trasladada al producto y puesta al alcance del usuario
- k) conocimiento real del costo del concreto
- l) mayores velocidades de colado y por consecuencia un avance en la terminación de la obra
- m) reducción de colados suspendidos, ya que el productor normalmente cuenta con más de una planta premezcladora
- n) disponibilidad de bombas que permitan el bombeo adecuadamente del concreto.

Dado este análisis lo más factible para la construcción de los muros principales de Torre Reforma lo mejor será utilizar concreto premezclado.¹⁰

2.5 Colocación del concreto

El empleo del concreto bombeado es la única opción viable para colar concreto en la construcción de Torre Reforma, debido al gran volumen que se debe colocar diariamente, 40 m³ y la altura a la que se tiene que colar, además si se realizará la colocación por medio del método de *batcheo* una vez ya arriba sería muy complicado, pues la *bacha* arroja el concreto de forma dispersa y provocando segregación del mismo, al ser un muro angosto se corre el riesgo de que haya desperdicio y caída del mismo material hacia los costados, manchando la fachada ya terminada, de manera es importante optimizar los beneficios que ofrece el sistema de bombeo de concreto.

Es por ello que el bombeo a grandes alturas plantea requisitos específicos al diseñar la mezcla, lo cual se puede cumplir gracias a los avances de la tecnología de los aditivos para concreto. Unas décadas atrás el concreto alcanzó alturas hasta el momento inesperadas. Por ejemplo, se bombeó concreto de alta resistencia en la construcción de la *Torre Jin Mao*, así como en las *Torres Petronas*, hasta una altura de 366 m, gracias al empleo de los aditivos¹¹.

¹⁰ Esto, debido a que no existen las condiciones, ni espacio suficiente, para la instalación de una planta de concreto, aunado a esto, el gobierno de la Ciudad de México no permite la instalación, de este tipo de plantas en zonas habitacionales, por el exceso de ruido, contaminación al medio ambiente y la gran cantidad de polvo que se genera al momento de trabajar.

¹¹ IMCyC, *Concreto bombeado en la construcción* [en línea], México, 2009, <http://www.imcyc.com/revistacyt/Oct09/tecnologia.htm>, consultada el 30 de enero, 2012

Es importante que la mezcla de concreto, para el caso de la obra de Reforma 483, esté correctamente dosificada, de modo que el concreto fluya fácilmente y de forma uniforme por la tubería. Es decir, la mezcla no debe ser demasiado cohesiva, debe presentar una consistencia que permita una buena trabajabilidad en lugar de suministro. El concreto será presionado a través de una tubería que funciona como un cilindro. Durante el bombeo el concreto fluirá como un material continuo; teniendo que pasar por todas las piezas especiales de la tubería, como son codos y reducciones. Por ello la mezcla debe ser densa y cohesiva, así como contener el suficiente porcentaje en volumen de una fracción de pasta de cemento dosificada correctamente.

Es por ello que el mayor reto en el bombeo de concreto en aplicaciones grandes a edificios consiste en alcanzar un equilibrio entre la fricción y el flujo del material¹². El empleo de aditivos fluidificantes compuestos de policarboxilato, contribuyen a la reducción de problemas en el bombeo¹³.

Un aditivo apropiado para el concreto bombeado debe reducir el contenido de agua, la fricción en la tubería, así como la tendencia a la segregación bajo presión sin aumentar las tensiones entre partículas. El aditivo debe garantizar, que la pasta de cemento se distribuya uniformemente en la tubería para que la fricción y la segregación que de ella resulten, se puedan evitar efectos que aparecerían con un contenido excesivo de agua.

En el caso de Torre Reforma es altamente recomendable la utilización de aditivos, principalmente reductores de agua o retardantes y reductores de agua, los reductores de agua de alto rango, los inclusores de aire, y los aditivos minerales finamente divididos; para mejorar las propiedades de lubricación, reducción de segregación y disminución en el sangrado, ya que en nuevos edificios que se construyen alrededor, este tipo de tecnología se está aplicando, ejemplo de ello es la *Torre Burj Dubai*, el *Tapei 101* y la *CN Tower*.

¹² *Idem.*

¹³ American Concrete Institute, ACI committe 304 Colocación de concreto por medio de bandas transportadoras, 1977, 52 págs.

Los beneficios más importantes que se pueden derivar de ocupar reductores de agua, en Torre Reforma son: una reducción de agua requerida para un revenimiento constante, por consiguiente un aumento de resistencia, sin ninguna pérdida de resistencia mejorando la capacidad del concreto para bombeo.

En caso de ocupar un reductor de agua de alto rango, se pudiese incrementar sustancialmente el revenimiento sin agua adicional; este incremento en el revenimiento se efectúa químicamente y no imparte las características usuales de sangrado rápido, segregación, baja resistencia y alta concentración que tiene lugar cuando los revenimientos se incrementan con agua.

Por último los concretos con aire incluido, son más fáciles de manejar y típicamente tienen menor segregación de agregado grueso. Además hay menos tendencia del concreto con aire incluido al sangrado, haciendo el arranque más fácil después del cierre.

Aunado a una buena mezcla de concreto, también es de vital importancia la selección de un buen equipo de bombeo, por lo que dentro de los requerimientos del proyecto Torre Reforma será necesario utilizar el siguiente equipo:

- pluma colocadora de concreto
- bomba o bombas para el bombeo del concreto

Se ha decidido utilizar una pluma para concreto, porque ofrece diversas ventajas como es, que la estructura de la torre de la pluma permite un desplazamiento vertical junto con el de la cimbra auto-trepante, en segundo lugar permite la fácil colocación del concreto gracias al radio de giro que ofrece, además de permitir una colocación puntual. El manejo de la pluma se puede llevar a cabo por medio de control remoto para tener una operación simple y más confiable y por último la recuperación de concreto incrustado en la tubería.

Debido a la complejidad del proyecto, se propone que dicha pluma sea instalada junto al muro del eje “Y”, en su parte central, ya que se aprovechara el sistema de escalada de la cimbra, por lo que será necesario realizar algunas adecuaciones e instalaciones especiales,

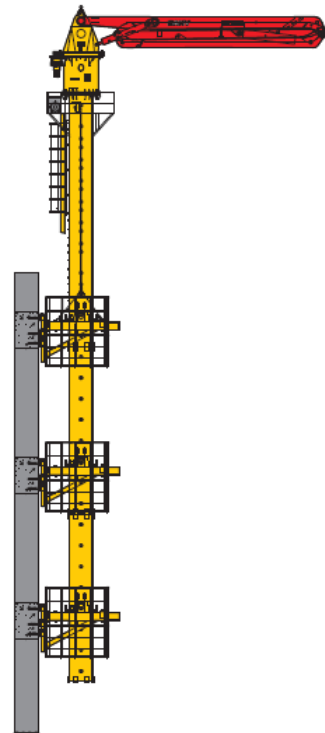
en caso de ser necesario para la instalación de dicho equipo. La distancia más crítica que tendrá la pluma desde esa posición será de 31.5 m, dicho punto se ubica en el extremo del muro W2, sobre el eje 1.

Las características que debe tener la pluma son las siguientes:

Características generales de la pluma¹⁴

máximo radio de colocación	32 m
altura de la Torre	30 m
velocidad de escalada	0.5 – 0.8 m/min
Flujo	47 L/min

En el caso del equipo de bombeo se proponen las siguientes dos alternativas, la primera de ellas un sistema de bombeo simple, el cual consistirá en una bomba de pistón compuesta por una tolva equipada con paletas remezcladoras, dicha bomba se ubicará a nivel de banqueta para recibir el concreto, por lo que será necesario que tenga la suficiente potencia para que el concreto llegue sin problema alguno a la parte más crítica de la torre, que serán los 244 m, más la distancia del brazo de la pluma.



Como segunda alternativa, se propone un sistema de re-bombeo, conformado por dos bombas de pistón, donde la primera bomba se colocará a nivel de banqueta y la segunda de ellas en un nivel intermedio de la torre.

En caso de utilizar la primera alternativa se propone utilizar la siguiente bomba:

Característica de la bomba Marca REED Modelo B20HP¹⁵	
Distancia de bombeo horizontal	670 m
Distancia de bombeo vertical	267 m
Capacidad de producción	15 m ³ /h
Tamaño máximo de agregado	3/4"



¹⁴ Véase Anexo 2

¹⁵ Véase Anexo 2

En caso contrario, para la segunda propuesta los equipos a utilizar deberán tener las siguientes características:

Característica de la bomba Marca REED Modelo B50HP¹⁶	
Distancia de bombeo horizontal	365 m
Distancia de bombeo vertical	137 m
Capacidad de producción	38 m ³ /h
Tamaño máximo de agregado	3/4"

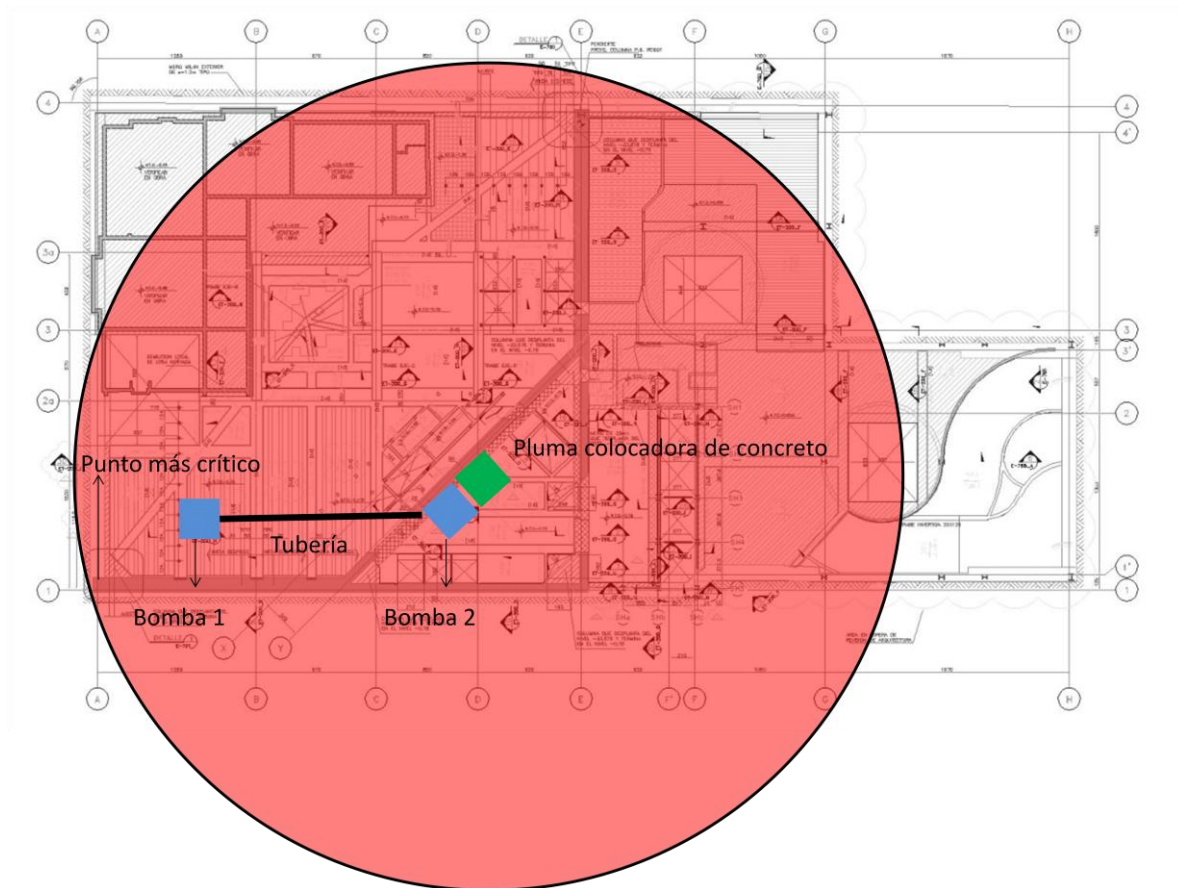


Ilustración 2.31
Radio de giro de la pluma colocadora de concreto

Es recomendable que la tubería sea la adecuada, ya que la capacidad efectiva de trabajo de una bomba y del sistema en general depende de varios factores, entre ellos la longitud de la línea, la altura a la cual se bombea el concreto, superficie interior del tubo, codos, acoplamientos y mezcla del concreto. Por lo que se debe ser muy cuidadoso en la selección

¹⁶ *Idem.*

del equipo, pues hoy en día los fabricantes han creado nuevas bombas que tienen capacidad para ejercer presiones muy por encima del concreto que está siendo bombeado; ocasionando un exceso en las presiones habituales de algunas tuberías, mangueras y acopladores comúnmente usados.

La tubería deberá ser de acero, conformada por tubos de 8 a 20 cm de diámetro, por otra parte los conductos flexibles hechos de hule son más costosos, pero proporcionan una mayor resistencia al movimiento del concreto, además que pueden ser utilizados intercambiando con secciones rígidas de tubos.

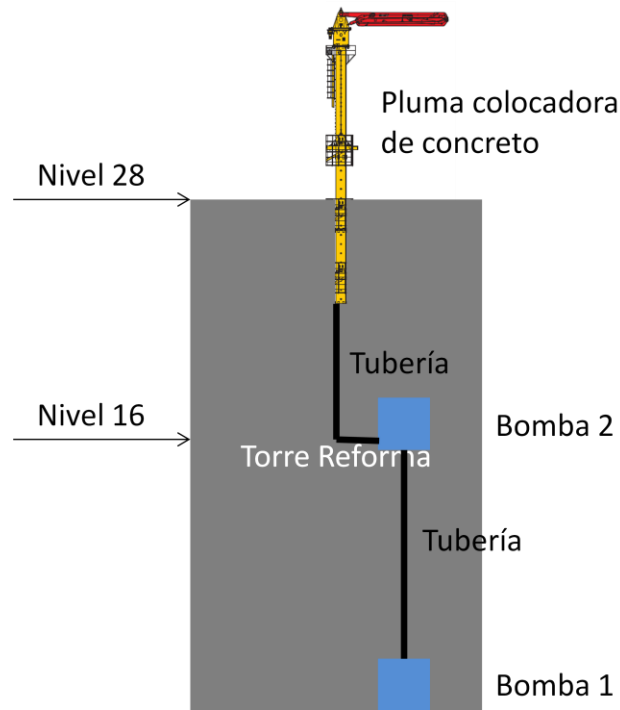


Ilustración 2.32
Colocación del sistema de rebomdeo

2.6 Vibrado del concreto

El vibrado del concreto durante el proceso de colocación tiene una función de suma importancia, pues de él dependerá la resistencia final del material en la construcción de la Torre Reforma. El objetivo principal de este proceso es lograr un mayor contacto entre los granos de la mezcla, para eliminar en lo posible, el aire atrapado dentro de estas. En Torre

Reforma puede llevarse a cabo por medios mecánicos o manuales, de acuerdo con la sección y los requisitos de calidad que deban cumplirse según el proyecto.

La importancia de eliminar el aire de la mezcla del concreto, tiene que ver con los siguientes puntos:

- cada 1% de aire atrapado reduce la resistencia del concreto en un 5% ó 6%¹⁷
- los vacíos generados por ese aire aumentan la permeabilidad del concreto y disminuyen su durabilidad
- los vacíos reducen el contacto del concreto con la varilla de refuerzo y otros elementos embebidos, lo que reduce la adherencia y la resistencia del elemento
- Los vacíos producen defectos visibles, poco estéticos y que pueden requerir de costosas reparaciones.

Existen algunas relaciones que permiten determinar la fuerza que deberá desarrollar el vibrador de encofrado. En el ACI Manual of Concrete Practice, de 1994 se señala:

Para consistencia plástica, en encofrado de vigas o muros:

$$Fuerza = 0.5 * (\text{peso del encofrado} + 0.2 \text{ peso del concreto})$$

Para consistencia seca en prefabricación:

$$Fuerza = 1.5 * (\text{peso del encofrado} + 0.2 \text{ peso del concreto})^{18}$$

Dadas estas problemáticas es recomendable realizar un buen vibrado en la colocación del concreto de Torre Reforma, dicho proceso durante la edificación del rascacielos puede llevarse a cabo por medios mecánicos o manuales, es por ello que a continuación se realizará un análisis para determinar cuál es el método más conveniente.

Los métodos a analizar son los siguientes:

- vibración interna
- vibración externa

¹⁷ El vibrado en el concreto, en *Revista construir*, América Central y el Caribe, 8 de abril, 2008, 5 págs.

¹⁸ *Idem*.

Método	Ventaja	Desventaja	Calificación
Vibración interna	El equipo más empleado en la mayoría de los procesos de construcción es el vibrador de inmersión o atizador, siendo ideal a ocuparse en Torre Reforma debido a que su manejo es sencillo y sus características permiten cambiar rápidamente de una posición a otra. Los resultados que se obtienen son excelentes, por que se trabaja directamente sobre el concreto. Existen dos tipos básicos de atizadores vibradores: Los que tienen en la cabeza solamente el mecanismo de vibración, el cual opera mediante una flecha flexible, activada ya sea por un motor de gasolina, diesel, eléctrico o neumático, lo cual ayudará a la operación una vez estando en partes altas de la torre. El segundo de ellos representa una desventaja debido a que si se opera eléctricamente requiere una intensidad de corriente especial, con una frecuencia de 200 ciclos por segundo y no debe conectarse directamente a la toma de corriente, ya que tienen motor eléctrico o neumático, y el mecanismo de vibración se encuentra en la cabeza.	La elección del equipo debe ser cuidadosa, pues de él dependerá el área de influencia. Uno de gran tamaño induce a la segregación y puede dañar el encofrado, en tanto que si es muy pequeño puede no alcanzar a reducir el aire atrapado en la proporción requerida. Un mal procedimiento de vibrado genera un concreto indeseable, con problemas en la resistencia del mismo, en consecuencia se debe utilizar mano calificada para realizar dicho trabajo.	Bueno
Vibración externa	Se puede colocar sobre una o varias caras de la cimbra, para que reciba directamente las ondas y se transmita a la masa de concreto. Este método frecuentemente se utiliza en elementos prefabricados, donde se emplean concretos de resistencias secas en secciones más o menos constantes, lo que justifica el empleo de encofrados metálicos, lo cual es ideal para ocuparse en el proyecto de Reforma 483, por el tipo de cimbra que se ocupará y por las resistencias que debe alcanzar el concreto.	La efectividad del procedimiento de vibración dependerá de la aceleración que sea capaz de transmitir el encofrado a la masa de concreto. La cimbra deberá estar diseñada y construida para soportar las repetidas revisiones del esfuerzo y ser capaz de extender uniformemente las vibraciones sobre un área considerable.	Excelente

Del análisis anterior se propone que el vibrado se puede realizar de las formas, tanto interna como externa, pues las condiciones del proyecto en algunas partes no permitirá la

utilización de vibrado interno, por la cantidad de acero de refuerzo que se encontrará impidiendo realizar este procedimiento por el poco espacio de maniobra y operación lo cual implica utilizar el método de vibrado exterior.

Las secciones donde se utilizará vibrado interior y exterior se muestran en el siguiente esquema.

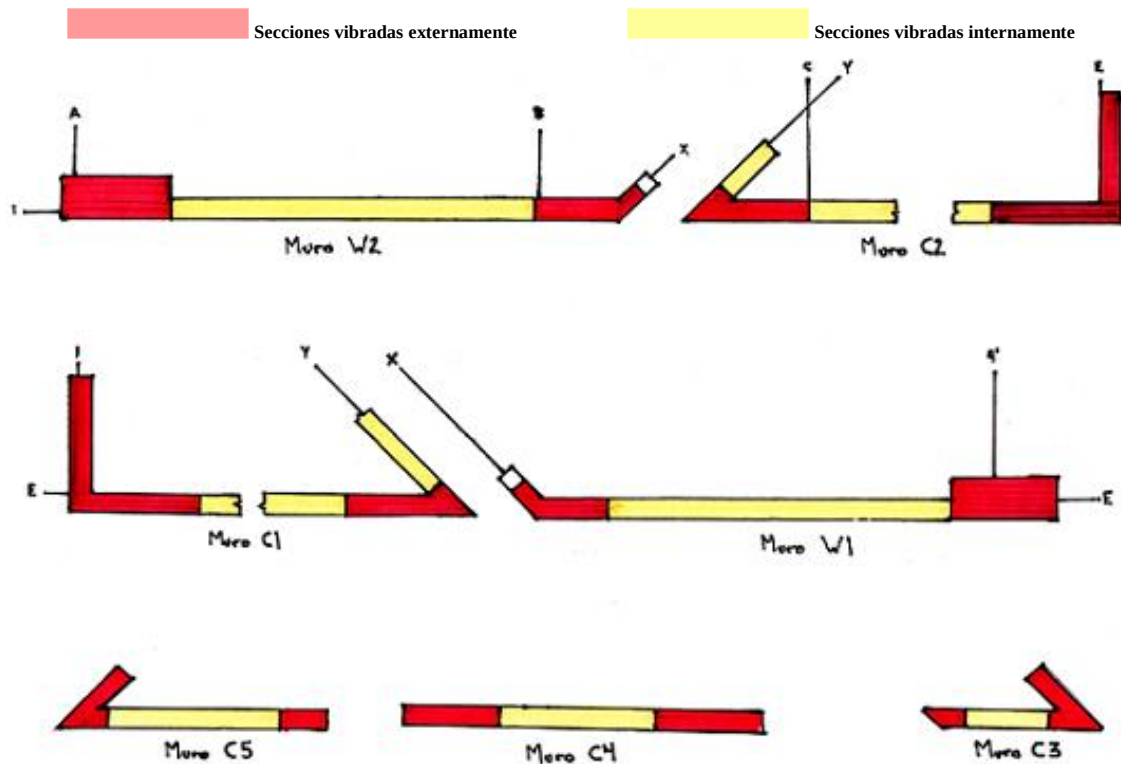


Ilustración 2.33
Señalización de las secciones que serán vibradas internas y externamente

2.7 Curado del concreto

Una vez ya colocado el concreto es necesario realizar el curado del mismo, ya que es un proceso de vital importancia durante la construcción del rascacielos, para ello, se proponen tres alternativas, curado por medio de vapor, curado por medio de agua y curado por medio de membranas químicas.

A continuación se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de las alternativas:

Método	Ventaja	Desventaja	Calificación
Curado por medio de vapor	Permite ganar resistencia rápidamente. Se utiliza tanto para estructuras coladas <i>in situ</i> como para las prefabricadas, siendo más utilizado para las segunda, lo que da como ventaja por el ritmo de trabajo que se va a tener que el curado se realice de forma rápida. La resistencia obtenida con los concretos curados a vapor es mucho más superior que la de un concreto curado convencionalmente.	Los equipos a utilizarse son de mucho peso y ocupan mucho espacio, lo cual a gran altura no permitirá una fácil movilidad de los mismos. Se debe cuidar que los cambios de temperatura no se produzcan bruscamente, esto puede ocasionar que el material se resquebraje.	Regular
Curado por membranas químicas	La aplicación de estos productos se lleva a cabo con brocha y rodillo. Se puede aplicar una sola capa, pero donde sea posible, es deseable aplicar una segunda capa, para obtener un mejor recubrimiento y su aplicación deberá ser de forma perpendicular.	Se aplican a la superficie del concreto alrededor de una hora después de haberse colocado. No se recomienda aplicarlo al concreto que aun está en etapa de exudado o que aún tiene un brillo visible de agua sobre la superficie, algunos de estos materiales llegan a dejar marca en la superficie, lo que afecta al proyecto arquitectónico ¹⁹ .	Regular
Curado por medio de agua con telas	Se puede realizar por cuatro formas diferentes por inmersión, haciendo uso de rociadores, utilizando coberturas húmedas como yute y utilizando tierra, arena o aserrín sobre el concreto recién vaciado. Para el caso de la obra de Torre Reforma lo más sencillo será utilizar coberturas húmedas.	Debe tenerse cuidado que las telas estén permanentemente húmedas, para que el concreto absorba el agua. Los bordes de las mantas deben solaparse o superponerse y fijar contrapesos para que no sean levantadas por el viento.	Buena
Laminas plásticas	Es un método mucho más económico, los plásticos deben ser puestos directo sobre la superficie y pueden llegar a utilizarse sobre las mantas húmedas para retener la humedad.	Si no se fijan bien, pueden llegar a moverse, es por ello que los bordes de las láminas deben solaparse, fijarse con una cinta adhesiva impermeable y tener contrapesos para evitar que el viento se introduzca por debajo del plástico. El plástico puede formar bandas oscuras siempre que una arruga toque el concreto, por lo que el plástico no debe ser utilizado en concretos donde es importante la apariencia. ²⁰	Buena

Dado este análisis se determina que el mejor método de curado para el concreto de los muros principales de la torre serán, las laminas plásticas y el curado por medio de agua con telas, por que facilitarán el trabajo de curado en las partes más altas de la torre, se debe tener en cuenta que las telas deben estar humedecidas lo suficiente para realizar un buen

¹⁹ National Ready Mixed Concrete Association, *CIP 11- Curado de concreto en el lugar* [en línea], México, s/f. <www.nrmca.org>, consultada el 30 01 2012

²⁰ Véase en línea http://construconcreto.webpin.com/785751_4-5-Curado-del-concreto.html

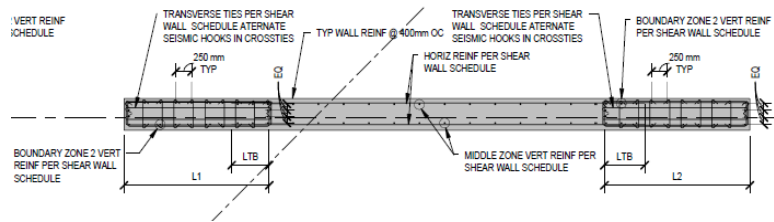


Ilustración 2.34
Muros C1, W1, C2, W2, C3, C4, C5 con sus respectivos armados

El muro C1, y C2 son similares, ambos muros se conforma de tres zonas, L1, zona media y L2, la zona L1 y L2, se encuentran a los extremos, las cuales llevan un armado de columna, es decir, el acero se encontrará colocado en dirección vertical, horizontal y transversal. Mientras que el armado de la zona media sólo será en dirección vertical y horizontal tipo parrilla.

Los muros W1 y W2 de igual forma que los anteriores son similares, dichos muros están divididos en tres zonas, L1, zona media y L2, la zona L1, tiene un armado tipo columna, con acero en dirección vertical, horizontal y transversal, pero además un elemento estructural adicional, que es un perfil metálico “I”, que se ubicará en la zona media de la columna. Posteriormente la zona media solo tendrá acero en dirección vertical y horizontal. La zona L2 de igual manera tendrá armado tipo columna.

El conjunto de los muros C3, C4 y C5, estarán armados de igual manera, tres zonas cada uno, L1, zona media y L2, la zona L1 de igual que los muros C1 y C2 será un armado de columna, la zona media será un armado tipo parrilla y la zona L2 columna de nuevo.

Los problemas identificados hasta el momento y que se pueden presentar durante la colocación del acero de refuerzo son los siguientes:

- Debido al limitado espacio de trabajo a gran altura, será necesario determinar si el armado se realizará arriba de la cimbra auto-trepante o en algún otro nivel más abajo, para después subir el armado ya ensamblado con ayuda de la grúa torre, o bien subir parte de los armados e irlos ensamblando en el sitio donde ocuparán su lugar.

- En caso de que el armado se realice tanto arriba como abajo, es necesario determinar que altura es la más conveniente para que el acero de refuerzo sobresalga sin que sufra deformación alguna, sobre la última hilada de concreto de 70 cm, una vez ya colocado en su posición final.

Es por ello que, la programación y el ritmo de avance tanto de la colocación del concreto, como del acero de refuerzo deben tener una buena planeación y deben estar coordinadas, ya que ambas actividades están interrelacionadas entre sí.

Para ello, como primera solución se propone que todos aquellos armados que son para columna, no se realicen en la cimbra auto-trepante, si no que sean hechos en algún nivel intermedio o bien en planta baja para posteriormente ser colocados con ayuda de la grúa o grúas torre. La altura de cada uno de estos armados propuesta será 4.20 m, lo equivalente a la altura de cada nivel del edificio, siempre y cuando se coloquen tensores sujetos a la cimbra, para que el acero de refuerzo no sufra deformación alguna, además de asegurar la correcta posición y sujeción de cada uno de estos armados, para que no caiga causando daños a la cimbra auto-trepante o al personal que laborará durante el montaje.



Ilustración 2.35
Armado de columna, con tensores



Ilustración 2.36
Armado de muro

Por otra parte, las zonas de la estructura de concreto que llevan armado de tipo parrilla, serán realizados sobre la cimbra deslizante, esto con ayuda de una plataforma extra que se instalará sobre la plataforma de vertido del concreto, con el fin de proveer mayor seguridad

a los trabajadores y poder realizar los armados, al mismo tiempo que se esté colocando el concreto en caso de ser necesario.

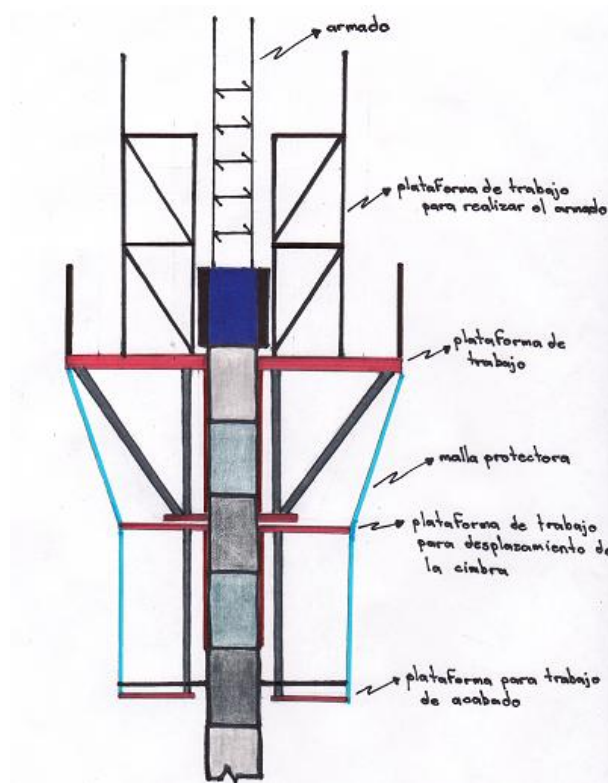


Ilustración 2.37
Esquema de armado junto con la cimbra auto-trepante

Es recomendable verificar en Torre Reforma el acero de refuerzo en las siguientes 5 etapas:

- 1) suministro
- 2) habilitado
- 3) armado
- 4) colocación
- 5) antes y durante el colado

Durante el suministro será necesario contar con una cuantificación detallada para conocer la cantidad de toneladas y diámetros necesarios o requeridos para cada trabajo donde se involucre el material. De preferencia se deberá establecer un programa de suministro con el proveedor, para no tener un excedente almacenado, ya que durante su almacenamiento se

debe estibar lotes de un mismo diámetro y grado sobre una base limpia, se debe proteger de la humedad, oxidación, grasas, u otras afecciones.

El habilitado de acero será de suma importancia, debe planearse y ejecutarse adecuadamente, ya que es indispensable respetar las longitudes de anclaje, los tipos y formas y grados de dobleces, con el menor desperdicio posible, por otra parte el ingeniero constructor debe tener muy en claro que si el habilitado de acero no está listo, se tendrán serios problemas de atraso en la construcción de la torre.

Una vez habilitado el acero, es necesario armar cada barra o elemento, tal y como se especifica en los planos del proyecto estructural, por lo que será necesario dividir en paquetes el acero, para saber que acero se trabajará abajo y que acero se trabajará en la cimbra auto-trepante.

La colocación de cada elemento ya armado se fijará de manera precisa en el sitio indicado por el plano estructural, en caso de ser un armado de columna se colocará con ayuda de la grúa torre.

En la última etapa previa al vaciado del concreto fresco sobre el acero de refuerzo, aun se podrán corregir errores en la cantidad, posición, espaciamiento y detalles del armado. Es importante revisar antes del colado que el acero, se encuentre limpio y libre de grasa, perfectamente alineado y colocado, que se cumplan los recubrimientos, que haya las suficientes calzas, firmes y que estén bien ubicadas, que los pasos para las instalaciones no provoquen barras y estribos torcidos o desplazados. Durante el colado se debe revisar que el acero no se desalineee cuidando el plomeo con una cuadrilla de topógrafos, no se debe abusar del vibrado colocando el cabezal en contacto con el acero y que las calzas permanezcan en su lugar.

A lo largo de este capítulo he tratado de dar las mayores especificaciones respecto de la estructura de concreto de la Torre Reforma.

Sin embargo, es la estructura de concreto la columna vertical de todo el edificio, pues en él se apoya toda la estructura de acero que da la solidez y resistencia de toda la obra. Finalmente, en el tercer y último capítulo trataremos la estructura de acero, de esta manera estaremos vinculando los dos aspectos fundamentales de la ingeniería civil reflejados en el proyecto Torre Reforma, La estructura de concreto y la estructura de acero.

CAPITULO III

MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DE ACERO

3. Montaje de estructura de acero

El diseño estructural de Torre Reforma es un diseño de expresión arquitectónica que busca transformar los elementos estructurales corrientes o simplemente funcionales en elementos de complacencia estética, a la vez que puede comunicar conceptos e ideas del propio proyecto, de esta manera, a lo largo de este capítulo veremos las expresiones de los detalles estructurales que quedarán plasmado en el proyecto, las formas del armado y las recomendaciones necesarias para llevarlo a cabo el ensamblado de la estructura.

3.1 Descripción de la estructura de acero¹

La función principal que desempeña la estructura de acero en un edificio, es soportar el peso de cada uno de los niveles que conformarán el total de pisos del rascacielos, en el caso de Torre Reforma la estructura de acero se conoce también como malla estructurada y contempla el uso de perfiles metálicos, los cuales tienen un funcionamiento similar a la de *tirantes*, ya que toda la torre estará sostenida por este tipo de malla y quedando en exhibición desde la fachada principal del edificio².

De esta manera, las características tecnológica del acero lo hacen un material apto para resolver los problemas estáticos estructurales, permitiendo una mayor audacia en la construcción de edificios de gran altura como lo es Torre Reforma.

Construir con acero tiene ciertas ventajas, entre ellas encontramos la de permitir de la manera más sencilla, rápida y económica, modificaciones incluso sutanciales de las estructuras, así como los más impensados usos de estás.

Para el caso Torre Reforma, los elementos principales que integrarán



Ilustración 3.1
Malla estructurada

¹ Se define como estructura a los cuerpos capaces de resistir cargas sin que exista una deformación excesiva de una de las partes con respecto a otra, de ahí que la función de una estructura consista en transmitir las fuerzas de un punto a otro en el espacio, resistiendo su aplicación sin perder la estabilidad.

² El acero es un maetrial isótropo, cuyas propiedades tecnológicas y mecánicas lo convierten en un elemento controlable en cualquier momento, además que adquiere una gran esfuerzo a resistencia de la tracción y compresión, asi como a los longitudinales o transversales.

la malla estructural constan de tres elementos:

- el primero de ellos está conformado por dos perfiles principales, que tendrán como función principal sostener al *cluster* completo, es decir los cuatro niveles que lo conforman, dichos perfiles formaran un “V”, estando conectados desde la parte central inferior del *cluster*, hasta el extremo superior del mismo.
- el segundo elemento estará formado por dos perfiles secundarios, siendo estos los encargados de dar firmeza y proteger contra sismos al edificio, dichos elementos abarcan siete niveles, formando de igual manera una “V”, que emergerá desde el centro del *cluster* inmediato anterior y conectará en el tercer nivel del *cluster* inmediato siguiente.
- el último de estos tres elementos, es un perfil que se conecta en el último nivel del *cluster* inmediato anterior, con la Planta Baja del *cluster* inmediato siguiente, con el fin de dar un mejor soporte al último nivel del *cluster* anterior, en el siguiente esquema se ilustra dicho acomodo.

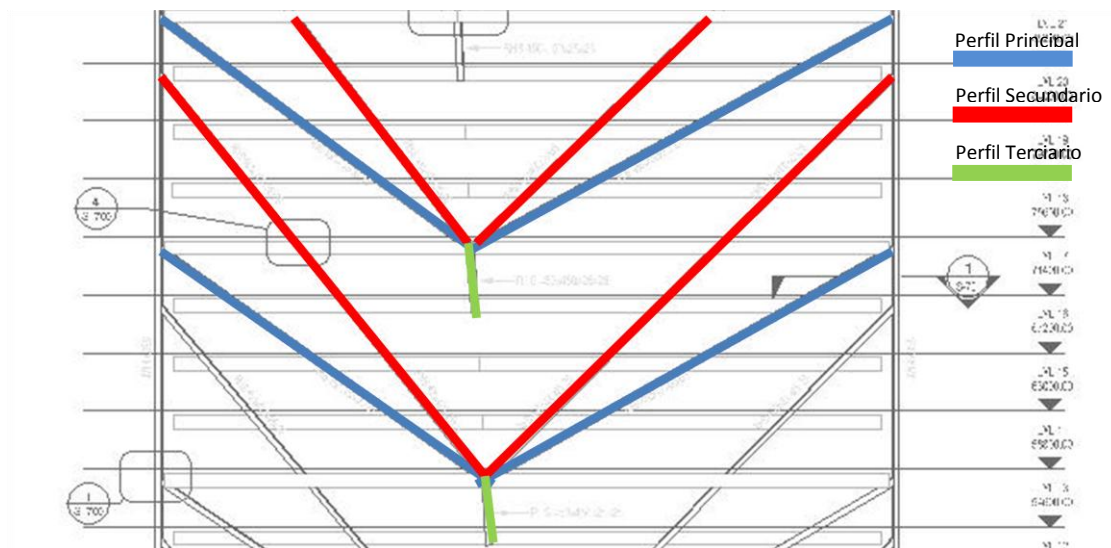


Ilustración 3.2
Perfiles principales de la malla estructurada

En la parte central de cada *cluster* conectarán cinco elementos diferentes, se utilizará una pieza metálica especial para recibir a cada uno de elementos, a continuación se muestra la forma de esta pieza.

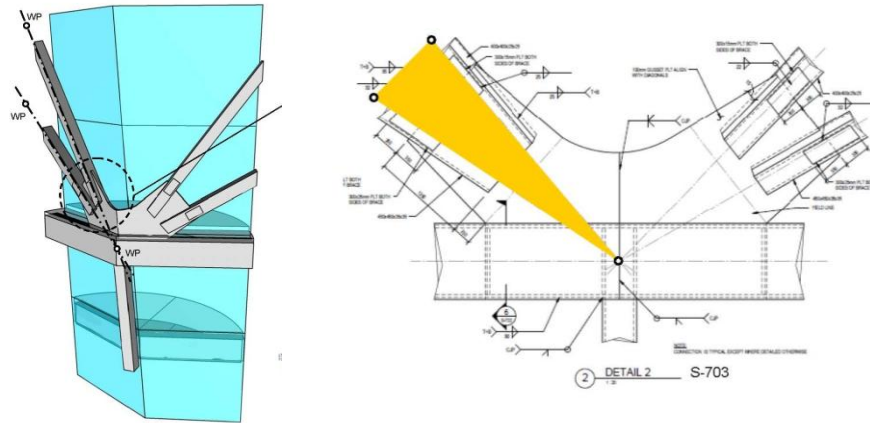


Ilustración 3.3 y 3.4
Pieza especial para conectar los perfiles de la malla estructurada

Por otra parte, la estructura metálica también esta conformada por mega-armaduras, las cuales se ubican en el eje “X” del rascacielos, con el fin de reforzar el muro del eje “Y” durante su construcción, además de ser uno de los soportes más importantes para el sistema de pisos de cada *cluster*³, pues los niveles 1,2 y 3 de cada cluster se apoyan sobre de ella, cada cluster contempla una triple altura, con el fin de crear espacios abiertos dentro de la torre.

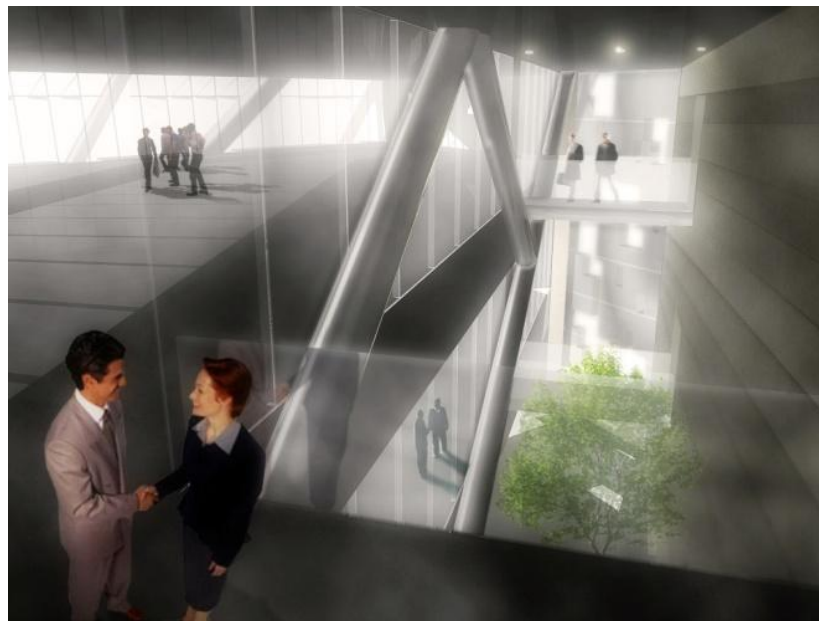


Ilustración 3.5
Vista de la mega-armadura y triple altura

³ Cfr. Pág. 16 de este mismo documento

Cada una de las mega-armaduras estará compuesta por cuatro perfiles RHS dos de ellos de 17.70 m colocados en forma de “V” y los otros dos de 8.50 m aproximadamente colocados en forma de “V” invertida, estas estructuras estarán sostenidas por dos columnas que corren a todo lo alto en ambos extremos del eje “X”, es necesario mencionar que esta estructura no se encuentra en todos los *clusters* como ya lo mencionamos anteriormente, esto debido al diseño estructural de torre y por el funcionamiento propio que tendrá cada nivel⁴.

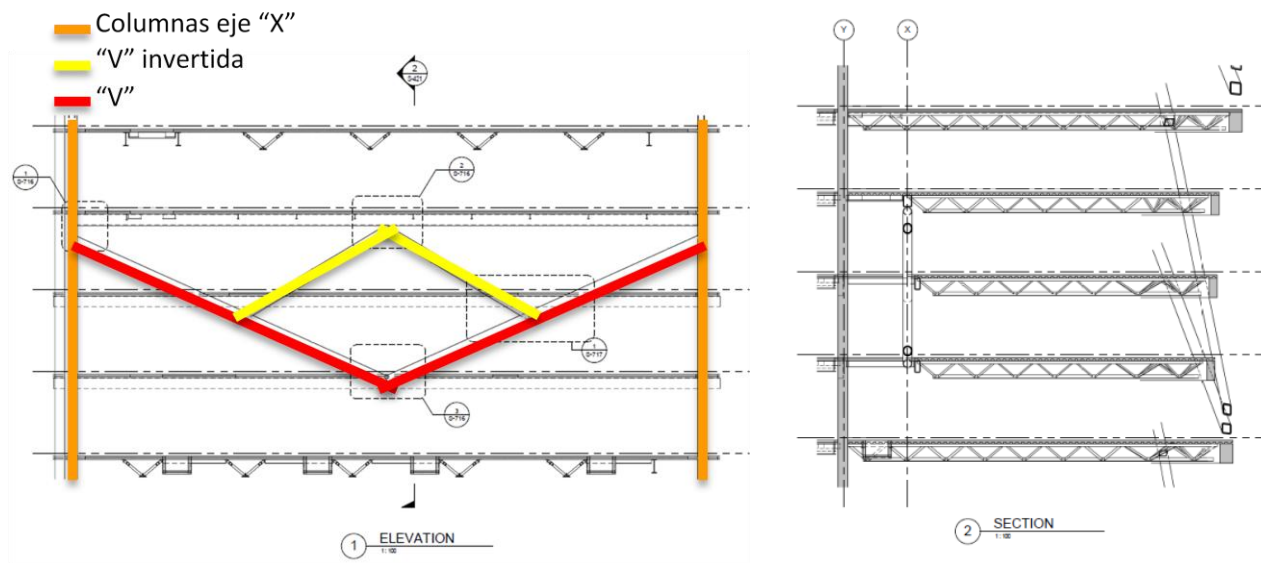


Ilustración 3.6 y 3.7
Elevación y corte de la mega-armadura

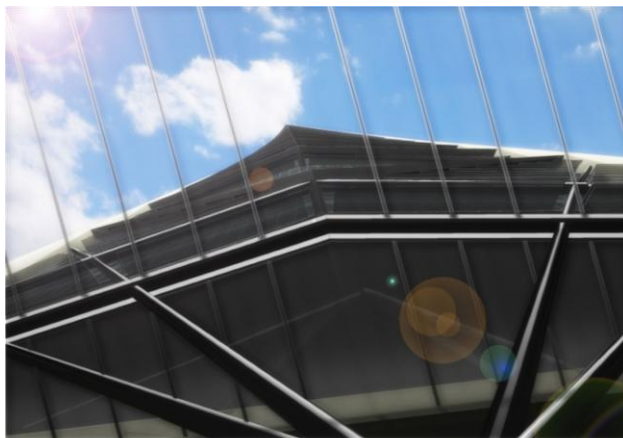


Ilustración 3.8
Vista de abajo hacia arriba del edificio (Render)

El sistema de pisos del edificio Torre Reforma esta compuesto por diversos elementos, haciéndolo singular en su diseño y estructura, pero a su vez esto implica que su construcción adquiere un grado mayor de complejidad, ningún nivel es similar a otro, todos son de diferentes dimensiones debido a que se intenta dar la apariencia de que la torre esta girada en direccion poniente.

⁴ Para mayor referencia véase anexo de plano, **S-420** del proyecto estructural de Torre Reforma

Por otro lado, la forma en la que se sostiene la planta baja de *cluster* de los niveles 1, 2 y 3 es totalmente diferente, de ahí que es importante la descripción de cada uno de ellos.

Los elementos que constituyen la planta baja de *cluster* son los siguientes:

- Perfiles perimetrales tipo “RHS”
- Tridi-trabes, constituida por perfil tipo “WT” y “RHS”
- Perfiles tipo “W”

A continuación se muestran en la gráfica 3.9

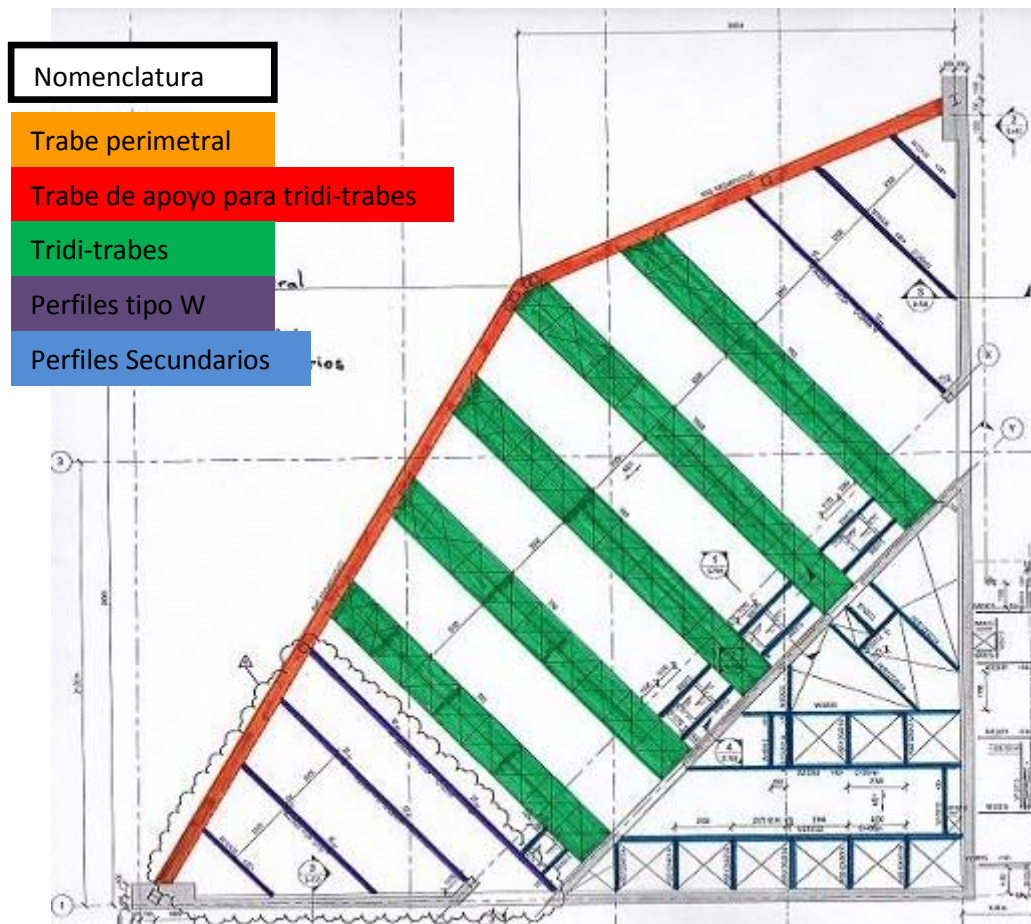


Ilustración 3.9
Plano de la planta baja del *cluster*

Los elementos que constituyen las plantas 1,2 y 3 respectivamente son los siguientes.

- Perfiles perimetrales tipo “RHS”
- Perfiles tipo RHS de apoyo para tridi-trabes
- Tridi-trabes, constituida por perfiles tipo “WT” y “RHS”

- Perfiles tipo “W”
- Perfiles secundarios

Los cuales se muestran en el siguiente plano.

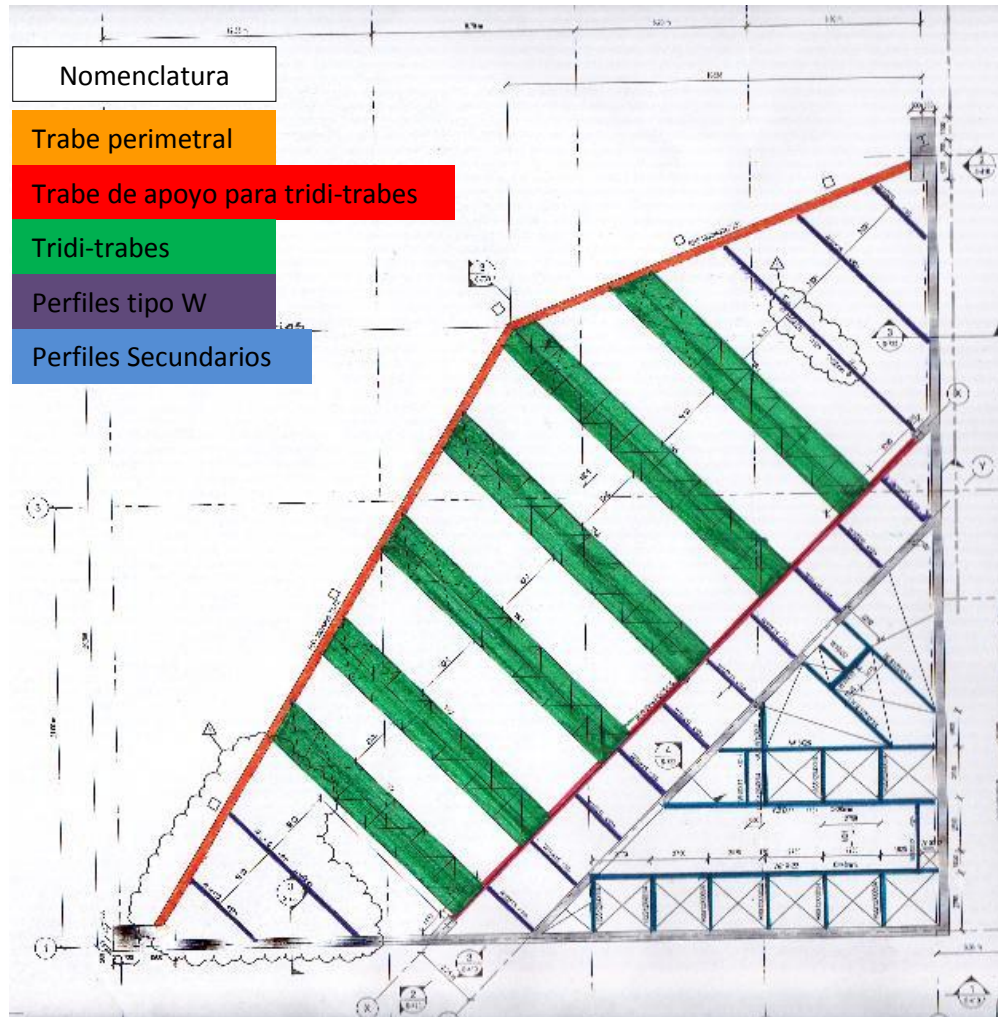


Ilustración 3.10
Plano de las plantas 1, 2, 3 del cluster

3.2 Restricciones

A diferencia de la estructura de concreto, la estructura metálica de Torre Reforma deberá trabajarse fuera de la obra, en taller o una fábrica especializada, para simplemente en obra ensamblar cada una de las piezas. Es por ello que es necesario identificar los elementos más críticos, tanto en peso como tamaño, el acero es un material que permite trabajarse en la

construcción bajo forma de chapa, perfiles tubulares y tubos acoplados entre sí, mediante pernos o remaches, que comprimen entre oportunos resaltes las partes a unir, o mediante soldadura autógena.

Las restricciones principales que se presentarán durante el montaje de la estructura son las siguientes:

- Transportación
- Plan de montaje
- Selección de grúa
- Selección de equipos auxiliares
- Constructivas

Transportación⁵

Durante la construcción de la estructura metálica en Torre Reforma, debe tenerse presente la necesidad de descomponerla en partes, proporcionalmente a su peso y a sus dimensiones, tales que, permitan el transporte hasta el lugar de montaje. El material debe estar acorde a los límites permitidos en la Ciudad de México para la transportación de este tipo de materiales. Para el Caso Torre Reforma, la transportación de las piezas se realizará a través de camiones cuya anchura está limitada a lo especificado por el reglamento de tránsito metropolitano, para este caso, el largo sugerido máximo para cada una de estas piezas será de 12 metros aproximados.

Aunque el transporte de estos elementos es menos riesgoso que los de concreto *presforzado*, no deja de existir la posibilidad de dañar las piezas, es por ello que se recomienda que:

- Las plataformas en que se muevan los elementos de la estructura tengan la longitud necesaria para evitar que se generen daños durante el transporte.

⁵ Las piezas metálicas que deben transportarse requieran una reparación a través de medios auxiliares, estos elementos impedirán que las piezas sufran desplazamientos durante el transporte, además de protegerlas para que no se deformen y sufran torciones o abolladuras o cualquier deterioro que ocasione el rechazo al momento de su montaje.

- En caso de colocar unas piezas encima de otras insertar entre ellas bloques de maderas.
- Cuando sean piezas muy grandes asegurarse de que no se presentarán obstáculos en las rutas.

El desmontaje de cada camión una vez ya estando en obra se realizara en la calle de Río Elba, ingresando por Reforma a la obra, para que la abandone por Río Elba, debido al tiempo de desmontaje de cada camión y poco espacio de almacenamiento, se propone que se desmonten de 2 a 3 camiones por entrega, por otra parte nunca se deberá dejar estacionado o parado uno de estos equipos sobre Paseo de la Reforma, el Reglamento de tránsito de la Ciudad de México, así como el Construcciones para el Distrito Federal no lo permiten, lo que podría ocasionar problemas a la obra.



Ilustración 3.11
Esquema de circulación para la descarga de perfiles metálicos

Plan de montaje

El montaje estructural de Torre Reforma, consistirá en tomar diferentes partes de acero que han sido fabricadas a base de placas, ángulos y otros perfiles, y colocarlas en el sitio de su posición correcta para formar la estructura de acero terminada, la cual contendrá los muros, pisos y el techo del edificio.

Es muy importante que la última fase de la construcción de la estructura de acero esté bien planeada y definida con el objeto de realizar un montaje bajo condiciones óptimas y mínimas fallas, de otra manera, será necesario modificar forma y dimensión de algunos elementos portantes, lo que implica un aumento en los costos programados y mayor tiempo para la actividad del montaje.

Restricciones para la selección de grúa⁶

Una vez obtenido los perfiles más críticos, tanto por dimensiones, como peso, es necesario determinar el tipo de equipos que se utilizarán así como la posición de cada uno de ellos, en base a lo ya establecido con el plan de montaje.

En el caso de Reforma al ser una estructura alta y esbelta se ha decidido utilizar grúas torre, ya que son los equipos más utilizados para el montaje de estructuras metálicas hoy día dentro de las cuales existen una gran gama de ellas en el mercado, pues podemos encontrar disponible desde bajas capacidades de carga, o bien de altas capacidades de carga a todo lo largo de su pluma. Una grúa-torre requiere de anclajes excepcionales, ya que debe contar con grandes contrapesos y tirantes, para compensar el excesivo momento de volteo.

Para determinar el tamaño, la localización, será necesario dividir la estructura, ya que mientras se esté construyendo la torre, el edificio del estacionamiento robótico y shuttle estarán montándose también, obligando a dividir en áreas y niveles, además de fijar las alturas de los niveles; para determinar un punto aproximado para localizar la grúa torre, dicho punto debe estar situado aproximadamente a la mitad de la distancia entre el sitio que se van entregar los materiales cerca de la estructura y la parte posterior del edificio, del lado opuesto de la entrega; para que de esta manera, el mástil pueda alcanzar el punto de descarga en la calle y pueda montar los elementos de la parte posterior de la estructura.

Es recomendable que la grúa torre no ocupe los espacios que corresponden a los fosos para elevadores o escaleras, de ser así interfieren los trabajos de instalación, que deben hacerse

⁶ Más adelante se detalla la selección del equipo de montaje, previo estudio de factibilidad y tomando en cuenta los criterios de los perfiles correspondientes al *cluster* 7.

lo más pronto posible, después del montaje de la estructura. La localización de la grúa debe ser tal que las líneas del aguilón y de carga no interfieran con los elementos de los niveles inferiores al ir cambiando de nivel todo el aparejo.

En todo momento se debe respetar el área libre entre la estructura y la torre sin importar que esta vaya cambiando de nivel; de otra manera tendría que omitirse muchas partes hasta que la grúa haya cambiado de nivel, así como el montaje de elementos por encima de ella. Por otra parte, se deben balancear las áreas que cubran varios equipos, para que cada uno de ellos tenga aproximadamente la misma cantidad de trabajo; de lo contrario, uno de ellos se adelantara al resto, con las complicaciones resultantes.

Por último será necesario revisar la estructura de apoyo para las vigas de levantamiento que soportarán a la grúa y si la resistencia de la estructura permanente no es suficiente para la carga, deben diseñarse soportes temporales, de ordinario, conectando los miembros espaciales directamente a las columnas cercanas a la posición de la pluma.

Restricciones para la selección de equipos auxiliares

Se refiere a la colocación de la escalera para tener acceso a las partes superiores de la torre cuando se encuentre en construcción, debido a que no es muy recomendable el uso de escaleras o andamios a grandes alturas y mucho menos si el personal que se encontrará laborando dentro de la obra es de un número considerable.

Por otra parte será necesario determinar qué tipo de equipos serán precisos utilizar para el montaje de perfiles secundarios, que no representen un peso crítico, para no estar deteniendo el montaje de la estructura principal con las grúas torres, por lo que posiblemente se utilice una mini-grúa o una grúa similar a un malacate, la mayoría de estos elementos se encuentran dentro del núcleo de concreto, áreas destinadas para elevadores, sanitarios, líneas de servicios y montacargas.

También será necesario determinar qué tipo de plataformas o apoyos se necesitarán para que los trabajadores estén seguros y cómodos durante la fijación de cada uno de los perfiles

metálicos, además de determinar, el tipo de seguridad e higiene que deberán tener cada uno de ellos, posibles soluciones de estos equipos pueden ser *mewps*, o bien plataformas tipo tijeras, analizando si la estructura es capaz de soportar estos equipos cuando se esté construyendo.



Ilustración 3.12
Equipos especiales que se podrían utilizar como minigrúa y mewps

Constructivas

La principal restricción constructiva es provocada por el mismo sistema estructural de la torre, ya que durante la construcción del edificio se debe tener muy en claro que los elementos metálicos estarán trabajando de manera parcial, o simplemente aun no estarán trabajando, en el siguiente esquema se

	Muro de concreto
	Estructura metálica horizontal con losa-acero
	Losa-acero con concreto
	Cluster completamente terminado
	Niveles apuntalados

Nomenclatura

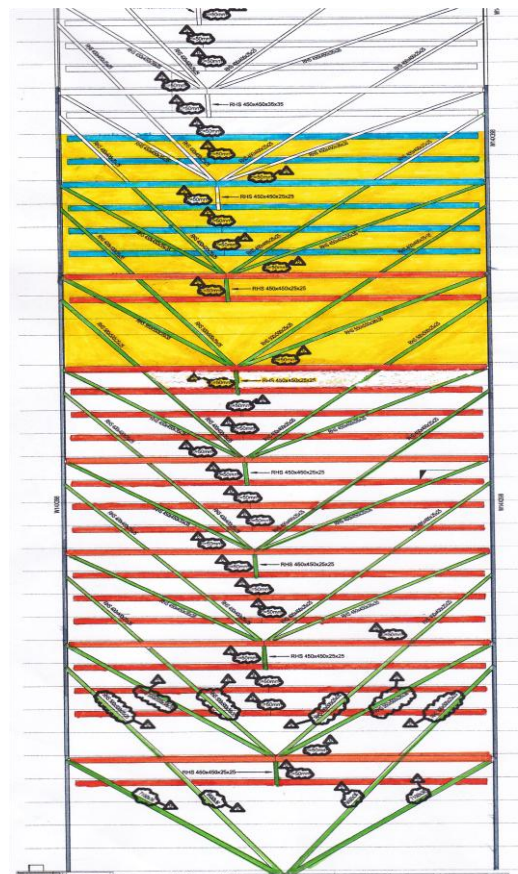


Ilustración 3.13
Restricción constructiva

muestra cual es la secuencia de trabajos que se deben realizar para que siempre se dé una seguridad estructural durante su construcción.

Como se muestra en la ilustración 3.13, será necesario partir de la condición que el muro de concreto solo puede estar sin arriostriamiento dos niveles, esto para que no sufra deformación alguna por la propia carga de su peso.

A partir del primer nivel ya colocado con losa acero (véase figura), los siguientes cinco niveles inferiores deben estar apuntalados. Es hasta el sexto nivel inferior, donde se encontrará la primer losa ya colada, sin embargo, el apuntalamiento aun se encuentra cuatro niveles más abajo.

El apuntalamiento deja de existir cuando dos *clusters* estén completamente terminados, de esta manera la malla estructurada estará quedando activa y trabajando con todos los elementos que la integran.

3.3 Transportación Propuesta

La transportación de los distintos elementos de la estructura metálica de Torre Reforma se realizará por medio de “*camas bajas*” de 42’ aproximadamente 12 m de largo, los cuales soportan una carga aproximada de 25 Ton⁷, debido a la facilidad de movilidad que ofrecen dentro de la ciudad, además de que a la hora de ingresar a la obra facilitara las maniobras en la lateral de Paseo de la Reforma ya que los radios de giro son muy estrechos.



Ilustración 3.14
Flatbed propuesto

⁷ Transcraft, Standar Duty [en línea], USA, 2012, <http://www.transcraft.com/Transcraft/TL-2000.htm>, consultada el 15 de febrero de 2012.

Es necesario que el arribo de cada una de estas unidades a la obra sea durante la madrugada, para no afectar el tránsito vehicular a los alrededores de la zona, pues como ya sabemos el predio está ubicado dentro de un área urbana con mucho movimiento de vehículos y personas, por otra parte se debe tener bien identificado cual será el orden de entrega de las piezas de la estructura, ya que el área de almacenaje es prácticamente inexistente para este tipo de perfiles, obligando a montar diariamente los elementos que en el día son entregados, sin romper la secuencia de la logística previamente establecida⁸.

Como ya se menciona anteriormente la descarga se realizará dentro de la obra sobre la calle de Río Elba, y se llevará a cabo por medio de las grúas torre, en caso de ser más de una grúa se deberá identificar que perfil deberá cargar cada una, para no estar realizando maniobras que utilicen demasiado tiempo.

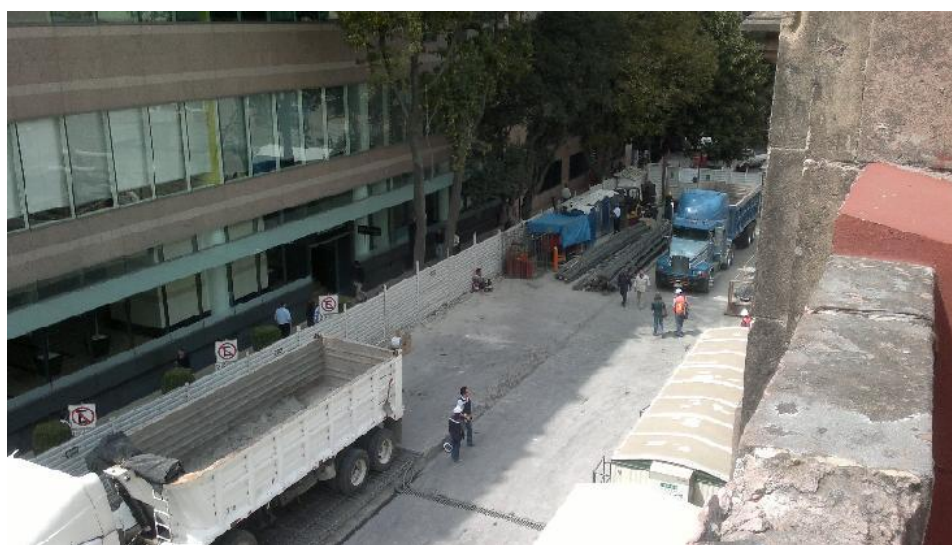


Ilustración 3. 15
Zona de descarga

El acceso a la obra será por Paseo de la Reforma, y una vez descargado los camiones saldrán por Río Elba, o bien por el Circuito Interior.

⁸ Se tiene contemplado que la entrega de los perfiles sea únicamente los días Lunes, Miércoles y Viernes, esto con el propósito de dar el tiempo razonable para el montaje de la estructura y colocación de la misma.

3.4 Plan de montaje

Una vez que ya se determino el tipo de transporte a utilizar, es necesario identificar cada uno de los elementos que conforma la estructura metálica, conocer sus dimensiones y peso, para conocer qué elementos se podrán traer a la obra en una pieza y que elementos deberán ser seccionados para facilitar su arribo a la obra y terminar de ser ensamblados en su posición final.

Por otro lado conocer el peso de cada uno de los elementos, permitirá una mejor selección para los equipos de montaje, en este caso las grúas torre.

Para el caso del *cluster* 7 las piezas metálicas críticas que lo conforman se describen en la tabla siguiente:

Perfiles Nivel 25					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS1000*650*32*32	1.00	33.30	796.81	9,561.68	26,533.65
RHS1000*650*32*32	1.00	21.90	796.81	9,561.68	17,450.06
W12*19	1.00	3.94	28.30	339.60	111.50
W18*35	1.00	8.88	52.00	624.00	461.76
W24*76	1.00	13.04	113.00	1,356.00	1,473.52
W14*30	1.00	4.27	44.00	528.00	187.88
W21*50	1.00	8.61	74.00	888.00	637.14
W24*68	1.00	12.18	101.00	1,212.00	1,230.18
W24*76	1.00	16.29	113.00	1,356.00	1,840.77
TR6A (TRIDITRABE MAS CRITICA)					
WT6*26.5	2.00	20.80	39.40		1,639.04
WT7*79.5	1.00	20.80	118.30		2,460.64
HSS4*4*3/8 (D3)	8.00	2.30	25.70		472.88
HSS4*3*1/4 (D2)	16.00	2.30	8.39		308.75
HSS3*3*1/8 (D1)	16.00	2.30	7.12		262.02
Total tridi-trabe					5,143.33

Perfiles Nivel 26					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS1000*400*25*25	1.00	32.70	529.88	6,358.50	17,326.91
RHS1000*400*25*25	1.00	20.61	529.88	6,358.50	10,920.72
W10*15	1.00	3.43	22.30	267.60	76.49
W18*35	1.00	8.39	52.00	624.00	436.28
W24*76	1.00	12.37	113.00	1,356.00	1,397.81
W18*35	1.00	8.24	52.00	624.00	428.48
W12*19	1.00	3.93	28.30	339.60	111.22
RHS*600*300*35*35	1.00	34.97	456.09	5,473.02	15,949.29
TR4 (TRIDITRABE MAS CRITICA)					
WT6*22.5	2.00	16.50	33.50		1,105.50
WT7*49.5	1.00	16.50	74.00		1,221.00

HSS4*4*1/4 (D3)	8.00	2.30	18.17		334.31
HSS4*3*3/16 (D2)	12.00	2.30	21.10		582.36
HSS2*2*1/8 (D1)	12.00	2.30	4.54		125.30
			Total tridi-trabe		3,396.67

Perfiles Nivel 27					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS1000*400*25*25	1.00	33.01	529.88	6,358.50	17,491.17
RHS1000*400*25*25	1.00	21.20	529.88	6,358.50	11,233.35
W10*15	1.00	3.56	22.30	267.60	79.39
W18*35	1.00	8.57	52.00	624.00	445.64
W24*76	1.00	12.19	113.00	1,356.00	1,377.47
W18*35	1.00	8.26	52.00	624.00	429.52
W12*19	1.00	3.94	28.30	339.60	111.50
RHS*600*300*35*35	1.00	34.95	456.09	5,473.02	15,940.17
TR4 (TRIDITRABE MAS CRITICA)					
WT6*22.5	2.00	16.70	33.50		1,118.90
WT7*49.5	1.00	16.70	74.00		1,235.80
HSS4*4*1/4 (D3)	8.00	2.30	18.17		334.31
HSS4*3*3/16 (D2)	12.00	2.30	21.10		582.36
HSS2*2*1/8 (D1)	12.00	2.30	4.54		125.30
			Total tridi-trabe		3,396.67

Perfiles Nivel 28					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS1000*400*37*37	1.00	33.27	770.27	9,243.28	25,627.00
RHS1000*400*37*37	1.00	20.73	770.27	9,243.28	15,967.77
W10*15	1.00	3.49	3.20	38.40	11.17
W18*35	1.00	8.55	52.00	624.00	444.60
W24*76	1.00	12.63	113.00	1,356.00	1,427.19
W18*35	1.00	8.28	52.00	624.00	430.56
W12*19	1.00	3.95	28.30	339.60	111.79
RHS*600*450*35*35	1.00	31.80	538.51	6,462.12	17,124.62
TR5 (TRIDITRABE MAS CRITICA)					
WT6*22.5	2.00	17.40	33.50		1,165.80
WT7*60	1.00	17.40	89.60		1,559.04
HSS4*4*5/16 (D3)	8.00	2.30	22.07		406.07
HSS4*3*1/4 (D2)	12.00	2.30	8.39		308.75
HSS3*2*1/8 (D1)	12.00	2.30	5.84		161.18
			Total tridi-trabe		3,600.85

Megarmadura					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS457*35	2.00	17.72	189.68	2,276.16	6,722.26
RHS457*35	2.00	8.50	189.68	2,276.16	3,224.56
			Total		9,946.82

Z principal lado largo					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS450*450*35*35	1.00	37.30	538.51	6,462.12	20,085.27

Z principal lado corto					
Perfil	Piezas	Longitud	Peso unitario	Peso por pieza (12 m)	Peso
RHS450*450*35*35	1.00	27.60	538.51	6,462.12	14,863.75

Corbata					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS450*450*25*25	1.00	4.20	294.38	3,532.50	1,236.38

Perfil secundario exterior lado largo					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS450*450*35*35	1.00	18.61	538.51	6,462.12	10,023.38
Perfil secundario exterior lado corto					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
RHS450*450*35*35	1.00	15.90	538.51	6,462.12	8,562.99

Columnas en Eje 1 y E					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
W14*398	1.00	16.80	592.50	7,110.00	9,954.00

Columnas en eje X					
Perfil	Piezas	Longitud (m)	Peso unitario (kg/m)	Peso por pieza (12 m)	Peso (kg/m)
W12*120	1.00	16.80	178.80	2,145.60	3,003.84

En las siguientes ilustraciones se muestran los distintos tipos de perfiles anteriormente mencionados.

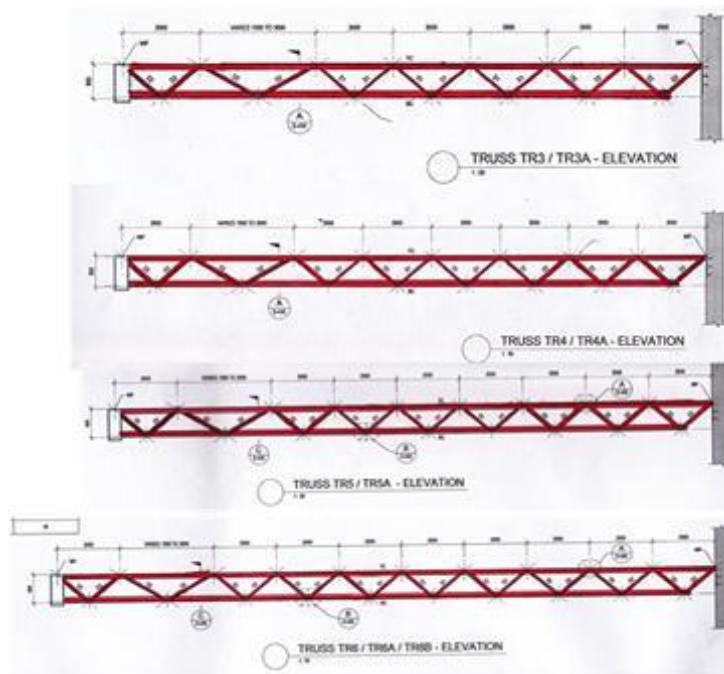
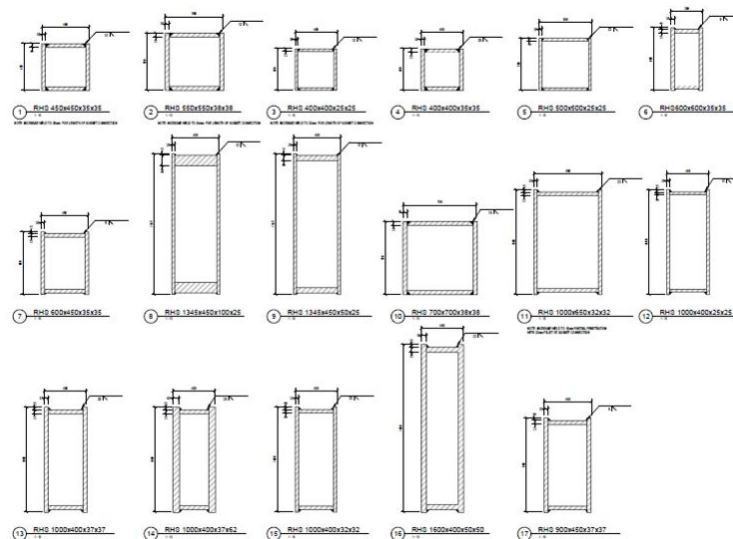


Ilustración 3.16
Tridi-trabes utilizados en *cluster* 7



3.17
Perfiles utilizados en *cluster* 7

Del análisis se observa que los perfiles críticos por peso son dos; 1) el perfil perimetral del lado largo del nivel 25 y 2) el perfil que integra a la columna del muro de concreto, aunado a esto se observa que la mayoría de los perfiles y tridi-trabes exceden la longitud y dimensiones de las plataformas propuestas, por lo que será necesario dividir cada uno de

los perfiles, para ellos primero se expondrá el seccionamiento de cada perfil y/o tridi-trabe y en función a esta se realizará la secuencia de montaje.

Seccionamiento

Los elementos que principalmente se seccionarán son los siguientes:

- Perfiles perimetrales
- Perfiles que conforman la mega armadura
- Tridi-trabes
- Perfiles que van por encima y costados a la mega armadura
- Perfiles que integran a la malla estructurada
- Columnas del eje “X”
- Columnas de los ejes “E” y “I”

La división de estos elementos se realizará de la siguiente forma, en el caso de las tridi-trabes solo se muestra la más crítica.

Nivel 25				
Trabe perimetral lado largo				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	12.12	796.81	9,657.29	
2	11.12	796.81	8,860.49	
3	10.00	796.81	7,968.06	
	33.24	Suma	26,485.84	
Trabe perimetral lado corto				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	11.73	796.81	9,346.54	
2	10.23	796.81	8,151.33	
	21.96	Suma	17,521.77	
Tridi-trabe TR6A				
Sección	Longitud (m)	% Sección	Peso Triditrabe (kg)	Peso Sección (kg)
1	10.00	48%	5,143.33	2,471.57
2	10.81	52%	5,143.33	2,671.76
Suma	20.81			5,143.33

Nivel 26			
Trabe perimetral lado largo			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	12.15	529.88	6,437.98
2	11.29	529.88	5,982.29
3	9.26	529.88	4,906.64
	32.70	Suma	17,326.91
Trabe perimetral lado corto			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)

1	10.91	529.88	5,780.94	
2	10.17	529.88	5,388.83	
	21.08	Suma	11,169.77	
Perfil RHS600*300*35*35				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	13.34	456.09	6,084.17	
2	9.00	456.09	4,104.77	
3	12.63	456.09	5,760.35	
	34.97	Suma	15,949.29	
Tridi-trabe TR4				
Sección	Longitud (m)	% Sección	Peso Triditrabe (kg)	Peso Sección (kg)
1	10.00	61%	3,368.47	2,046.46
2	6.46	39%	3,368.47	1,322.01
Suma	16.46			3,368.47

Nivel 27				
Trabe perimetral lado largo				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	12.42	529.88	6,581.05	
2	11.30	529.88	5,987.59	
3	9.29	529.88	4,922.54	
	33.01	Suma	17,491.17	
Trabe perimetral lado corto				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	11.03	529.88	5,844.52	
2	9.86	529.88	5,224.57	
	20.89	Suma	11,069.09	
Perfil RHS600*300*35*35				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	13.58	456.09	6,193.63	
2	10.99	456.09	5,012.37	
3	10.38	456.09	4,734.16	
	34.95	Suma	15,940.17	
Tridi-trabe TR4				
Sección	Longitud (m)	% Sección	Peso Triditrabe (kg)	Peso Sección (kg)
1	10.00	60%	3,368.47	2,027.98
2	6.61	40%	3,368.47	1,340.49
Suma	16.61			3,368.47

Nivel 28			
Trabe perimetral lado largo			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	9.53	770.27	7,340.71
2	13.94	770.27	10,737.61
3	9.82	770.27	7,564.08
	33.29	Suma	25,642.40
Trabe perimetral lado corto			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	10.36	770.27	7,980.03
2	10.36	770.27	7,980.03
	20.72	Suma	15,960.06

Perfil RHS600*450*35*35				
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	
1	10.25	538.51	5,519.73	
2	11.00	538.51	5,923.61	
3	10.55	538.51	5,681.28	
	31.80	Suma	17,124.62	
Tridi-trabe TR5				
Sección	Longitud (m)	% Sección	Peso Triditrabe (kg)	Peso Sección (kg)
1	10.00	57%	3,600.85	2,069.45
2	7.40	43%	3,600.85	1,531.39
Suma	17.40			3,600.85

Mega-armadura			
Perfil RHS457*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	10.27	189.68	1,948.01
2	7.44	189.68	1,411.22
	17.71	Suma	3,359.23
Perfil RHS457*35 "V invertida"			
Sección	Longitud	Peso Unitario	Peso Total
1	8.50	189.68	1,612.28

Perfiles malla estructurada			
Perfil secundario exterior lado largo RHS450*450*35*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	9.30	538.51	5,008.14
2	9.30	538.51	5,008.14
	18.60	Suma	10,016.29
Perfil secundario exterior lado corto RHS450*450*35*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	7.95	538.51	4,281.15
2	7.95	538.51	4,281.15
	15.90	Suma	8,562.31
Z principal lado largo RHS450*450*35*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	12.43	538.51	6,693.68
2	12.43	538.51	6,693.68
3	12.43	538.51	6,693.68
	37.29	Suma	20,081.04
Z principal lado corto RHS450*450*35*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	9.20	538.51	4,954.29
2	9.20	538.51	4,954.29
3	9.20	538.51	4,954.29
	27.60	Suma	14,862.88
Perfil secundario interior lado largo RHS450*450*35*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	13.30	538.51	7,162.18
2	13.30	538.51	7,162.18
	26.60	Suma	14,324.37
Perfil secundario interior lado corto RHS450*450*35*35			
Sección	Longitud (m)	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	10.41	538.51	5,605.89

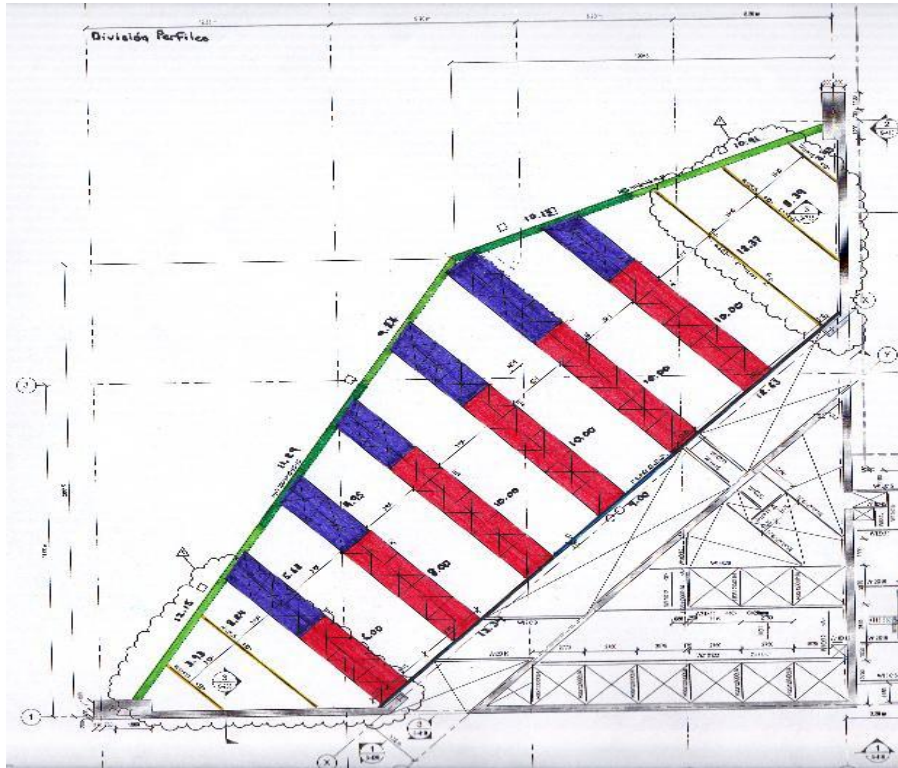


Ilustración 3.19
Seccionamiento de elementos del nivel 26

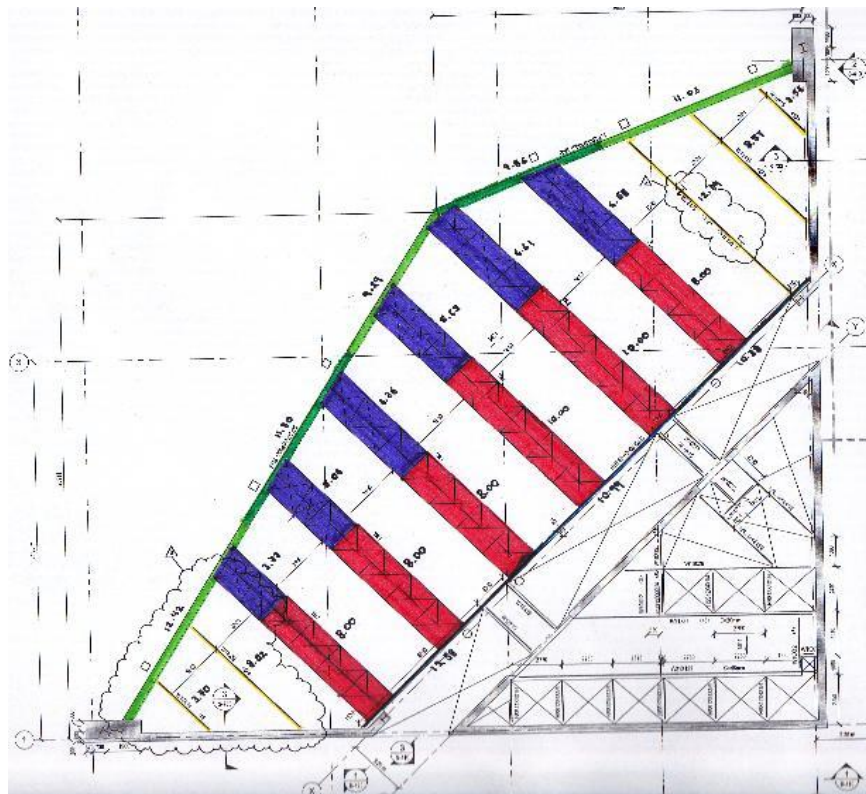


Ilustración 3.20
Seccionamiento de elementos del nivel 27

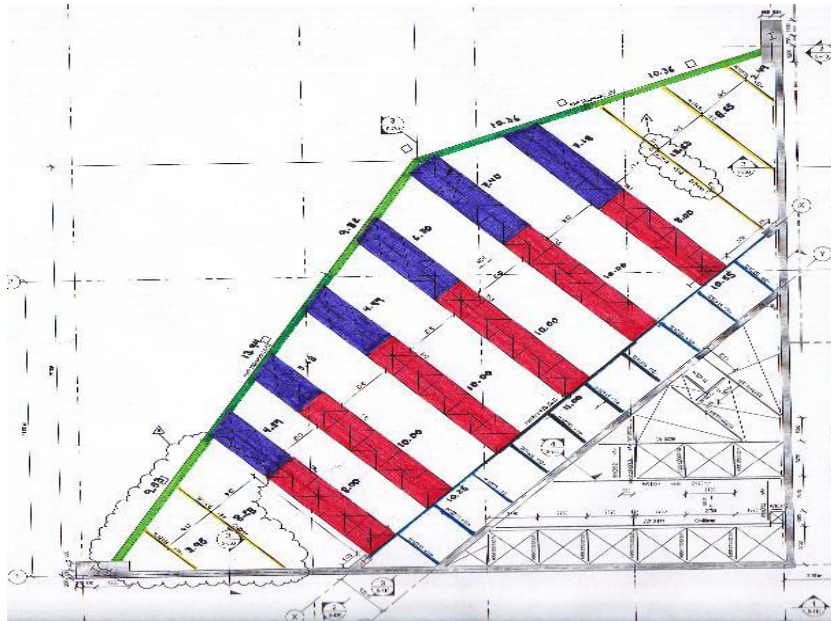


Ilustración 3.21
Seccionamiento de elementos del nivel 28

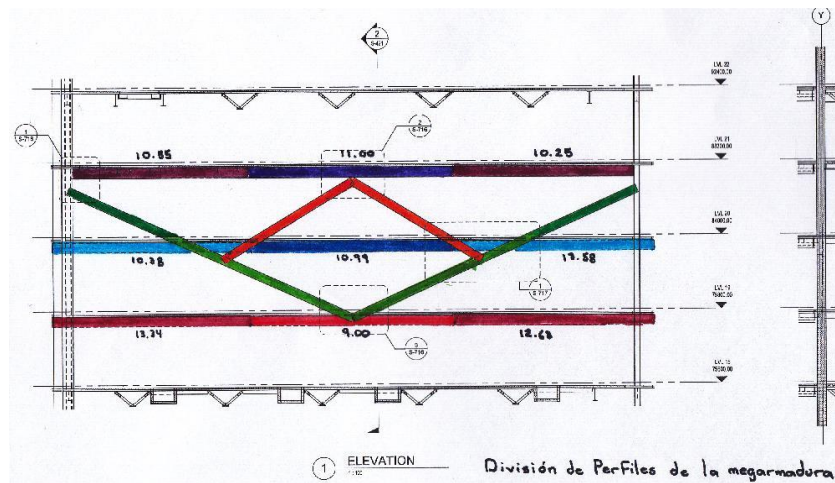


Ilustración 3.22

Seccionamiento de la megarmadura

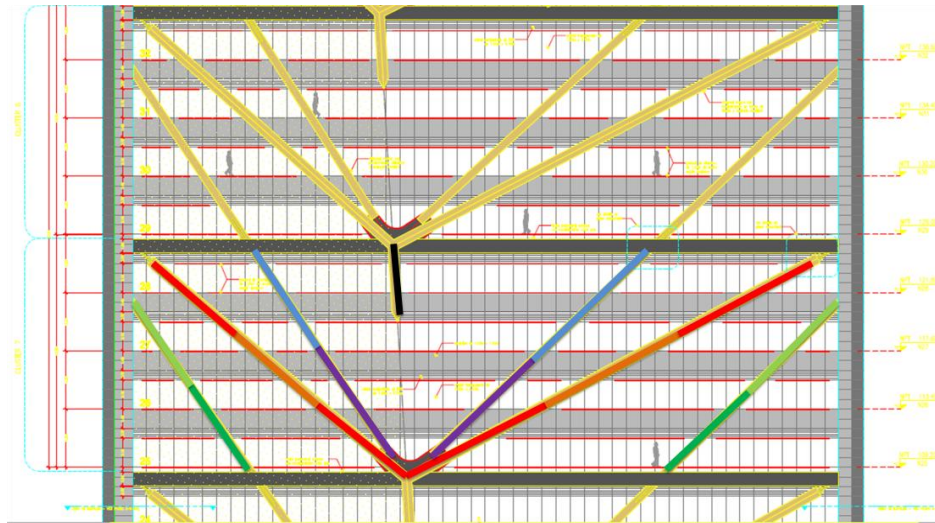


Ilustración 3.23
Seccionamiento de la malla estructurada

Los perfiles que integraran a las columnas tanto del eje “X” como de los ejes “E4” y “1A” serán montados en secciones de 8.4 m, procurando que la junta del concreto no coincida con la del acero, por ello se colocará siempre un tercio arriba de altura de cada nivel, 1.05 m, además de que facilitara el trabajo a los soldadores.

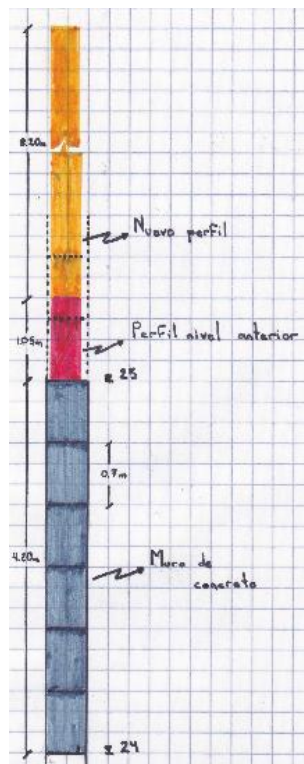


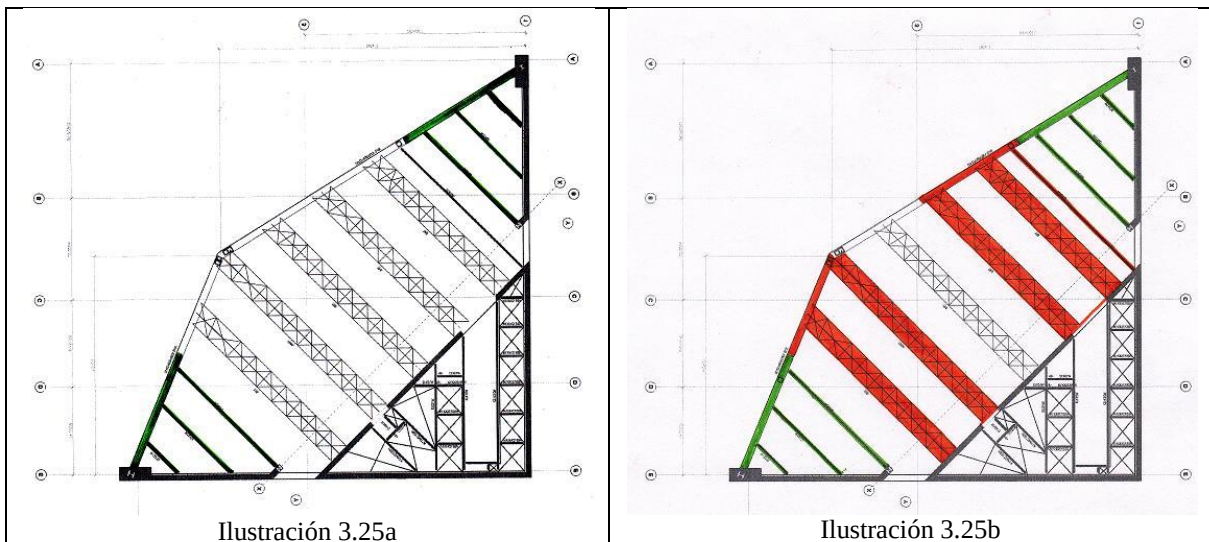
Ilustración 3.24
Seccionamiento de los perfiles que integran columnas

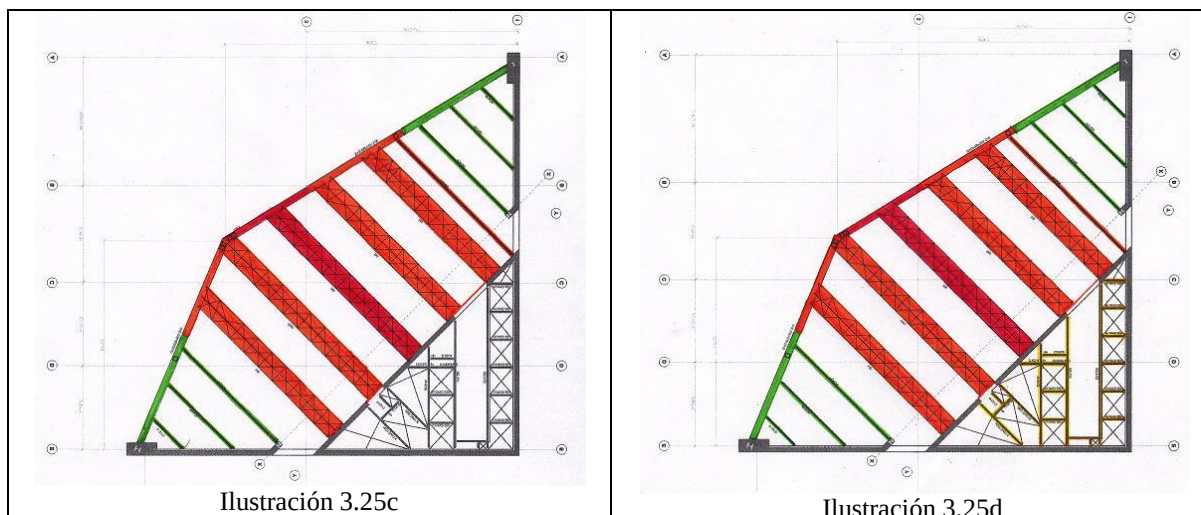
Secuencia de montaje

La secuencia de montaje a seguir es la siguiente, primero se montarán los perfiles metálicos que integran a las columnas, tanto las del eje “X” como las de los dos muros de concreto, “E4” y “1A”, previo a la colocación del concreto, es necesario dejar todas las preparaciones de la estructura metálica que irán ahogadas en el concreto para posteriormente ser conectadas con los perfiles metálicos correspondiente. Seguido de esto, se montara el nivel 25 en cuatro pasos.´

1. Se colocarán los perfiles perimetrales (RHS1000*650*32*32)
2. Simultáneamente se irán colocando los perfiles que soportarán a la losa-acero para ir dando rigidez al perfil perimetral.
3. Simultáneamente se irán colocando las tridi-trabes que soportarán a la losa-acero para ir dando rigidez al perfil perimetral.
4. Finalmente se realizará el montaje del área correspondiente a los elevadores y sanitarios, para culminar con la colocación de la losa-acero.

Todos estos trabajos se deberán realizar apuntalando todos aquellos perfiles y trídri-trabes que se hayan seccionado, que principalmente son los perimetrales.





Ilustraciones 3.25a, 3.25b, 3.25c y 3.25d
Secuencia del montaje del nivel 25

Como segundo paso se iniciará el montaje de la mega armadura, el cual se realizará de arriba hacia abajo, con la siguiente secuencia, previamente se deben colocar los puntales que recibirán a los perfiles de la mega-armadura:

1. Se colocan los perfiles MA1
2. Se montan los perfiles MA2
3. Se colocan los perfiles MA3
4. Se coloca el perfil MA4, junto con los pequeños perfiles que lleva por detrás, correspondiente al nivel 28.
5. Se coloca el perfil MA5
6. Se coloca el perfil MA6

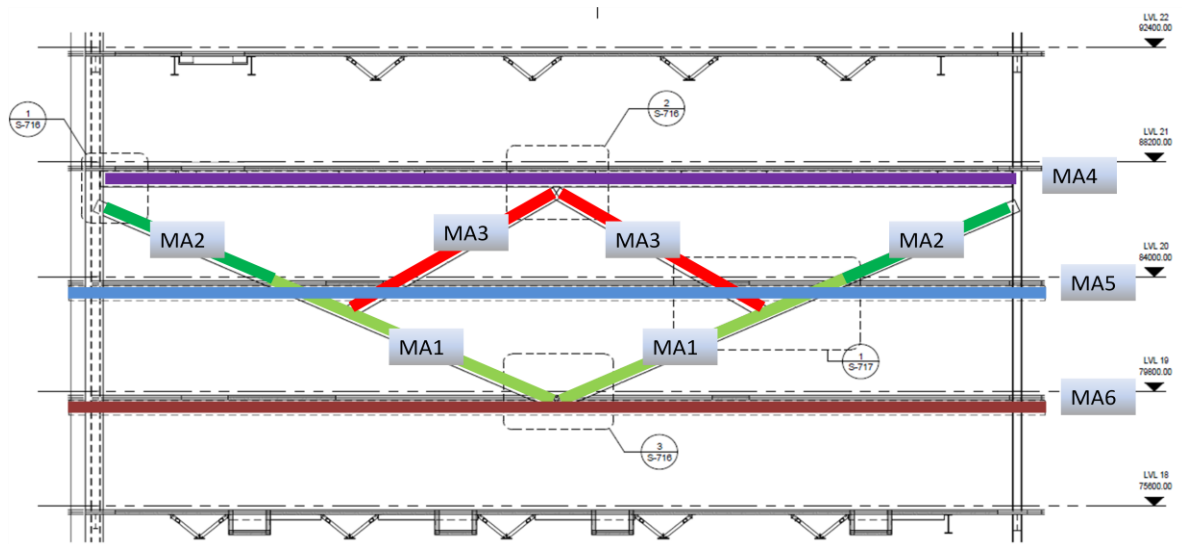
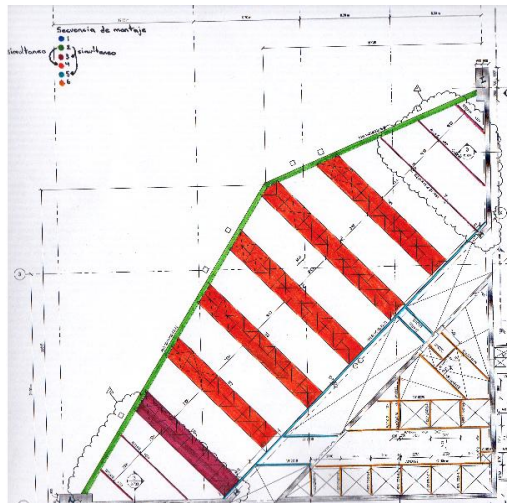


Ilustración 3.26
Secuencia de montaje megarmadura

Para el montaje de los perfiles de los niveles 25 y 26 será necesario realizar apuntalamientos.

Una vez terminado el montaje de la mega-armadura, se montarán los niveles 26, 27 y 28, en dicho orden, como estructuralmente son niveles parecidos los tres se montarán con la siguiente secuencia respectivamente:

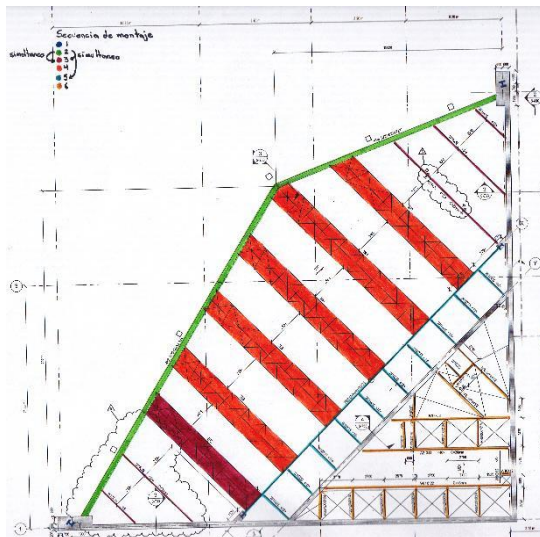
1. Primero se colocarán los perfiles perimetrales (RHS1000*400*25*25 y RHS1000*400*37*37, este ultimo para el caso del nivel 28)
2. Simultáneamente se irán colocando los perfiles que soportarán a la losa-acero para ir dando rigidez al perfil perimetral.
3. De la misma manera, se irán colocando las tridi-trabes que soportarán a la losa-acero para ir dando rigidez al perfil perimetral.
4. Finalmente se realizará el montaje del área correspondiente a los elevadores y sanitarios, para culminar con la colocación de la losa-acero.



- 1 Columnas E4 y 1A y perfiles de megarmadura
- 2 Perfiles perimetrales
- 3 Perfiles y tridi-trabes
- 4 Tridi-trabes
- 5 Perfiles secundarios
- 6 Perfiles secundarios dentro del núcleo



- 1 Columnas E4 y 1A y perfiles de megarmadura
- 2 Perfiles perimetrales
- 3 Perfiles y tridi-trabes
- 4 Tridi-trabes
- 5 Perfiles secundarios
- 6 Perfiles secundarios dentro del núcleo



- 1 Columnas E4 y 1A y perfiles de megarmadura
- 2 Perfiles perimetrales
- 3 Perfiles y tridi-trabes
- 4 Tridi-trabes
- 5 Perfiles secundarios
- 6 Perfiles secundarios dentro del núcleo

Ilustración 3.27
Montaje de los nivel 26, 27 y 28

Todos estos trabajos se deberán realizar apuntalando todos aquellos perfiles y trídi-trabes que se hayan seccionado, que principalmente son los perimetrales.

En el caso particular de las tridi-trabes, una vez desmontados de los camiones, los trabajos de ensamble se desarrollarán en las plantas superiores.

Simultáneamente a la colocación de cada uno de los niveles, se debe ir realizando el montaje de la malla estructurada, el cual se realizará de abajo hacia arriba, en siete pasos y de la siguiente manera:

1. Se colocarán los perfiles DG1, hasta tener completamente cerrado el nivel 25 y 26.
2. Posteriormente se colocaran los perfiles DG2, hasta que el nivel 25 y 26 estén completamente cerrados.
3. Se colocarán los perfiles DG3 cuando el nivel 27 este completamente culminado hasta la etapa de losa-acero y simultáneamente se podrán colocar los perfiles DG4.
4. Al iniciarse el montaje del nivel 28 simultáneamente se colocarán los perfiles DG5
5. Los perfiles DG6 se colocarán cuando se inicie el montaje del nivel 29.
6. Posteriormente se llevara a cabo la colocación de los perfiles DG7.
7. Por último se colocara la corbata cuando el nivel 29 este completamente cerrado

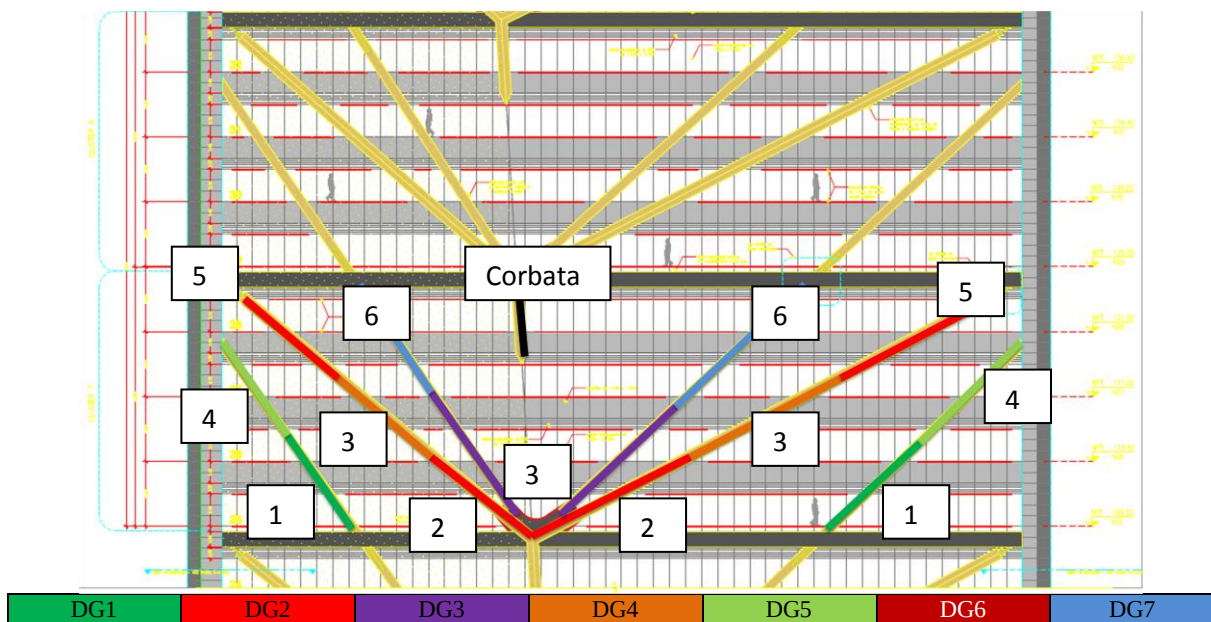


Ilustración 3.30
Montaje malla estructurada

El montaje de todos estos perfiles se deberán realizar con apuntalamientos previos, por lo cual será necesario desarrollar algunas piezas especiales para realizarlo, ya que estos perfiles no tocan al *cluster* más que en el 25 y 29, lo que dificulta la utilización de puntales comunes.

El sistema de apuntalamiento propuesto se muestra en la siguiente ilustración⁹.

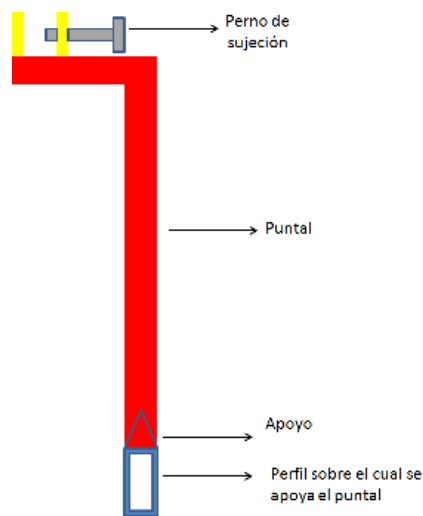


Ilustración 3.31
Sistema de apuntalamiento

El sistema de apuntalamiento propuesto debe cumplir con las siguientes características:

- Montaje rápido: simplemente se desmontan y se colocan en su nueva posición y se adaptan al ancho del perfil donde serán sujetas.
- Fácil manejo: Las piezas simplemente se ensamblan para fijarse a los largueros.
- Gran capacidad de carga: La capacidad de carga debe ser la necesaria para soportar a cada uno de los perfiles.

3.5 Selección de la grúa

Los equipos a utilizar serán grúas torre de pluma abatible, ya que ofrecen una mayor capacidad de carga, permiten realizar maniobras porque su brazo puede tomar diferentes

⁹ En este caso no trataremos las propuestas estructurales correspondientes al apuntalamiento, simplemente me concreto a mencionarlas pues considero que la revisión estructural debe estar a cargo de un equipo especializado en el área.

ángulos, lo cual las hace ideales para trabajar en áreas completamente estrechas y en edificios altos, como el caso de Torre Reforma.

Este tipo de grúas son capaces de esquivar cualquier impedimento teniendo la habilidad de girar los 360° con carga, en tan solo 8.0 m de radio de giro. Gracias a esto y la posición inclinada de la pluma entre 15° y 70°, también cuando está fuera de servicio, estas grúas ofrecen importantes ventajas si se deben utilizar en lugares estrechos con más grúas y con zonas de giro superpuestas¹⁰.

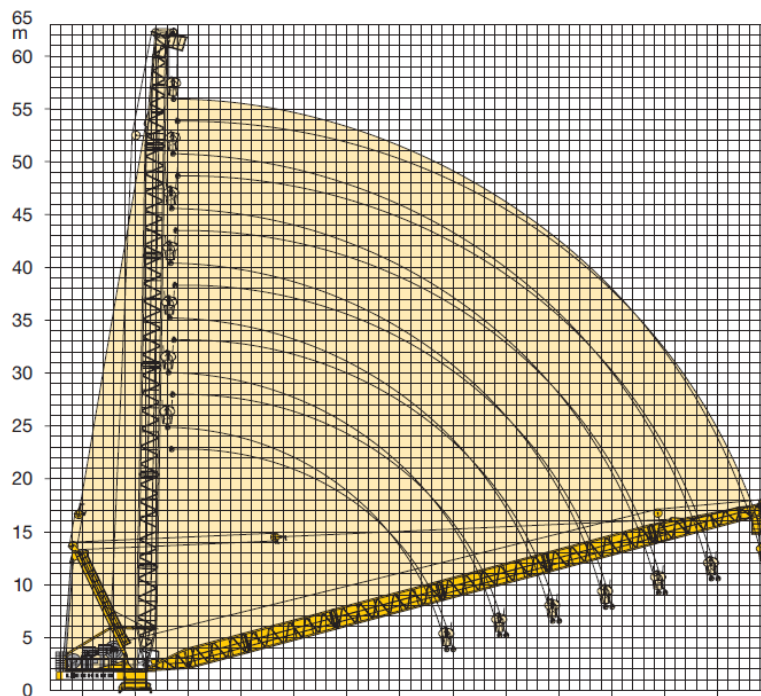


Ilustración 3.32
Posición de la pluma a diferentes ángulos y radios de giro

Son torres que además ofrecen las siguientes ventajas:

- Aplicación para espacios mínimos
- Radio de giro pequeño
- Montaje modular
- Preinstalación de elementos de montaje

¹⁰ Liebherr, productos Luffing HC-L [en línea], México, 2012, [http://www.liebherr.com/CC/es-ES/region-\(namerica\)/products_cc.wfw/id-12545-0/measure-metric](http://www.liebherr.com/CC/es-ES/region-(namerica)/products_cc.wfw/id-12545-0/measure-metric), consultado el 20 de febrero de 2012.

- Recorrido de lastre horizontal
- Trepable en el edificio
- Trepable bajo sistema de control

Ubicación de las grúas dentro de la obra

Para el proyecto del conjunto de Torre Reforma se propone la instalación de grúas de este tipo, una de ellas trepante, será la de mayor capacidad y mayor radio de giro, lo que obligará a instalarla más arriba que la otra, y la segunda será arriostrada.

El principal motivo por el cual se colocarán dos grúas, es que al mismo tiempo que se esté montando la torre, se estará montando el edificios del estacionamiento robótico y el edificio del shuttle, lo cual favorecerá a un rápido avance de la obra, pues sí una de las grúas está ocupada en cualquiera de los otros dos edificios, la otra podrá estar trabajando en el montaje del rascacielos.

A continuación se muestra un análisis de las posibles ubicaciones de las grúas.

ALTERNATIVAS PARA LA COLOCACIÓN DE LA GRÚA TORRE				
ALTERNATIVA	UBICACIÓN	VENTAJA	DESVENTAJA	CALIFICACIÓN
1	Foso E Low Rise 4/4	Posición buena para trabajar el eje 1 de la torre.	La carga en punta no puede ser demasiada grande, se requiere rediseñar y reforzar todo el sistema de vigas, penaliza el montaje del elevador y en niveles superiores el foso se pierde.	Regular
2	Foso E Low Rise 2/4	Buena posición para realizar cualquier carga y buena carga en punta y buen alcance en la mayoría de la torre.	Requiere rediseñar y reforzar todo el sistema de vigas, penaliza el montaje del elevador.	Excelente
3	Montacargas	Buena posición para realizar maniobras y carga aceptable en punta, además de no requerir obras adicionales.	No permite el montaje del montacargas.	Buena
4	Sobre el eje Y	Es la mejor posición debido a que la grúa tendría buena posición para el montaje y abastecer los dos muros.	Requiere que se refuerce el muro e interrumpe el montaje de las mega-armaduras.	Mala

5	Sobre Avenida Reforma	Buena carga y posición.	Requiere una segunda grúa para montar el otro muro, además de cerrar la lateral de Reforma, lo cual es IMPOSIBLE.	Mala
6	Cubo de escaleras	Buena posición para realizar maniobras y buena carga en punta.	Penaliza el montaje de la escalera, la cual será necesaria durante el montaje de la torre.	Regular
7	Shuttle	Excelente posición y carga.	No permite la construcción del Shuttle y podría dejar marcas visibles en el muro E.	Mala
8	Sobre Río Elba	Buena carga y posición.	Se tendría que cerrar la calle de Río Elba.	Excelente
9	En el pasillo	Buena carga y posición.	Requiere rediseñar y reforzar todo el sistema de vigas y por otra parte retrasaría el montaje de las instalaciones que pasan por el pasillo.	Buena

En el siguiente plano se muestran las ubicaciones de cada una de estas propuestas.

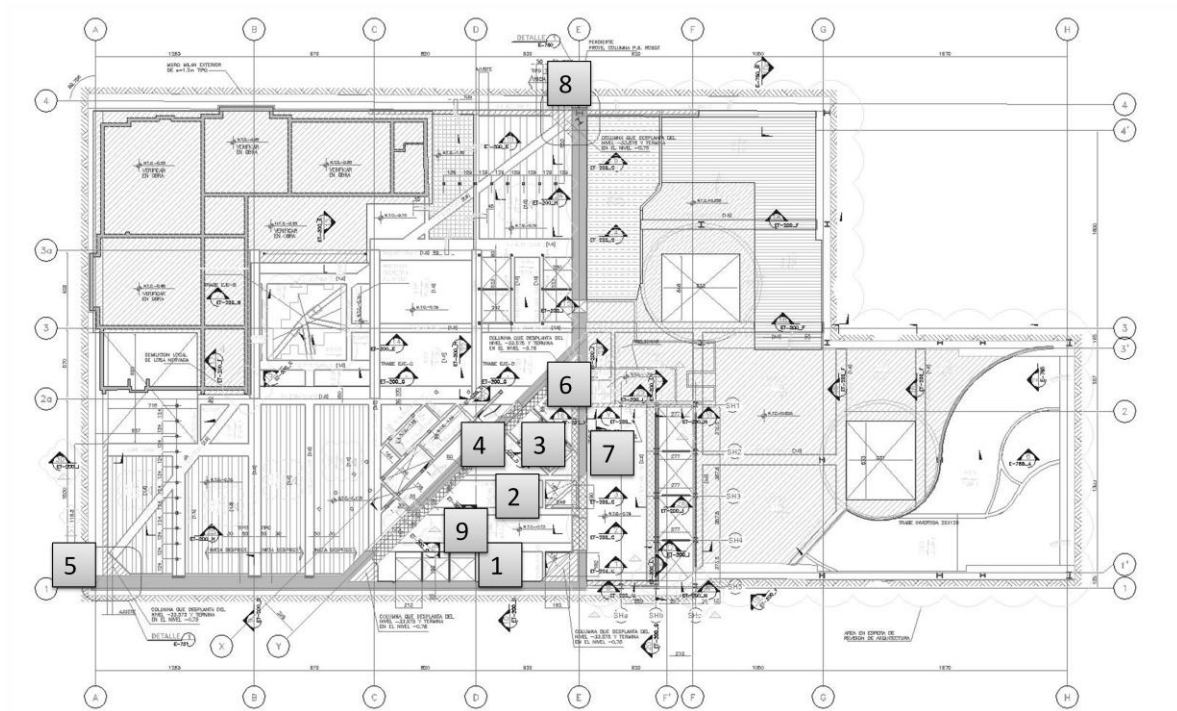


Ilustración 3.33
Posiciones propuestas para las grúas

Las posiciones seleccionada para las grúas serán la 2, Fose E Low Rise 2/4, y 8, Sobre calle Río Elba, ambas posición permitirán trabajar las áreas del rascacielos, estacionamiento robótico y Shuttle de manera equitativa, sin que se descuide en algún momento cualquiera



Ilustración 3.34
Grúa trepadora

de estas áreas. En el caso particular del Foso E Low Rise 2/4, es un foso que es continuo a todo lo largo de la torre, permitiendo la instalación provisional de la torre grúa de forma rápida, en esta posición se plantea utilizar una grúa trepadora, pues permitirá un desplazamiento de abajo hacia arriba por sus propios medios, al ritmo y medida que la construcción de la torre avance.

Una grúa torre trepadora es un sistema de montaje que permite que la grúa torre aumente de altura desplazándose por el interior del edificio a medida que aumenta de altura, como será en el caso de Torre Reforma. Todos sus esfuerzos de carga tanto horizontales como verticales serán transmitidos al edificio a través de las estructuras soportantes. Como única desventaja que presenta la utilización de este equipo es en el momento de su desmontaje, el cual será más lento debido a que, se realiza en la terraza del edificio, obligando a anclar otro equipo para su desmontaje, el cual se debe tener calculado y diseñado de antemano.

Mientras tanto la segunda grúa a utilizar será un grúa torre arriostrada al muro de concreto del eje “Y”, pues existe el suficiente espacio para realizar todas las maniobras de telescopaje, será necesario realizar el empotramiento a base de concreto acorde a las dimensiones acordes a la resistencia del suelo y del peso del lastre.

Capacidad de carga

La capacidad de cada una de estas grúas se determinó con el perfil más crítico y la distancia más alejada a la que se tendrá que colocar dicha pieza. Por lo que se determinó que la posición más desfavorable es el perfil perimetral del nivel 25, el cual tendrá que ser colocado a una distancia de 35 m y su peso aproximado es de 10 Ton, una vez que se encuentra seccionado.

Las grúas propuestas el montaje son las siguientes¹¹:

- Grúa Auto-trepante MR 405 B H24
- Grúa Arriostrada MR 160 C

A continuación se muestran sus capacidades de carga a diferentes radios de giro.

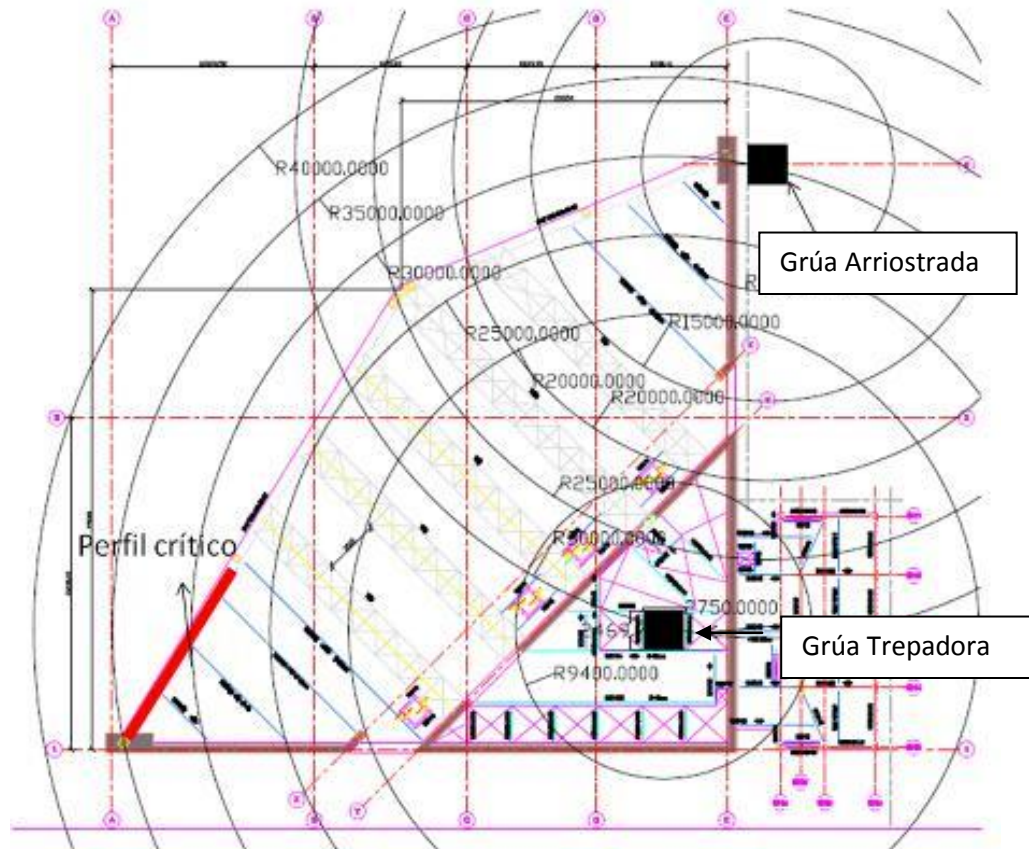


Ilustración 3.35
Capacidad de carga de las grúas

Grúa Trepadora	
Distancia (m)	Peso (t)
18.90	24
20	22.6
22	20.4
25	17.8
27	16.4
30	14.7
32	13.7
35	12.4
36	12
40	10.7

Grúa Arriostrada	
Distancia (m)	Peso (t)
22	10
25	8.5
27	7.6
30	6.5

¹¹ Para mayor información véase anexo II, fichas técnicas de equipos propuestos.

La altura a la que serán instalada cada uno de las grúas se muestra en el siguiente esquema.

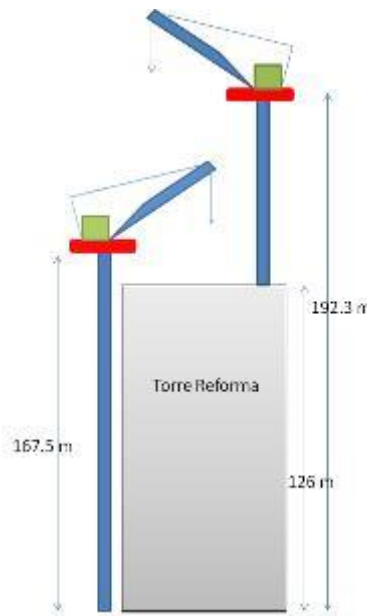


Ilustración 3.36
Instalación de grúas

Montaje de grúas

La instalación y desmontaje de cada torre se realizará con ayuda de otro equipo especial, será realizado por personal calificado, se dispondrá de un orden de trabajo, donde vendrán indicados los datos de la grúa y características del montaje. Dicho personal dependerá de un ingeniero, quien planificará y se responsabilizará del trabajo a realizar, extendiendo al finalizar el montaje el certificado correspondiente.

Su instalación en forma general no es compleja, el proceso comienza con el montaje de la base de la torre, luego se coloca el primer tramo, con los diagonales que lo unen a la base y una parte del lastre basal, seguidamente se instala la corredera sobre la que se ubica la cabeza de torre y la cabina. Luego se coloca la pluma y contrapluma. Se monta el contrapeso definitivo y se agrega más lastre basal. Se instalan nuevos tramos con la ayuda de la pluma de la grúa hasta alcanzar su altura definitiva. Otra forma de aumentar la altura es por medio de un sistema en el que la unidad cabeza de torre-cabina, es de sección menor que el resto del fuste. El nuevo tramo que tiene un lado abierto se superpone a la torre

rodeando a la unidad superior. Luego ésta sube por el interior de este nuevo tramo, recién armado.

Los sistemas de montaje han mejorado notablemente a través del tiempo, con el propósito de hacerlo más rápido, cómodo y sencillo, reduciendo de este modo los costos de esta operación. El ensamblaje de todos los conjuntos se hace por medio de uniones rápidas que no exigen alineación previa. Además el trepado se hace por accionamiento hidráulico y los operarios realizan todo su trabajo desde plataformas seguras y confortables, haciendo que todo el proceso incluso en grúas de gran capacidad resulte realmente rápido.



Para el caso del desmontaje de las grúas se sigue el mismo procedimiento, pero de forma inversa, el equipo con el que se puede realizar dicho trabajo es con una grúa Derrick, son equipos diseñados especialmente para el desmontaje de grúas torre de edificios altos y esbeltos, como es el caso del rascacielos de Paseo de la Reforma 483.

Ilustración 3.37
Grúa Derrick para el desmontaje
de grúas

Maniobras de izaje

El izaje de cada elemento se realizará dependiendo de lo crítico que sea cada uno, para el caso de los perfiles perimetrales y perfiles de la malla estructurada será recomendable que estos elementos tengan una elaboración previa para que sea mucho más sencillo y seguro su izaje.

Para ello se propone el método que se muestra en la figura 3.37.

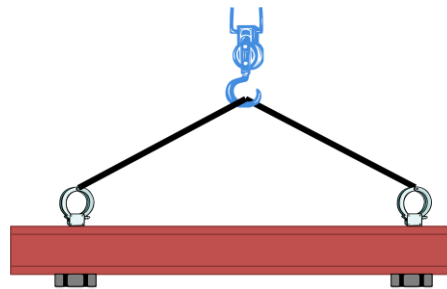


Ilustración 3.38
Izaje propuesto para perfiles críticos

Principalmente este sistema de izaje consiste en que por medio de tornillos y grilletes se asegure la pieza, para que por medio de cadenas o cables se conecte al gancho de la grúa, es por ello que el elemento metálico que integrara a la futura estructura metálica de la torre deberá traer unos huecos por los que pasara una especie de tornillo a las cuales después se ensamblaran los grilletes, y una vez puesta en su lugar estos dos elementos se retiraran.

Para perfiles más chicos y que el peso no es tan significativo con el que la grúa soportará se podrán subir en juego o paquetes. Para los izajes que se realizarán en Torre Reforma se utilizarán un sin fin de accesorios principalmente eslingas, cadenas, grilletes y cables, por mencionar algunos de ellos.



Ilustración 3.39
Eslingas, grilletes, cables y ganchos

Durante las maniobras de izaje se deben tener los siguientes cuidados:

1. El personal de seguridad acordonará el área afectada por la maniobra de acuerdo con el plan de izaje.
2. Se sujetará(an) la(s) pieza(s) que se van a colocar.
3. Una vez que las grúas se encuentre en posición, el encargado del izaje ordena el inicio de levantar la carga, deteniendo el izaje cuando la carga este aproximadamente a 3 m del suelo, en este punto de espera, se revisará el comportamiento del equipo, estrobos, accesorios y estructura general.
4. Se izará la pieza hasta su posición y a continuación el personal subirá a los andamios o equipos previamente situados para asegurar el montaje con obra falsa.
5. Se retira la grúa, y una vez que se aplica la soldadura definitiva se inspecciona.
6. Por ultimo se procede al izaje del siguiente elemeto y se repeite el mismo procedimiento.

3.6 Selección de equipos auxiliares

Durante la construcción del edificio de Reforma será de vital importancia proveer de seguridad a todo el personal que labore, es por ello que será necesaria la utilización de equipos e instalaciones especiales, como son elevadores, tanto como para personas y materiales, escaleras andamiales, mini grúas, para el montaje de perfiles chicos, *mewps*, para realizar trabajos en altura tales como lo es trabajos de soldadura y pintura para cada uno de los perfiles, barandales y mallas de seguridad.

Colocación y ubicación de elevadores

La posición más favorable para colocar los elevadores de servicio durante la obra será, cercano al muro del eje “E” y “X”, ya que la torre por donde corre el elevador necesita ser arriostrada, semejante a la grúa torre, por otro lado invadirá parte del estacionamiento robótico, por lo que será necesario dejar preparaciones para después culminar la pequeña área que falte por construir de dicha edificación.

Se propone la instalación de dos elevadores para personal y un tercero más para materiales, junto con una plataforma provisional que funcionara como descanso en el área de elevadores de cada parada. La posición propuesta se muestra en el siguiente esquema.

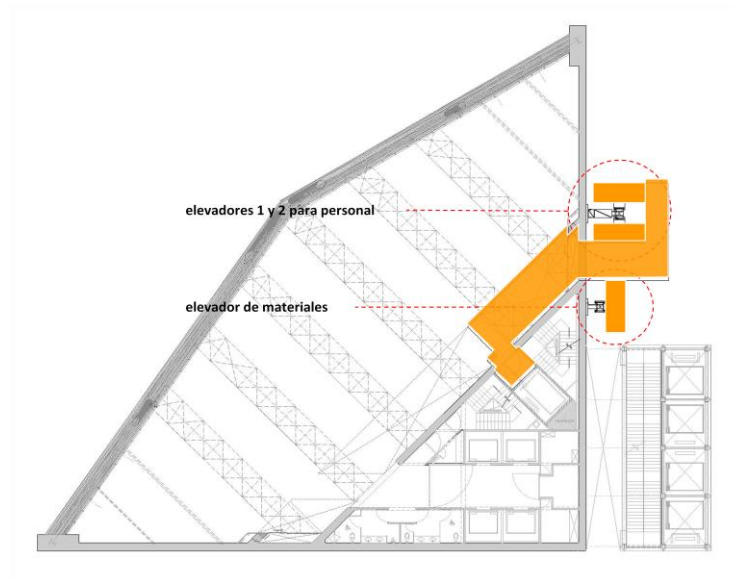


Ilustración 3.40
Vista en planta de la posición de los elevadores

Se planea que cada parada del elevador sea en planta baja de *cluster*, es decir los niveles 5, 10, 14, 18, 22, 24, 29, 33, 37, 41, 45, 49 y 53, el motivo de este planteamiento se debe principalmente que los huecos de fachada del muro de concreto se pueden utilizar como pasos, pues tienen las medidas por donde perfectamente una persona puede pasar junto al material que vaya a ocupar.

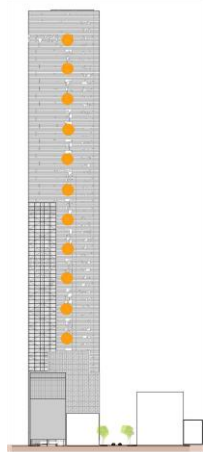


Ilustración 3.41
Corte general de posición de elevadores

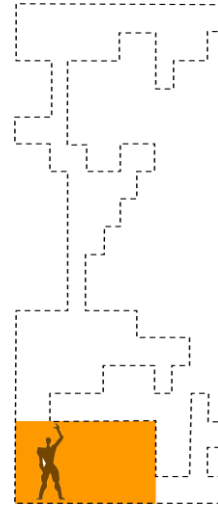


Ilustración 3.42
Ubicación de acceso de elevadores en fachada

Los elevadores propuestos son los siguientes:

- Dos elevadores ECP 1000 Base con las siguientes características:

Máx. Altura con anclajes (m)	150
Distancia de entre anclajes (m)	6
Ancho de plataforma (mm)	2,000
Largo de plataforma (mm)	1,750
Carga útil (Kg)	1,000
Velocidad de subida (m/min)	20

- Un elevador ECP 1550 Base

Máx. Altura con anclajes (m)	150
Distancia de entre anclajes (m)	6
Ancho de plataforma (mm)	1,550
Largo de plataforma (mm)	2,000
Carga útil (Kg)	1,550
Velocidad de subida (m/min)	25



Ilustración 3.43
Elevador ECP 1000

Colocación y ubicación de escalera andamial

La escalera andamial serán de suma importancia dentro de la obra, ya que es un elemento que ayudará a llegar al personal a sus sitios de trabajo, principalmente los que se encuentren laborando en la cimbra auto-trepante, su colocación será en el área de la triple altura, como ya mencionamos anteriormente, las paradas de los elevadores serán en la planta baja de cada cluster, y con ayuda de la escalera se podrá dar acceso a los otros tres niveles del cluster.

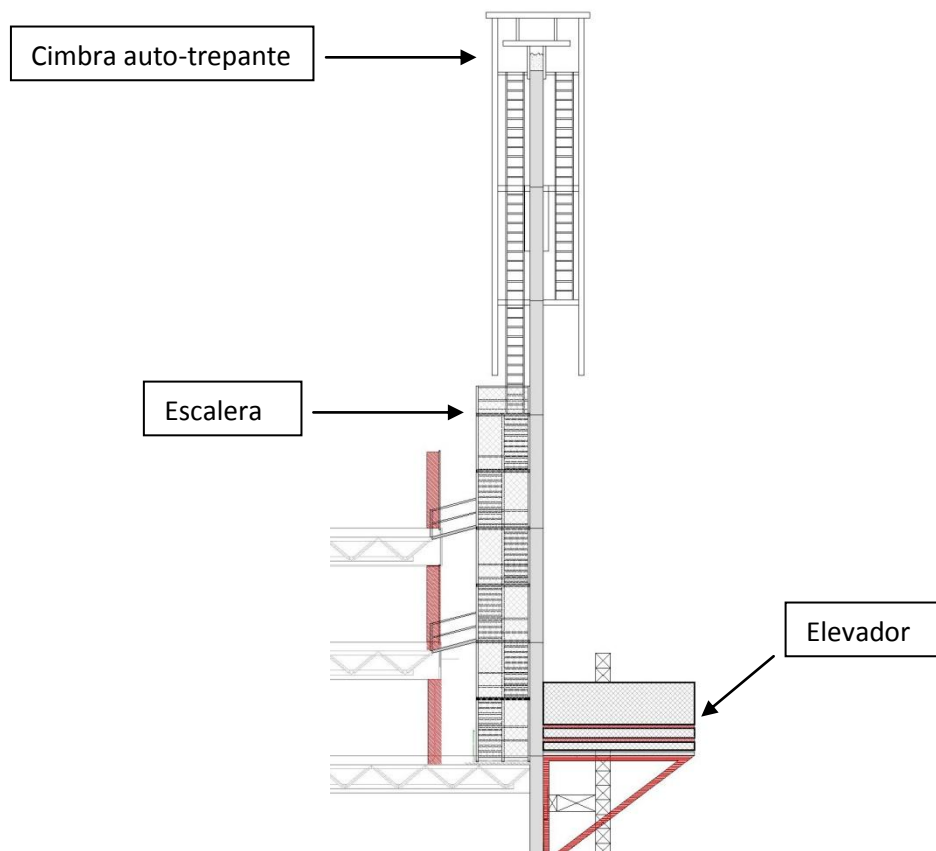


Ilustración 3.44
Escalera Andamial

Una de las ventajas que tiene este tipo de escalera, consiste en que se monta y desmonta rápidamente, siguiendo el ritmo de la obra, pues una vez instaladas las escaleras de la torre se pueden utilizar para acceder a cualquier nivel para seguir realizando los trabajos de acabo.

Selección de la mini-grúa

La mini-grúa prácticamente se utilizará como un apoyo de las grúas torre, los trabajos que deberá realizar serán el montaje de perfiles de pesos menores a 3 toneladas, y que no requiera de las grúas torre para ser izados, el área donde desarrollara la demasia de sus trabajos será en el núcleo de concreto, la mayoría de estos perfiles se encuentran conformando esa parte de la estructura.

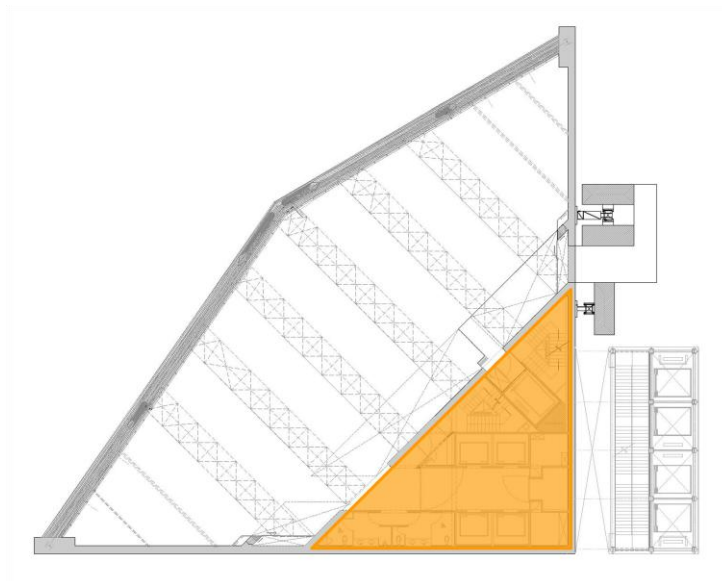


Ilustración 3.45
Área de trabajo de la mini-grúa

El equipo idóneo para esta maniobra será una mini-grúa compacta sobre orugas, ya que hoy día son una innovación en la construcción de estructuras metálicas. Es importante destacar que este tipo de equipos es pionero en su tipo, pues su fabricación es precisa y los materiales seleccionados junto con la tecnología son la más avanzada lo que hace que esta grúa sea compacta, ofreciendo al mismo tiempo una capacidad y alcance que algunas máquinas más grandes lo hacen, de ahí que la hace ideal para ocuparse en Torre Reforma.

El equipo propuesto será una grúa URW-295¹² sus características son las siguientes:

- Anchura total 0.6m
- Radio máximo de trabajo 8.41m

¹² Para mayor información véase Anexo II, fichas técnicas de equipos propuestos.

- Capacidad de carga 3 toneladas
- Gasolina alimentado con gas GLP y opción eléctrica
- Motor diesel con opción eléctrica
- Sistema de control de manejo de la extensión de patas
- Radio control de serie
- Limitación del área de trabajo
- Limitación de giro
- Activación por válvula inteligente para economía y ecología



Ilustración 3.46
Mini-grúa URW-295

Dentro de las ventajas que ofrece este equipo es la fácil transportación de un nivel al otro, por sus condiciones físicas compactas, ya que dicha maniobra se realizara en el área de la triple altura con la grúa torre. Por otra parte la operación del equipo es sencilla y se puede realizar a control remoto, además de solo requerir un solo operador, lo que ahorrara costos.

Selección de MEWPs

Los *mewps* serán un equipo de gran utilidad durante cada montaje, son equipos compuestos por una base automotriz con ruedas u orugas, que facilitan su transportación, y por una cesta telescópica. Esta cesta se puede desplazar verticalmente y ciertos modelos horizontalmente mediante un sistema hidrostático controlado por un operador, dando mayor seguridad durante los trabajos de altura.

Los elevadores de obra, permitirán la elevación del personal, para realizar los trabajos de soldadura, pintura y acabados, dentro de las ventajas que ofrecen es un amplio abanico de aplicaciones, gracias a los diversos sistemas de elevación entre los cuales podemos encontrar elevadores de obra con sistema de tijera, elevadores de obra con brazo articulado, elevadores de obra telescópicas, elevadores de obra con mástil vertical, elevadores de obra unipersonales e incluso elevadores de obra montadas sobre camión.

Para el caso de Torre Reforma se propone utilizar *mewps* de brazo articulado, por la gran cantidad de maniobras que se realizarán durante el montaje de la estructura metálica, por otra parte la altura más crítica que estos equipos tendrán que alcanzar será aproximadamente de 15 m.

Los equipos propuestos son *Octopussy 1715 Twin*¹³, los cuales ofrecen la ventaja de trabajar en áreas reducidas y fácil transportación por medio de la grúa torre.



Ilustración 3.47
Octopussy 1715 Twin

Barandales y malla

Los barandales y mallas se utilizarán con el fin de dar una mayor seguridad a todo el personal que labore dentro de la obra, principalmente para los encargados de colocar la losacero, los barandales serán instalados en los perfiles perimetrales, dichos barandales se

¹³ Para mayor información véase Anexo II, fichas técnicas de equipos propuestos.

colocaran en taller y una vez montada la fachada de vidrio en el edificio serán retirados, para facilitar su retiro solo serán atornillados.

La malla será colocada en todo el perímetro, similar a la propuesta en la cimbra auto-trepante, con la intención de dar mayor protección al personal que labore cerca de las orillas de cada nivel.

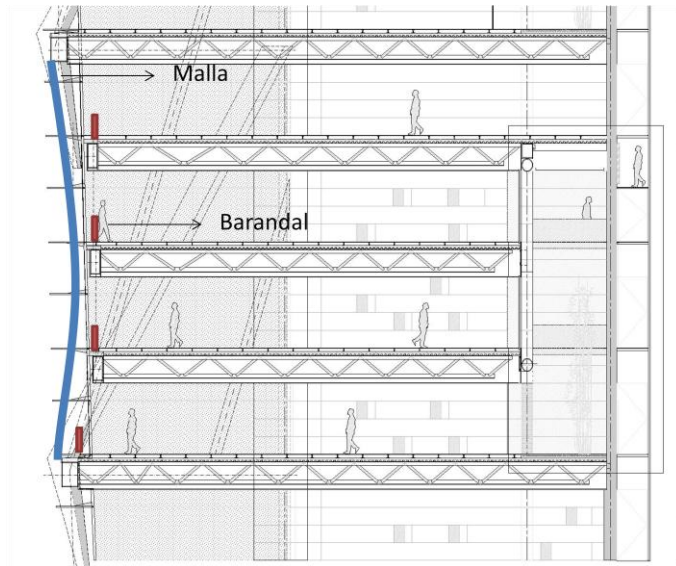


Ilustración 3.48
Barandal y malla en un corte esquemático

Con estas últimas propuestas se concluye la parte correspondiente al montaje de la estructura metálica y a su vez con la realización de las propuestas realizadas en el capítulo 2 correspondientes al del montaje de la estructura de concreto, sólo restaría realizar la calendarización y la periodización correspondientes a la ejecución de armado del *cluster* 7, la cual no se contempla en el presente trabajo.

CONCLUSIONES

La construcción de edificios en el suelo de la Ciudad de México, siempre es un reto para la ingeniería civil, pero aún más, en la construcción de edificios de gran altura como lo es el edificio Torre Reforma, el proyecto contempla el comportamiento del subsuelo aquejado por el hundimiento regional y por la zona sísmica en donde se ubica la Ciudad de México, de esta manera, el tema del cálculo estructural fue otro de los desafíos de este rascacielos, materia en la cual también se innovó. Para esto contó con profesionales entendidos en el tema, quienes tienen la experiencia en la construcción de obras magnas en zonas sísmicas.

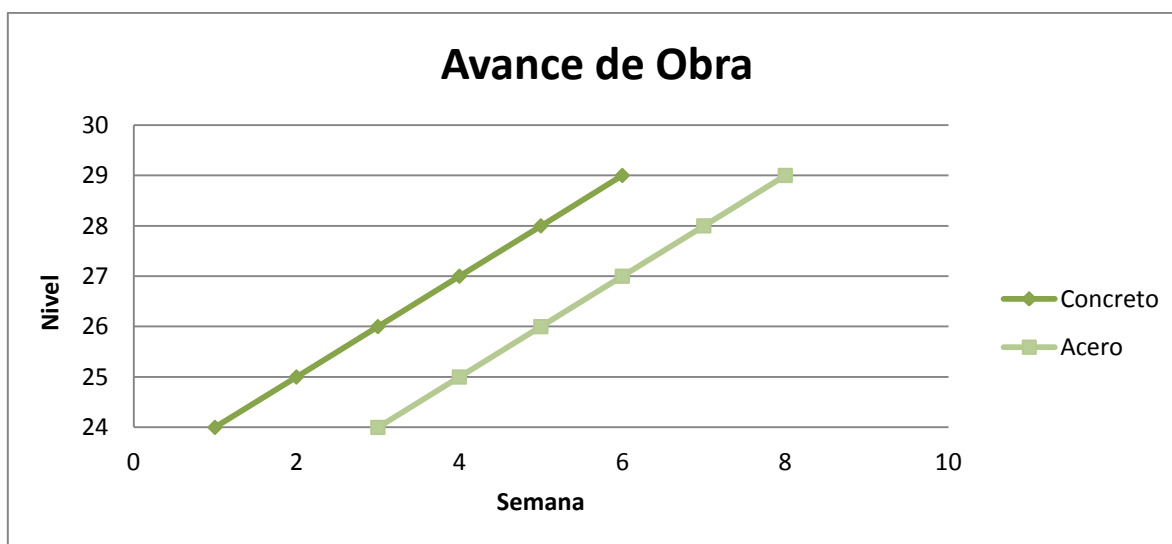
Torre Reforma, no sólo es un edificio innovador en su diseño estructural, sino que también presenta una nueva forma de diseño arquitectónico, el edificio muestra mayor crecimiento en sus pisos superiores, es decir, que está diseñado para que su planta sea más estrecha que su cúspide, además de tener el atributo de ser una construcción de tipo sustentable y obtener la certificación internacional LEED, pasando así a ser uno de los principales edificios construidos en América Latina con este tipo de certificación.

La secuencia de construcción parte principalmente de colocar el muro de concreto y después el montaje de la estructura metálica, sin embargo, será necesario asumir como restricción que no es conveniente construir más allá de dos niveles, existe el riesgo de que la estructura de concreto no soporte su propio peso.

Dentro de mi investigación realizada en el proyecto Torre Reforma, he llegado a las siguientes conclusiones; la cimbra que propongo para que se utilice deberá ser metálica, por la facilidad que representa su cimbrado y descimbrado, la colocación del concreto se realizará por medio de una pluma surtida por un sistema de bombeo y rebombeo, esto optimiza los tiempos, los trabajos de curado se realizarán con telas de yute y aspersores de agua, finalmente el vibrado será interno y externo.

La planeación para la ejecución de la obra es factor fundamental en la construcción del edificio, el haber tomado como referencia o modelo el *cluster 7* nos permite determinar el avance general de la obra y de todo el proyecto; cada *cluster*, está integrado por 4 niveles y cada nivel está compuesto por 6 hiladas de 70 cm, cada uno, a su vez solo será posible

realizar 1 hilada por día, en tal caso, esto nos lleva a determinar que se construye un nivel por semana, tomando en cuenta que en este proceso la estructura metálica aún no ha sido colocada. En tal caso, el montaje de la estructura metálica llevará otros seis días para su colocación, además de que la secuencia del ensamblaje, deberá estar coordinada con los días de entrega por parte del proveedor. En este punto, es necesario aclarar que la estructura metálica lleva un avance de dos semanas atrás, respecto de la estructura de concreto, esto por razones constructivas y estructurales del proyecto, para una mejor comprensión véase la siguiente gráfica. De ahí que, el montaje total de un nivel será de dos semanas aproximadamente y de un *cluster* será de 8 semanas.



El procedimiento de montaje para la estructura metálica del *cluster* 7 es el siguiente: primero se ensamblará el nivel 25 de la torre, posteriormente se colocará la mega-armadura, enseguida se montan los niveles 26, 27 y 28, para finalmente colocar la malla estructurada. Hago énfasis en que estos trabajos de montaje deberán estar apuntalados y sólo retirarse hasta que estén dos *clusters* completamente terminados; esto debido a que estructuralmente la torre ya estará trabajando.

La selección de los equipos, tales como grúas, elevadores, bombas, pluma colocadora de concreto, cimbra auto-trepante, *mewps*, entre otros, deberá cumplir con los mínimos establecidos que garanticen una máxima seguridad y un aprovechamiento óptimo en su

funcionalidad, de ahí que el estudio de factibilidad para la adquisición de dicho equipo deberá ser exhaustivo y analizado con detenimiento para la selección de la mejor propuesta.

Considero que el conocimiento adquirido durante mi participación en el proyecto Torre Reforma, me ha dado la experiencia y formación práctica que ha despertado en mi la creatividad, el ingenio, la capacidad y entrega al trabajo, de ahí que haya titulado a esta investigación “Planeación para la construcción de la estructura del edificio Torre Reforma”.

Finalmente creo que estamos ante el umbral de una ingeniería más especializada y con las posibilidades de utilizar múltiples recursos tecnológicos que fortalezcan la industria de la construcción. En el proyecto Torre Reforma aprendí que la participación de un equipo multidisciplinario es lo que da la belleza y grandeza de lo que es el proyecto. No menos importante es la experiencia adquirida en la ejecución de planeación en el campo laboral, tomar en cuenta eventos imprevistos y sobre todo el control de la seguridad laboral, en el proyecto Torre Reforma queda de manifiesto la majestuosidad de la ingeniería y la arquitectura de la vanguardia mexicana.

Bibliografía

Libros

- Ambrose, James, *Building Structures*, New York, J. Wiley, 1993, 701 págs.
- Bunea, Paul, *Means Structural steel estimating Miscellaneous Iron Ornamental Metals*, Kingston Massachussetts, Construction Publishers & Consultants, 1987, 282 págs.
- Díaz Infante de la Mora, Luis, *Curso de edificación*, México, Trillas, 2009, 320 págs.
- Eggen, Arne Petter, *Steel, structure, and architecture*, New York, Whitney Library of Design, 1995, 256 págs.
- Gauld, Bryan, *Structures for architects*, England 1988, Longman Scientific & Technical, 174 págs.
- González Cuevas, Oscar, *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*, México, Limusa, 2006, 802 págs.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, *Colocación del concreto por métodos de bombeo: Reporte preparado por el comité aci-304*, México, IMCyC, 1974, 51 págs.
- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, *Manual de construcción en acero diseño por esfuerzos permisibles*, México, Limusa, 2009, 492 págs.
- Marshall, W. y Nelson, H., *Estructuras*. México D. F., Alfaomega Grupo, 1995, 453 págs.
- Martínez Assad, Carlos R, *La patria en el Paseo de la Reforma*, México, UNAM, F.C.E., 2005, 214 págs.
- Meisel, Ari, *Leed Materials A resource Guide to Green Building*, New York, Princeton Architectural Press, 2010, 223 págs.
- Rapp, William G, *Montaje de estructuras de acero en la construcción de edificios*, México, Limusa, 1978, 403 págs.
- PERI, *Self-Climbring Technology*, PERI GmbH, 2008,
- Stanley, Crawell, *Estructuras de acero. Análisis y diseño*, México, Limusa, 708 págs.
- Ulloa del Río, Ignacio, *El Paseo de la Reforma, crónica de una época (1864-1949)*, México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, 1997, 149 págs.

Revistas

Helios, “Edificio de la Lotería Nacional”, en *IC*, Publicación Mensual del Colegio de Ingenieros Civiles de México, México, año 61, núm. 505, pp. 36-39.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, publicado el 29 de enero de 2004.

Periódicos

Arturo Páramo, “La Torre Reforma será la cumbre en el Paseo”, en *Excélsior*, México, D.F., 22 de mayo de 2011, sección comunidad, p.2.

Tesis

Cartes Cossio Mariela Edith, “Grúas Torre”, tesis de licenciatura en Ingeniería, Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Construcción Civil, Universidad Austral de Chile, Chile, 2004.

Narcia Morales, Carlos, “Descripción del sistema empleado para el movimiento de una casa protegida por el I.N.B.A. en Avenida Reforma, CD. México”, tesis de maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2011.

Sánchez Suarez, Fernando, “Construcción y montaje de estructuras de acero en zonas urbanas”, tesis de licenciatura en ingeniería, Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1998.

Morell Ocaranza, Francisco, “Comparación de sistemas estructurales para edificios altos de concreto en la Ciudad de México”, tesis de maestría en ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2009.

Internet

<http://www.torrereforma.com/>

<http://www.lbr.com.mx/>

Otros

Fondo Hexa, “Información general del proyecto Torre Reforma”, México, 31 de agosto de 2010.

LRB, “Proyecto Arquitectonico de Torre Reforma”, México, 25 de junio de 2010

LRB, “Proyecto Estrcutural de Torre Reforma”, México, 31 de agosto de 2010

ANEXOS

ANEXO 1

PLANOS UTILIZADOS

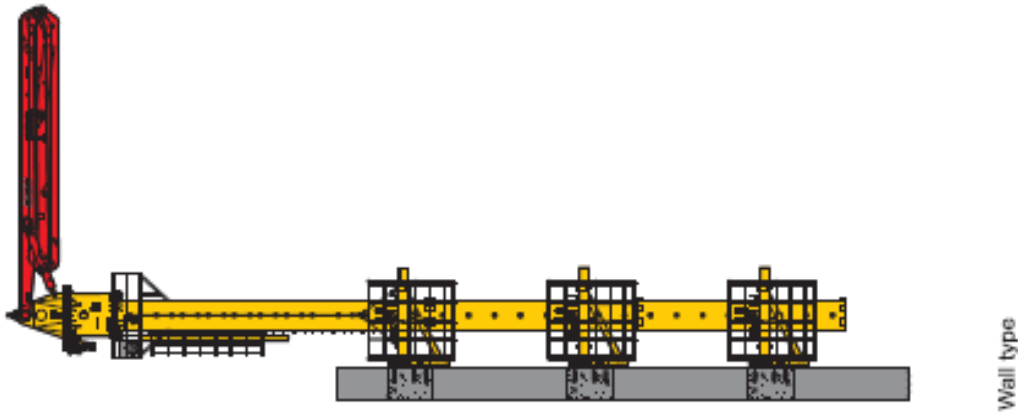
A-T-271	Arquitectura Plantas Generales Torre cluster 7 Planta Nivel 25
A-T-272	Arquitectura Plantas Generales Torre cluster 7 Planta Nivel 26
A-T-273	Arquitectura Plantas Generales Torre cluster 7 Planta Nivel 27
A-T-274	Arquitectura Plantas Generales Torre cluster 7 Planta Nivel 28
A-T-301	Arquitectura Plantas Secciones Generales Torre Sección General 01
A-T-302	Arquitectura Plantas Secciones Generales Torre Sección General 02
A-T-303	Arquitectura Plantas Secciones Generales Torre Sección General 03
A-T-304	Arquitectura Plantas Secciones Generales Torre Sección General 04
A-T-305	Arquitectura Plantas Secciones Generales Torre Sección General 05
A-T-401	Arquitectura Elevaciones Generales Torre Fachada Sur
A-T-402	Arquitectura Elevaciones Generales Torre Elevación General 02
A-T-403	Arquitectura Elevaciones Generales Torre Elevación General 03
A-T-405	Arquitectura Elevaciones Generales Torre Detalles Fachadas Oriente y Norte
A-T-571	Arquitectura Secciones Parciales Torre cluster 7 Corte 1
A-T-572	Arquitectura Secciones Parciales Torre cluster 7 Corte 2
A-T-573	Arquitectura Secciones Parciales Torre cluster 7 Corte 3
A-T-574	Arquitectura Secciones Parciales Torre cluster 7 Corte 4
A-T-604	Arquitectura Torre Elevaciones Parciales Elevación Cluster 07 y 08
A-T-614	Arquitectura Torre Elevaciones Parciales Elevación Cluster 07 y 08
A-T-624	Arquitectura Torre Elevaciones Parciales Elevación Cluster 07 y 08
S-101	Abbreviations, Symbols & Drawing List
S-102	General Notes
S-400	Elevations Perimeter Building
S-410	Wall Elevations
S-411	Shear Wall Details
S-420	Elevations Cluster Truss
S-421	Elevation Cluster Truss
S-430	Elevations and Details Floor Truss
S-431	Elevation Floor Truss
S-850	Weld Schedule
S-T-225	Level 25
S-T-226	Level 26
S-T-227	Level 27
S-T-228	Level 28

ANEXO 2

EQUIPOS PROPUESTOS

Pluma colocadora de concreto

Wall type		Model	HGB28	HGB32	HGB38
Specifications					
Max. placing radius			28m(91'10")	32m(104'12")	38.8m(126'24")
Rotation of boom				365°	
Operating ambient temperature				(-10 ~ +45)°C	
Tower height				30m(98'5")	21m(68'11")
Installation mode				Wall-mounted	
Climbing speed				0.5~0.8m/min(1.6~2.6'/min)	
Climbing mode				Cylinder lifting-up type	
Motor model				Y200L-4, B35, IP44	Y225S-4-H, B35, IP44
Power				30kW(40HP)	37kW(49HP)
Rotary speed				1450rpm(152.25rad/s)	
System pressure				30MPa(4350 psi)	
Flow				47 l/min(13gal/min)	
Oil tank capacity				300L(79.3gal)	
Control mode				Close-control/ wire(remote control)	
Pipeline cleaning mode				Water cleaning/dry cleaning	
Gross weight			25000kg(55115 lbs)	27000kg(59524 lbs)	32000kg(70547 lbs)
Boom type			4 convolution fully hydraulic	5 convolution fully hydraulic	
Diameter of delivery pipe				DN125mm(5")	
End hose length				3m(9'10")	
The 1st section	Length		7450mm(24'5")	8700mm(28'7")	8090mm(26'6")
	Articulation		92°	92°	92°
The 2nd section	Length		6610mm(21'8")	7860mm(25'9")	6.820mm(22'4")
	Articulation		180°	180°	180°
The 3rd section	Length		6730mm(22'1")	7980mm(26'2")	6.825mm(22'5")
	Articulation		180°	180°	180°
The 4th section	Length		6830mm(22'5")	8080mm(26'6")	8.440mm(27'8")
	Articulation		240°	240°	270°
The 5th section	Length				8715mm(28'7")
	Articulation				240°



Bomba REED Modelo B20HP y B50 HP

B Series

B20/B20HP/B50/B50HP/B60/B70 Trailer Mounted Concrete Pumps

Additional Features:

- Super heavy-duty steel frame
- Weatherproof NEMA 4 control panel
- Reversibility at any point in the stroke
- High capacity hydraulic oil cooler
- Fully-variable volume output
- 9000 lb (4083 kg) highway rated axle (all but B20 Model)
- Electric brakes
- Fenders and flush-mounted tail-lights
- 2 heavy-duty outriggers
- Adjustable pintle hitch
- Hopper grate
- Automatic pressure release at shutdown
- Forged steel pistons with urethane cups
- Hard chromed concrete cylinders
- Hour meter/tachometer
- Emergency stop button
- 5-function cable remote control
- Dual hydraulic circuit
- Highest standard concrete pressure in class
- Wide stance
- Harsh-Mix Hopper (B70 only)

Optional Features:

- Radio remote control (On/Off/Reverse/E-stop/Horn-reset / Engine RPM)
- Hydraulic outriggers
- Hopper agitator
- Dual shift cylinders (Standard on B70)
- Vibrator for hopper screen
- Aluminum wheels
- Hydraulic surge brakes
- Chemical additive pump
- Stroke counter
- Skid mounting
- Electric motor
- Lifting-eye kit
- "Emergency" stroke change kit
- Hopper extension (increase cap. to 16cf)
- Carbide Wear Parts
- Hydraulically driven water wash-out pump

MODEL		B20	B20HP	B50	B50HP	B60	B70
Concrete Output	yd ³ /hr	20	20	50	50	60	70
	m ³ /hr	15	15	38	38	46	54
Concrete Pressure	psi	1664	2113	1361	1361	1174	1000
	bar	115	145	94	94	81	69
Horizontal Pumping Distance *	ft	1650*	2200*	1200*	1200*	950*	750*
	m	503*	670*	365*	365*	290*	228*
Vertical Pumping Distance *	ft	700*	875*	450*	450*	375*	300*
	m	213*	267*	137*	137*	114*	91*
Cummins Diesel Engine (Tier 3 Approved)	hp	110	110	110	130	110	130
	kW	82	82	82	97	82	97
Main Hydraulic Pump	cc/rev	71	100	140	140	140	140
Concrete Cylinder Diameter	in	4"	4"	6"	6"	6"	7"
	mm	102	102	152	152	152	178
Stroke Length	in	36"	36"	36"	36"	36"	36"
	mm	914	914	914	914	914	914
Maximum Aggregate Size	in	3/4"	3/4"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
	mm	19	19	38	38	38	38
Hopper Capacity (Standard / Harsh Mix*) Hopper	ft ³	10	10	12	12	12	14*
	liters	283	283	340	340	340	400*
Hopper Height (Standard / Harsh Mix*) Hopper	in	42	42	42	42	42	45*
	mm	1067	1067	1067	1067	1067	1143*
Hydraulic Oil Capacity	gal	52	52	52	52	52	52
	liters	197	197	197	197	197	197
Fuel Capacity	gal	24	24	24	24	24	24
	liters	91	91	91	91	91	91
Outlet Size	in	4	4	5	5	5	5
	mm	102	102	127	127	127	127
Dimensions		Length	Width	Height			
	in	170	74	83			
	mm	4318	1879	2108			
Weight (Approx.)	lbs	5980	5980	6580	6580	6740	6980
	kg	2718	2718	2991	2991	3063	3173

* Theoretical distances and performance shown above are estimated using standard industry methods. Actual performance will vary depending on the concrete pump (concrete pressure, horsepower), material (mix design, slump, local sand and rock characteristics), and delivery system (pipeline diameter, type (steel or hose) and reductions/bends. Maximum output, pressure, and distance cannot be reached simultaneously. Specifications subject to change without prior notice.



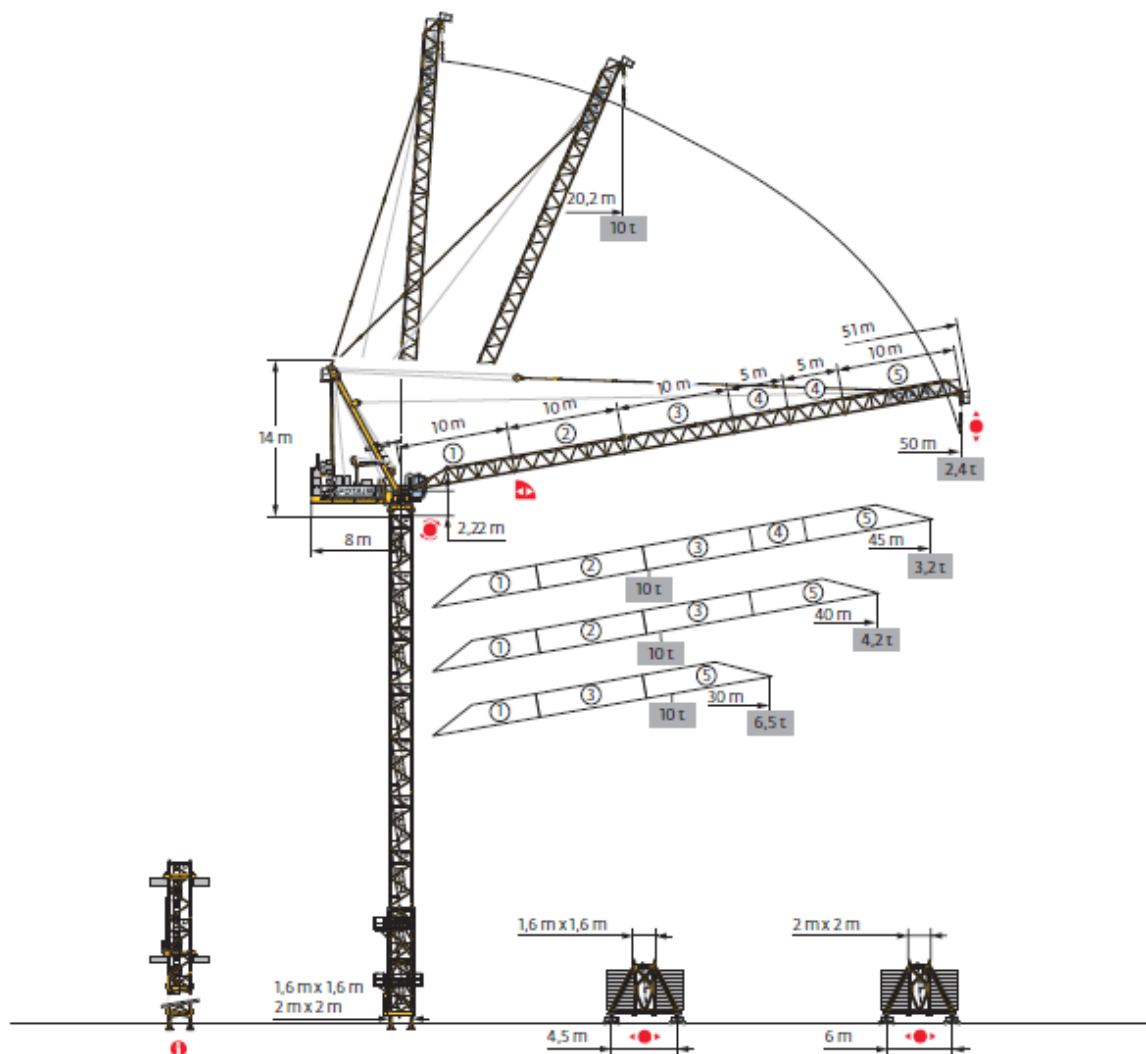
REED can truck or skid mount any concrete pump.
(consult factory for details)

Grúa Potain MR 160 C para soportar 6.5 Ton en punta a 30 m.

Grove Manitowoc National Crane Potain

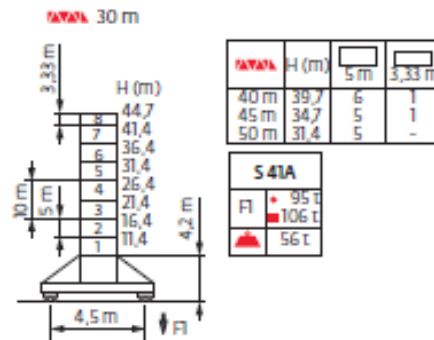
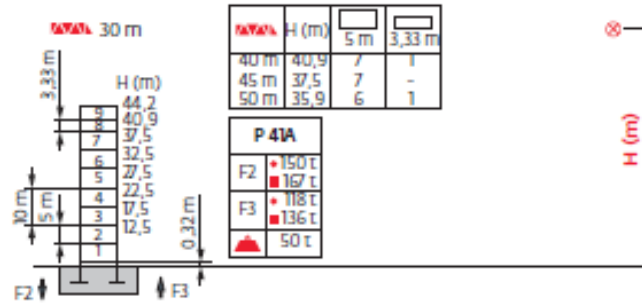


Potain MR 160 C

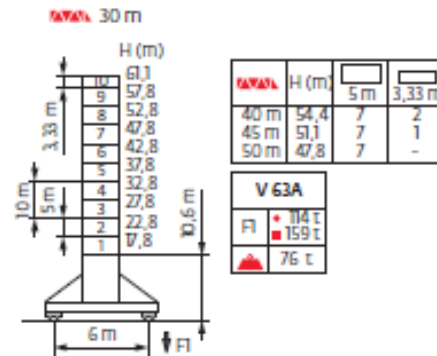
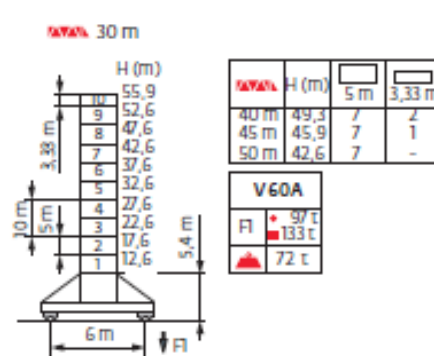
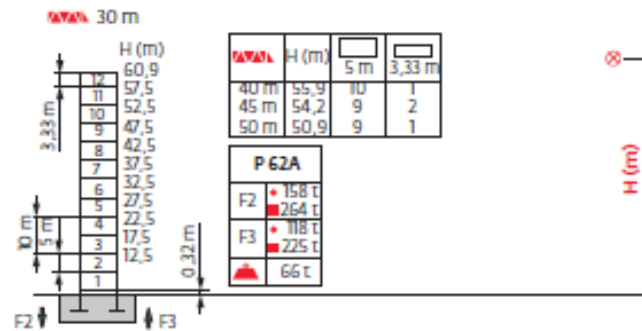


Mât - Réactions / Mast - Reaktionskräfte / Mast - Reactions / Mástil - Reacciones / Torre - Reazioni
Tramo - Reações / Реакция опор мачты

1,6 m



2 m



1. Introduction	2. Background	3. Methodology	4. Results	5. Discussion	6. Conclusion	7. References
------------------------	----------------------	-----------------------	-------------------	----------------------	----------------------	----------------------

1. <i>Chlorophyll a</i>	2. <i>Chlorophyll b</i>	3. <i>Chlorophyll c</i>
-------------------------	-------------------------	-------------------------

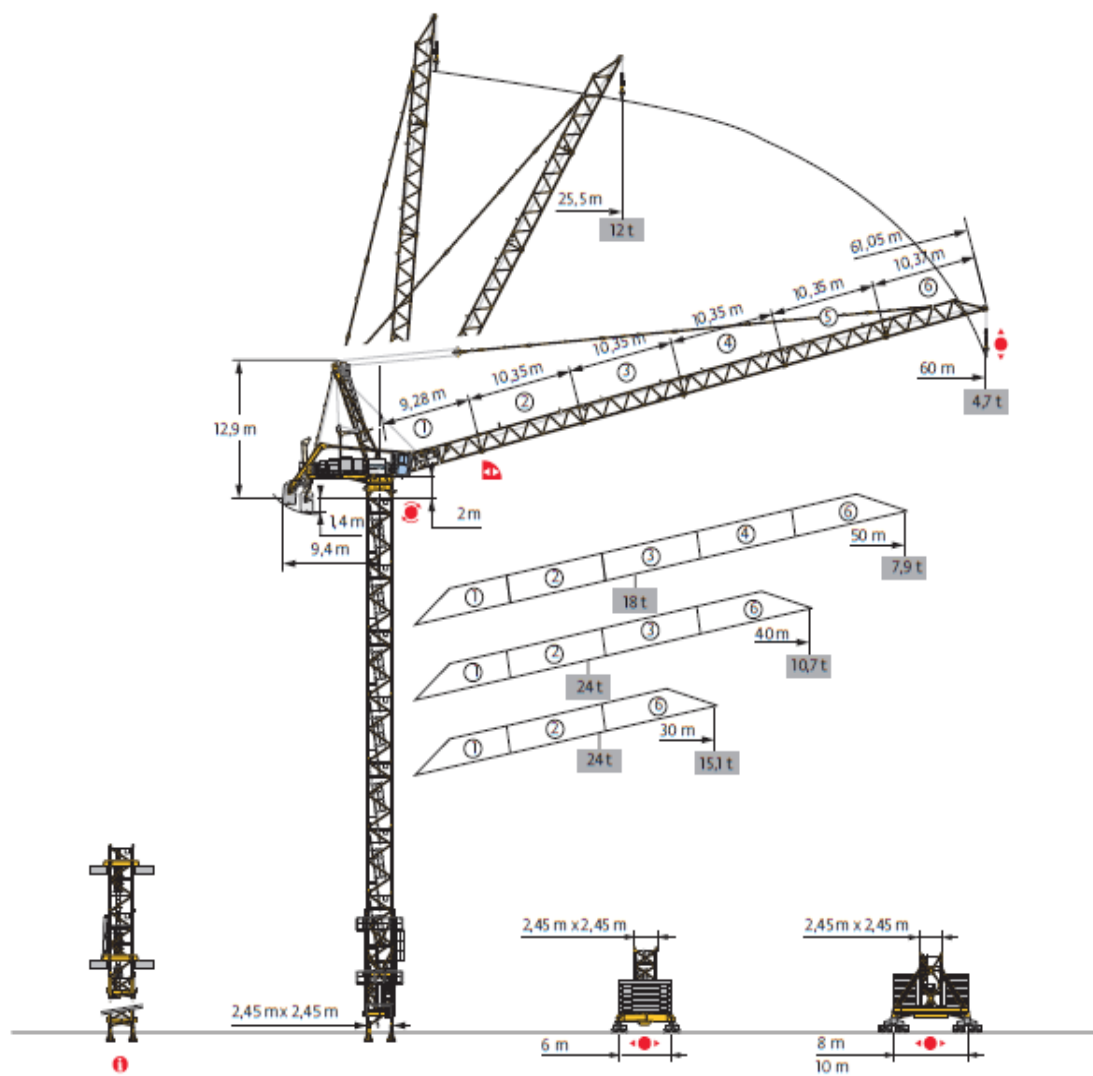
11/11/2019

Grúa Potain MR 405 B H24 para soportar 10.7 Ton en punta a 40 m

Grove Manitowoc National Crane Potain



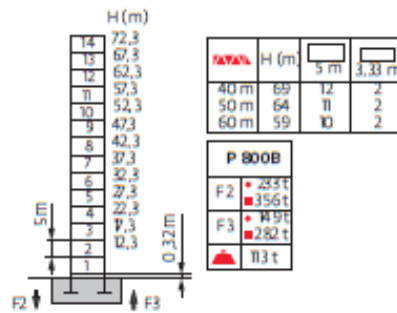
Potain MR 405 B H24



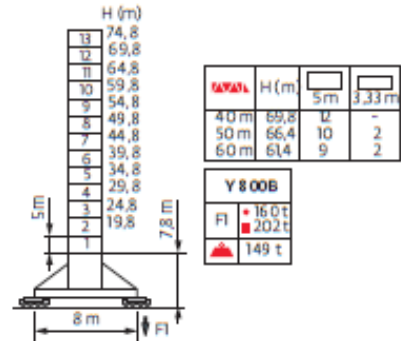
Mât - Réactions / Mast - Reaktionskräfte / Mast - Reactions / Mástil - Reacciones / Torre - Reazioni
Tramo - Reacções / Реакция опор мачты

2,45 m

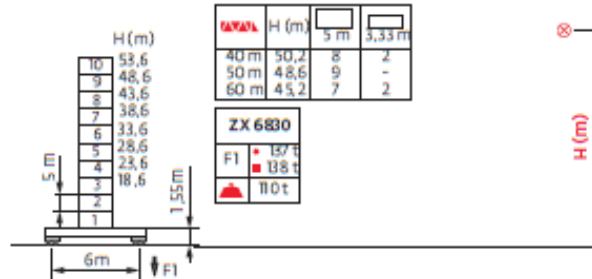
30 m



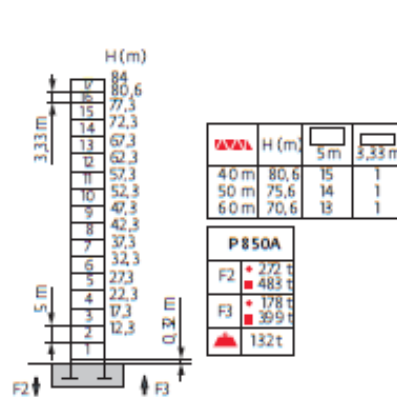
30 m



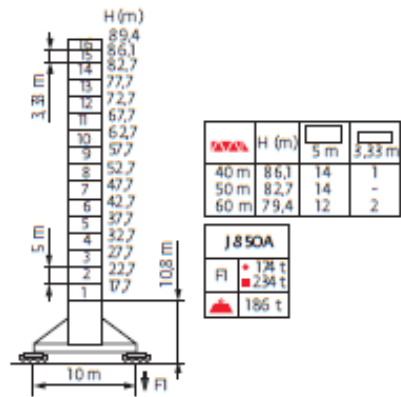
30 m



30 m



30 m



ZX 6830

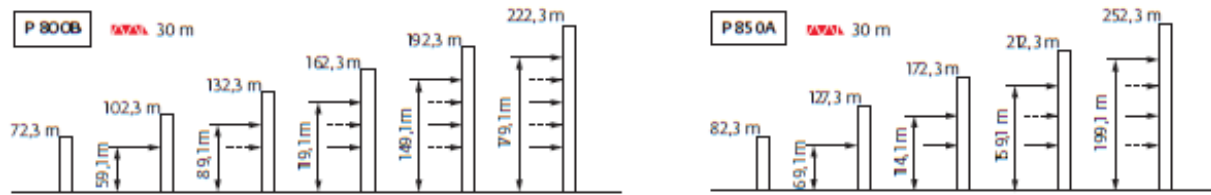


H1= H

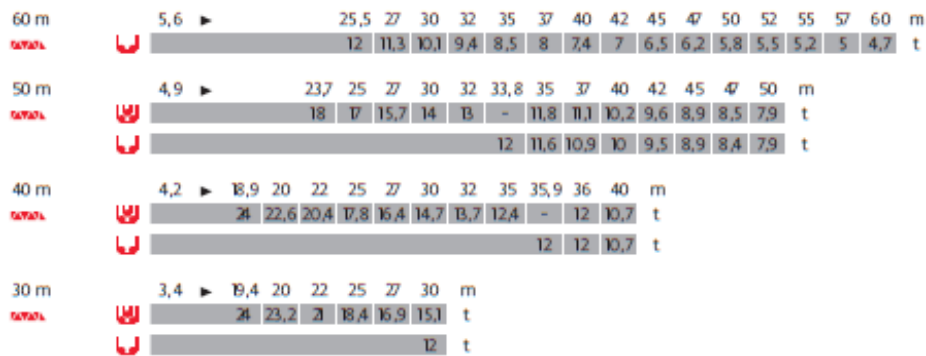


H3= H- 0,3 m

Ancrages / Verankerungen / Anchorages / Andajes / Ancoraggi
Ancoragem / Анкеры



Courbes de charges / Lastkurven / Load curves / Curvas de cargas / Curve di carico
Curvas de carga / Кривые нагрузок

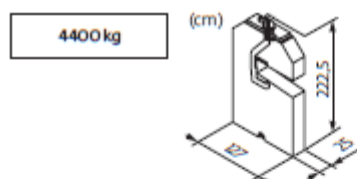


Lest de base / Grundballast / Base ballast / La stre de base / Zavorra di base
 Lastro da base / Базовый Балласт

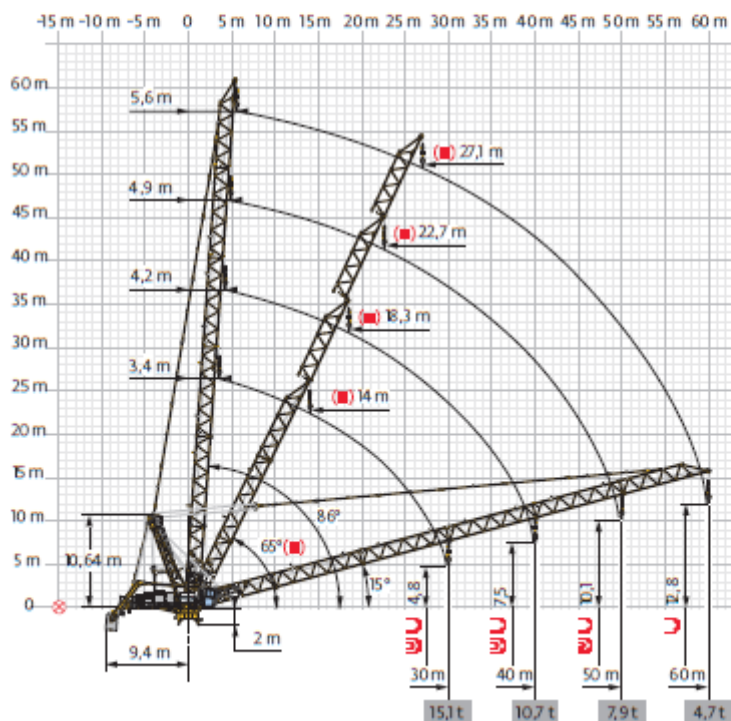
	2,45 m					
	Y 800B		ZX 6830		J 850A	
	H (m)	(t)	H (m)	(t)	H (m)	(t)
30 m	74,8	180	53,6	121	89,4	204
40 m	69,8	168	50,2	121	86,1	204
50 m	66,4	180	48,6	141	82,7	216
60 m	61,4	180	45,2	161	79,4	216

Lest de contre-flèche / Gegenauslegerballast / Counter-jib ballast / La stre de contra-flecha / Zavorra di controbraccio
 Lastro da contra lança / Противовес стрелы

	4400 kg	(kg)
30 m	8	35200
40 m	9	39600
50 m	9	39600
60 m	9	39600

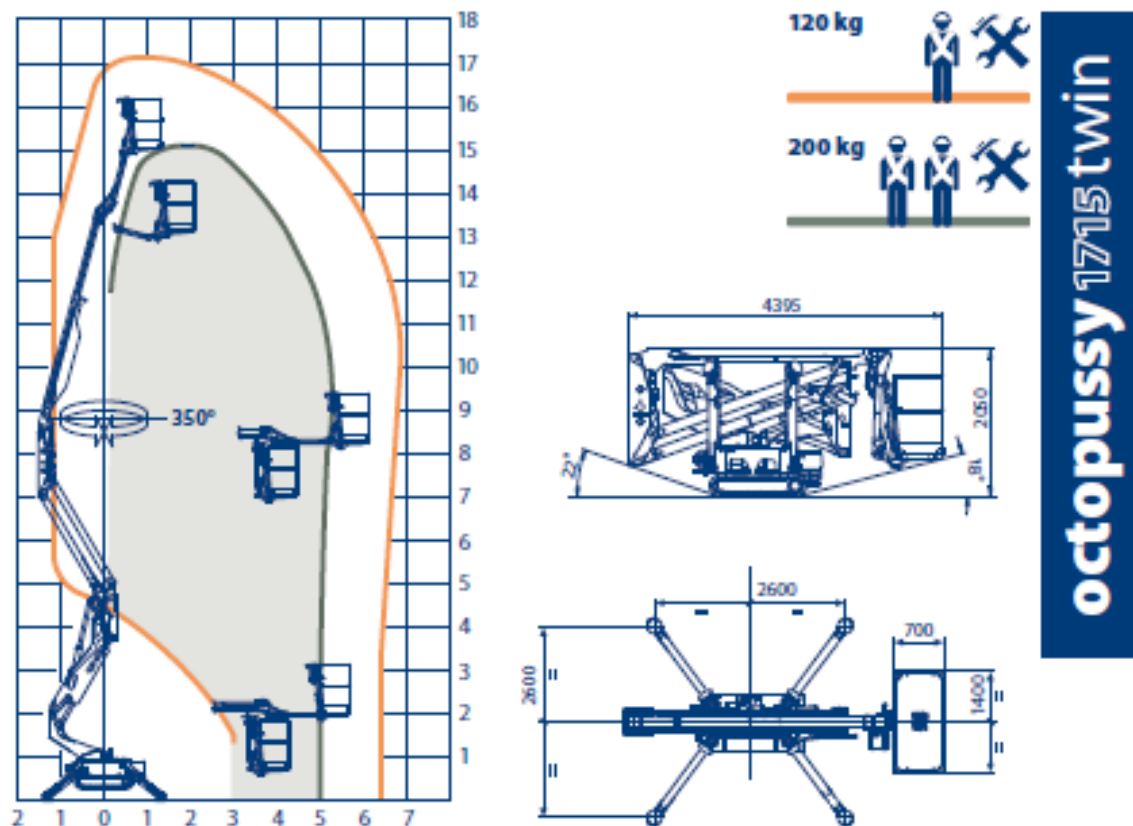


Flèche relevée / Ausleger in Steilstellung / Luffing jib / Flecha izada / Braccio impennato
 Lança inclinada / Маховая стрела



MEWP Octopussy 1715 twin





	17 m / 120 kg 15,2 m / 200 kg		4395 mm
	15 m / 120 kg 13,2 m / 200 kg		780 mm
	6,8 m / 120 kg 5,2 m / 200 kg		ribaltabile a discesa idraulica lowerable hydraulic descent repérable de bajada hidráulica escabotables à descente hydraulique laagbaar met hydraulische benken hydraulisch uitvouwbare stompelpoten регулируемые стрелы
	350°		honda monocilindrico silencioso/eléctrico 220 V single-cylinder noiseless/honda/220V electric honda monocilindrico silencioso/eléctrico 220V honda monocylindrique avec silencieux/électrique 220V geruislo/huiser singlecylinder motor, honda 220V 1 cylinder - geluidzaam honda/elektrische 220V одновальцевой бесшумный honda / электрический 220В
	1400x700x1100 mm 1400x700x1100 mm 1400x700x1100 mm 1400x700x1100 mm 1400x700x1100 mm 1400x700x1100 mm	aluminio aluminio aluminio alu aluminium алюминий	portable removable démontable afneembaar abnehmbar разбираем
			cingoleta 1,5 km/h track 1,5 km/h oruga 1,5 km/h sur chenilles 1,5 km/h raupen 1,5 km/h руси 1,5 km/h гусеница 1,5 km/h
	hidráulic hydraulic hidráulico hydrauliques hydraulisch гидравлическое		1980 kg
	2050 mm		

OIL & STEEL

APÉNDICE

Cálculo para el peso unitario de los perfiles RHS

RHS1000*650*32*32					
Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Piezas	Peso (kg)
0.03	0.59	1.00	0.02	2.00	294.41
0.03	1.00	1.00	0.03	2.00	502.40
				Total	796.81
RHS1000*450*25*25					
Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Piezas	Peso (kg)
0.03	0.35	1.00	0.01	2.00	137.38
0.03	1.00	1.00	0.03	2.00	392.50
				Total	529.88
RHS*600*300*35*35					
Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Piezas	Peso (kg)
0.04	0.23	1.00	0.01	2.00	126.39
0.04	0.60	1.00	0.02	2.00	329.70
				Total	456.09
RHS1000*400*37*37					
Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Piezas	Peso (kg)
0.04	0.33	1.00	0.01	2.00	189.37
0.04	1.00	1.00	0.04	2.00	580.90
				Total	770.27
RHS*600*450*35*35					
Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Piezas	Peso (kg)
0.04	0.38	1.00	0.01	2.00	208.81
0.04	0.60	1.00	0.02	2.00	329.70
				Total	538.51
RHS450*450*25*25					
Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Piezas	Peso (kg)
0.03	0.35	1.00	0.01	2.00	137.38
0.03	0.40	1.00	0.01	2.00	157.00
				Total	294.38

Peso volumétrico del acero: 7,850 kg/m³