

Diseño de Edificios de gran altura en zonas sísmicas:

CHAPULTEPEC UNO

en la Ciudad de México

Dr. Rodolfo E. Valles Mattox
05/08/2020





- Introducción
- El Proyecto
- El Equipo
- Las Fases de Diseño
- La Subestructura
- Las Colindancias
- La Superestructura
- La Torre Hoy
- Otros Proyectos

- El Prefacio*
- La Trama*
- El Reparto*
- El Plan*
- El Inicio*
- Los Vecinos*
- El Desarrollo*
- El Desenlace*
- Otras Historias*



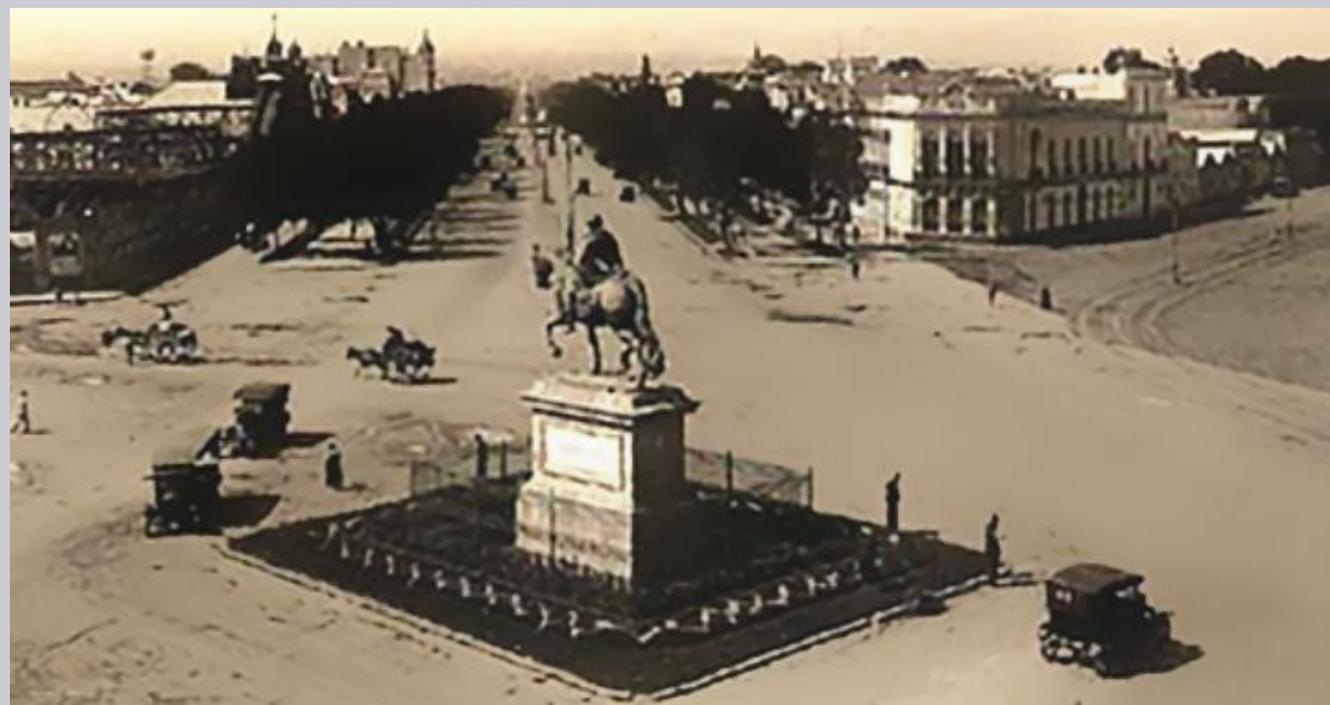
Introducción

El Prefacio

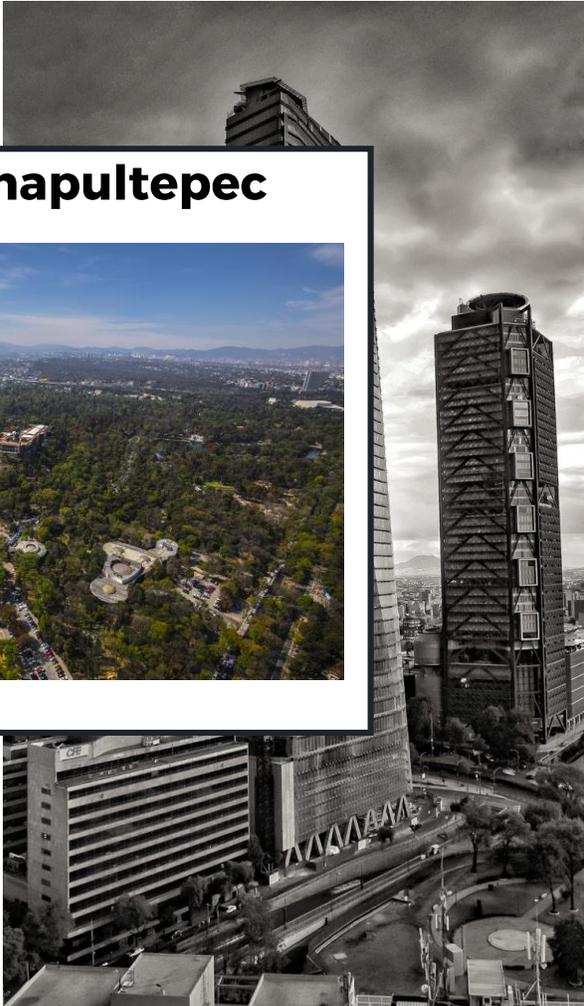


Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

Importancia Histórica



Chapultepec Uno (Reforma 509)



Bosque de Chapultepec



Av. Paseo de la Reforma



Ángel de la Independencia





EL PROYECTO

LA TRAMA



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox



Desarrollador: T69

Arquitectura: Taller G

Ubicación: Paseo de la Reforma 509

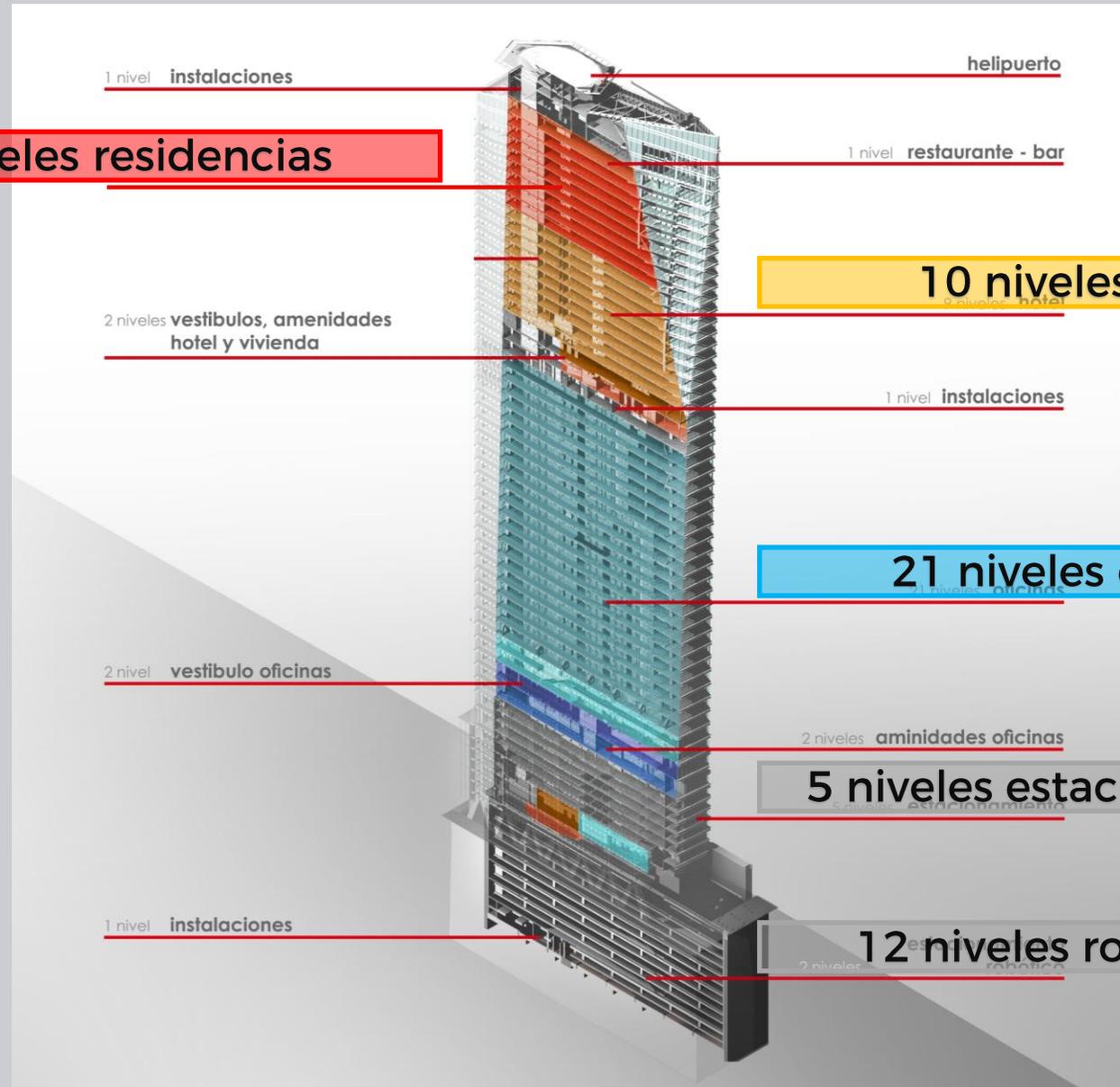
Ocupación: Estacionamientos, oficinas, residencial y hotel

Altura de la torre: 241.6 m

Subestructura: 12 sótanos alojados en un cajón rectangular perimetral de concreto reforzado colado en sitio (Muro Milán). Sistema constructivo Top-Down.

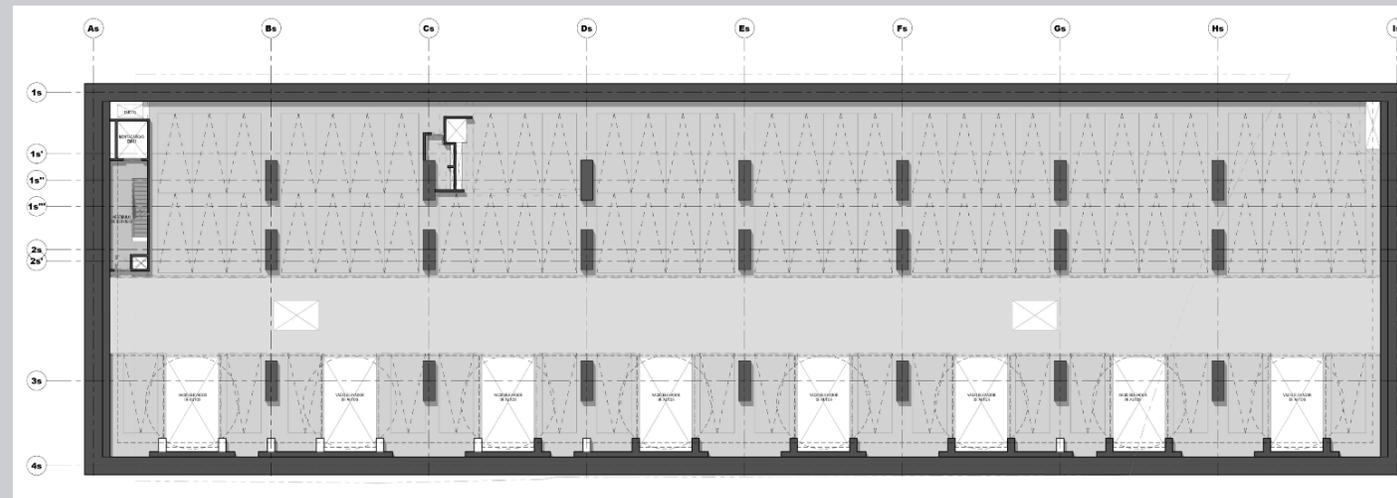
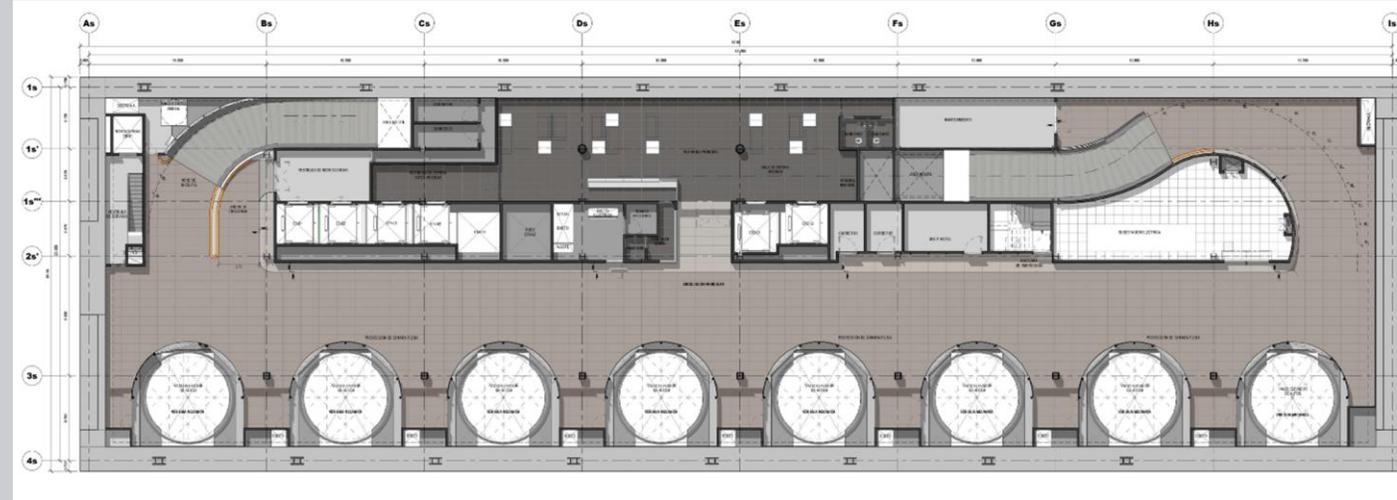
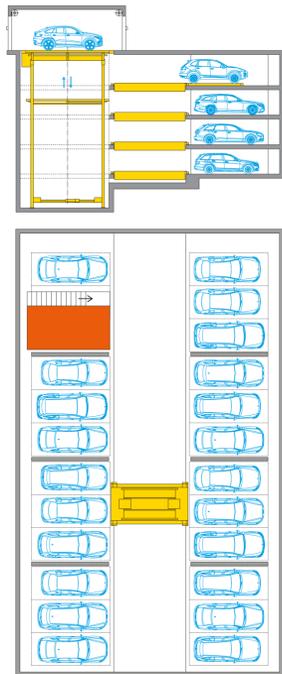
Superestructura:

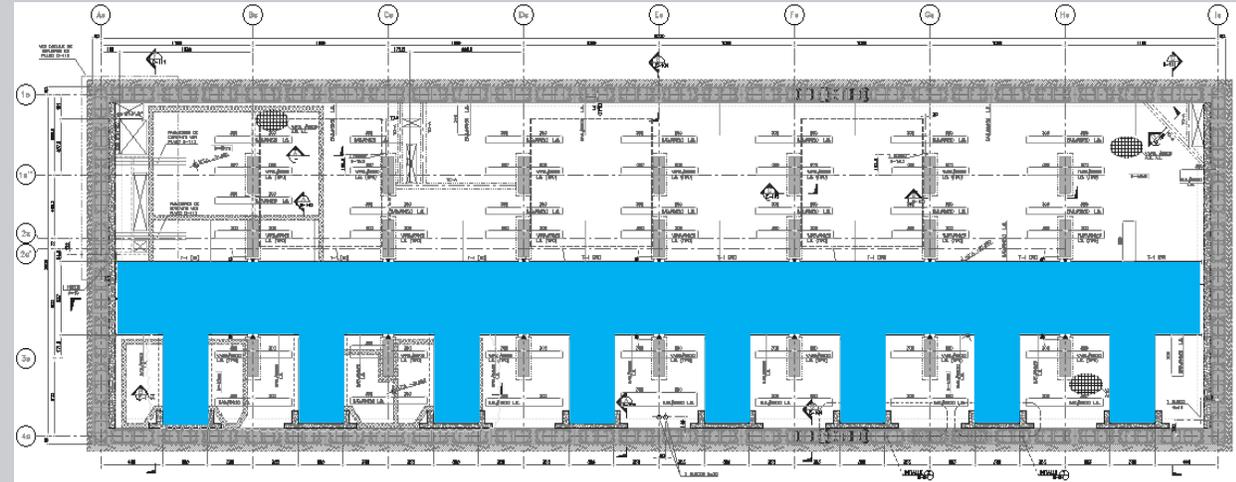
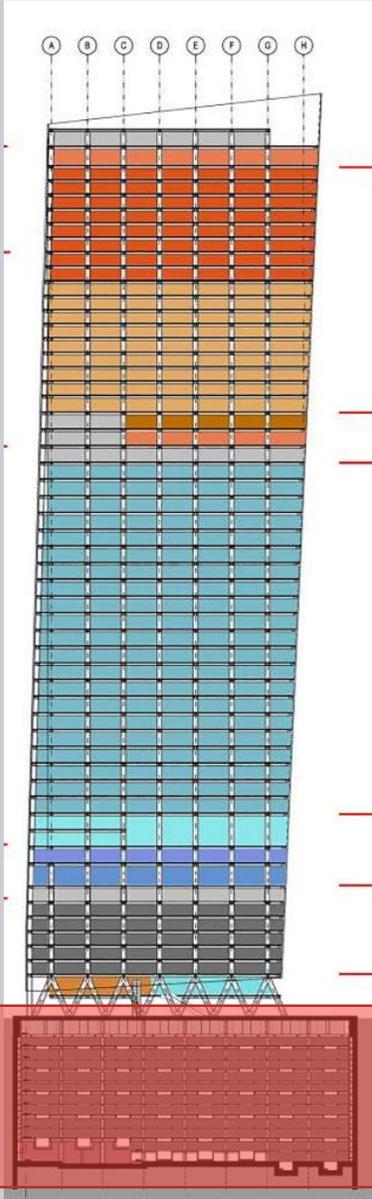
- Planta baja
- 60 niveles sobre el nivel de banqueta
- Helipuerto



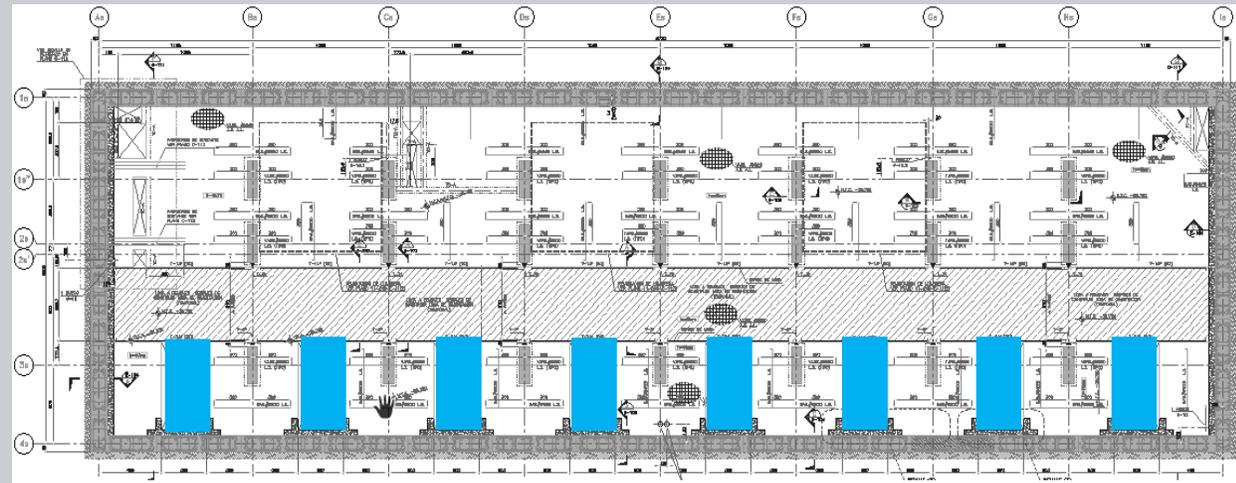


MULTIPARKER 760



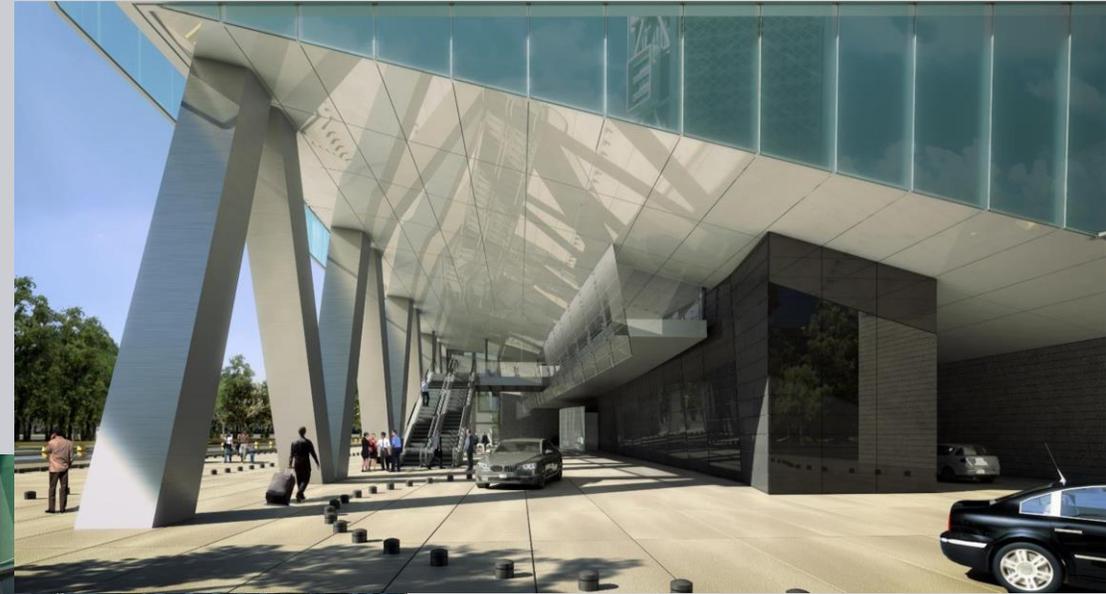
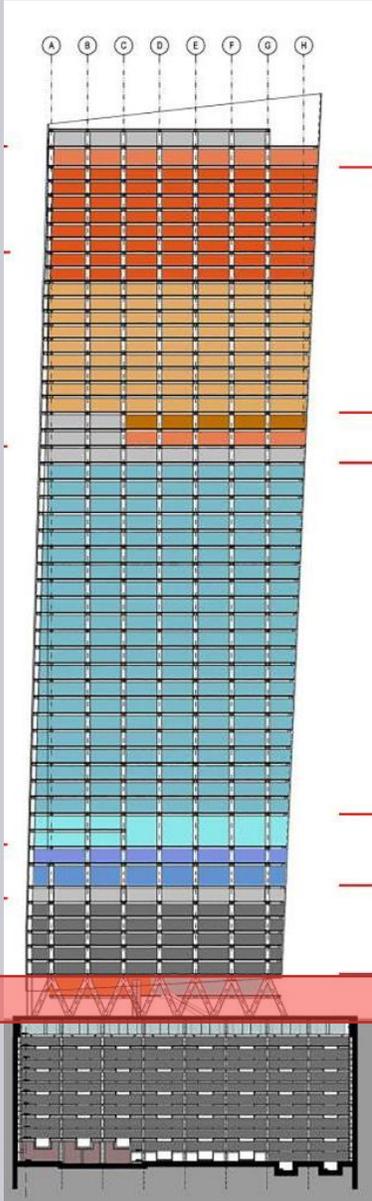


Planta Tipo Sótanos Nones

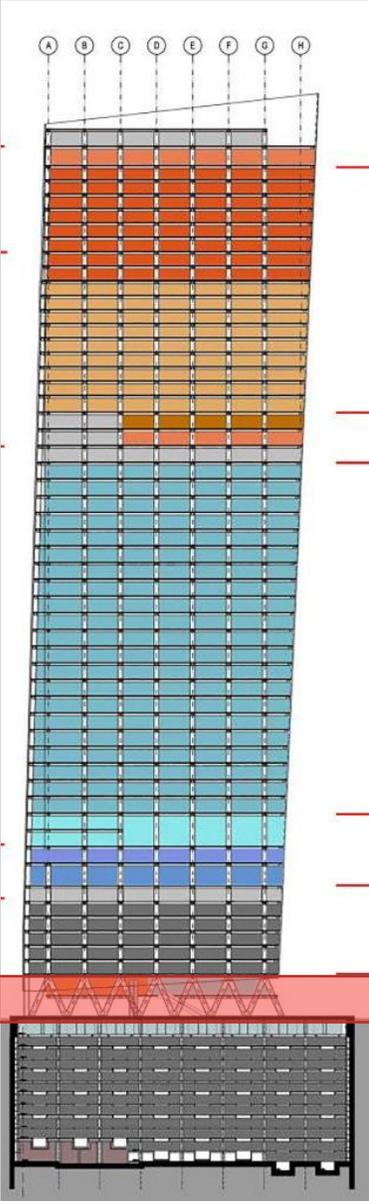


Planta Tipo Sótanos Pares

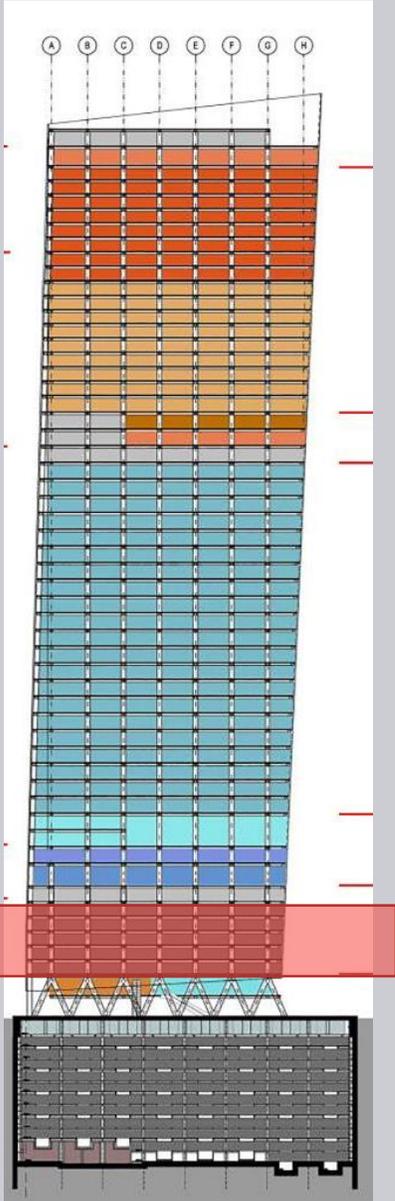
Motor Lobby / Vestíbulo



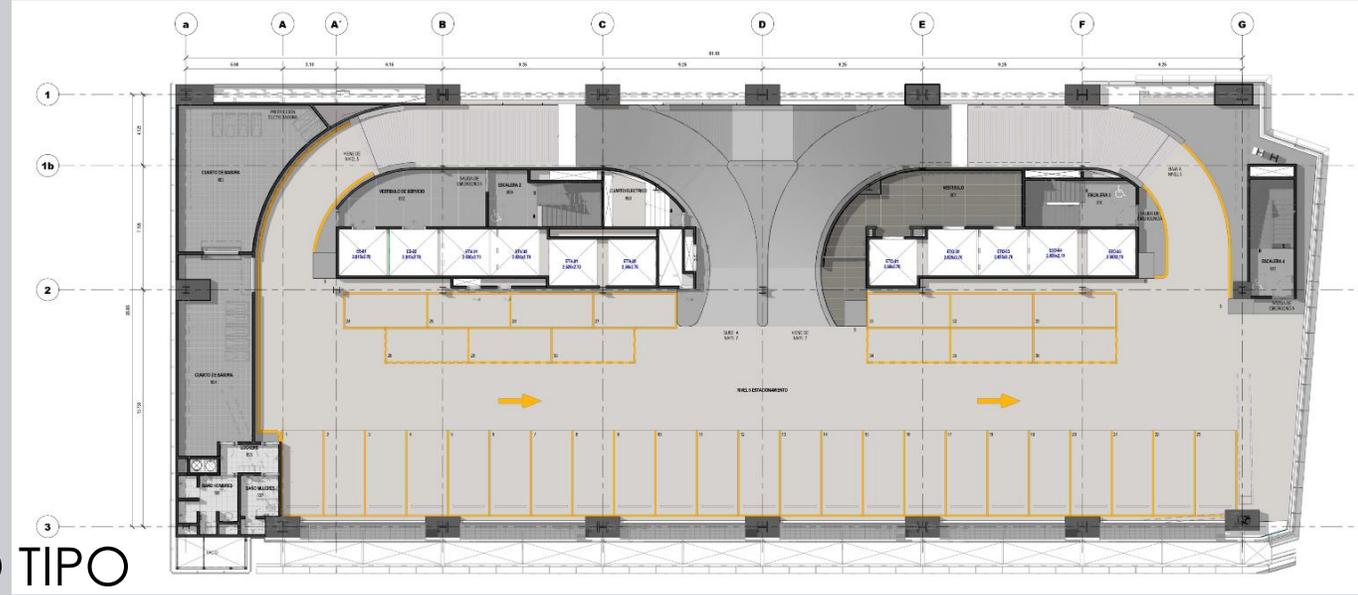
Motor Lobby / Vestíbulo



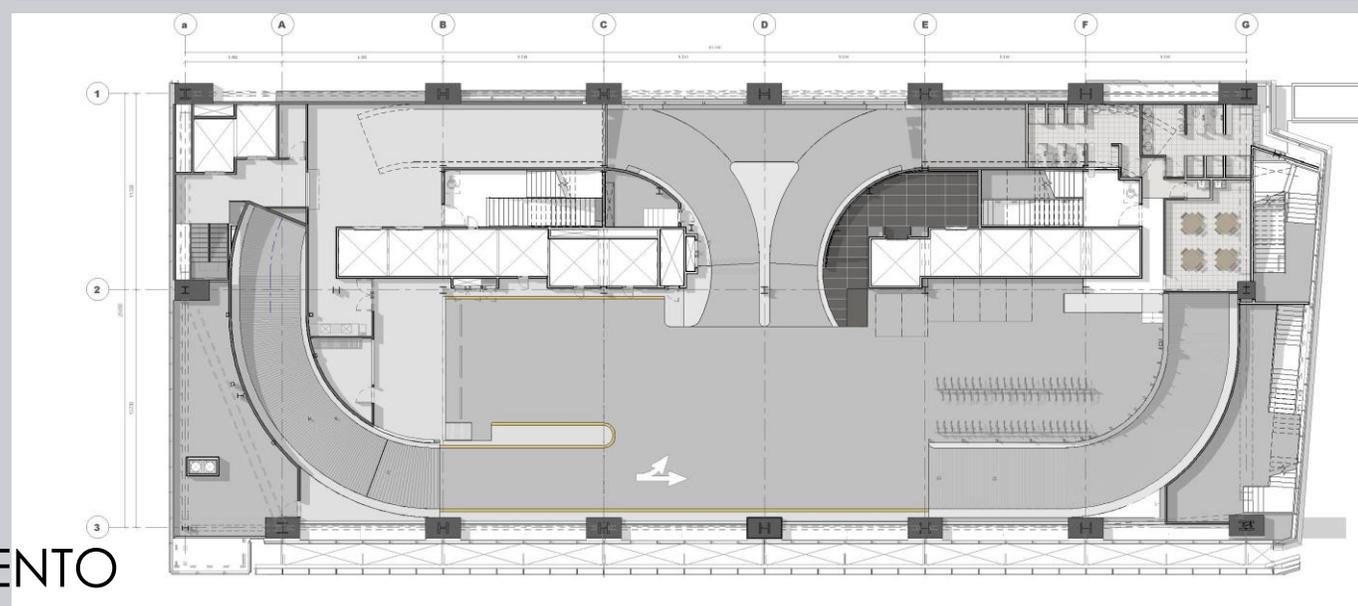
Estacionamiento



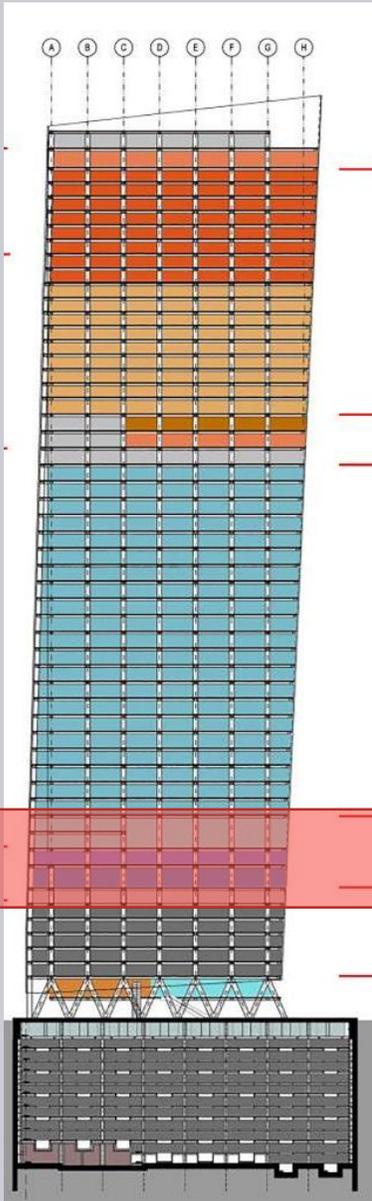
ESTACIONAMIENTO TIPO



NIVEL 5 - ESTACIONAMIENTO



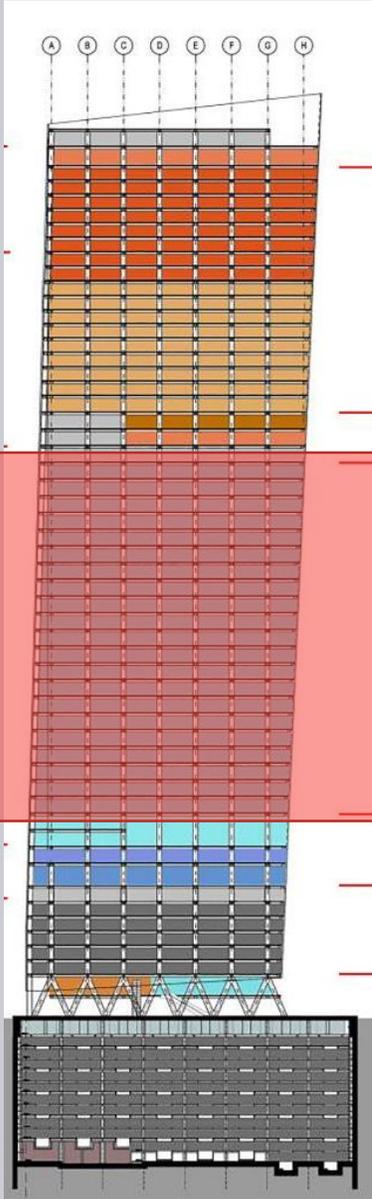
Salones Ritz-Carlton



- N14 - Lobby Oficinas
- N13 - Lobby Oficinas
- N12 - Amenidades
- N11 - Ballroom
- N10 - Instalaciones



Oficinas



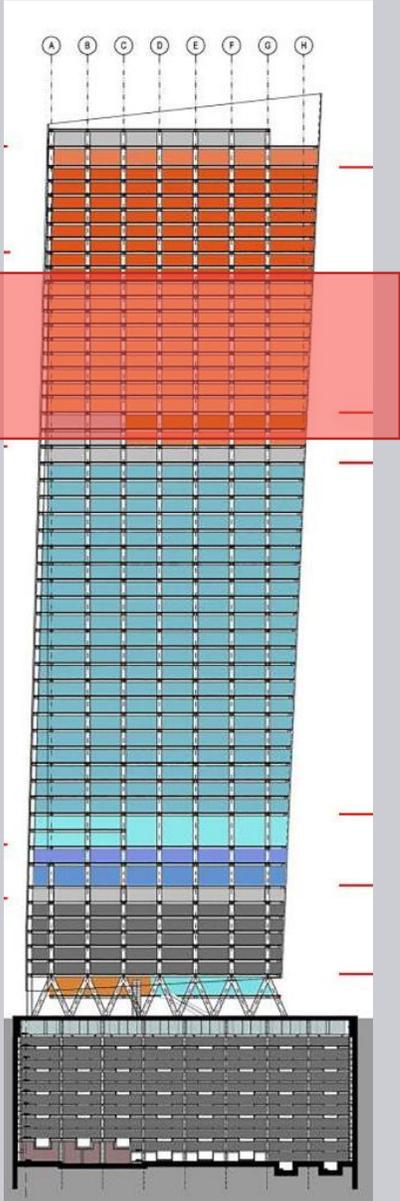
Planta Tipo Low Rise
(Niveles 15 a 25)



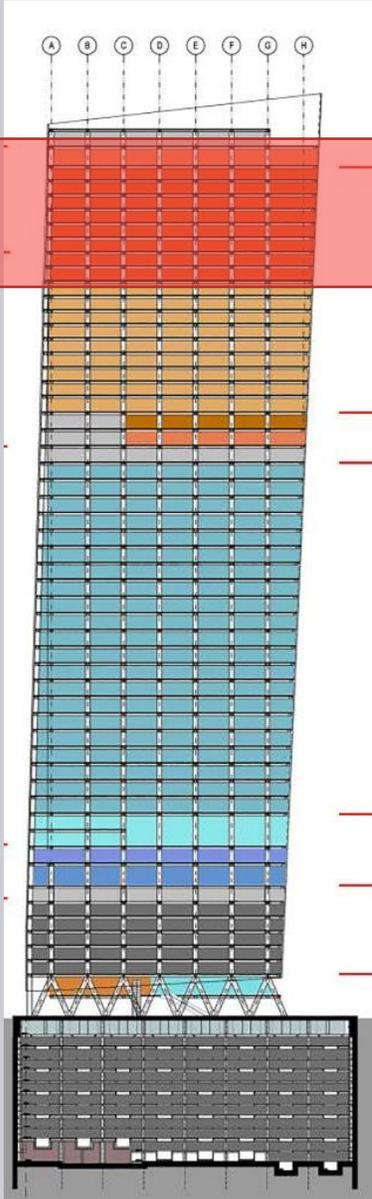
Planta Tipo High Rise
(Niveles 26 a 35)



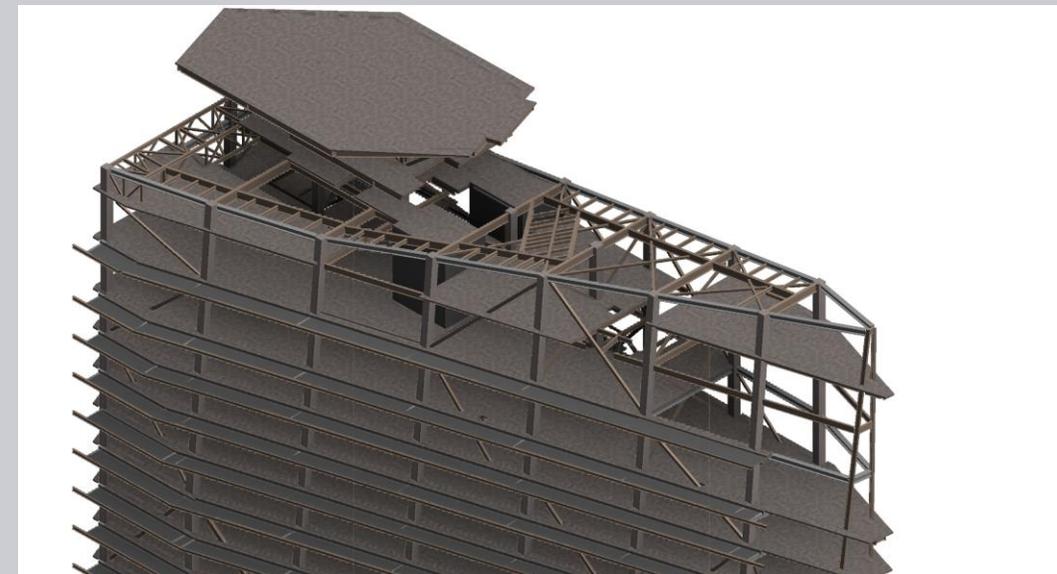
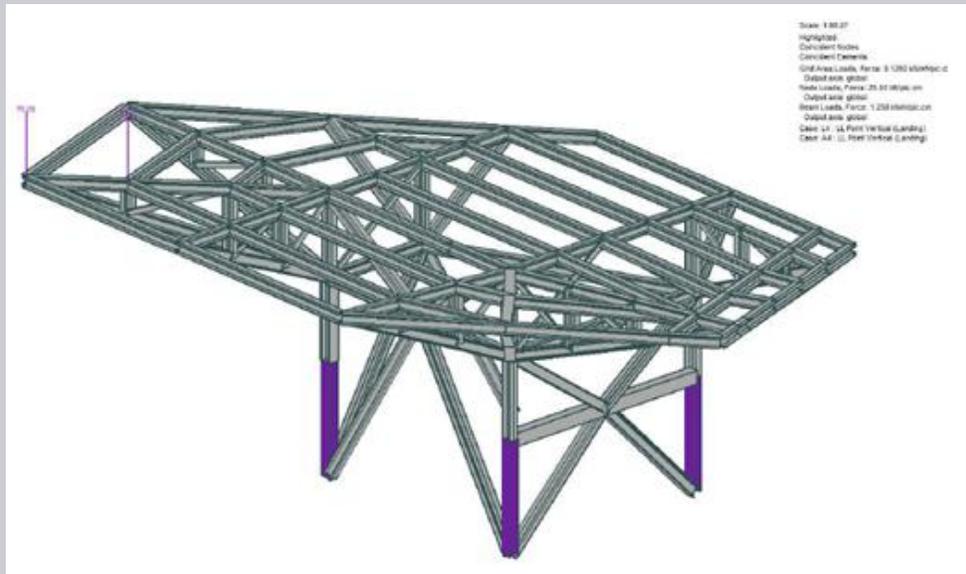
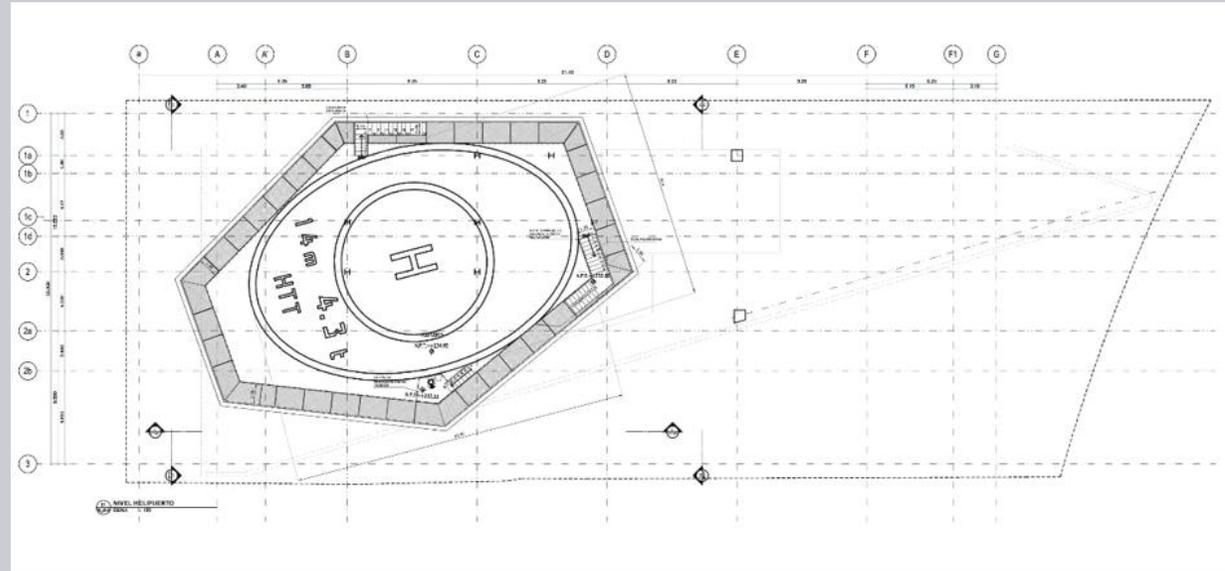
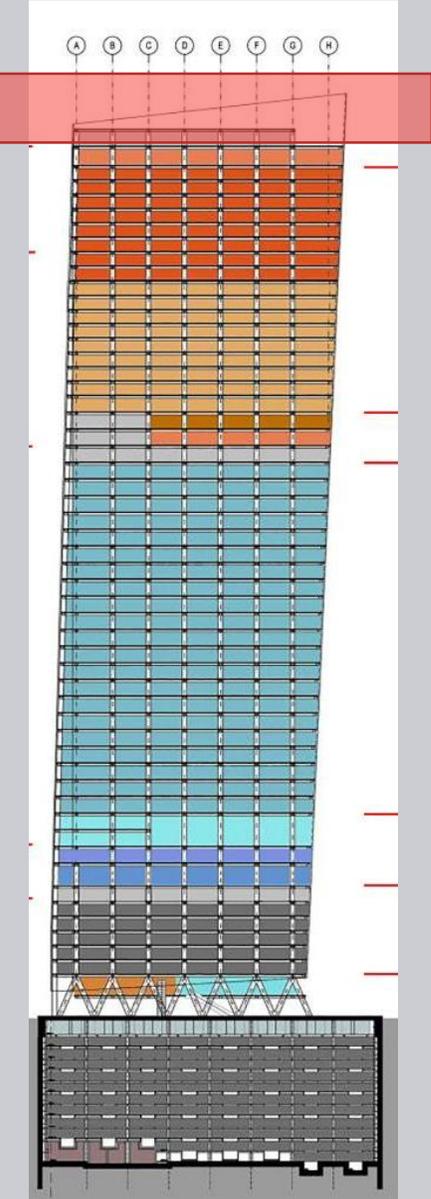
Hotel



Residencial



Helipuerto





El Equipo

El Reparto



wsp

Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

El Equipo





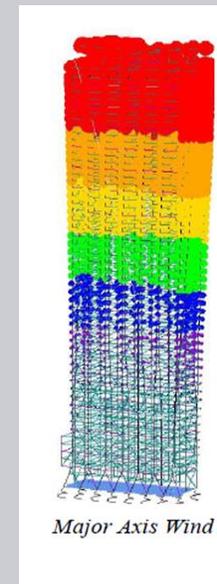
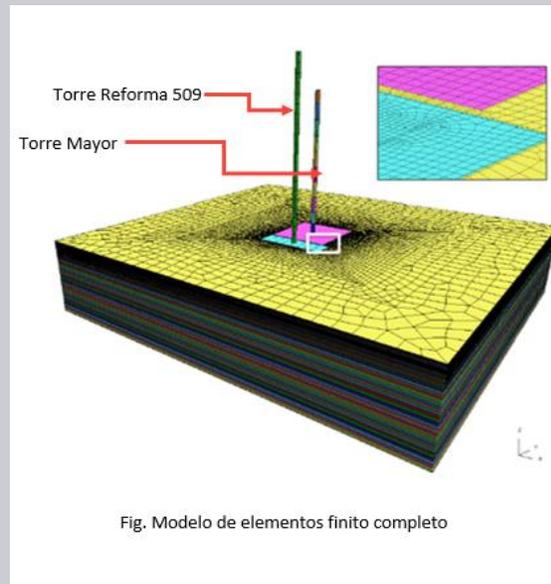
Fases de Diseño

El Plan



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

Fases de Diseño



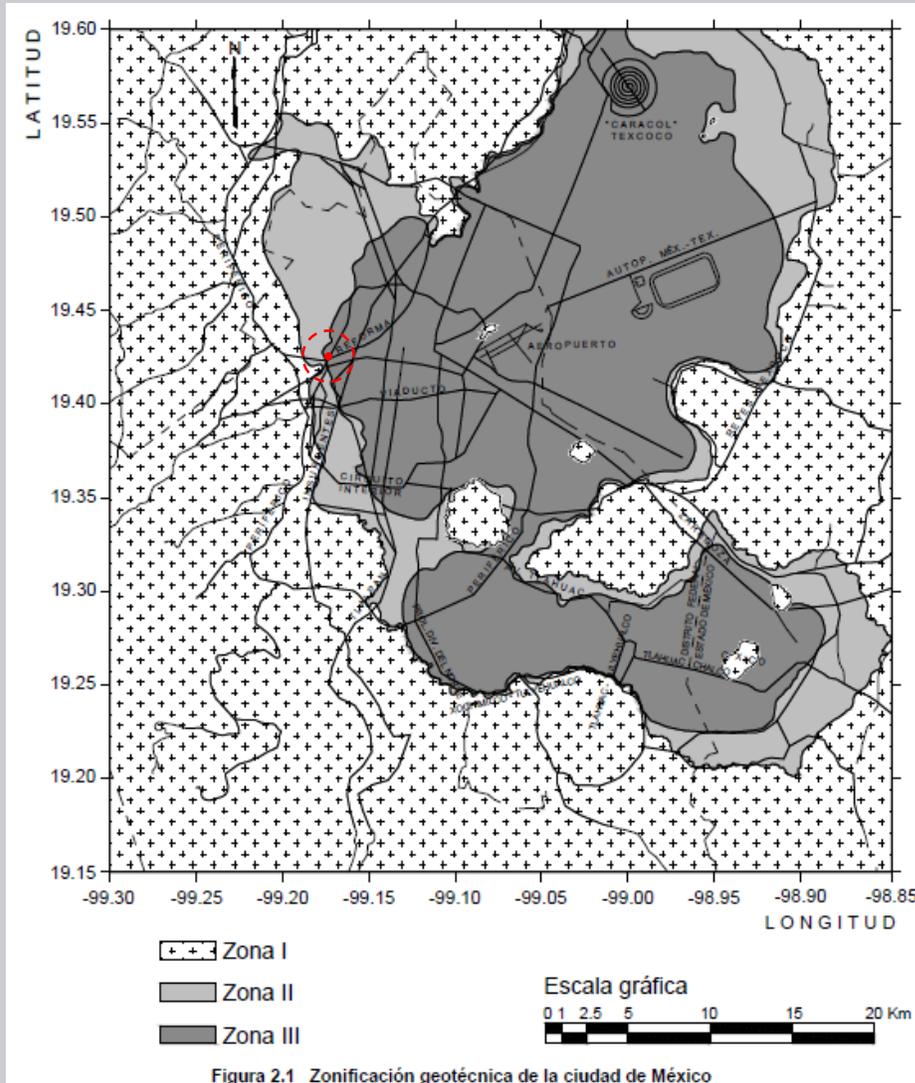


La Subestructura

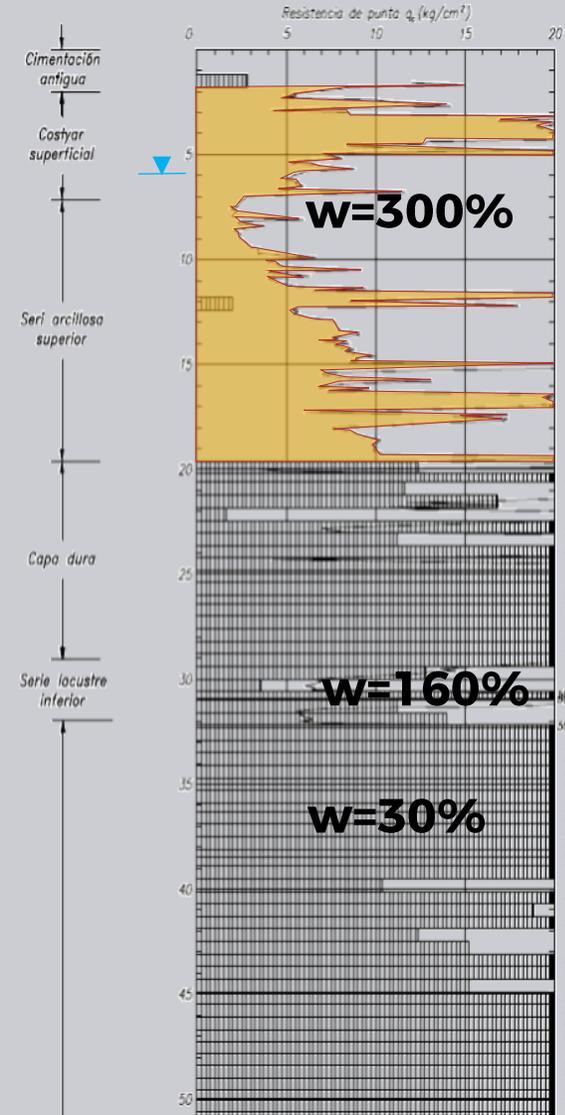
El Inicio



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox



Zonificación Geográfica

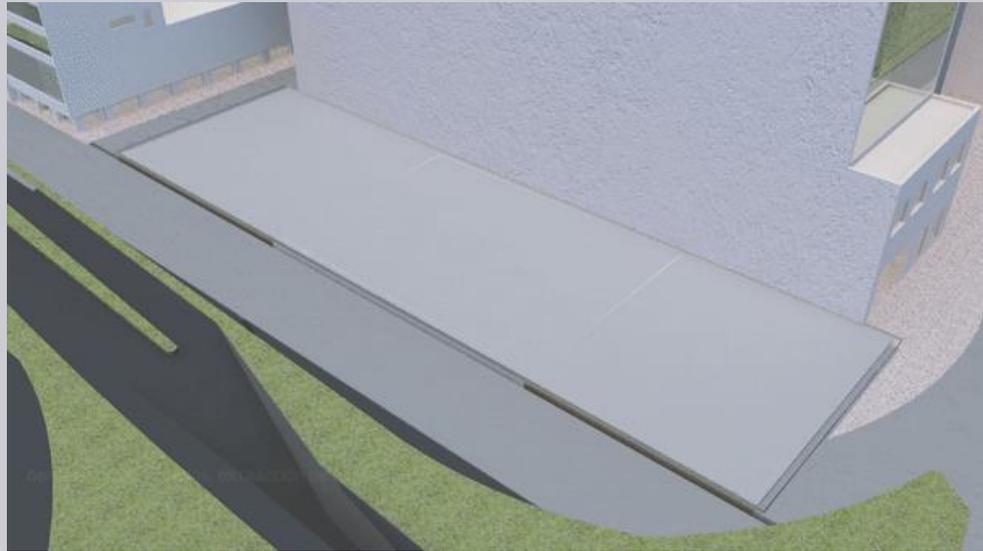


Unidad	Estrato	Prof. (m)	espesor e (m)
U1	Costra superficial	0.0-5.0	5.00
U2	Serie arcillosa superior	5.0-10.0	5.00
U3		10.0-23.0	13.00
U4	Capa dura	33.0-29.5	6.50
U5	serie arcillosa inferior	29.5-32.0	2.50
U6	Depósitos profundos	32.0-39.5	7.50
U7		39.5-45.0	5.50
U8		45.0-59.5	14.50
U9		59.5-63.5	4.00

Unidad	peso vol. γ (t/m ³)	Cohesión C (t/m ²)	Fricción ϕ °	Modulo de elasticidad E (t/m ²)	Relación de poisson
U1	1.50	6.0	23	500	0.45
U2	1.20	4.0	-	400	0.45
U3	1.20	9.5	18	1,200	0.35
U4	1.70	16.0	30	1,900	0.45
U5	1.40	15.0	-	1,500	0.35
U6	1.80	15.0	35	4,000	0.35
U7	1.70	5.0	34	1,700	0.35
U8	1.80	18.0	35	4,000	0.45
U9	1.50	20.5	-	2,000	0.35

Estratigrafía del Sitio

Pilas Preexistentes



Muro Milán

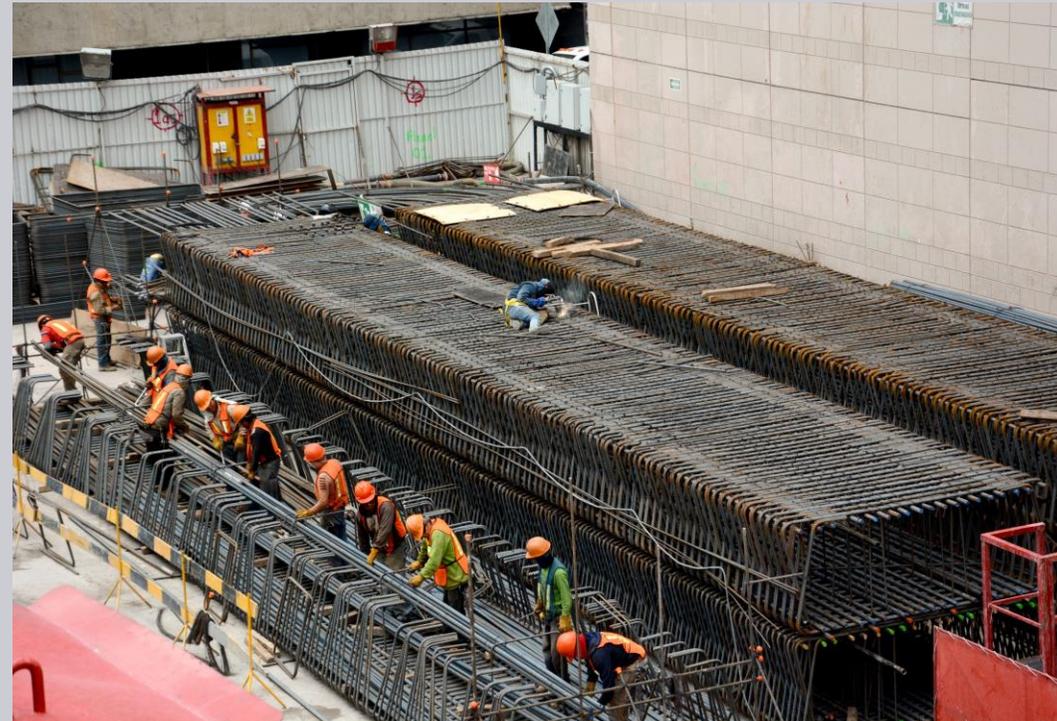
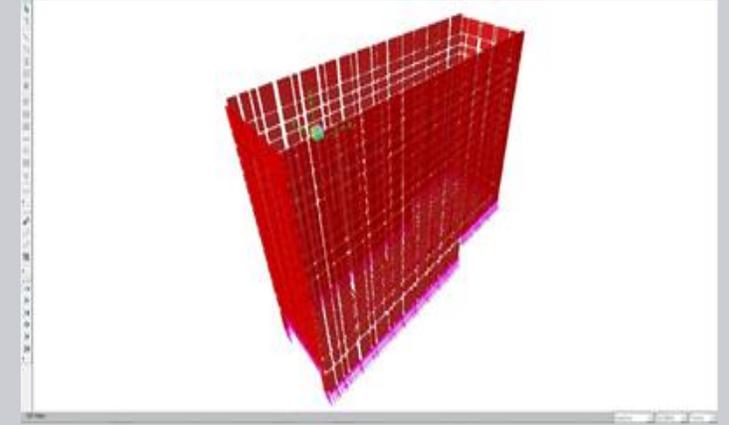
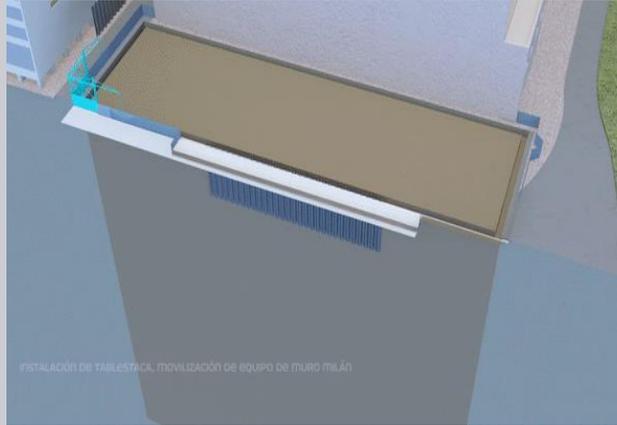


Modelado

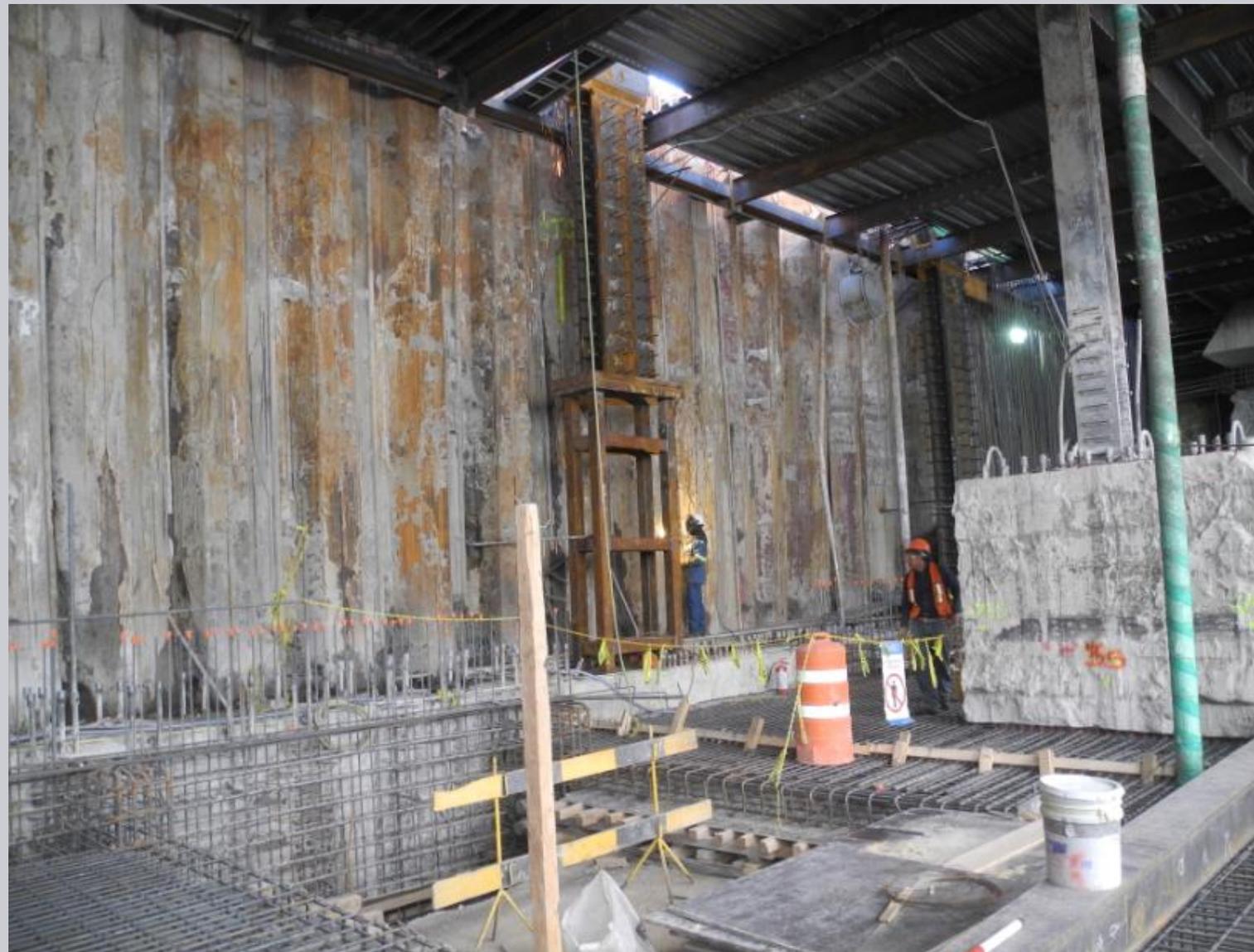
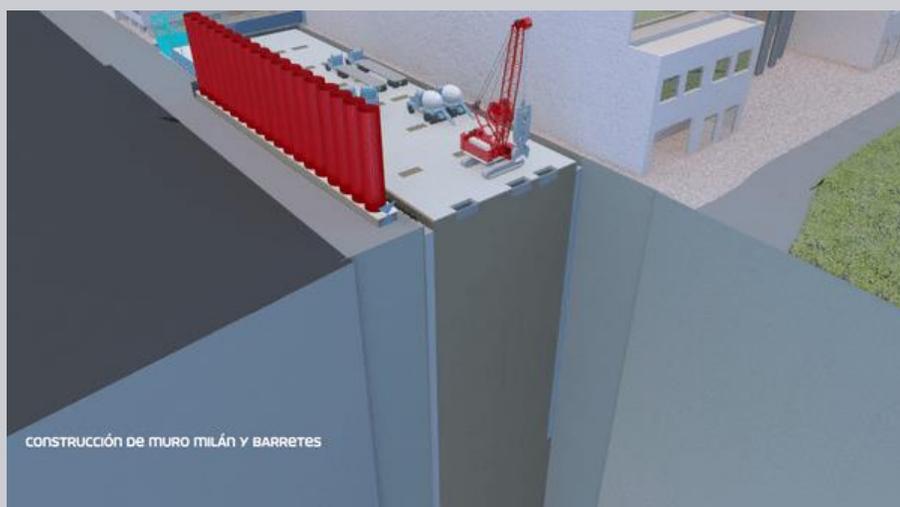
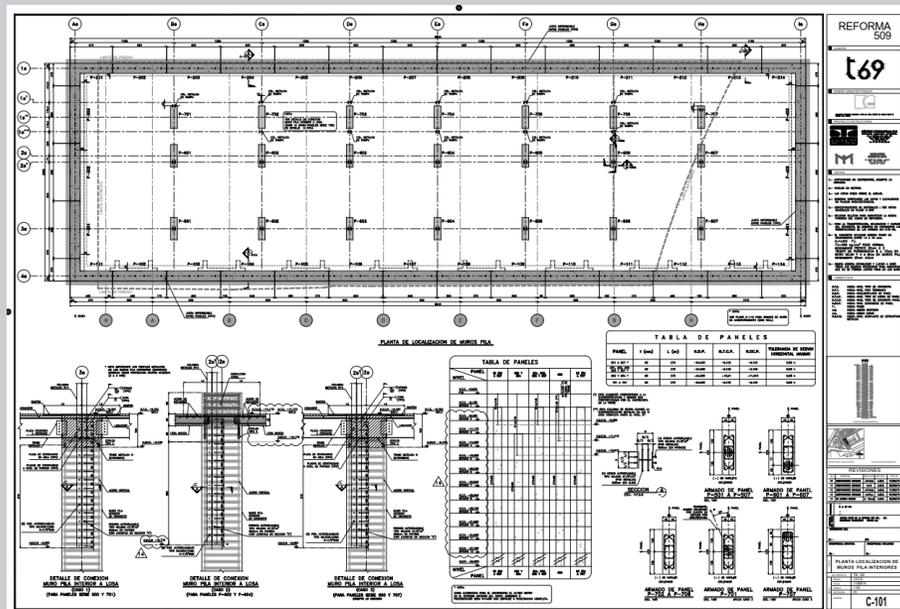
- **Número de Paneles:** 38
- **Espesor t:** 1.2 m
- **Longitud Aprox:** 6.20 m
- **Altura:** Entre 55 y 64 m.

Diseño

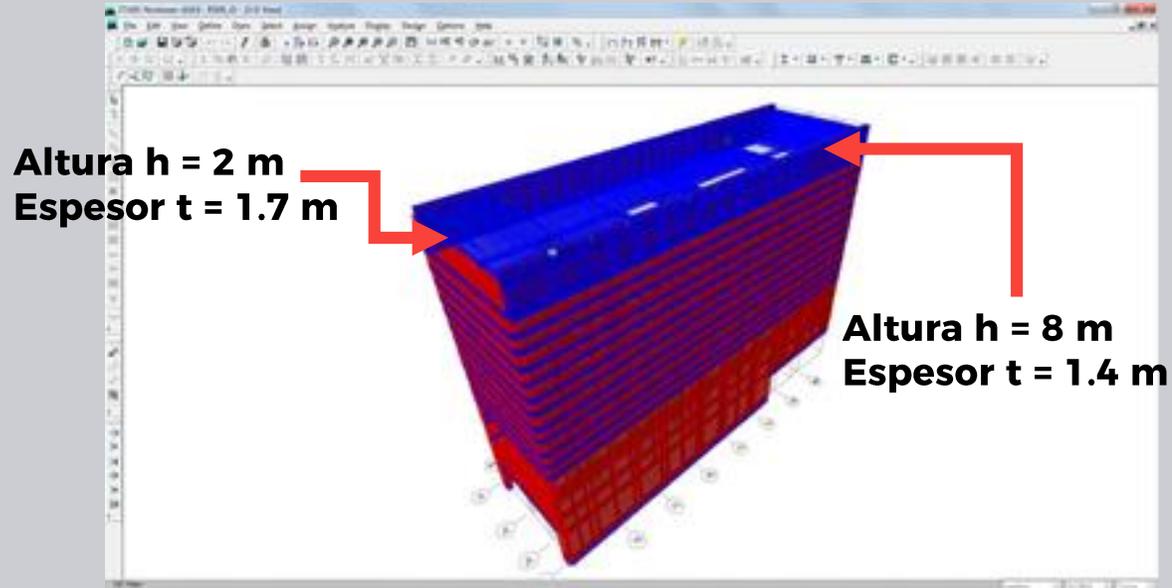
- **Etapa 1:**
 - Revisión de carga axial en muros.
 - Diseño por empujes laterales estáticos y dinámicos.
 - La capacidad del terreno no es rebasada por las descargas del muro perimetral.
- **Etapa 2:**
 - Revisión de cuantías de acero de acuerdo con la demanda por cargas laterales, permanentes y accidentales.
 - Revisión de la capacidad del suelo.



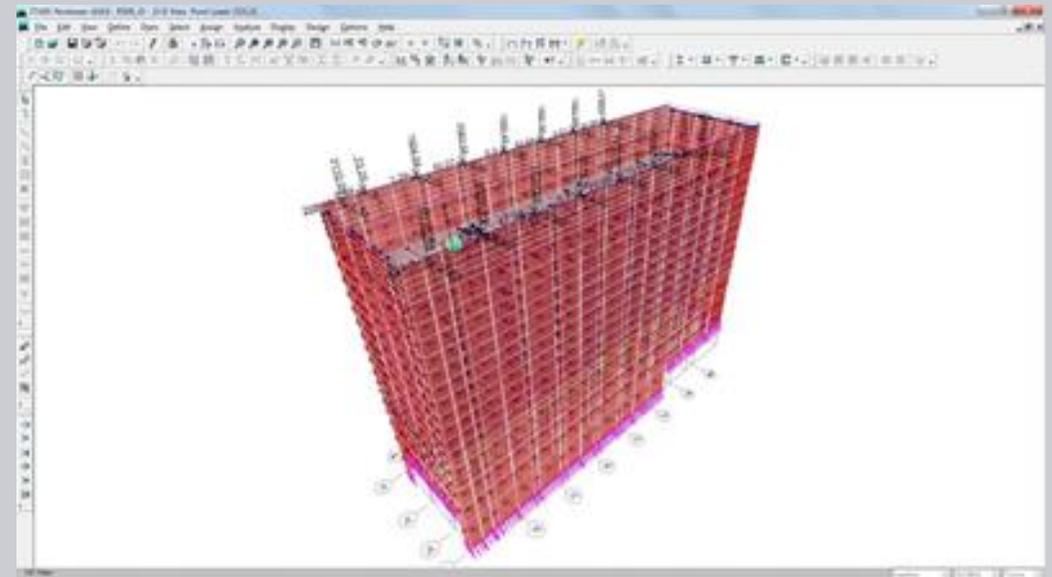
Barrets



Trabe de Coronamiento

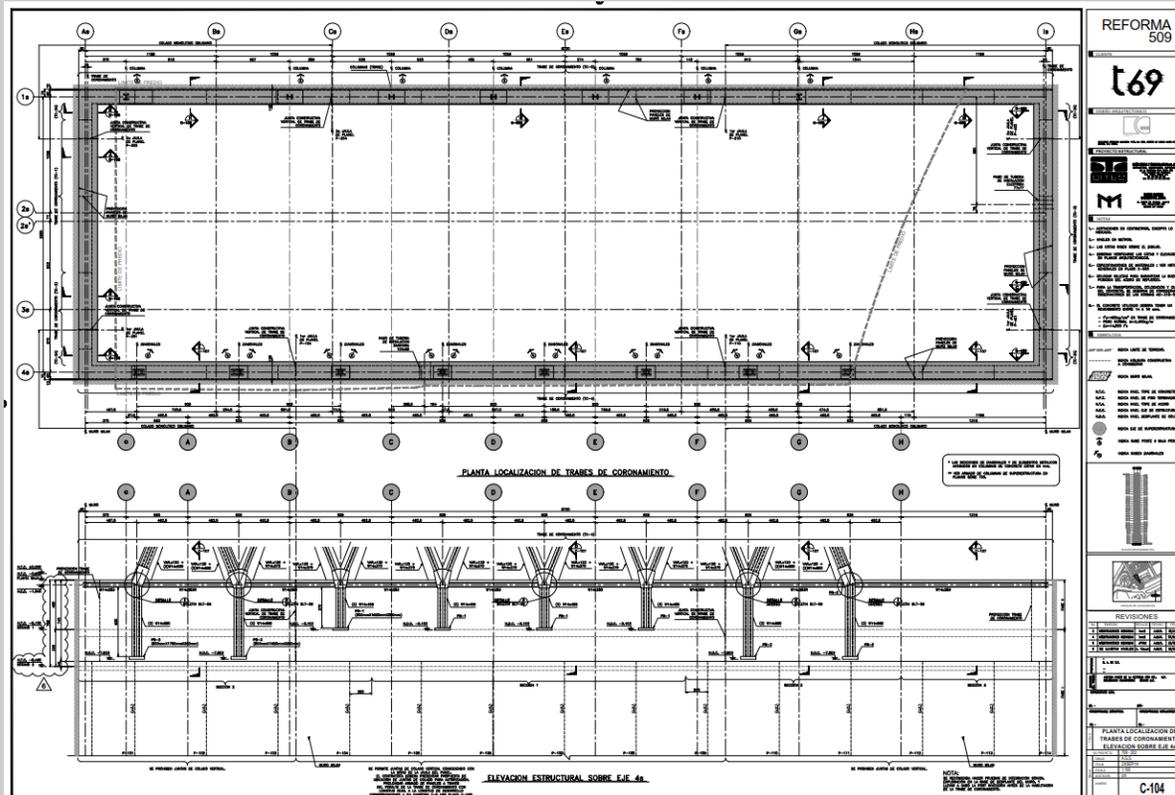


Trabe de Coronamiento
(Elevación tridimensional)

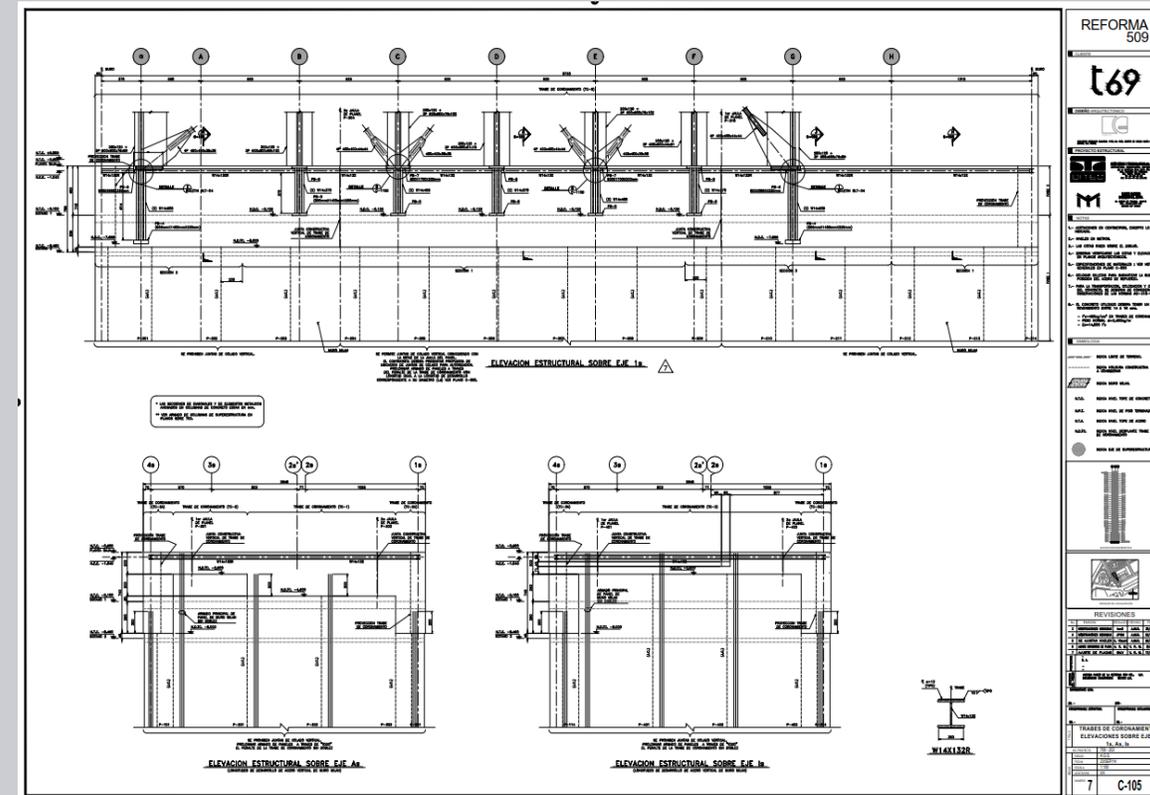


Descargas Puntuales en Trabe de
Coronamiento (Elevación tridimensional)

Trabe de Coronamiento



Planta de localización de trabe de coronamiento –
Elevación sobre eje 4s

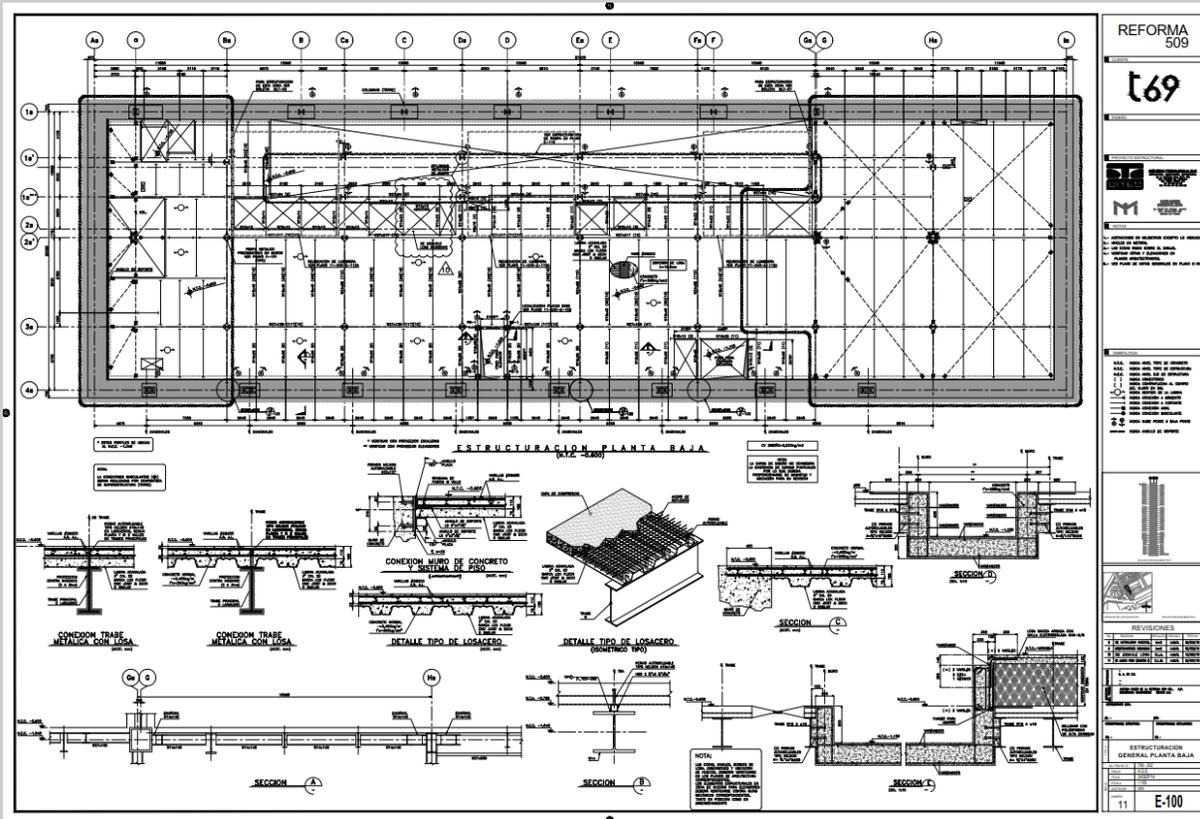


Elevaciones sobre ejes 1s, As, Is

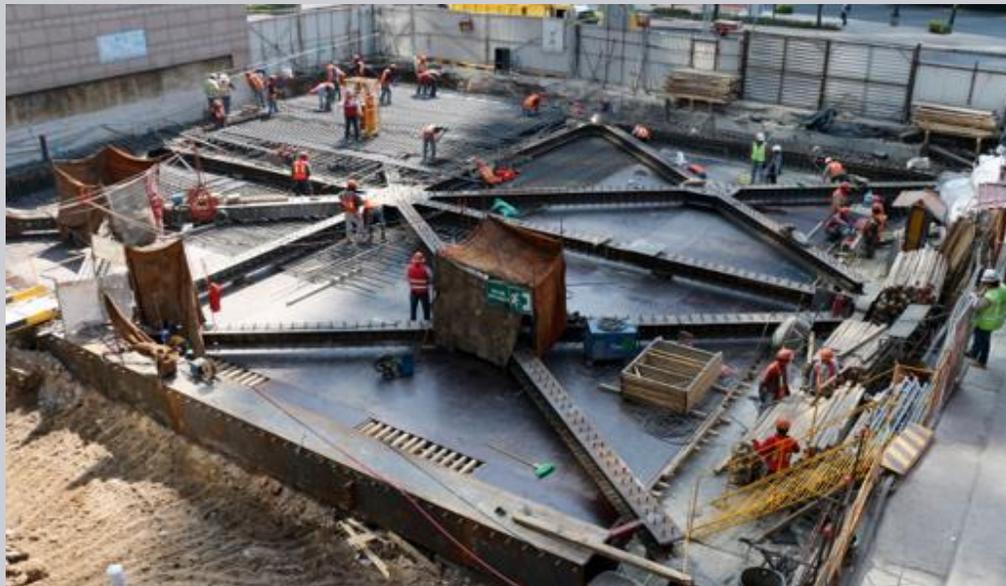
Trabe de Coronamiento



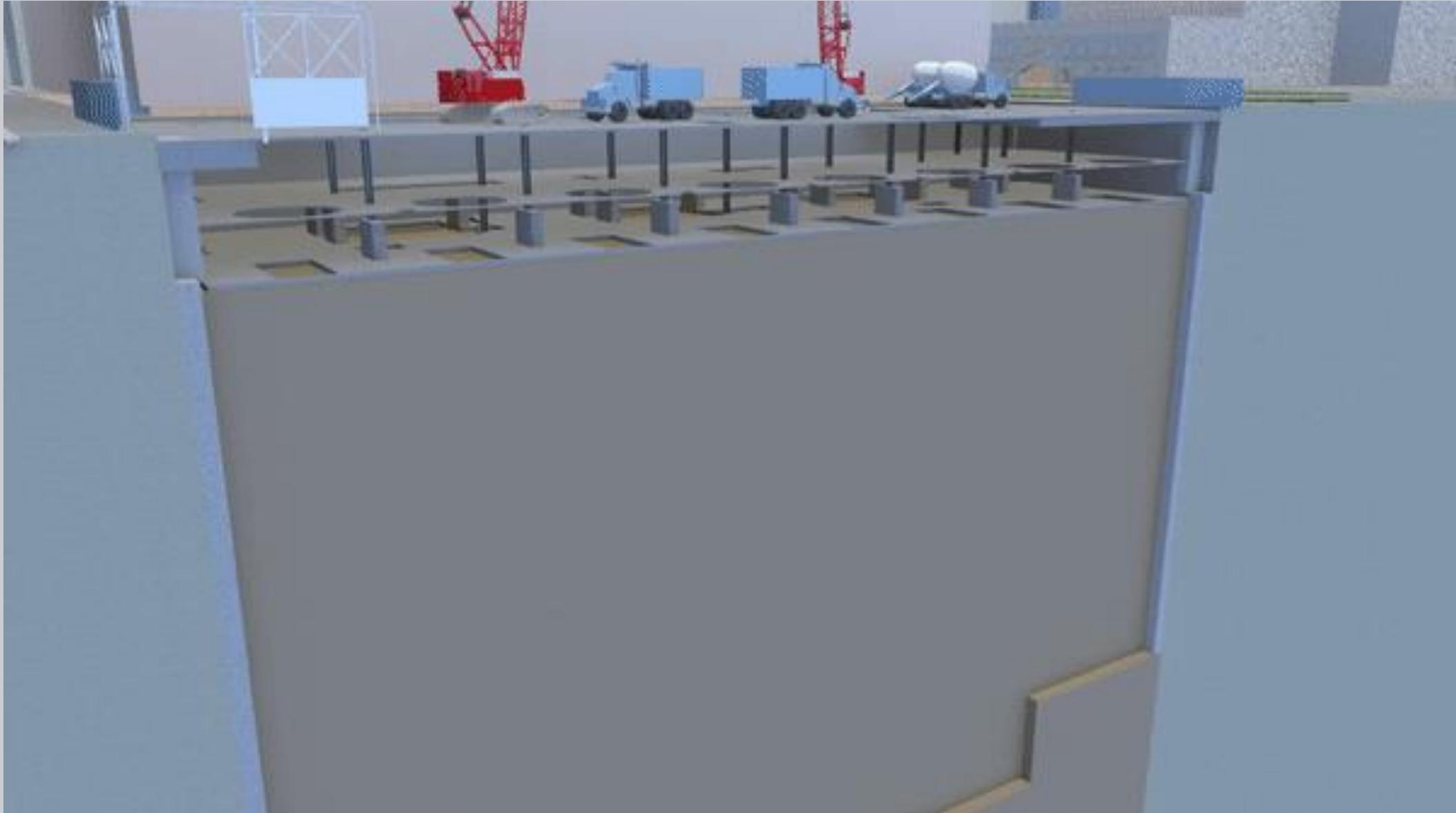
Losa de Transición (Planta Baja)



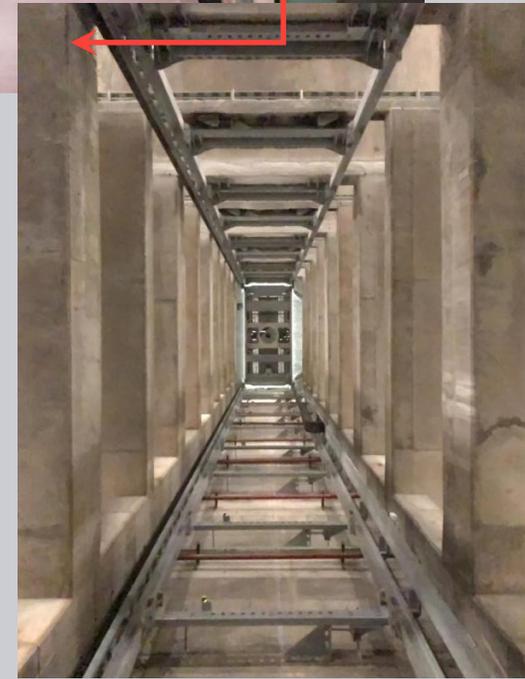
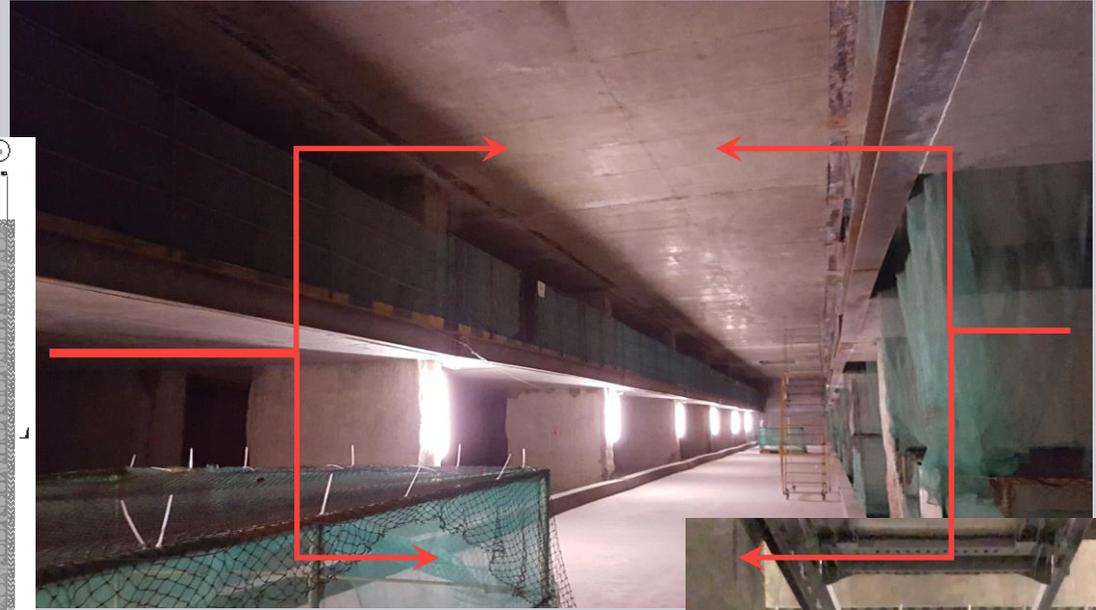
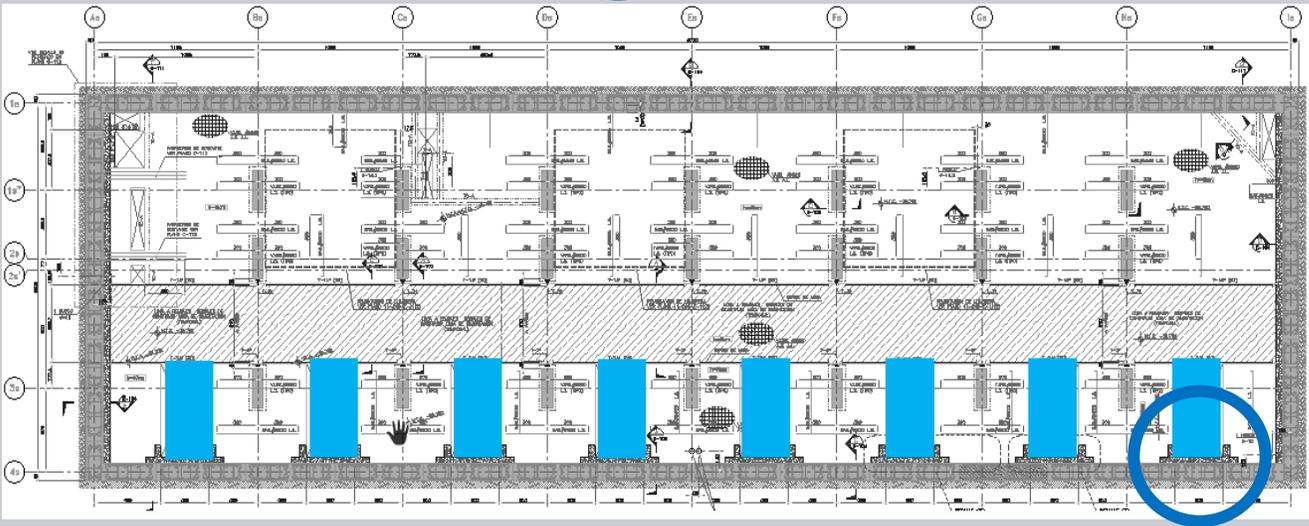
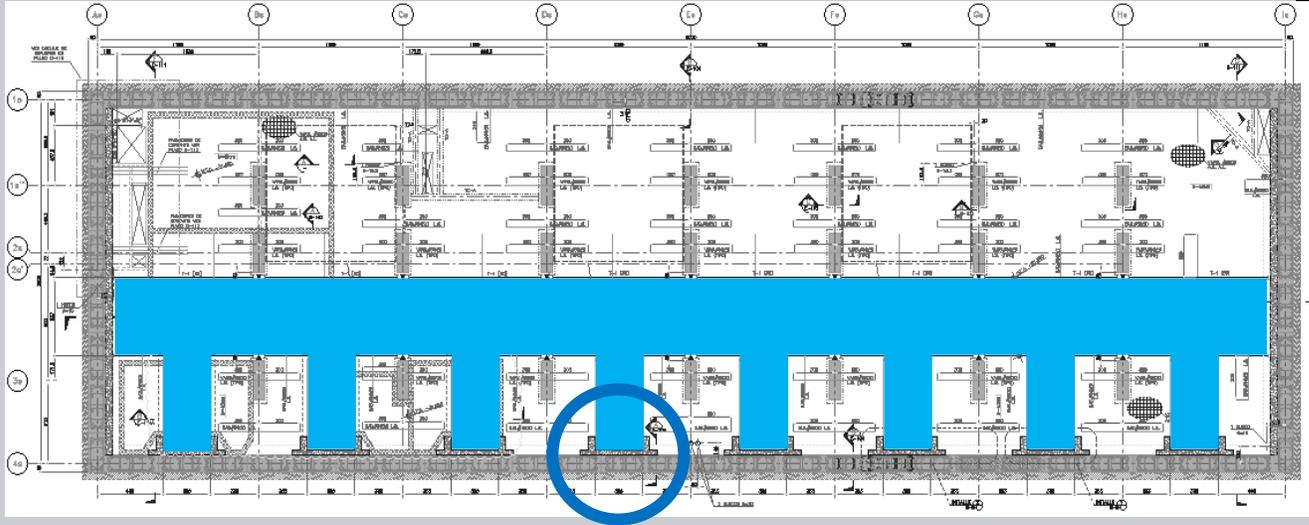
Losa de Transición (Planta Baja)



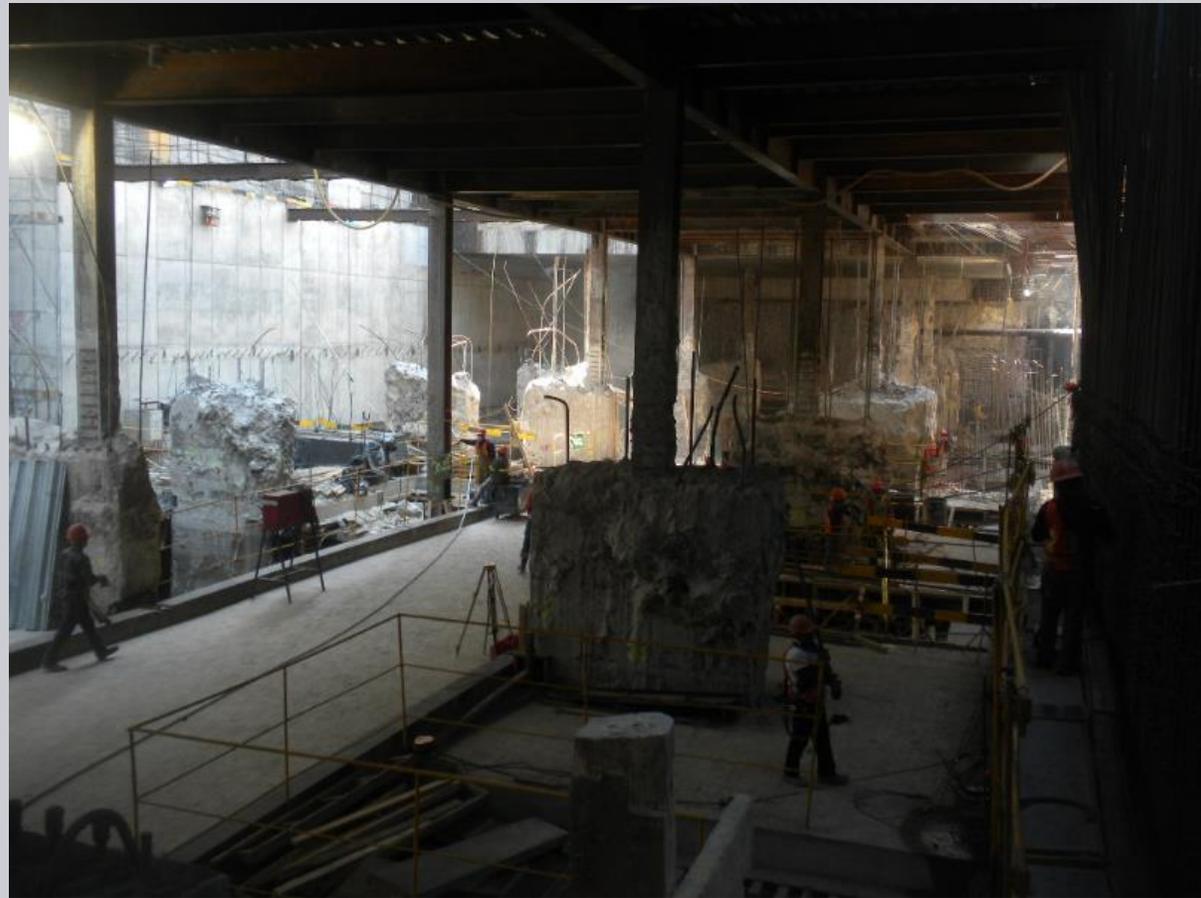
Proceso Constructivo - Top Down



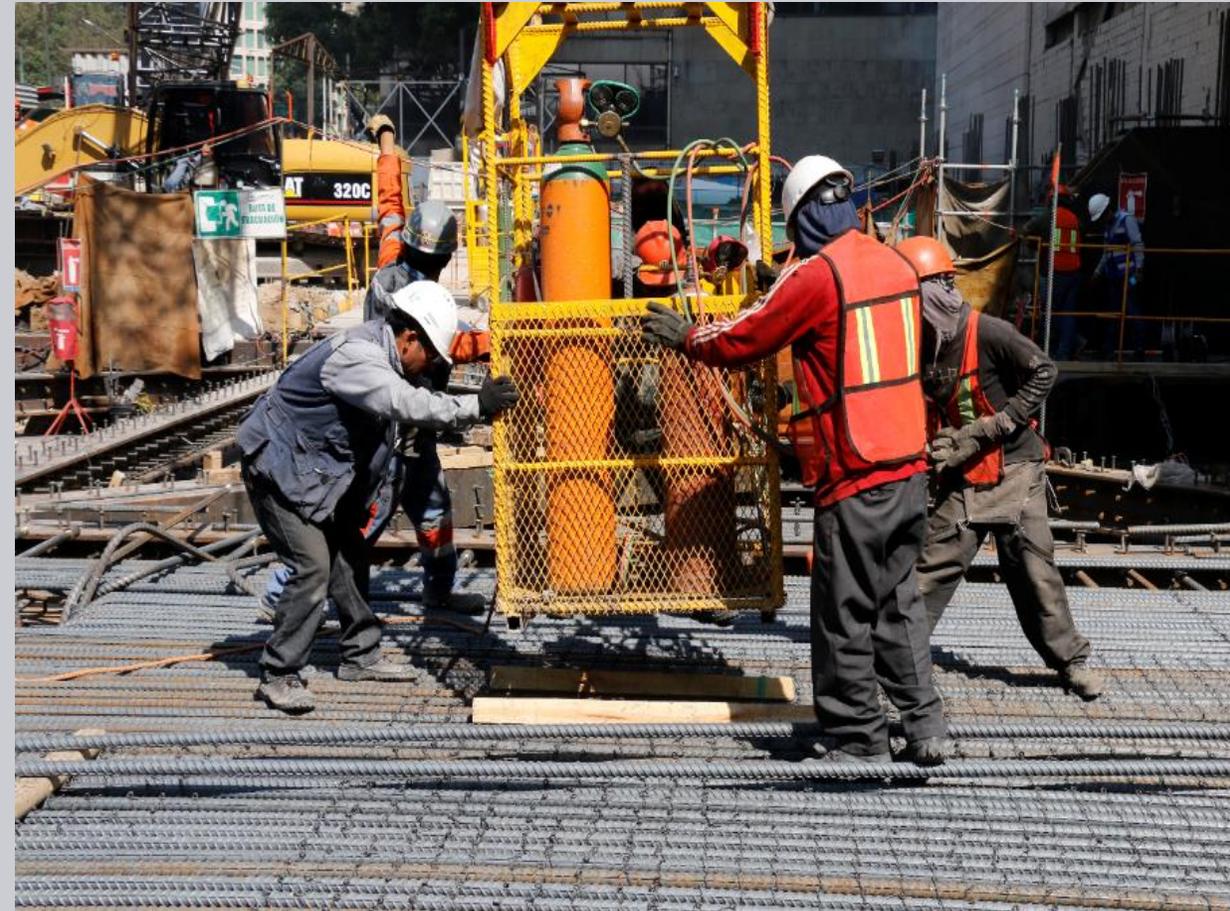
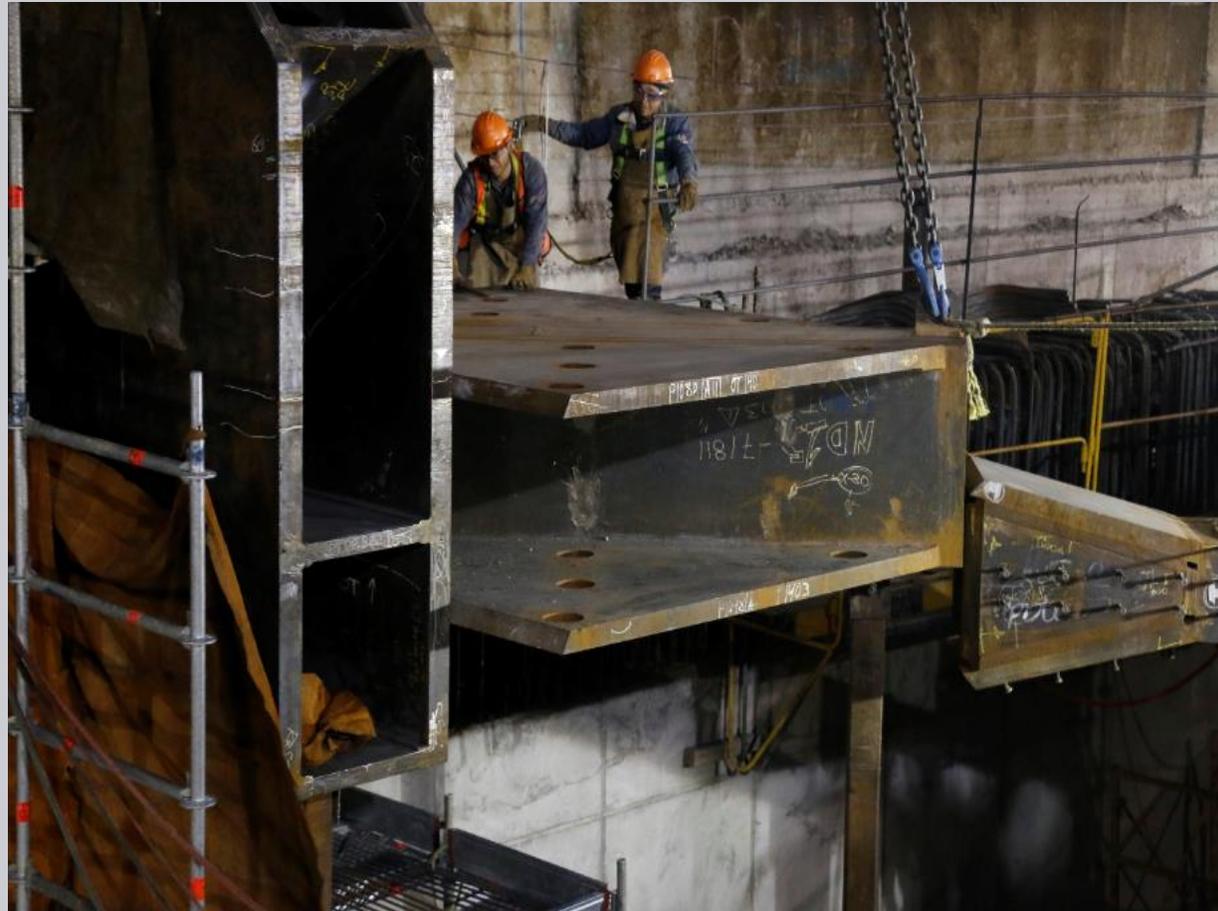
Refuerzo por Robot













Las Colindancias

Los Vecinos



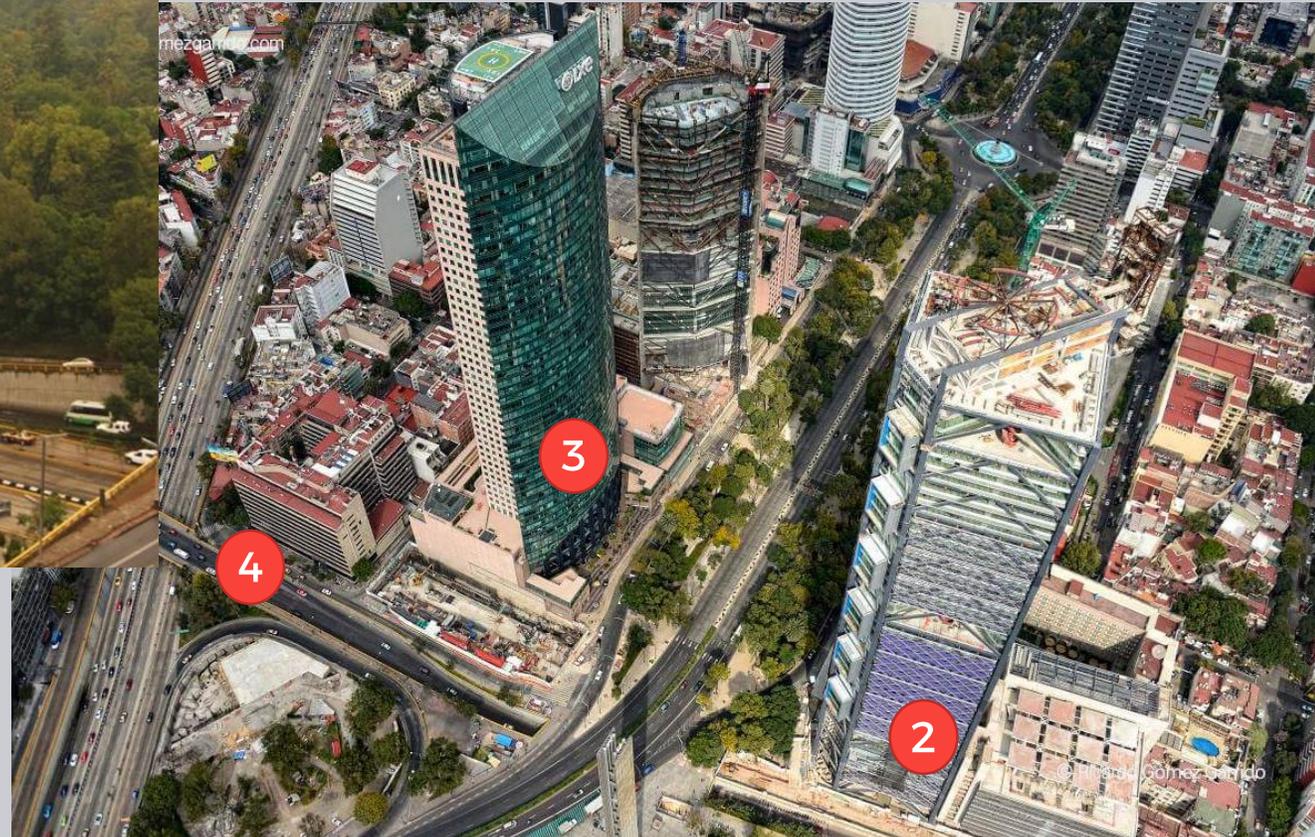
Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

El Predio y Las Colindancias

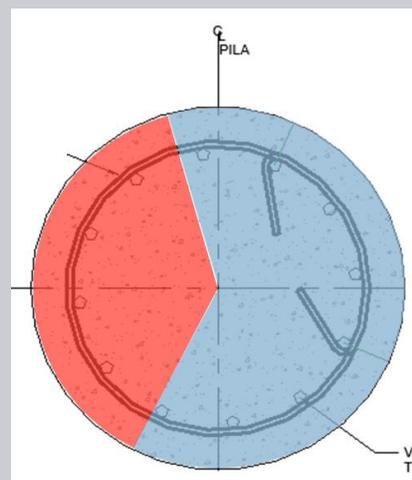
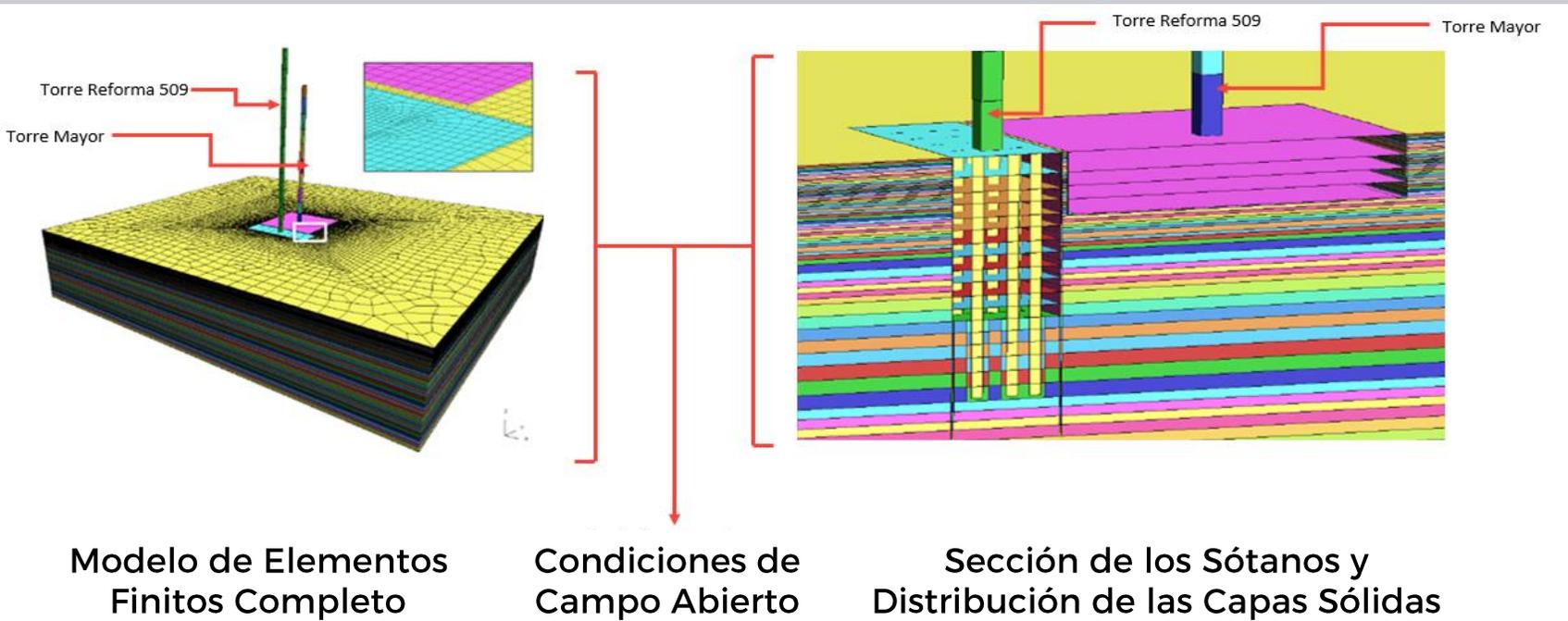


$h:2d + 1.5$ $h:2((277+100+11)/3)+1.5$ $h:2((388)/3)+1.5$ $h:2(129.33)+1.5$ **$h:260.16m$**

El Predio y Las Colindancias



Interacción Suelo Estructura - Diseño

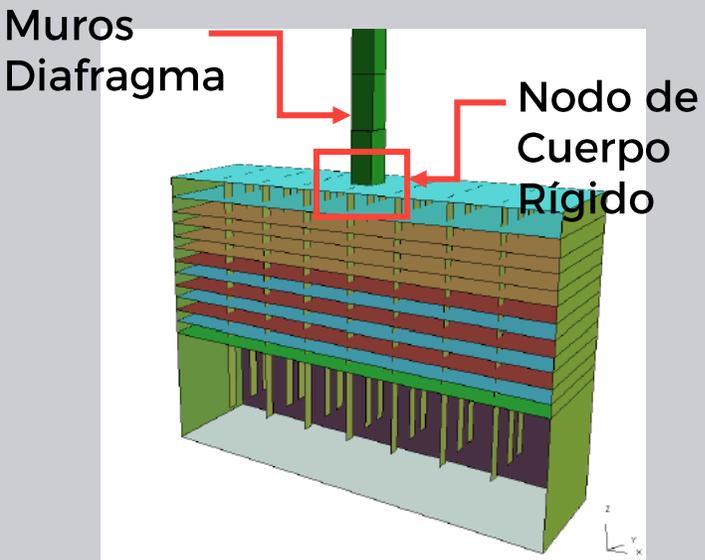


No hay presión del suelo debido a excavaciones

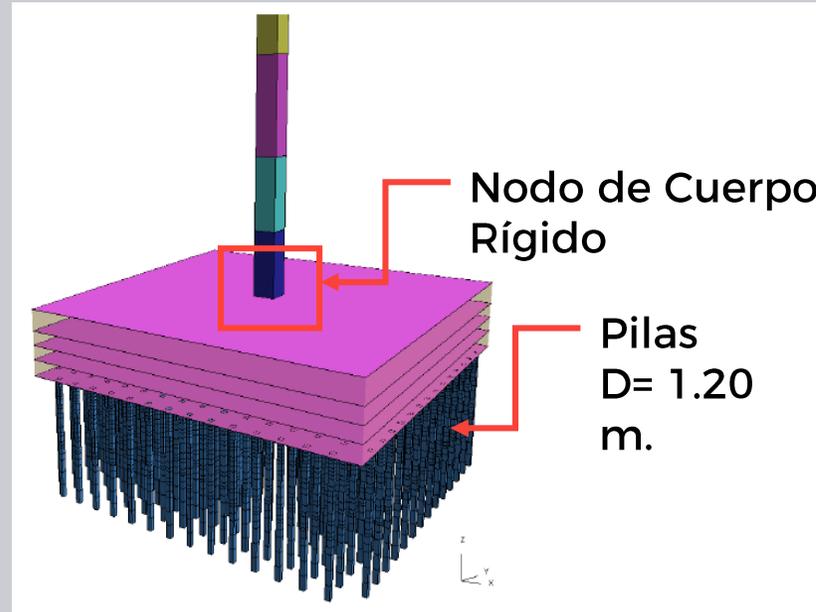
Sección sometida a la presión del suelo

Análisis de Cimentación Torre Mayor

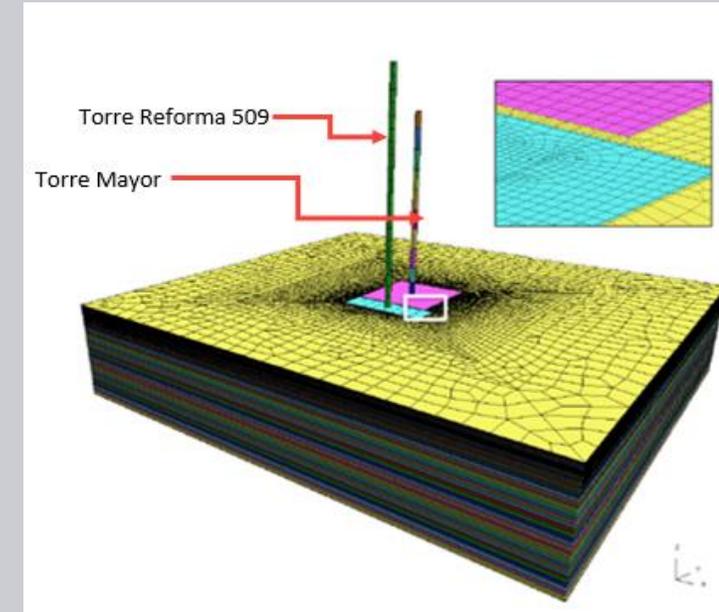
Interacción Suelo Estructura - Modelo



Modelo de Elementos Finitos Reforma 509



Modelo de Elementos Finitos de Torre Mayor

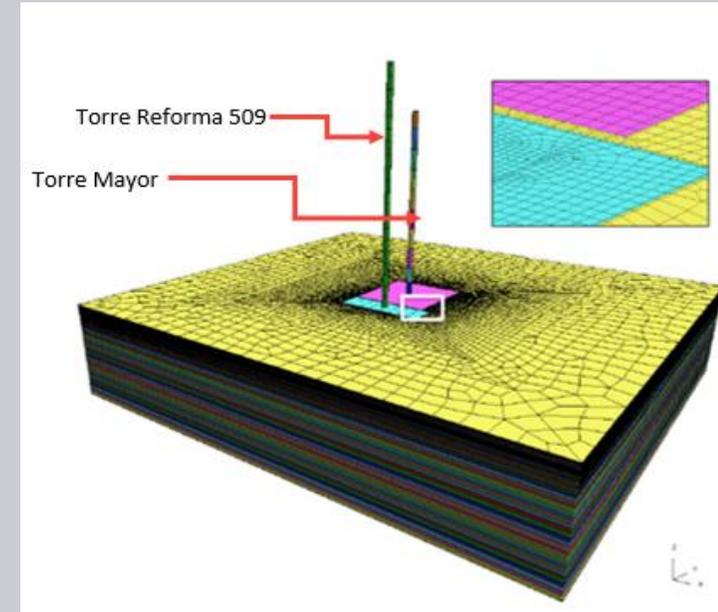
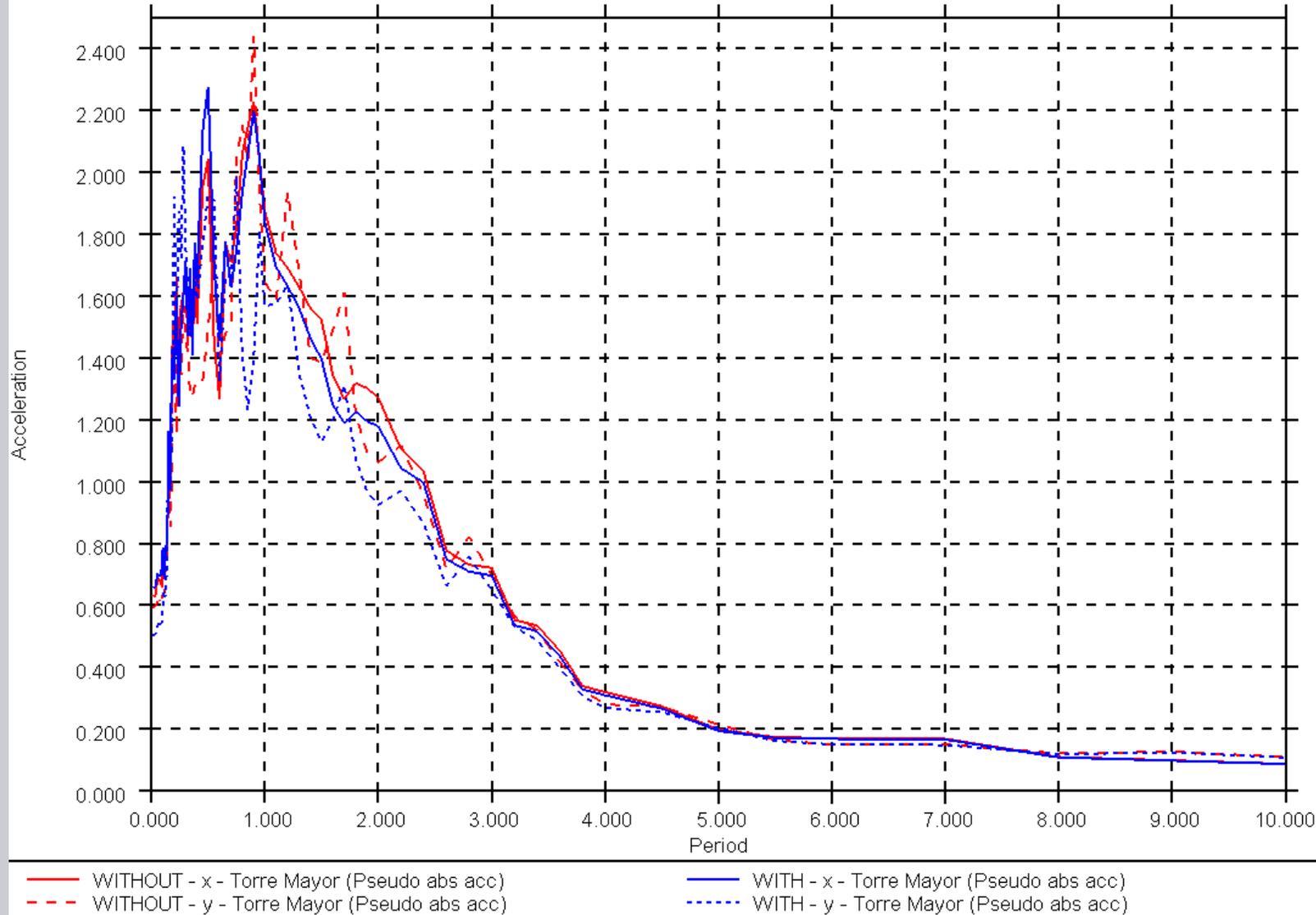


Modelo de Elementos Finitos Completo

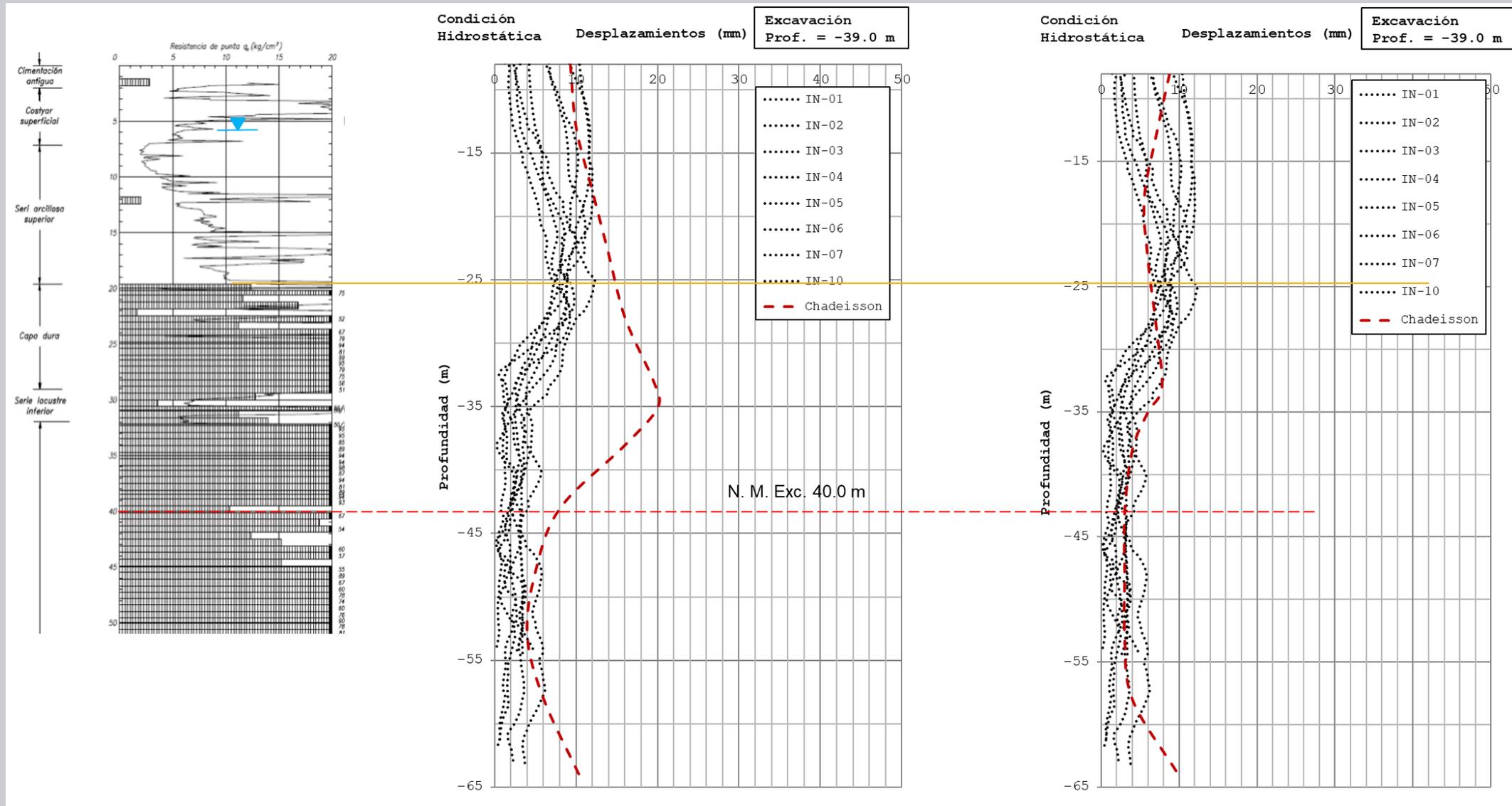
Interacción Suelo Estructura - Modelo



Torre Mayor

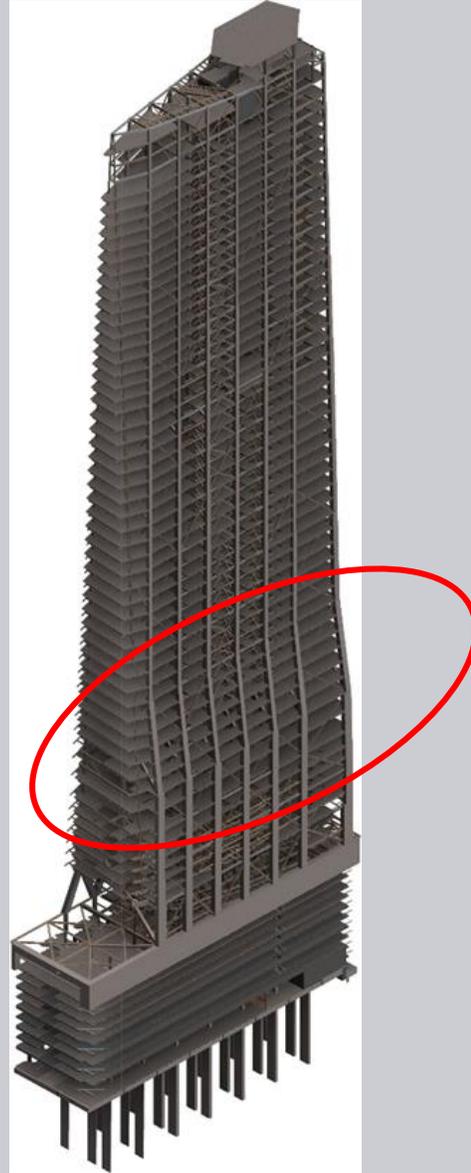


Desplazamientos Teoría Vs Realidad

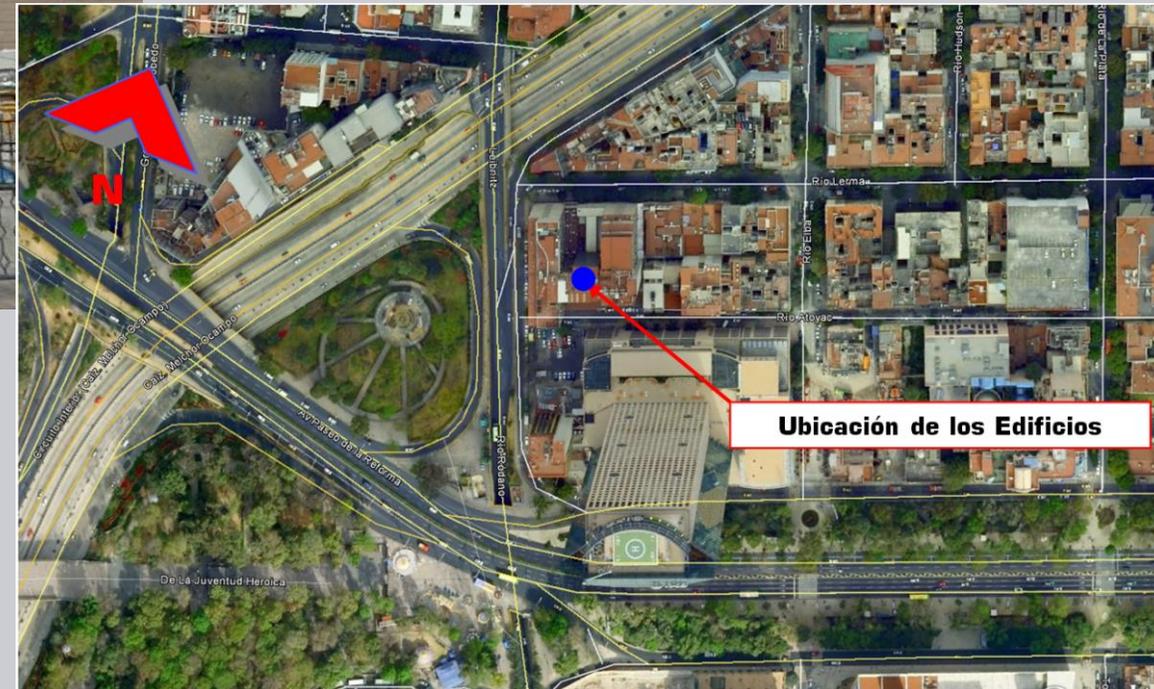


Desplazamientos Teóricos Vs Lecturas de Inclinómetros

Separación de colindancia



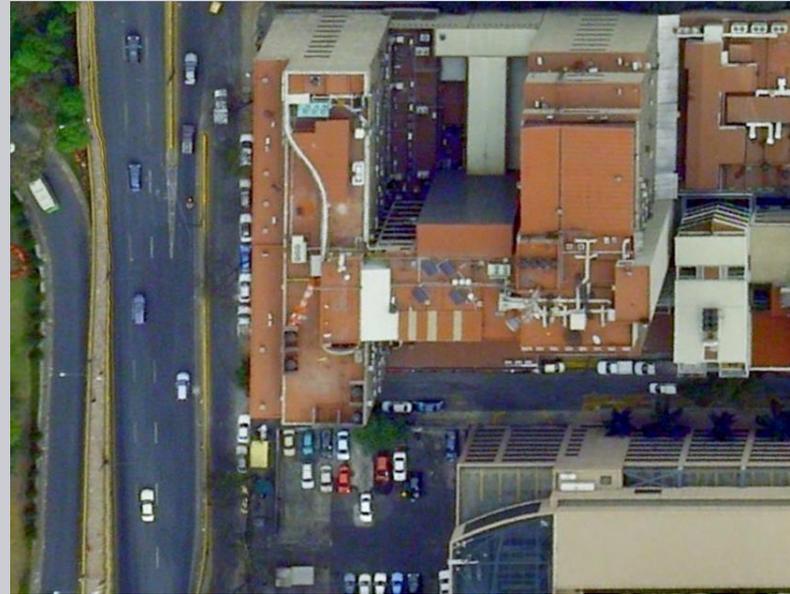
Edificio CFE



Edificio CFE



- **Concreto reforzado, dos cuerpos**
- **10 pisos**
- Año de construcción: Aprox. **1950** (Mural de 1952)
- **Oficinas**
- **Irregularidad** de rigidez en planta **Moderada** en ambos cuerpo por presencia excentrica de cubos de elevador.
- Distancia de la fuente de excitación a los edificios: **10 m**



Análisis de vibración - Edificios de CFE

Arreglo:

5 acelerómetros Kinemetrix

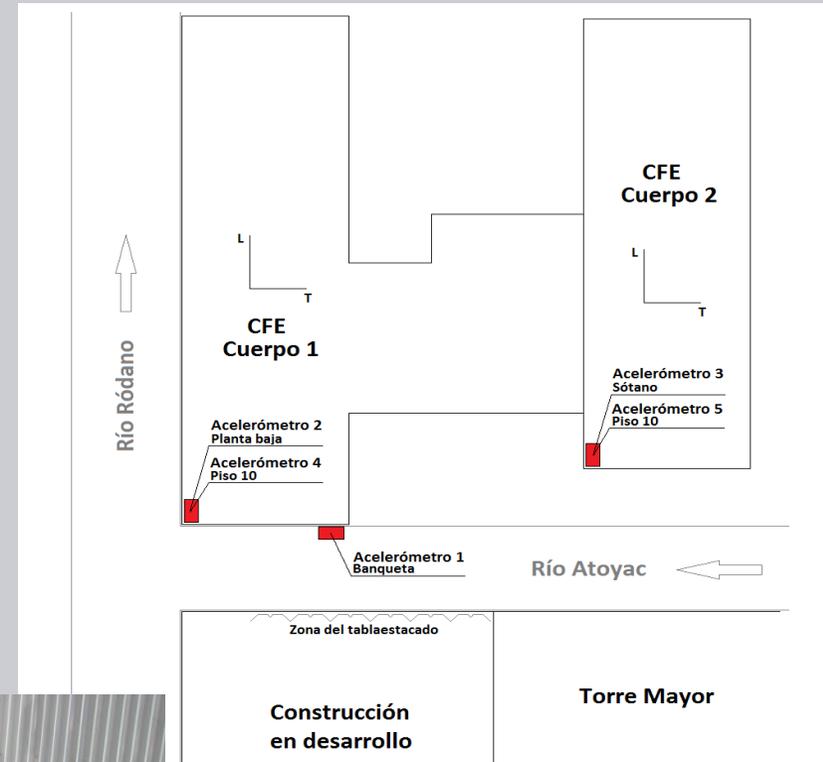
¿por qué del arreglo?

Conocer niveles de vibración:

- Justo antes de entrar a las edificaciones.
- Comportamiento en sótano y último nivel.

¿Cuándo?

- ✓ 13/06/14 (viernes) en **ausencia** de **excitación**.
- ✓ 14/06/14 (sábado) en **presencia** de **excitación**.

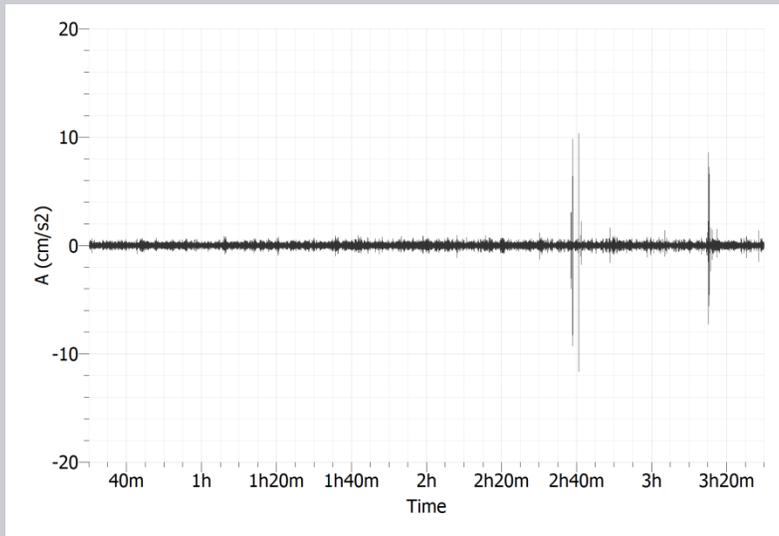


Software: GEOPSY.

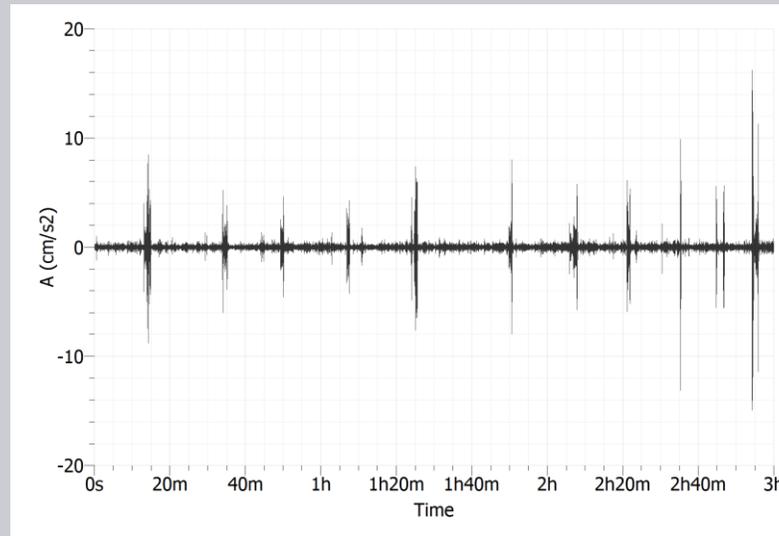
Procedimiento preliminar:

1. Identificación visual de valores máximos registrados.
2. Selección visual de un valor máximo.
3. Registro y presentación de máximos por fecha y ubicación.

Sin Tablaestaca (13/06/2014)



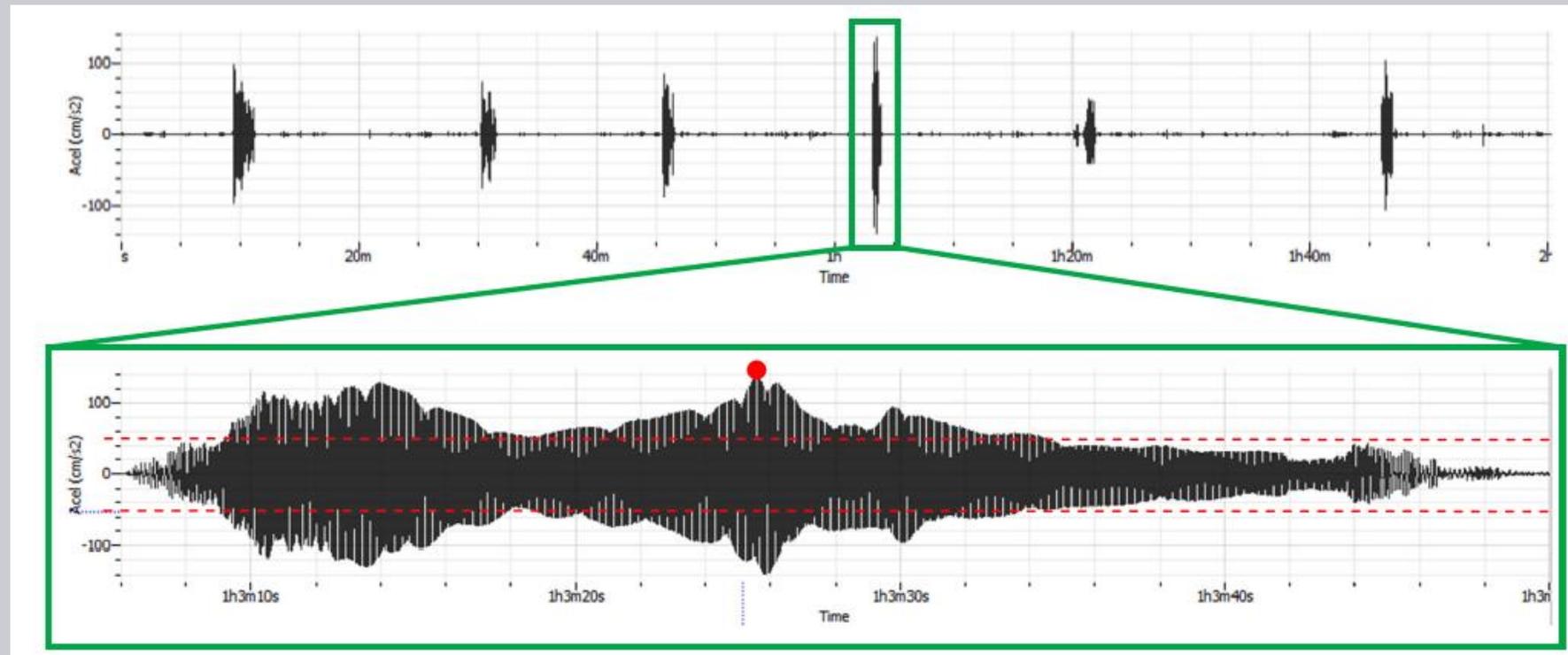
Con Tablaestaca (14/06/2014)



Registros de aceleración planta baja, cuerpo 1.

Nivel de aceleración

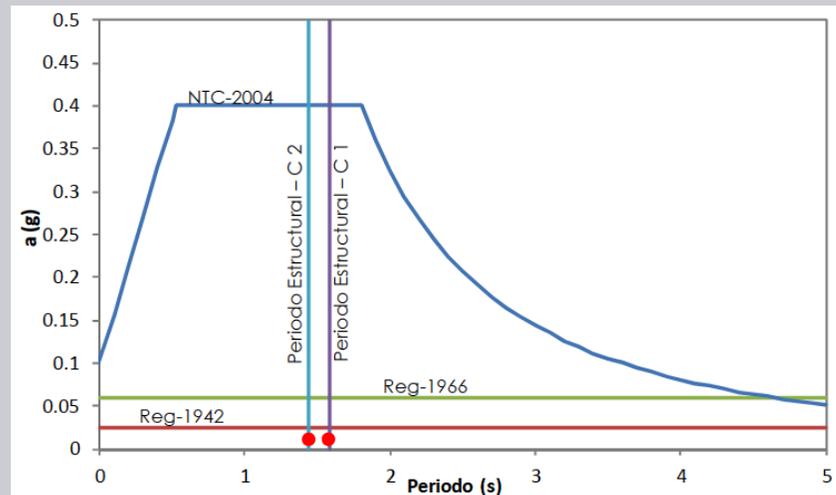
Ejemplo de registro de aceleración en la componente vertical y extracto de una porción de señal en el momento del hincado del tablestacado. El punto rojo representa el a_{\max} y las líneas punteadas el a_{rms}



Criterios de aceptación de niveles de vibración

Valores máximos de aceleración horizontal en términos de la gravedad para los diferentes sitios de medición. Obtenidos en presencia de tablestacado (14/06/14)

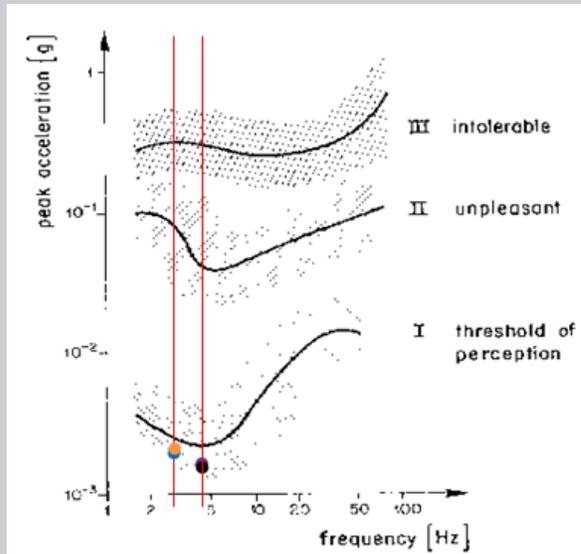
Equipo	Ubicación	Amax Horizontal (g)
Makalu	Planta baja - Cuerpo 1	0.008
Et na-2	Piso 10 - Cuerpo 1	0.008
Et na-1	Sótano - Cuerpo 2	0.005
K2	Piso 10 - Cuerpo 2	0.003



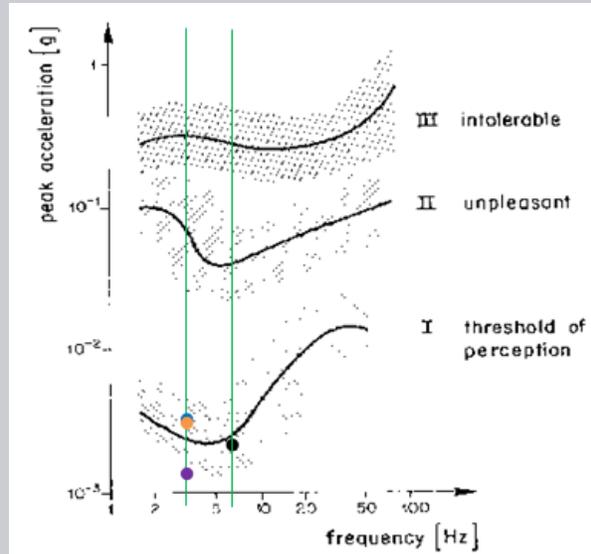
Comparación de valores reglamentarios y valores de aceleración máxima horizontal en términos de (g)

SIN TABLESTACA

Movimiento Horizontal



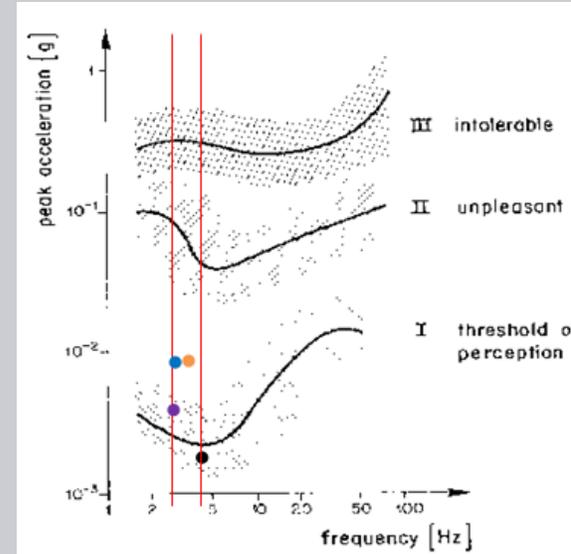
Movimiento Vertical



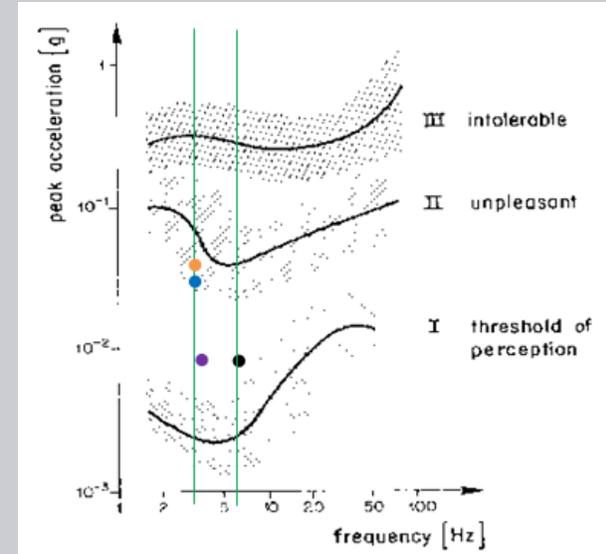
- Planta Baja cuerpo 1
- Piso 10 cuerpo 1
- Sótano cuerpo 2
- Piso 10 cuerpo 2

CON TABLESTACA

Movimiento Horizontal



Movimiento Vertical

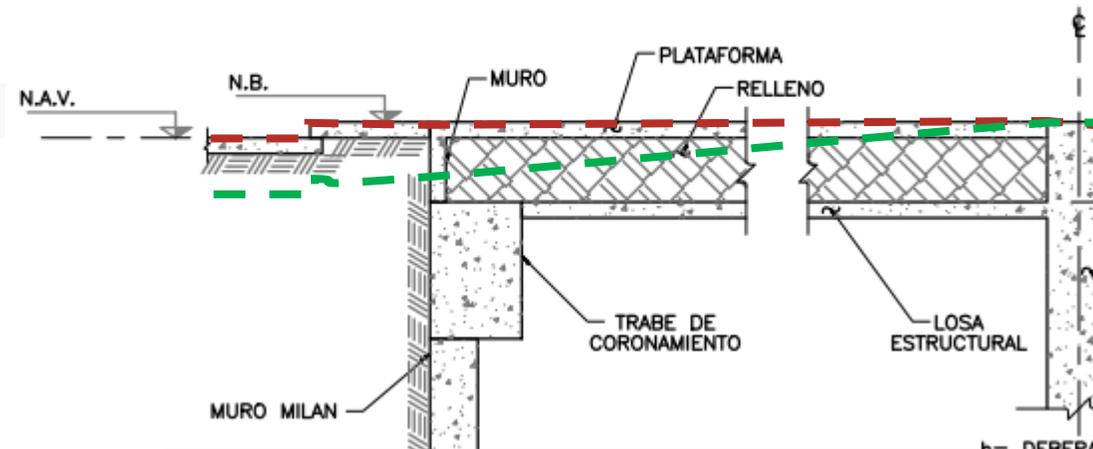
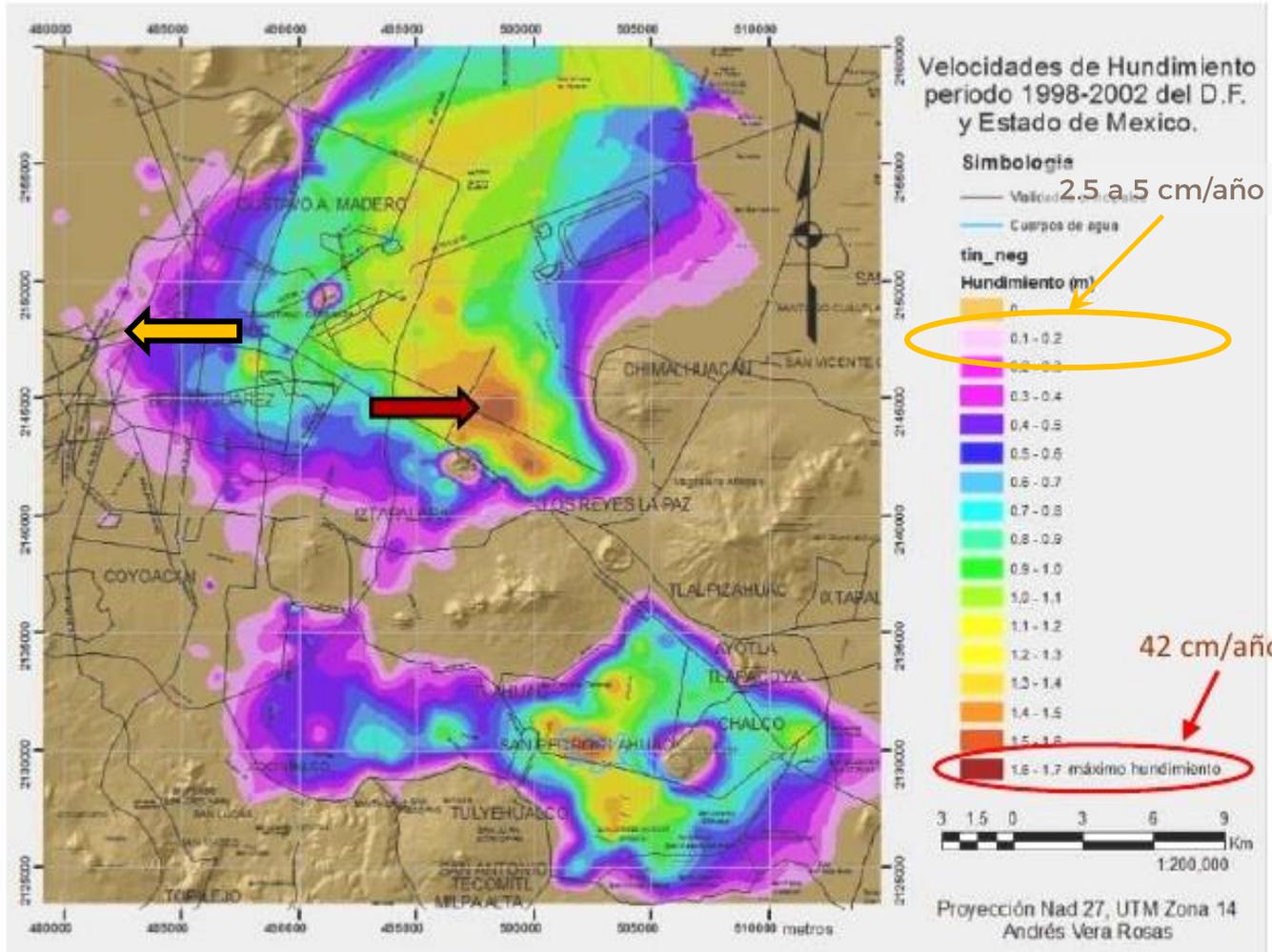


- Planta Baja cuerpo 1
- Piso 10 cuerpo 1
- Sótano cuerpo 2
- Piso 10 cuerpo 2

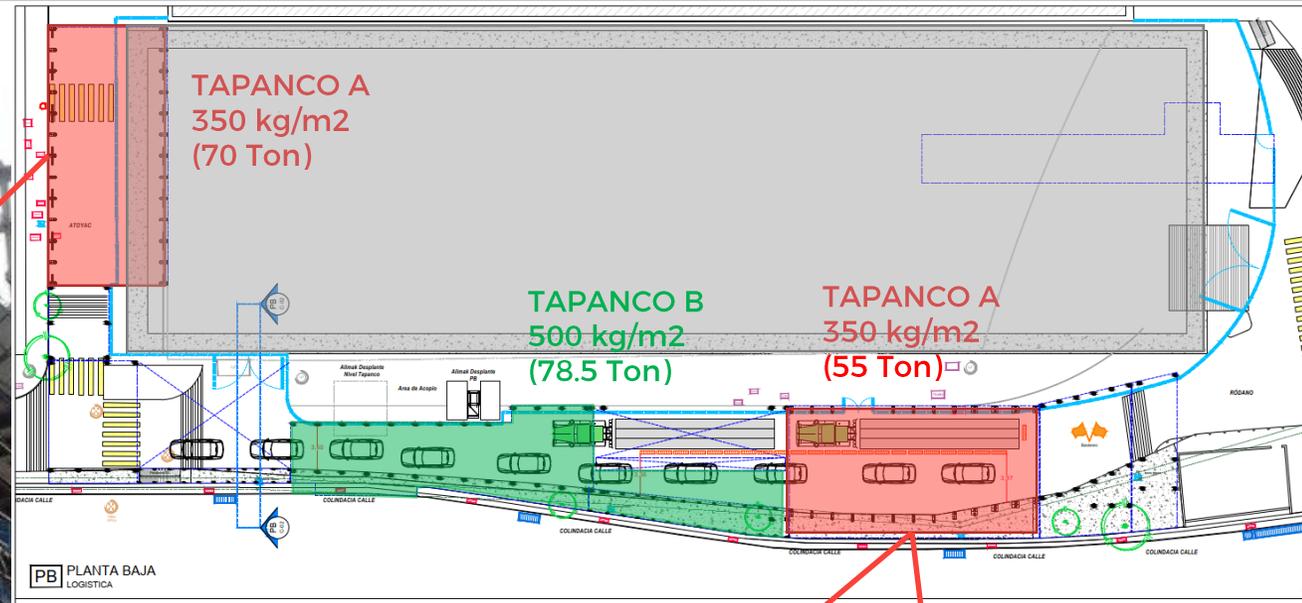
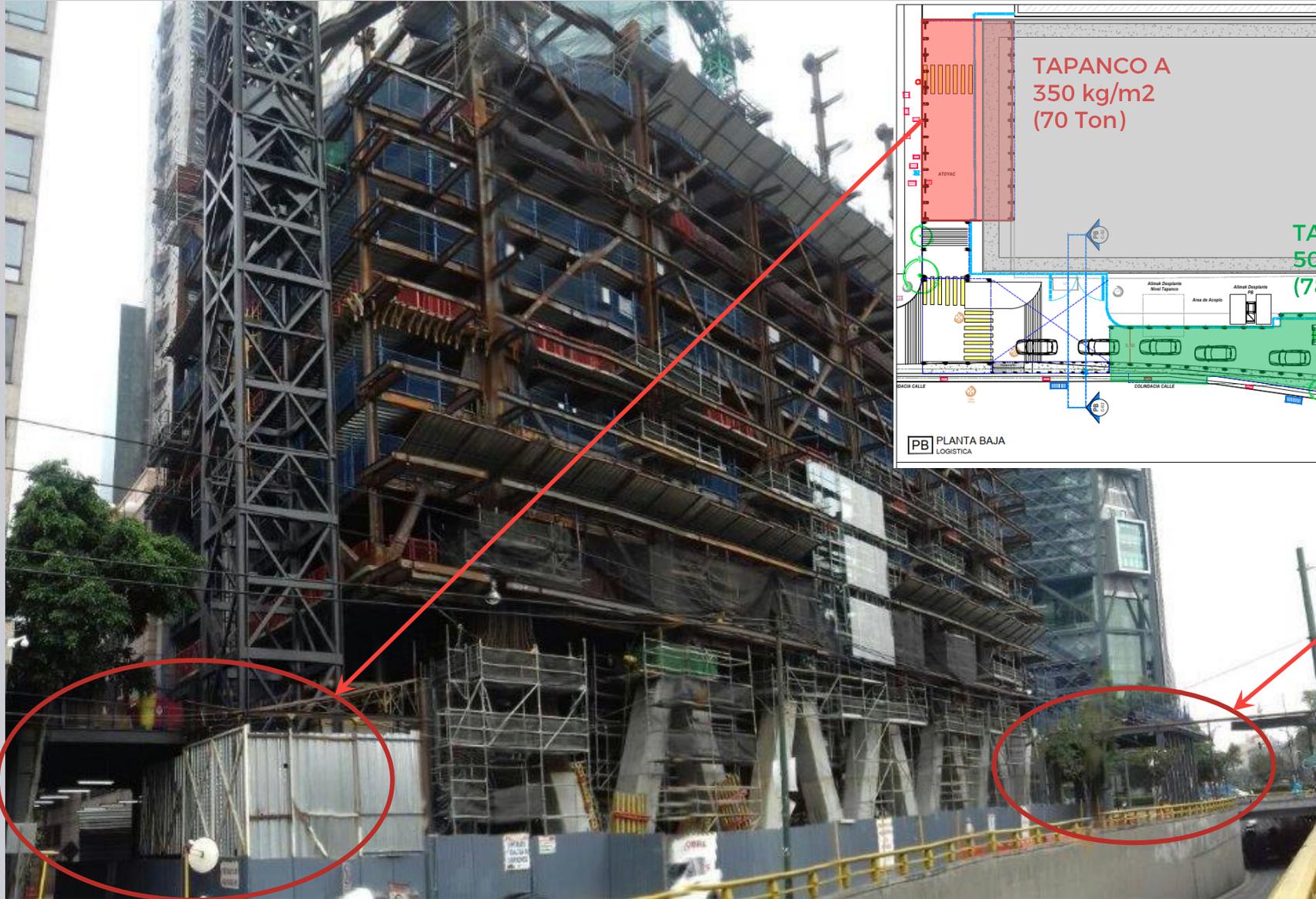
Asentamiento Regional



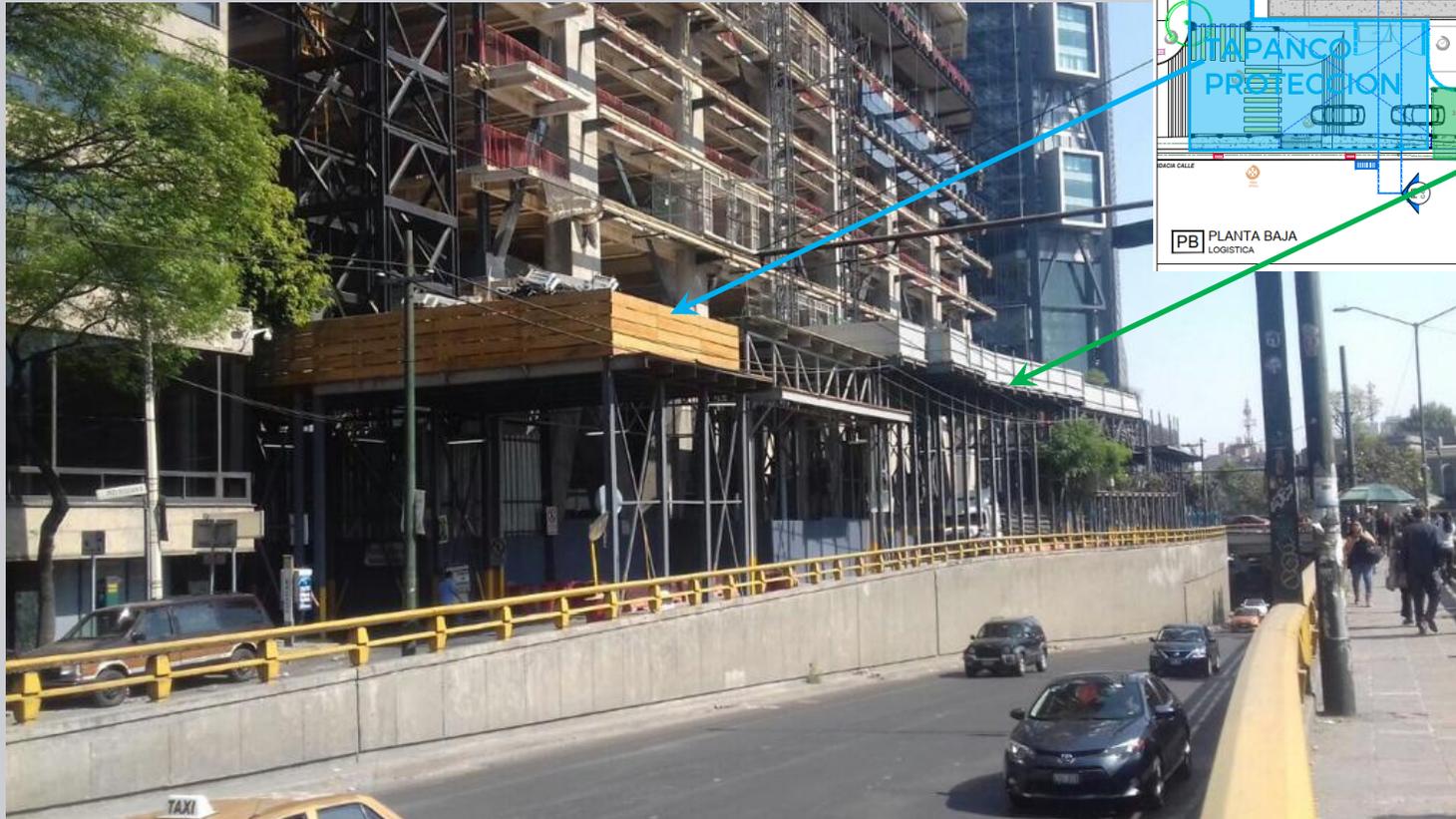
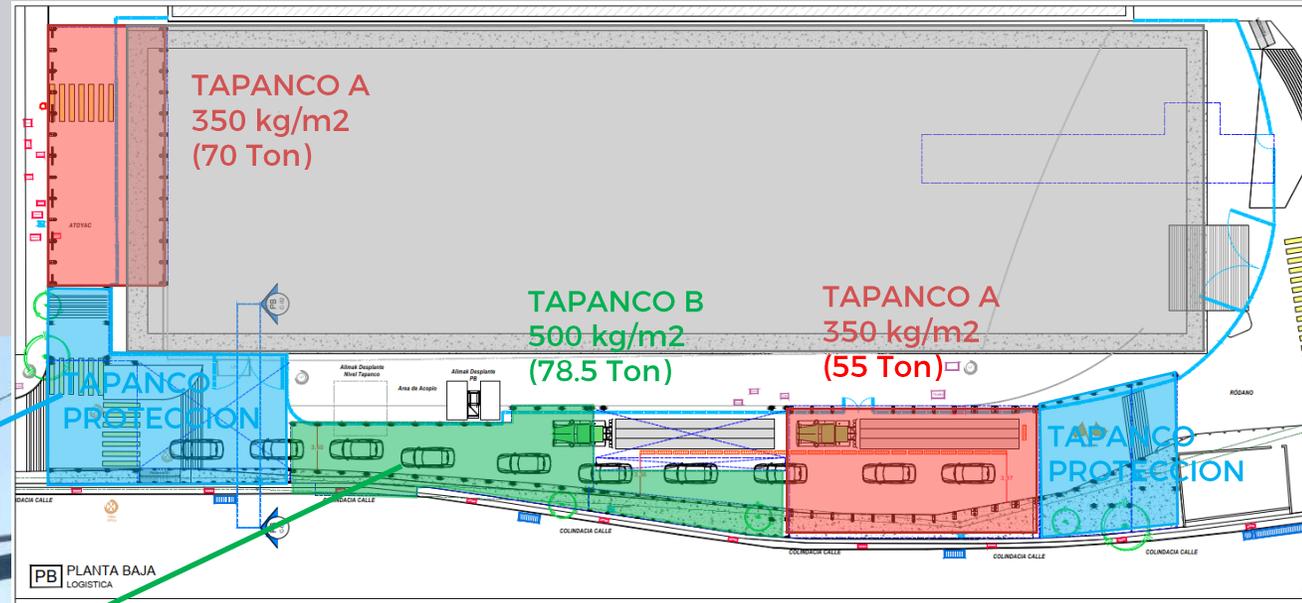
CONSECUENCIAS DEL BOMBEO DE AGUA DEL SUBSUELO Hundimiento regional



Tapancos



Tapancos





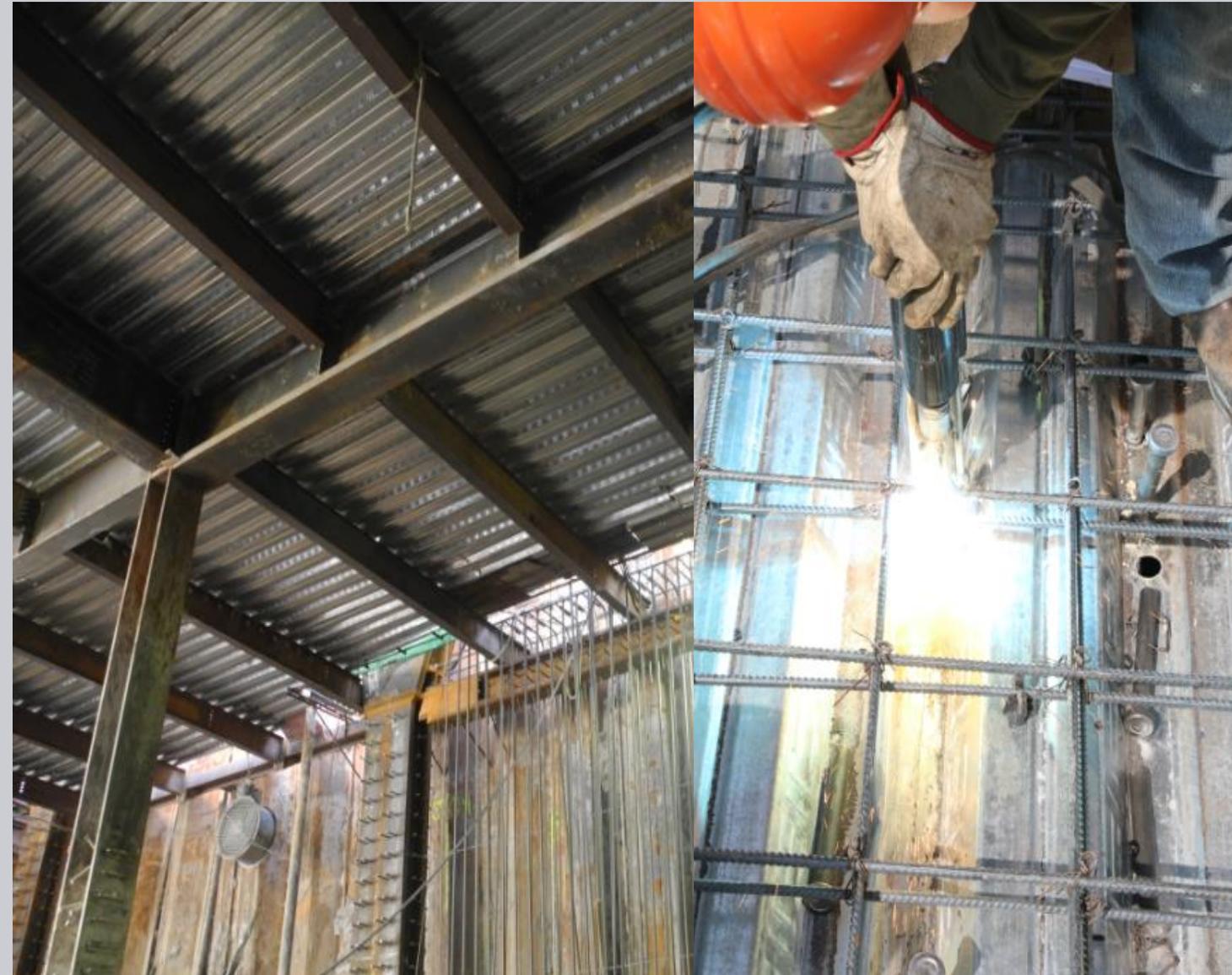
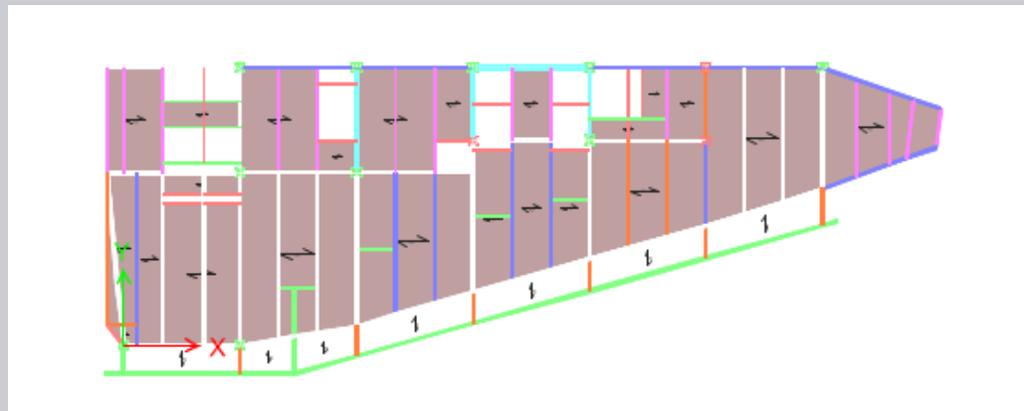
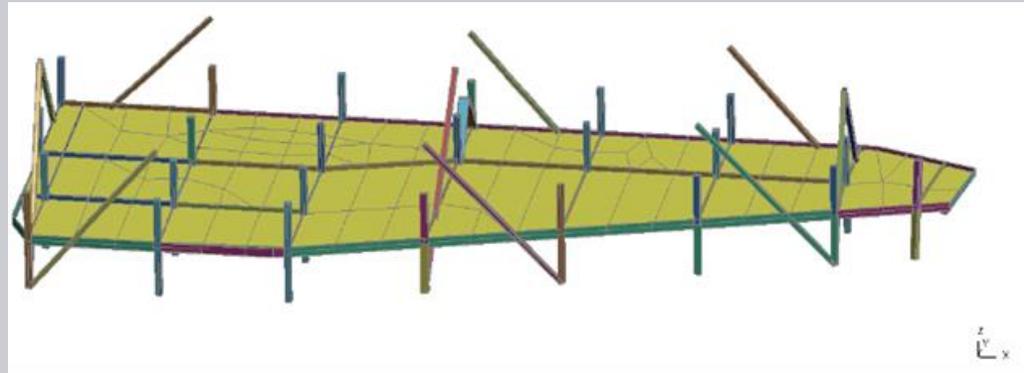
La Superestructura

El Desarrollo

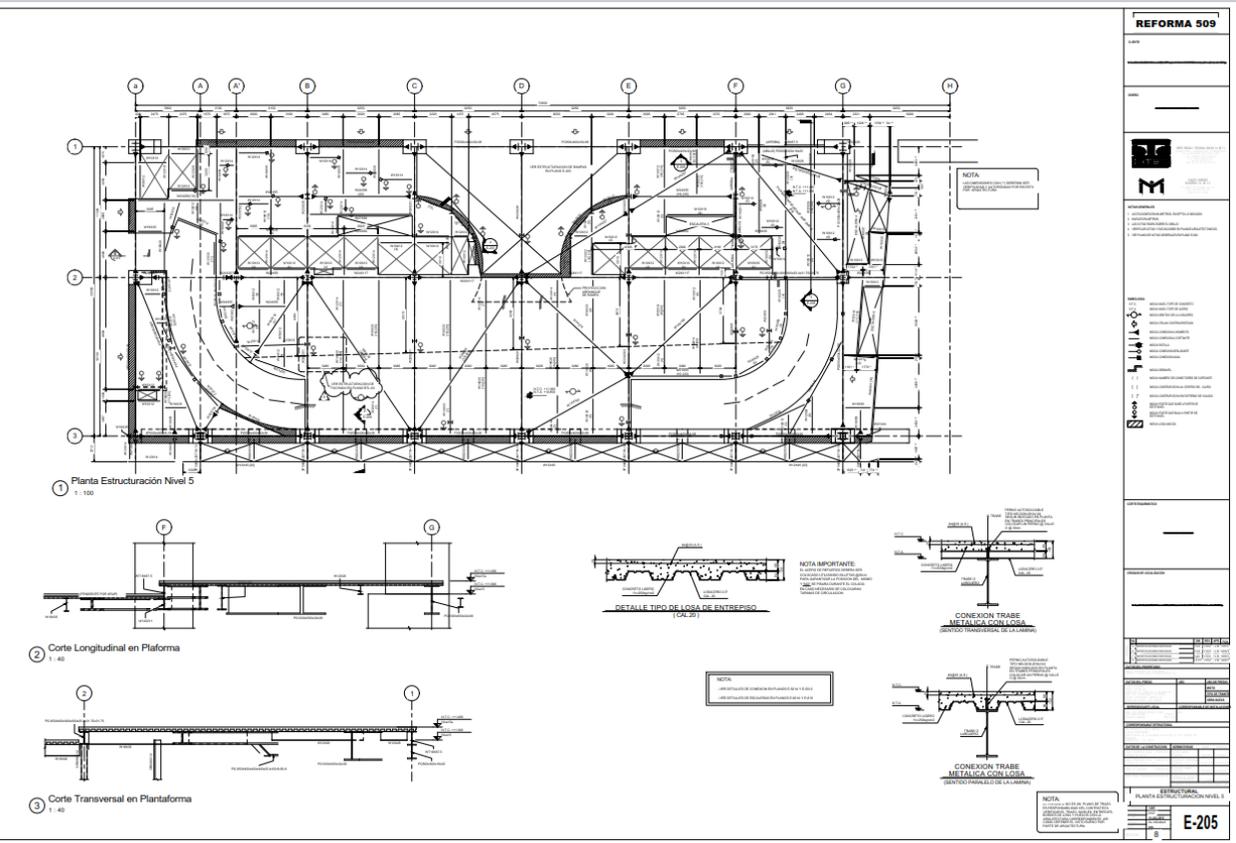


Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

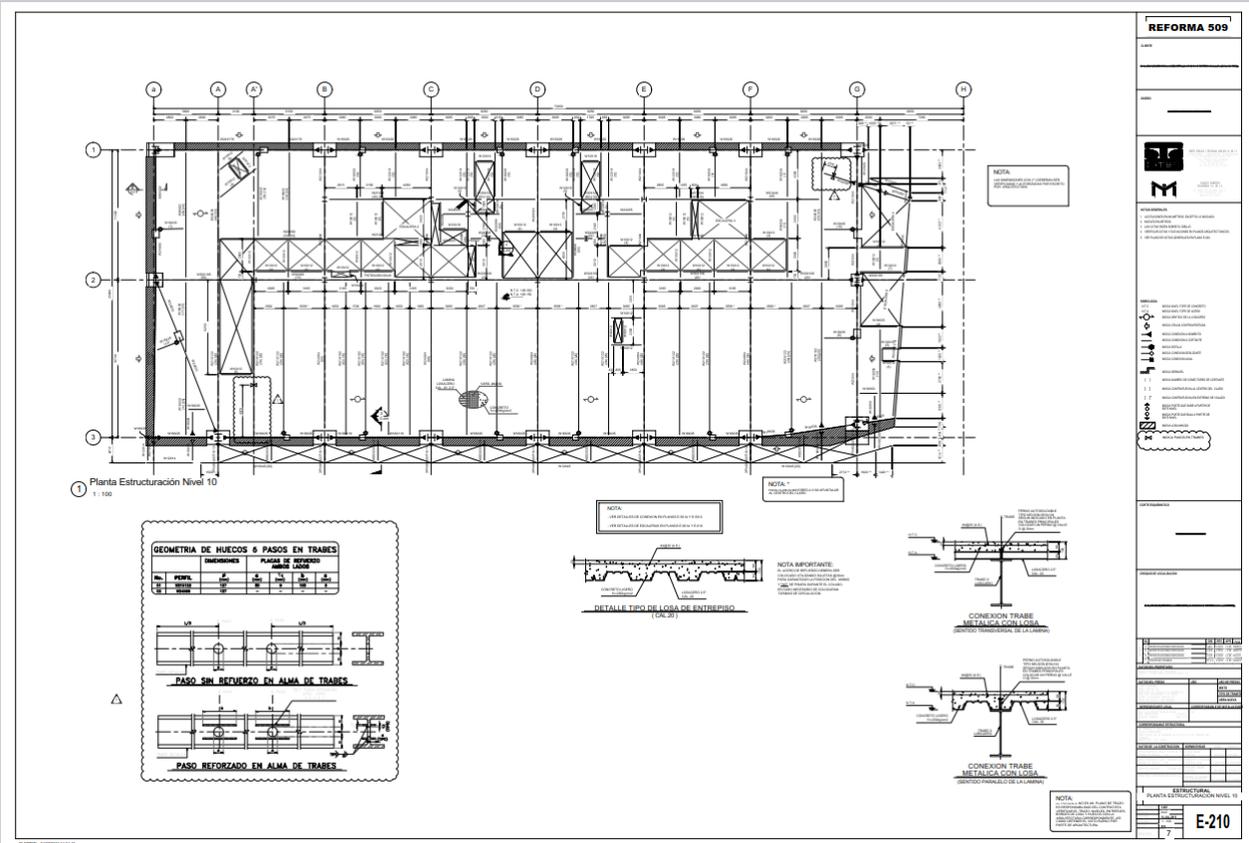
Sistema de Piso



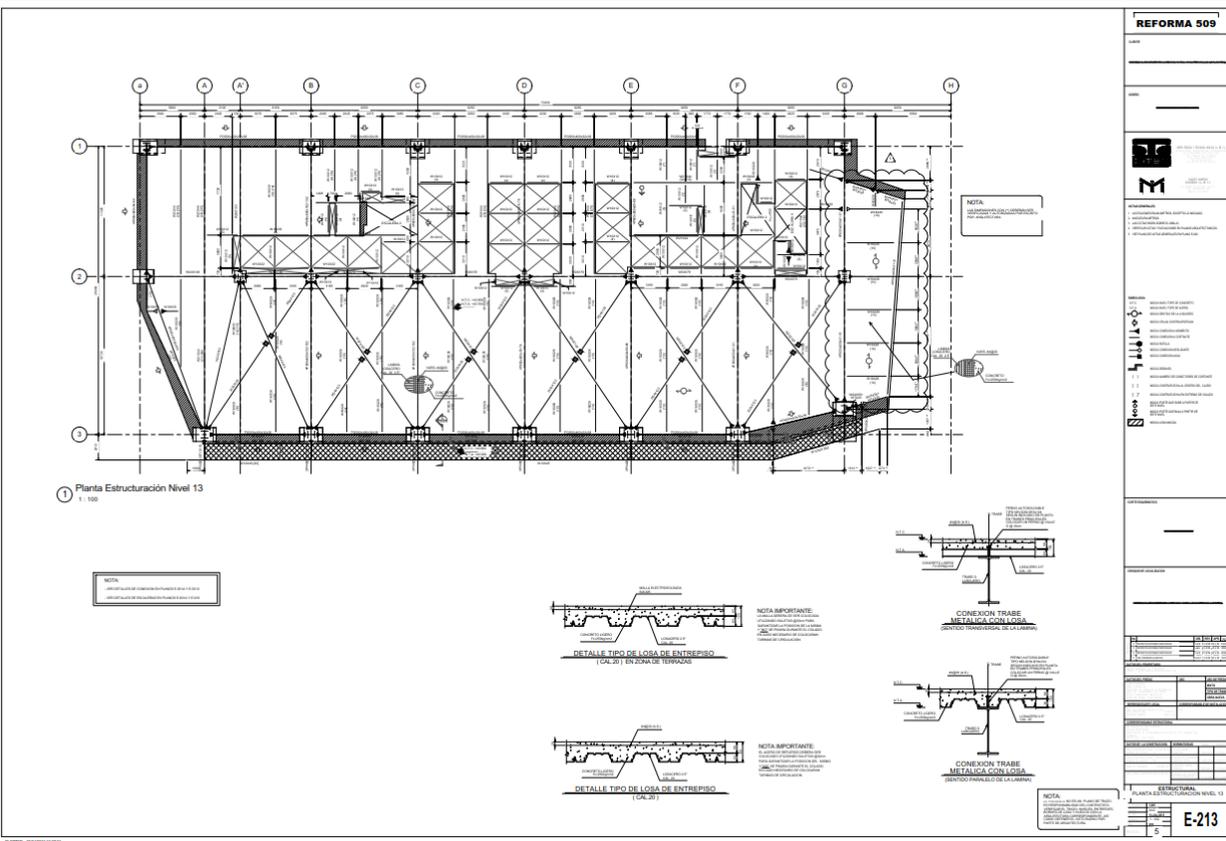
Sistema de Piso con Vigas Principales, Perimetrales y Secundarias



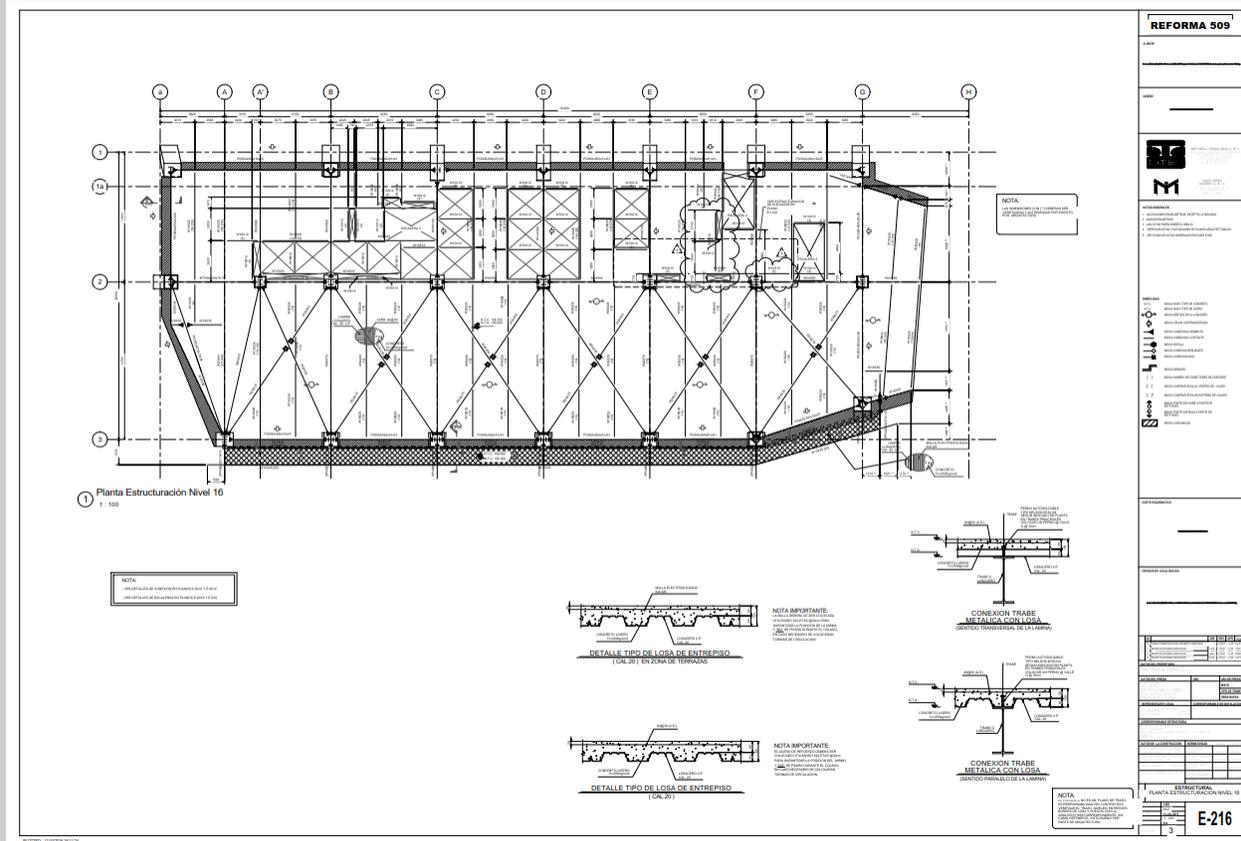
Planta Estructural Nivel 5



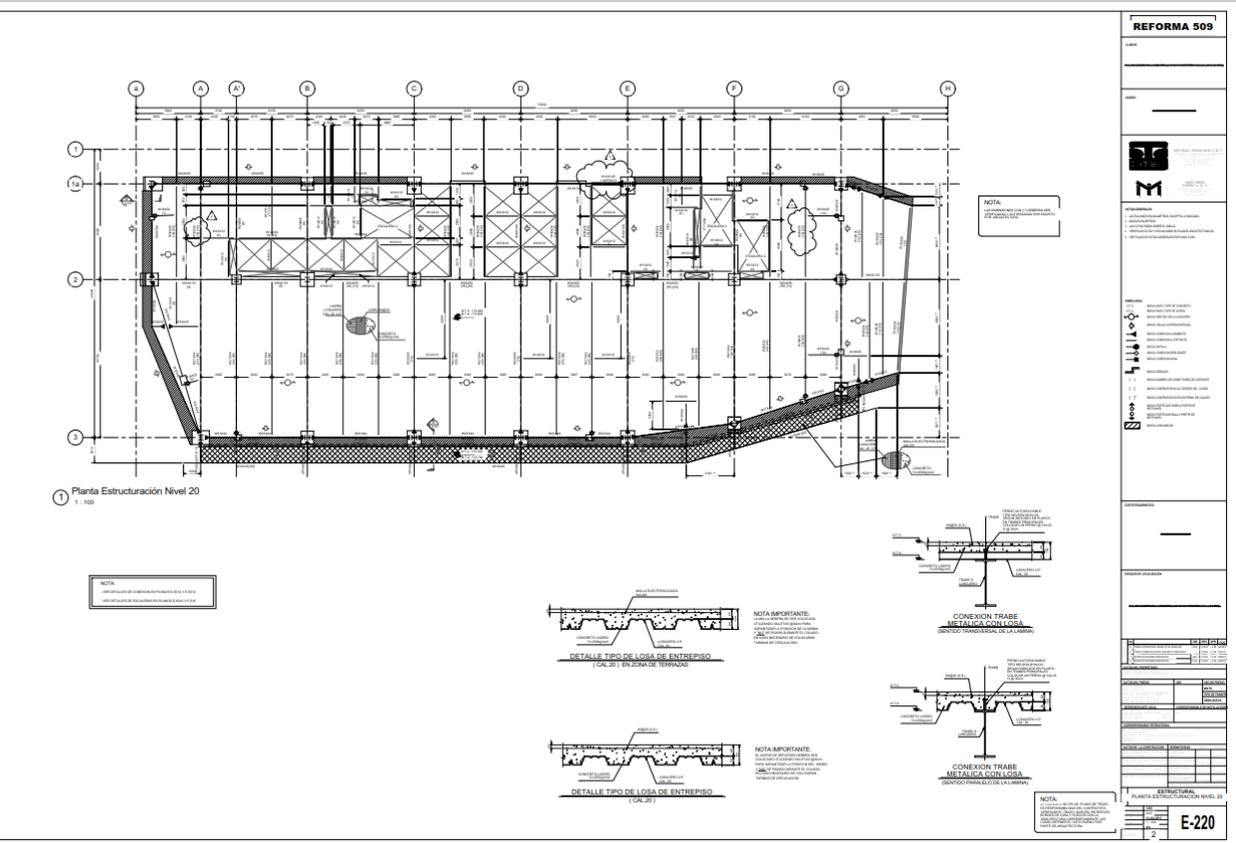
Planta Estructural Nivel 10



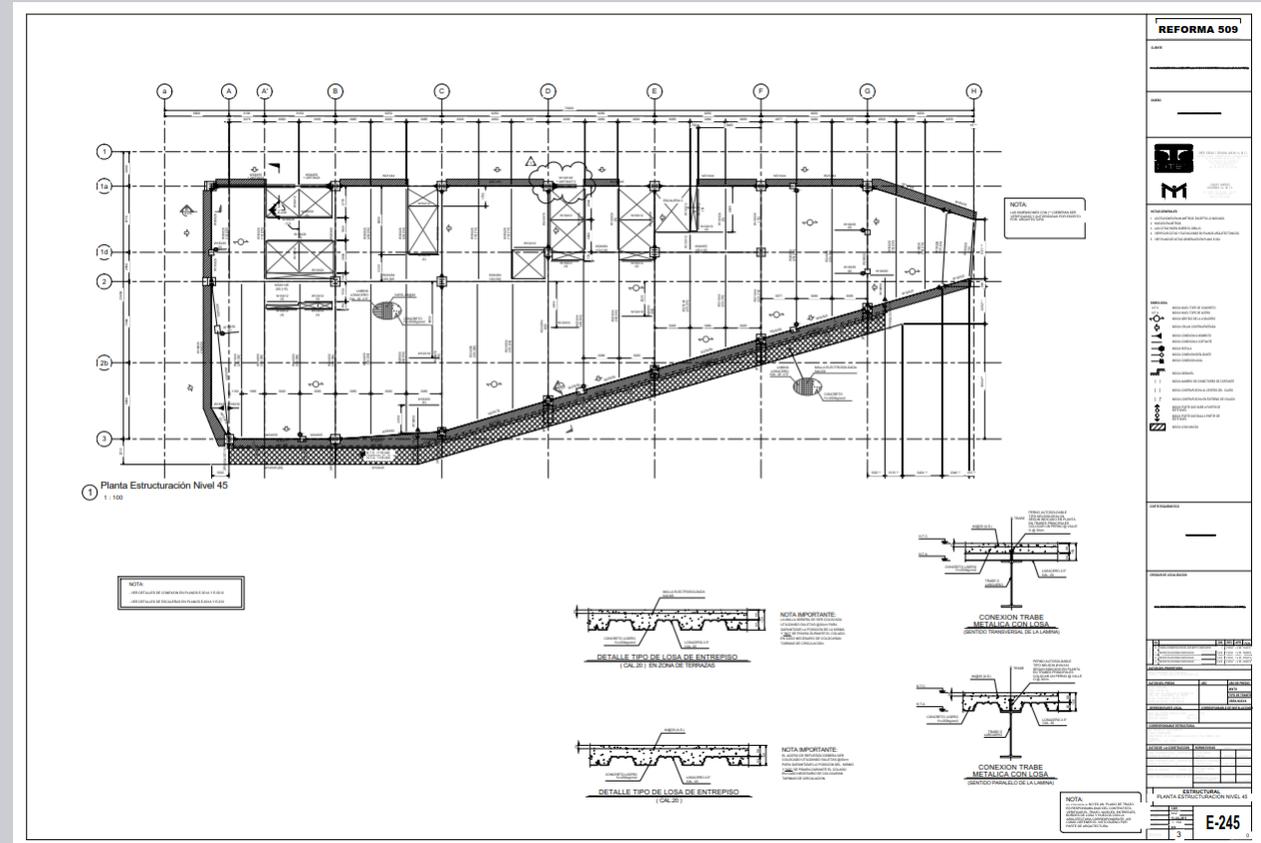
Planta Estructural Nivel 13



Planta Estructural Nivel 16

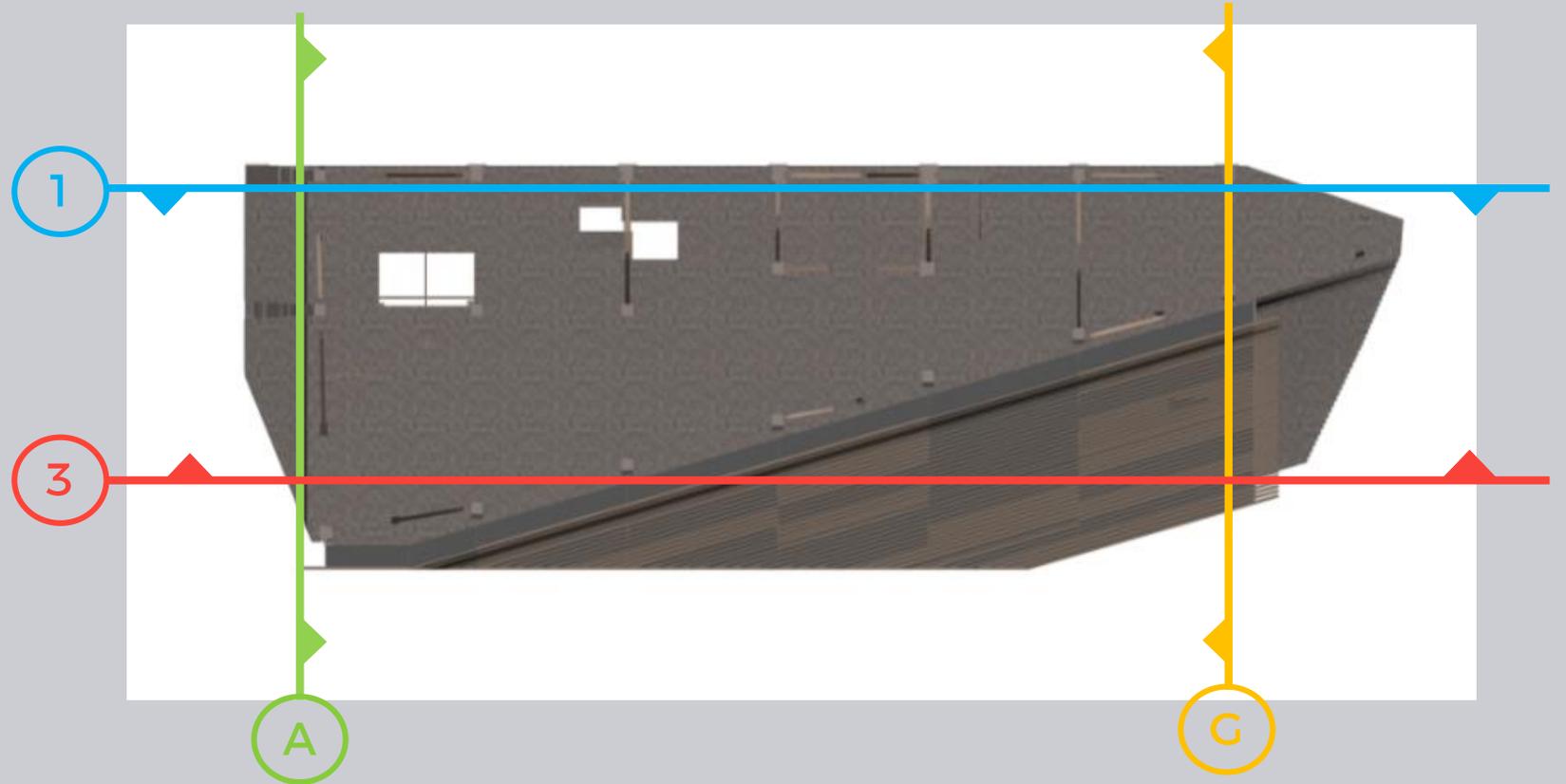


Planta Estructural Nivel 20

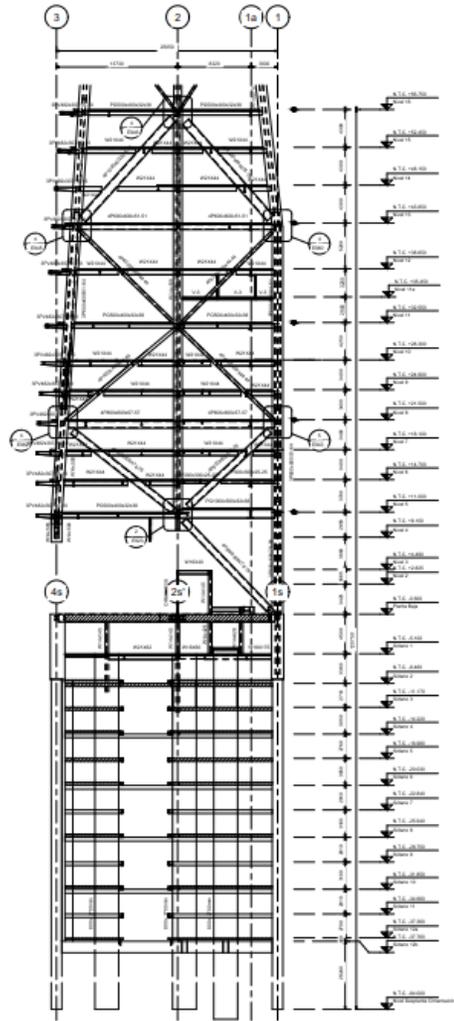


Planta Estructural Nivel 45

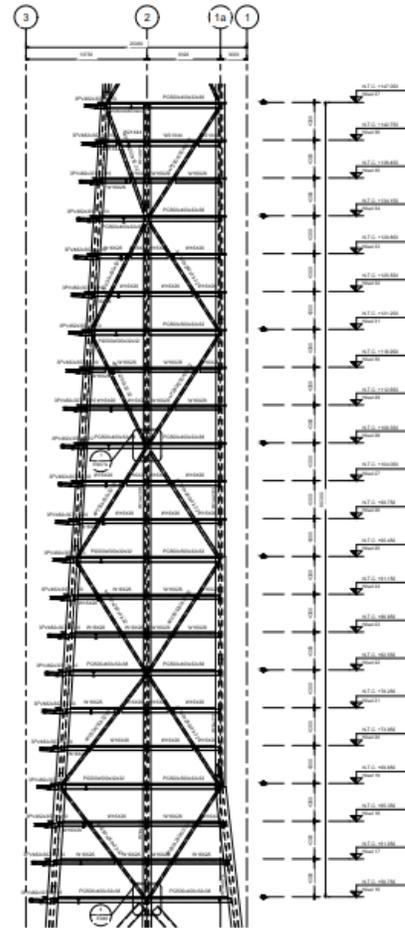
Superestructura



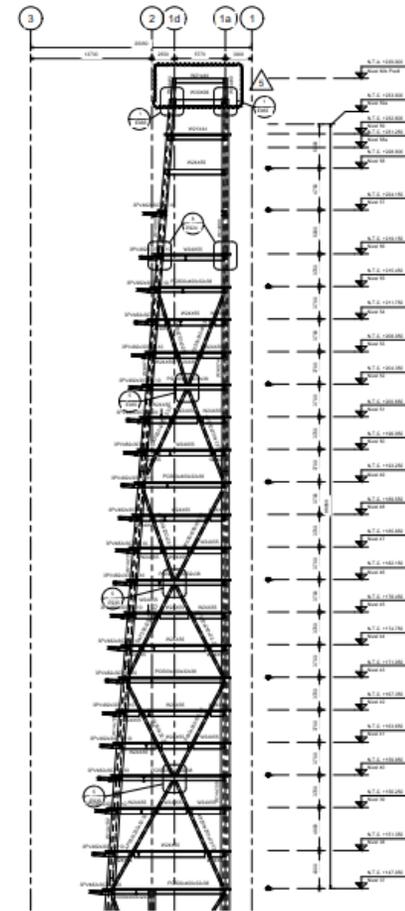
Sistema Lateral



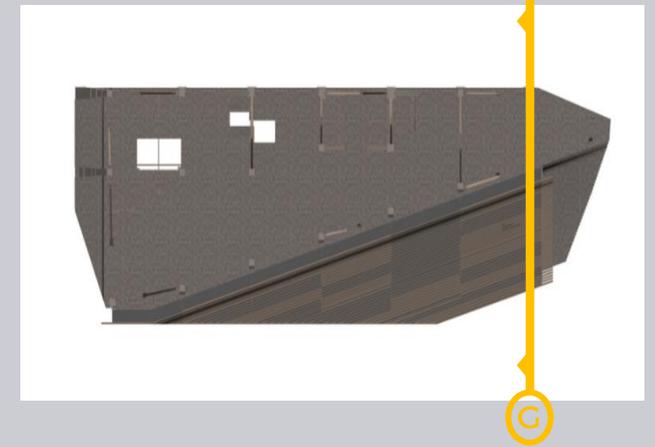
1 Elevación Estructural Sobre Eje G
1 : 200



2 Elevación Estructural Sobre Eje G (continuación I)
1 : 200

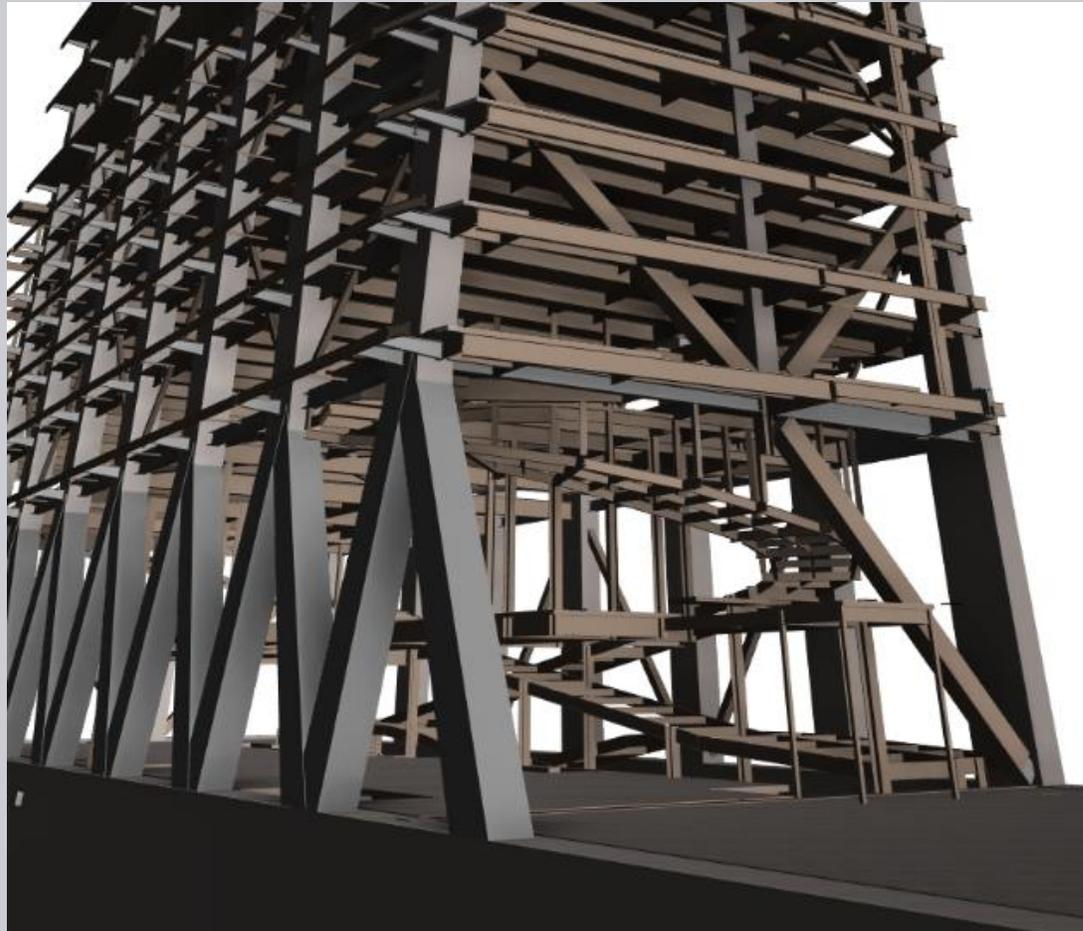


3 Elevación Estructural Sobre Eje G (continuación II)
1 : 200

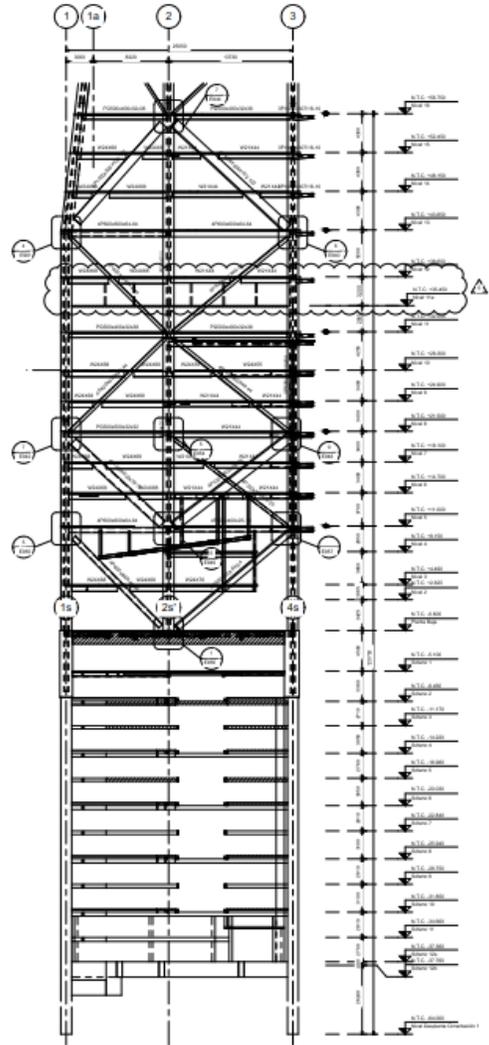


Elevación Estructural Sobre Eje G

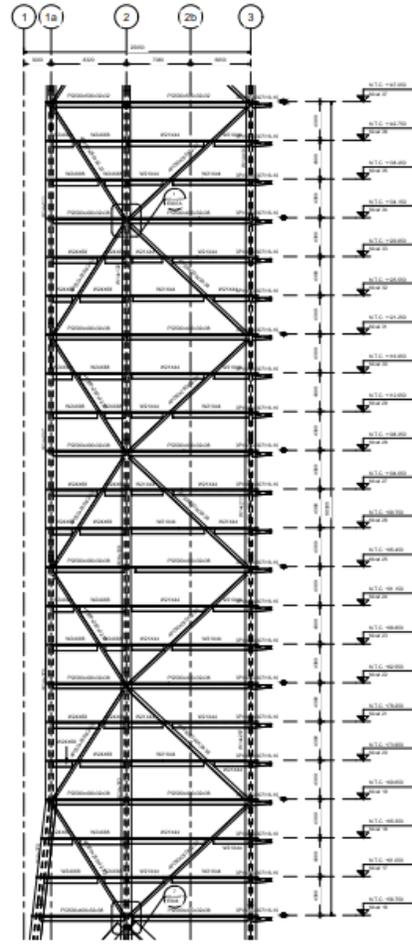
Sistema Lateral



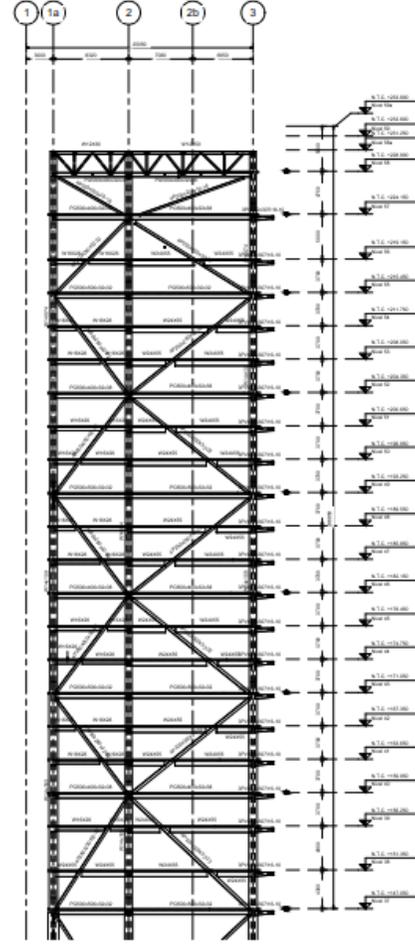
Sistema Lateral



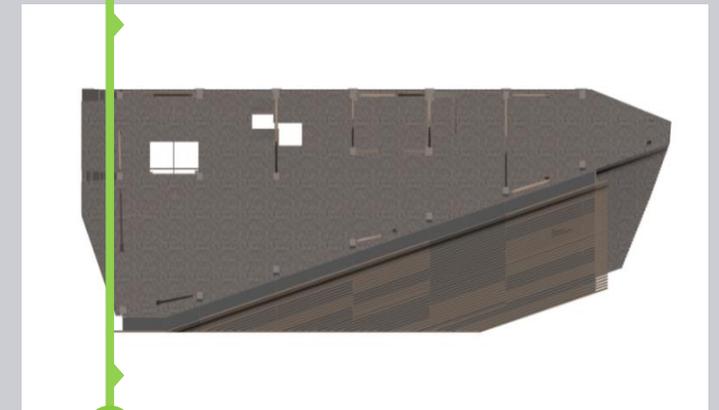
1 Elevación Estructural Sobre Fachada Norte
1 : 200



2 Elevación Estructural Sobre Fachada Norte (continuación I)
1 : 200

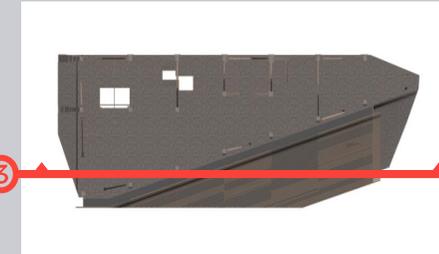
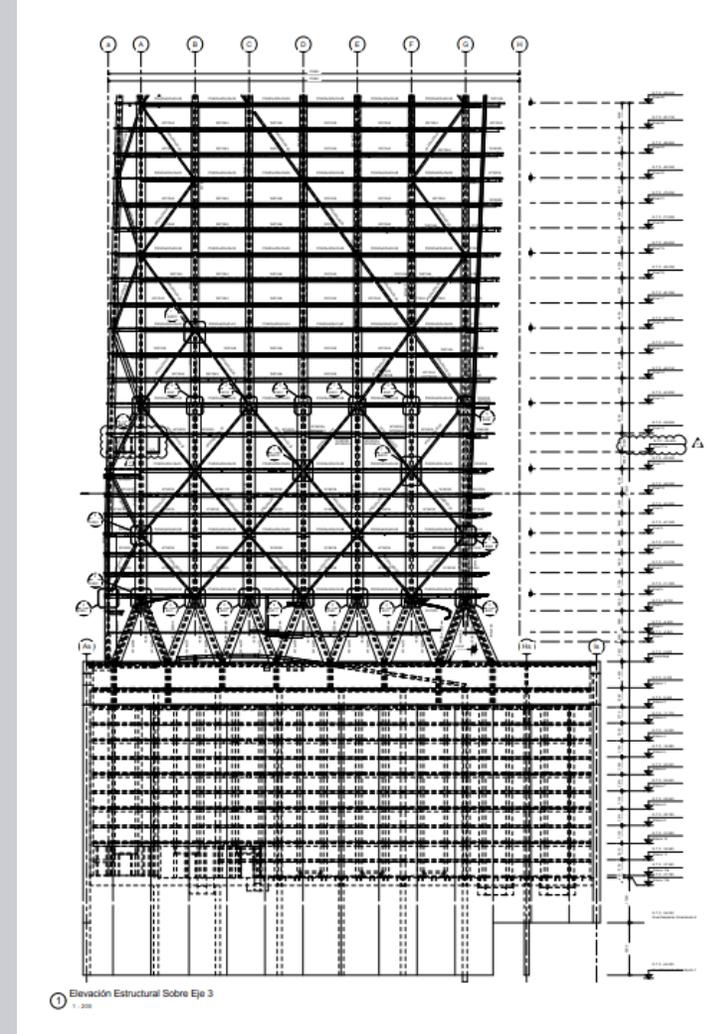
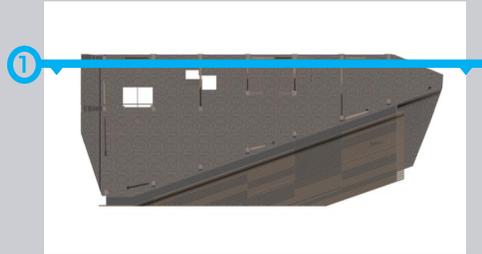
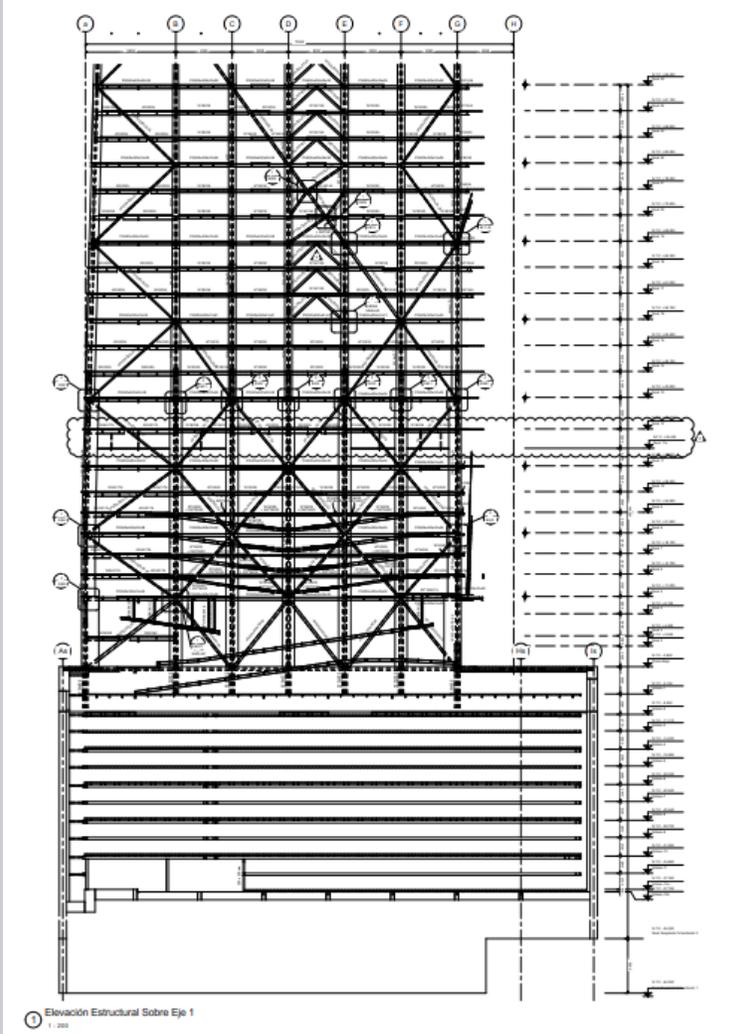


3 Elevación Estructural Sobre Fachada Norte (continuación II)
1 : 200



Elevación Estructural Sobre Eje A

Sistema Lateral



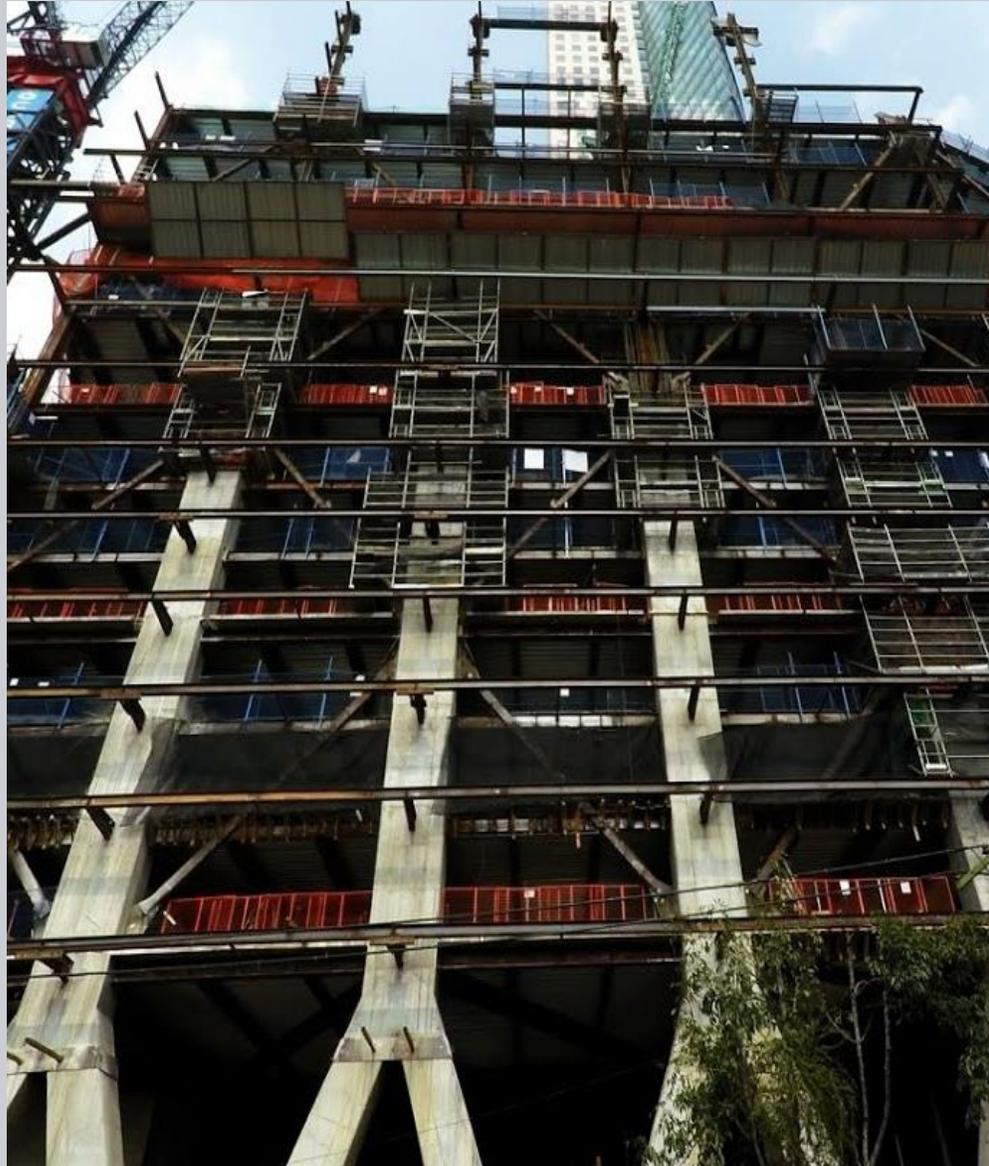
Elevación Estructural Sobre Eje 1

Elevación Estructural Sobre Eje 3

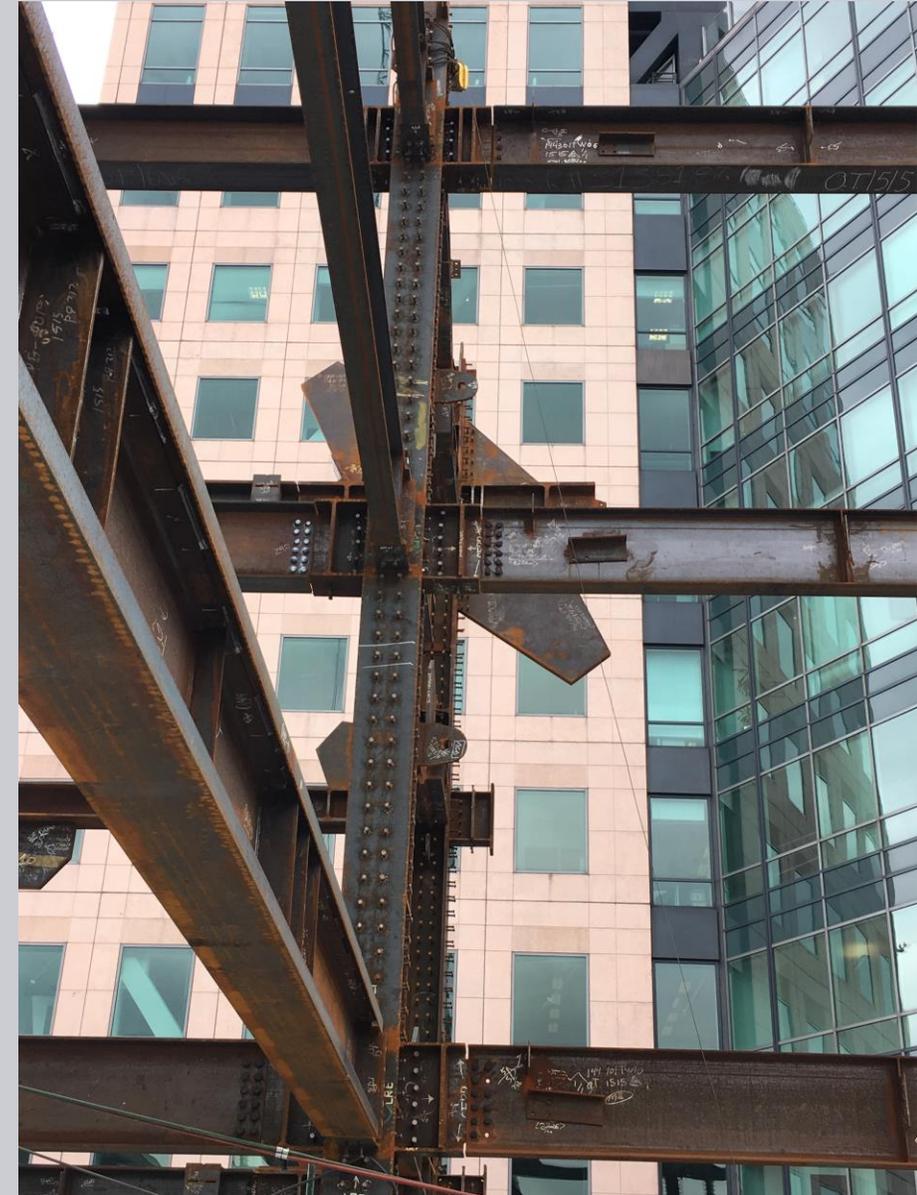
Sistema Lateral



Sistema Lateral



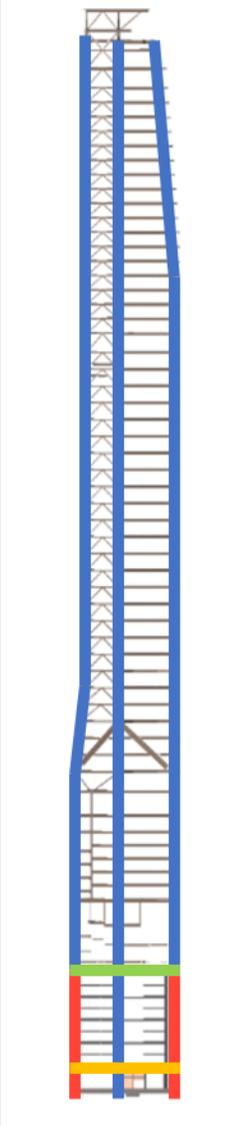
Sistema Lateral



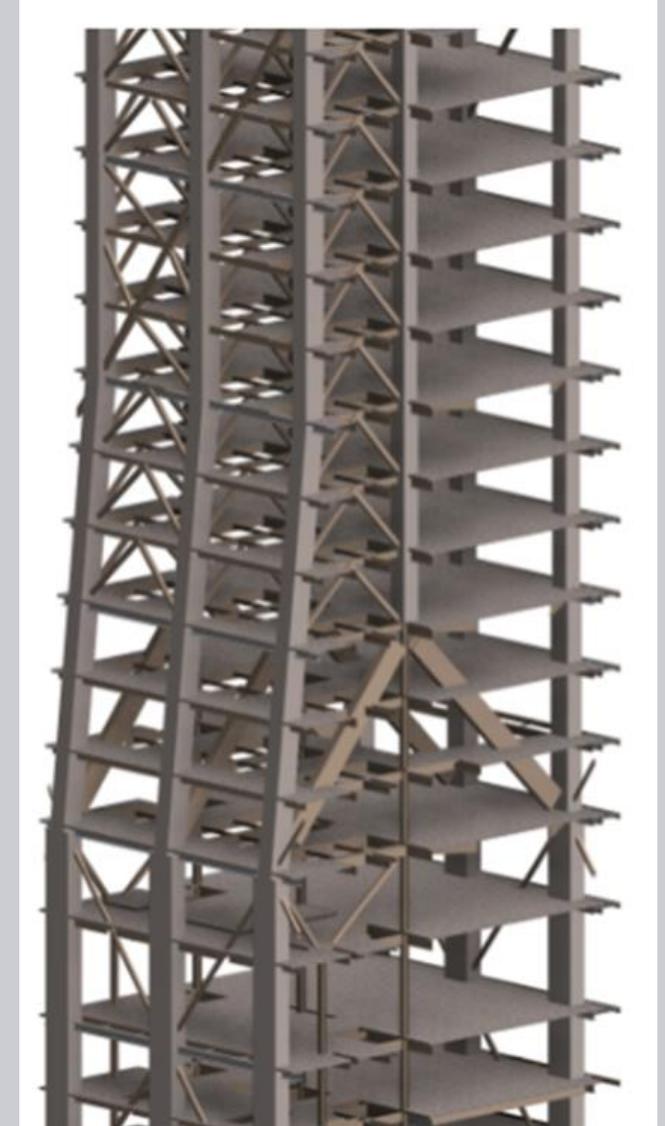
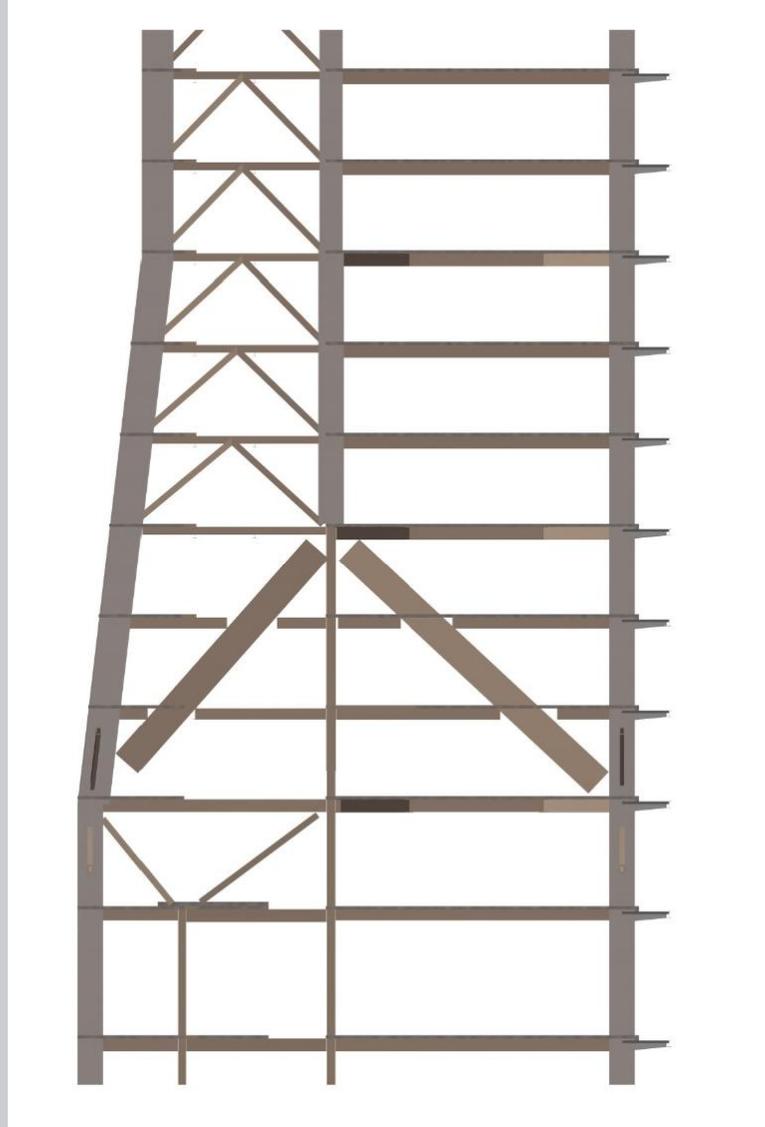
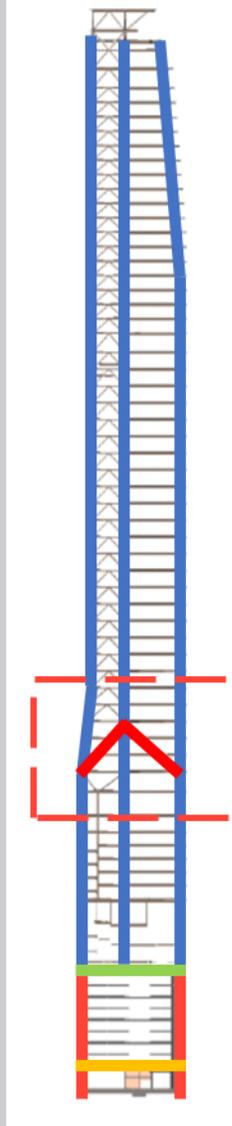
Columnas Compuestas



Propuesta Original



Propuesta Optimizada



Ingeniería de Valor



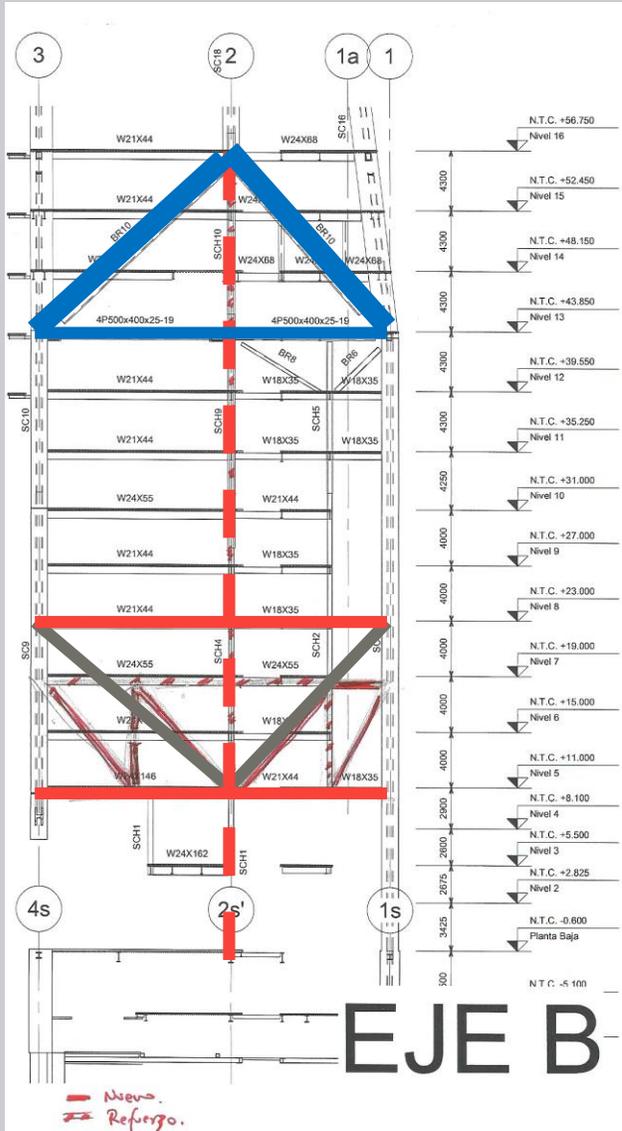
Ingeniería de Valor



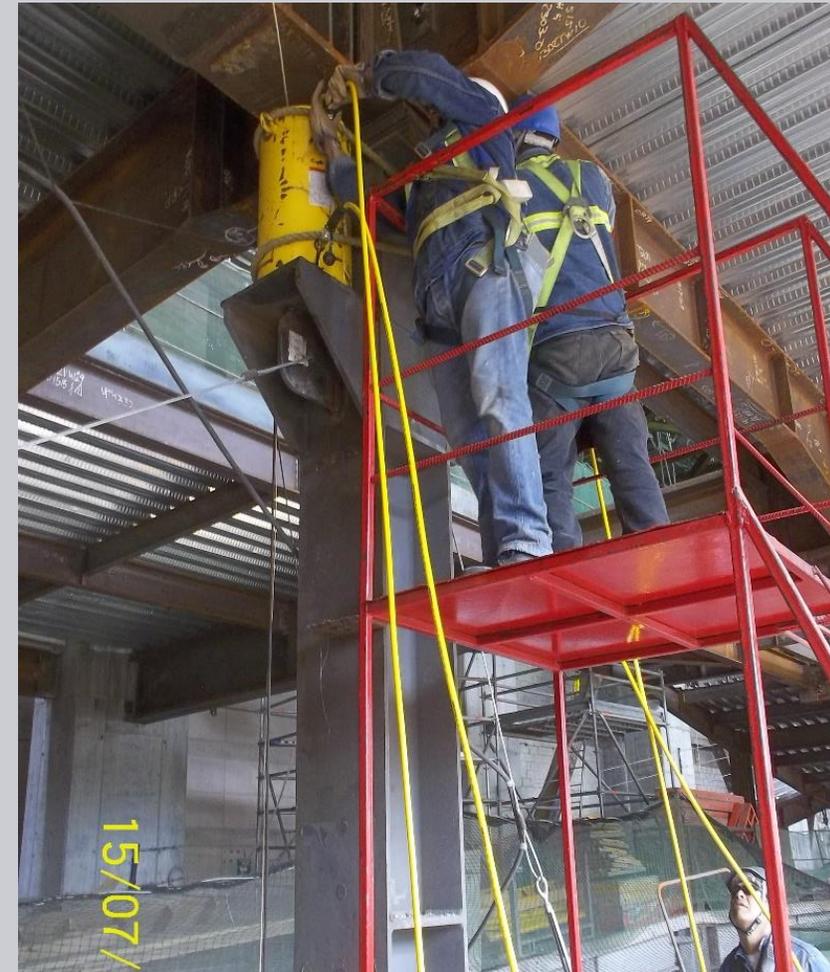
Ingeniería de Valor



Ingeniería de Valor



Ingeniería de Valor



Revisión	Periodo de retorno	Probabilidad de ocurrencia	Descripción
Verificación de servicio	43 años	50 % en 30 años	Se espera comprobar que el comportamiento del edificio sea elástico, es decir, prácticamente ningún daño estructural
Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004)	250 años	10% en 50 años	Límites estipulados en el reglamento RCDF-2004
Máximo sismo considerado	2475 años	2% en 50 años	Se espera que el edificio cumpla con los criterios de seguridad de vida, como esta definido en FEMA 356 y otros documentos relacionados

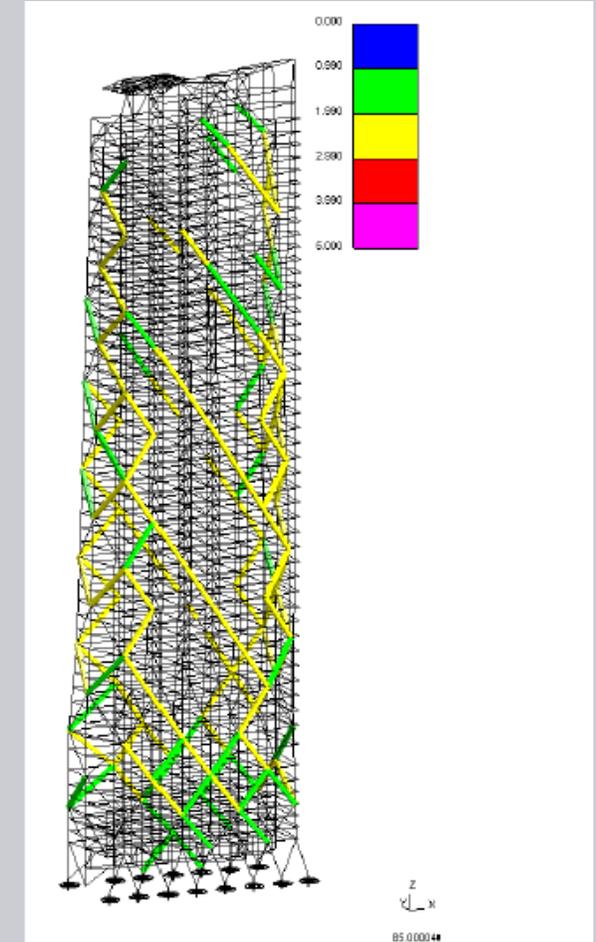
Análisis No Lineal - Desempeño Sísmico



		Nivel de desempeño sísmico				
Intensidad sísmica	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso		
Sismo frecuente	●	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Nivel de diseño sísmico	
Sismo Ocasional	●	●	Inaceptable	Inaceptable		
Sismo Raro	●	●	●	Inaceptable		
Sismo Muy Raro	●	●	●	●		

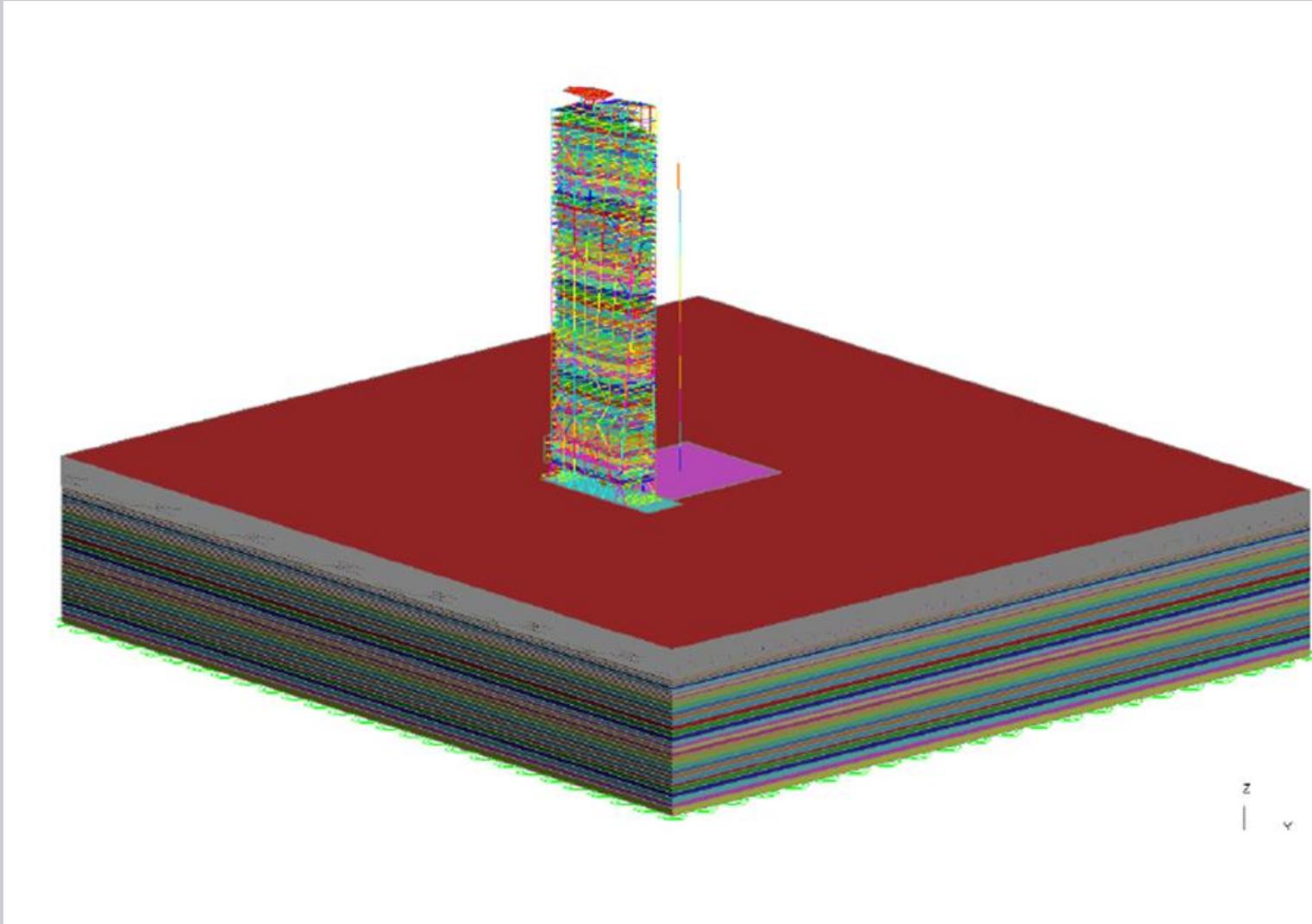
Objetivo de seguridad crítica
Objetivo Esencial/Peligro
Objetivo Básico

Nivel de Desempeño Sísmico

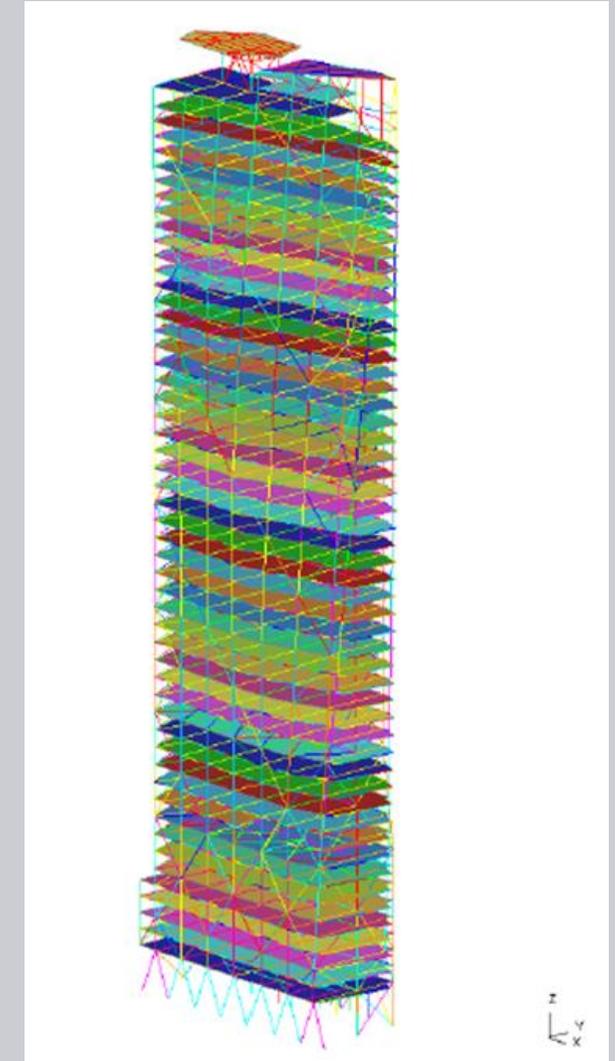


Comportamiento de Diagonales Ante Cargas Gravitacionales y Accidentales

Análisis No Lineal - Modelado



Modelo interacción suelo estructura de Torre Reforma 509 y Torre Mayor



Modelo de base fija Torre Reforma 509

Análisis No Lineal - Acelerogramas

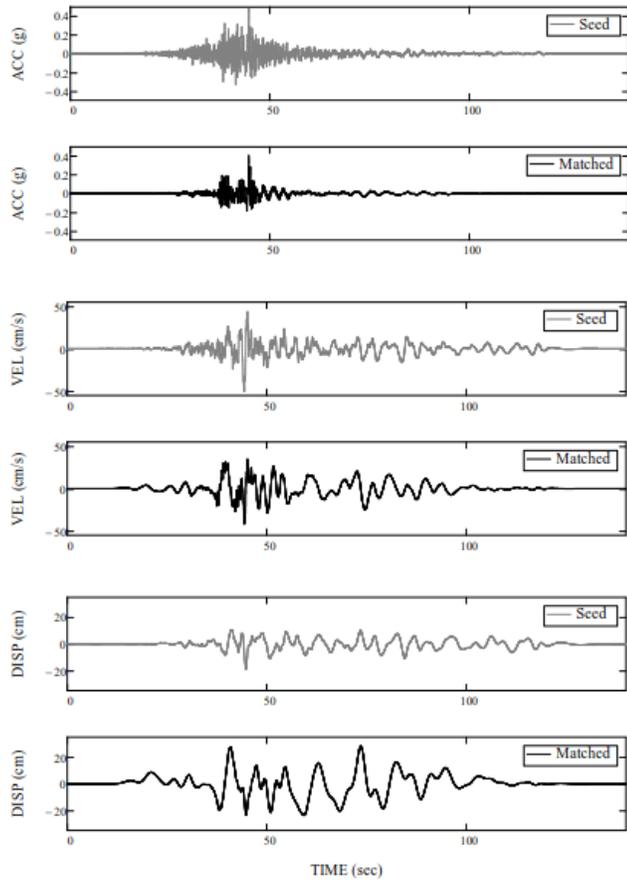


Figure B1: Seed and matched acceleration, velocity and displacement time histories: L3_2475_TOJ03-H1

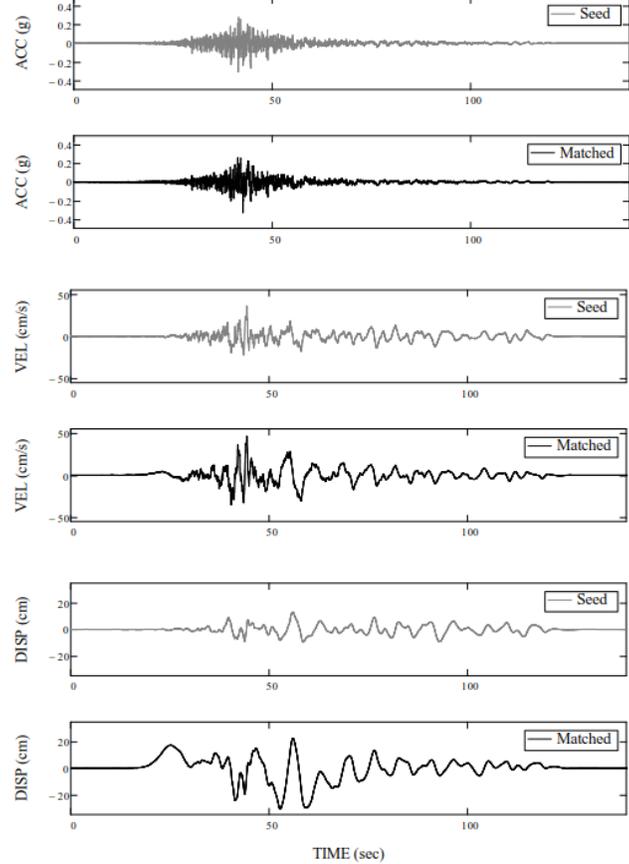


Figure B2: Seed and matched acceleration, velocity and displacement time histories: L3_2475_TOJ03-H2

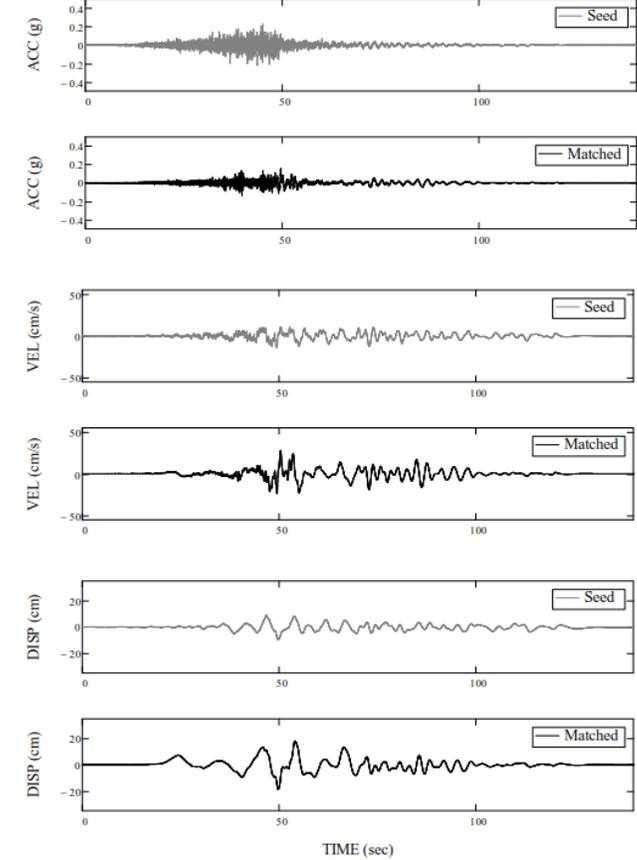


Figure B3: Seed and matched acceleration, velocity and displacement time histories: L3_2475_TOJ03-V

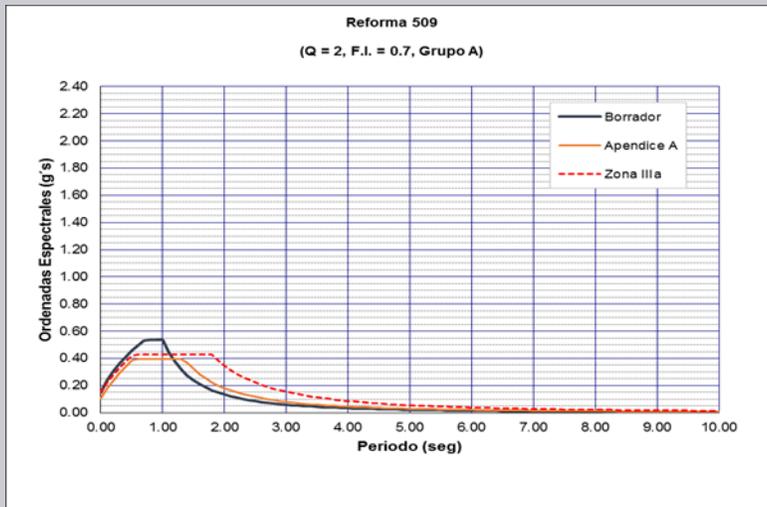
Acciones y Combinaciones de Carga



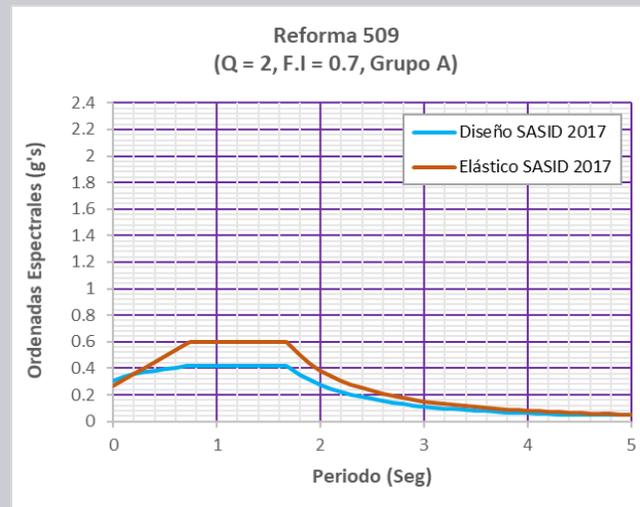
- **Cargas accidentales:**

Análisis y diseño de la estructura por desempeño, usando un sismo con un periodo de retorno de 2475 años.

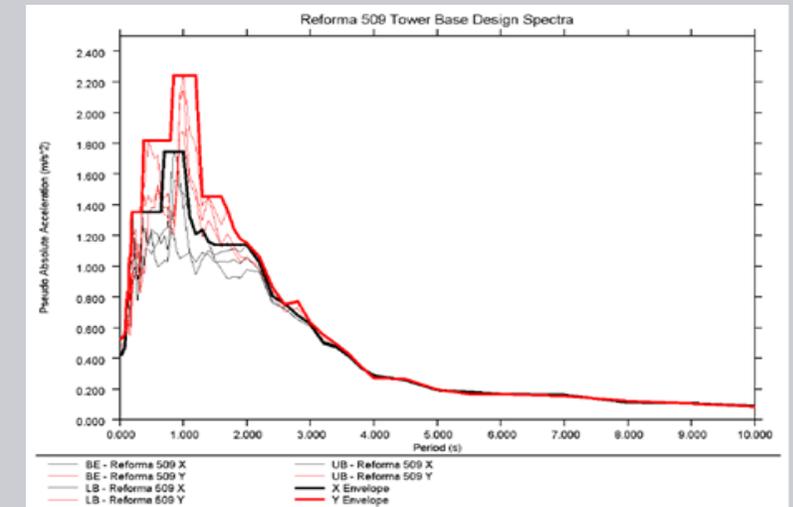
- **Comparativa entre Espectros de diseño del RCDF vs Espectro obtenido por ERN**



Espectros de diseño RCDF-04



Espectros SASID 2017



Espectro de Diseño con Criterios de Desempeño. (ERN)

Periodos Principales



Modo 1



Modo 2



Modo 3

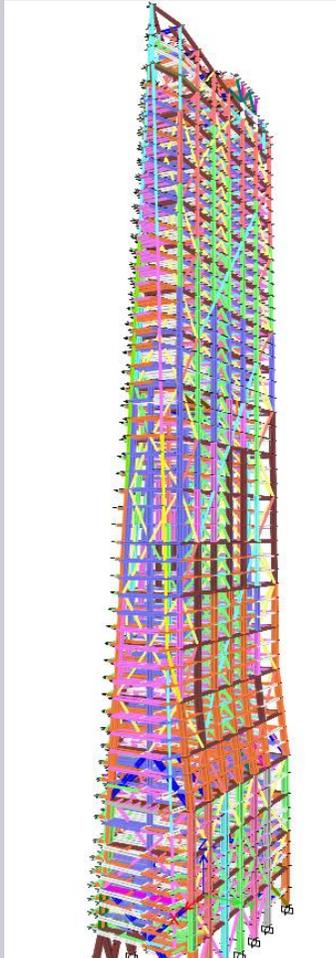
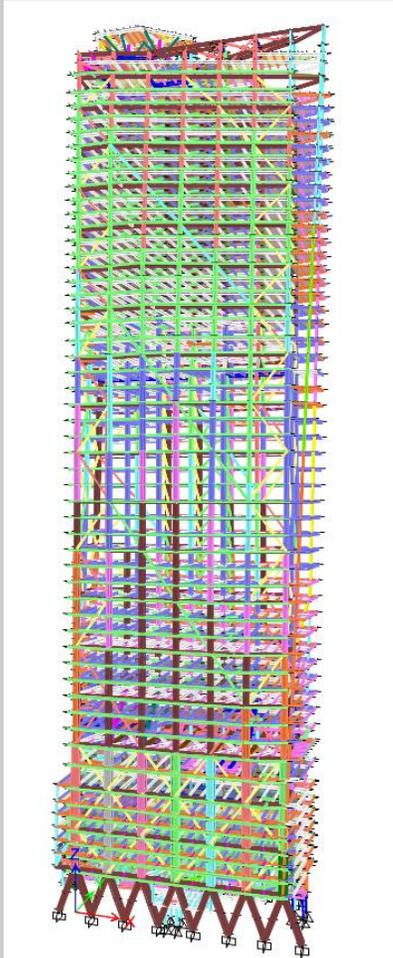
Mode	Frequency	Period	Modal Mass	Modal stiffness	Effective / total mass		
	[Hz]	[s]	[kg]	[kN/m]	X	Y	Z
1	0.161	6.212	2.30E+07	23510	0.60%	67.36%	2.03E-07
2	0.1936	5.165	2.59E+07	38330	67.01%	0.56%	5.03E-06
3	0.2866	3.49	7.30E+06	23660	1.21%	0.21%	0.00%
4	0.5048	1.981	1.39E+07	139600	0.03%	17.92%	0.04%
5	0.6302	1.587	1.97E+07	308900	12.26%	0.15%	0.00%
6	0.7199	1.389	106600	2181	4.52E-07	2.23E-07	0.18%
7	0.7833	1.277	4.74E+06	114700	0.08%	0.26%	0.00%
8	0.8116	1.232	7.26E+06	188700	0.24%	5.21%	0.02%
9	0.8151	1.227	66910	1755	0.00%	0.04%	0.11%
10	0.8811	1.135	63640	1951	8.90E-07	4.86E-06	0.12%

Resumen dinámico de los primeros 10 modos de vibrar

Cortante Basal



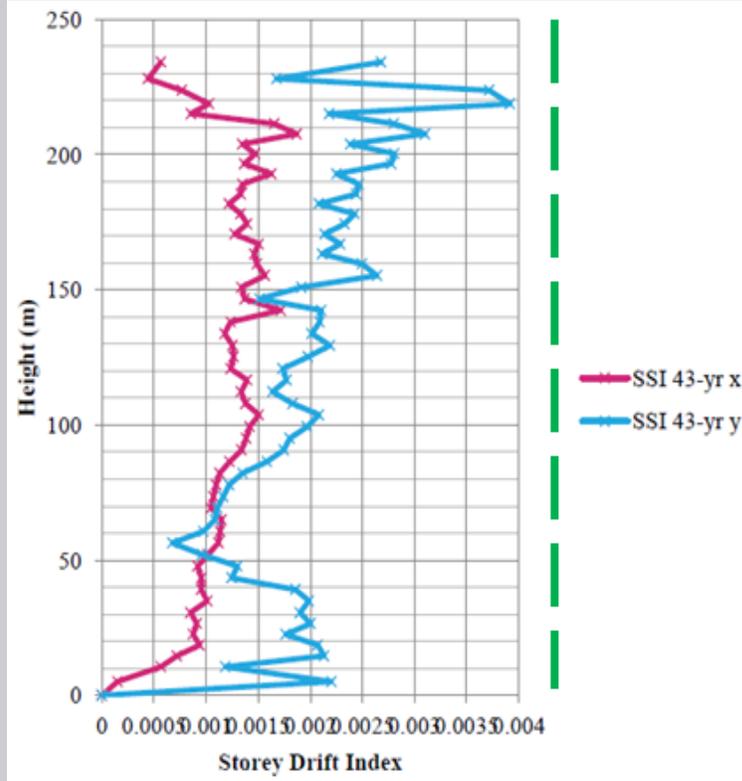
Se incorporó un factor de escala en el análisis para garantizar la **cortante en la base de 3% mínimo** indicado en el documento de criterios de daño



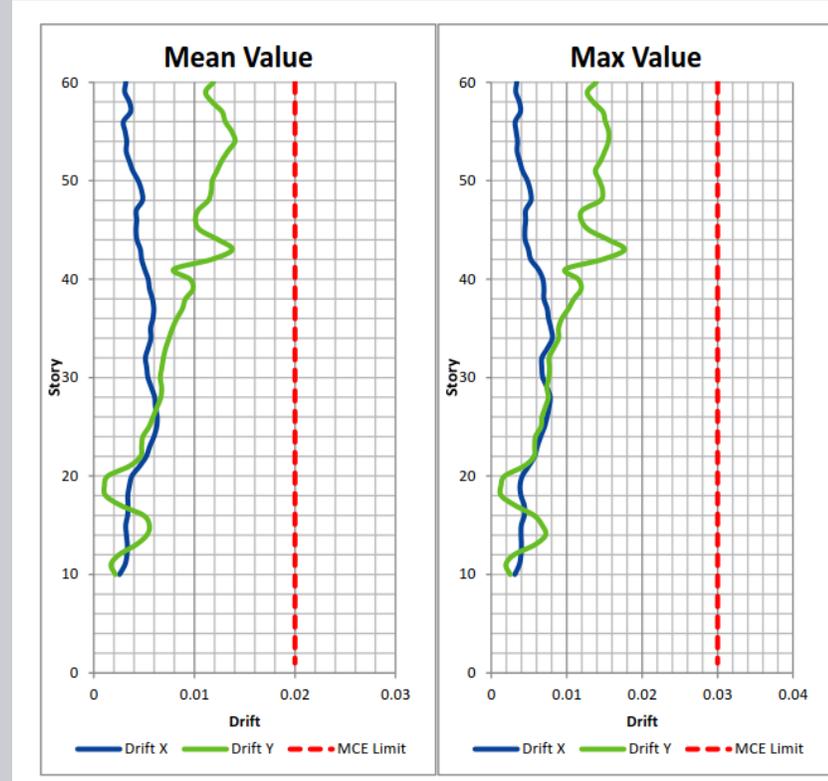
Direction	Base Shear		Scaling Factor
X	19.3MN	2.246%	1.336
Y	23.0MN	2.671%	1.123

Seismic Mass = 861MN

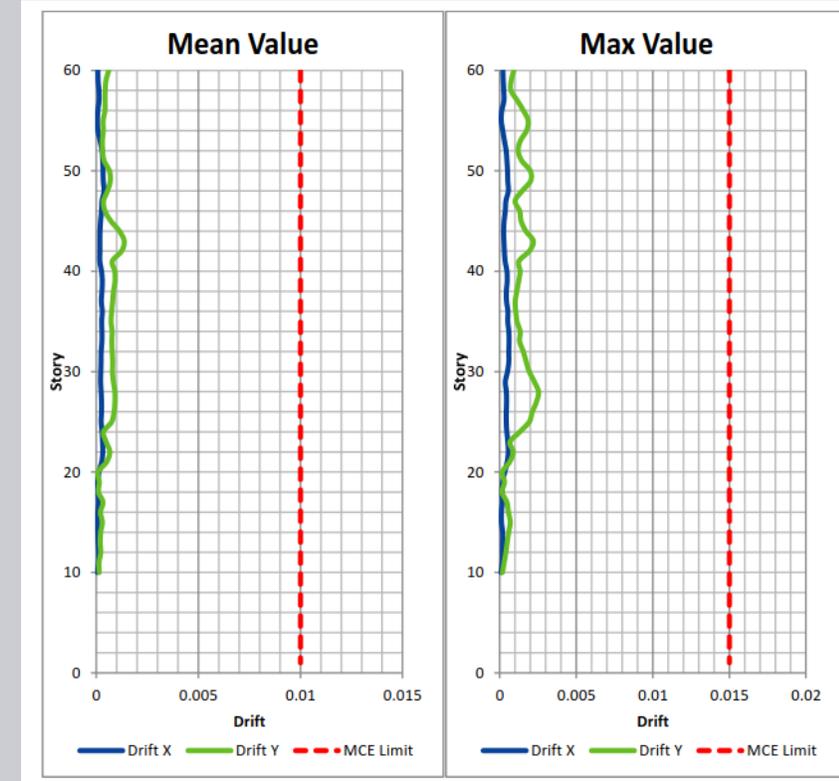
Distorsiones



Distorsiones de Entrepiso
Espectro de Respuesta Periodo
de Retorno de 43 Años

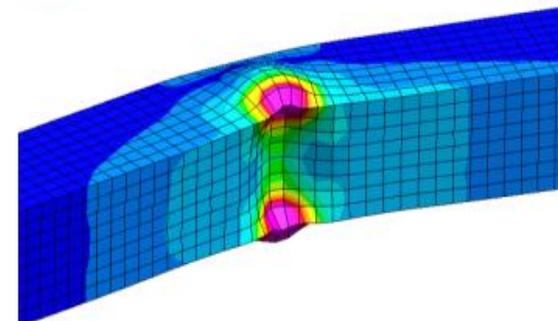
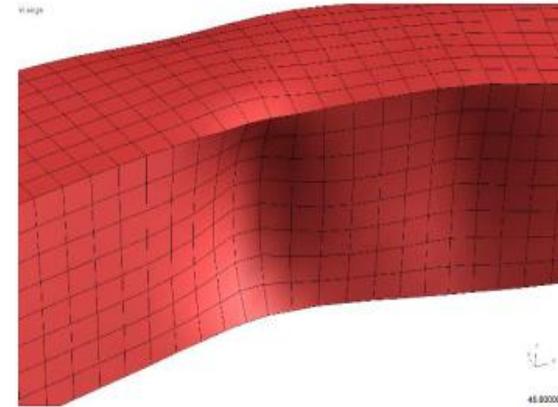
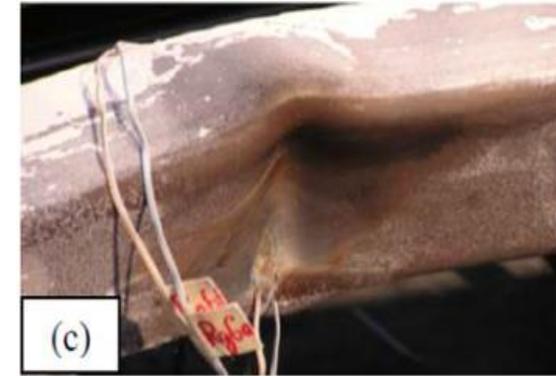
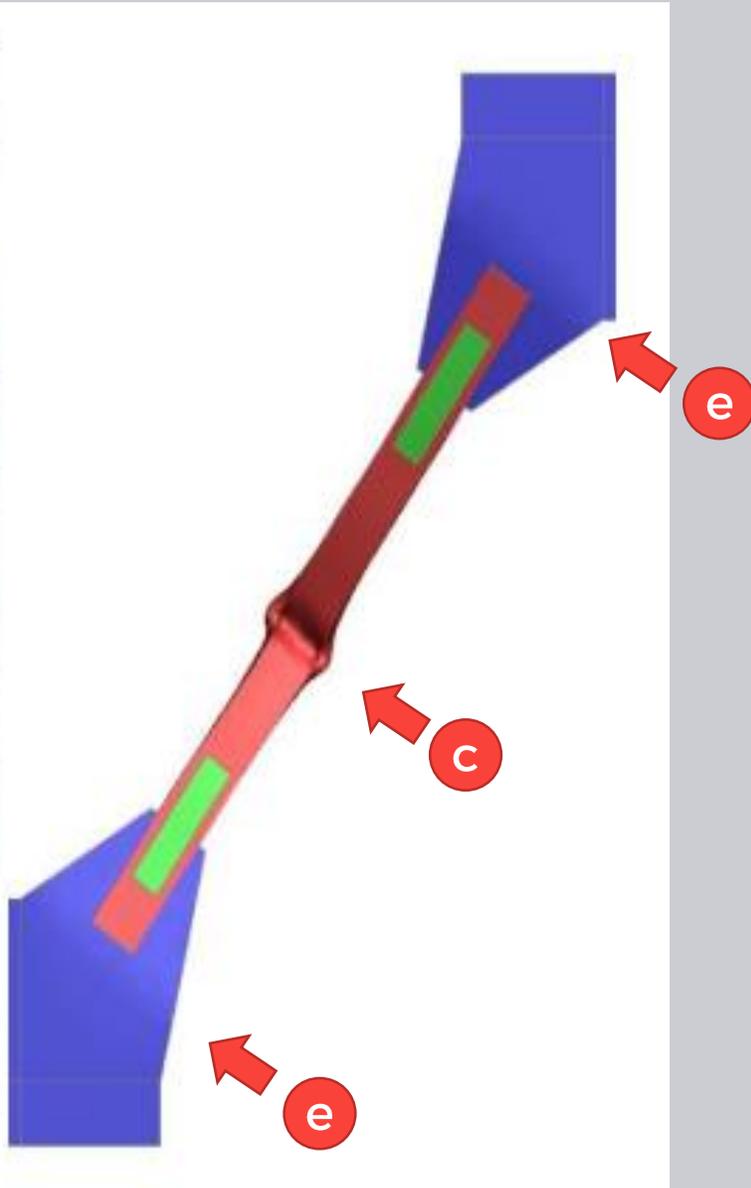


Distorsiones de Entrepiso
Transitorias
MCE

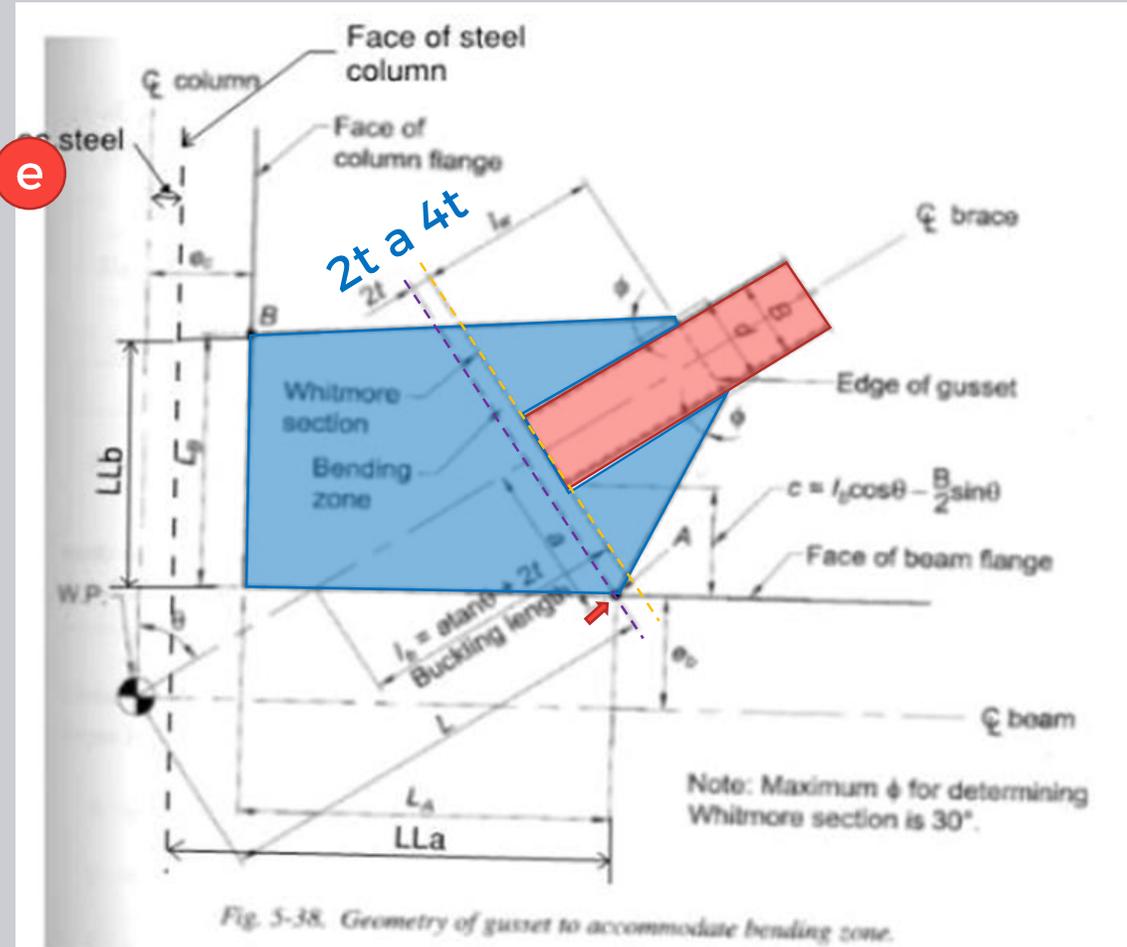
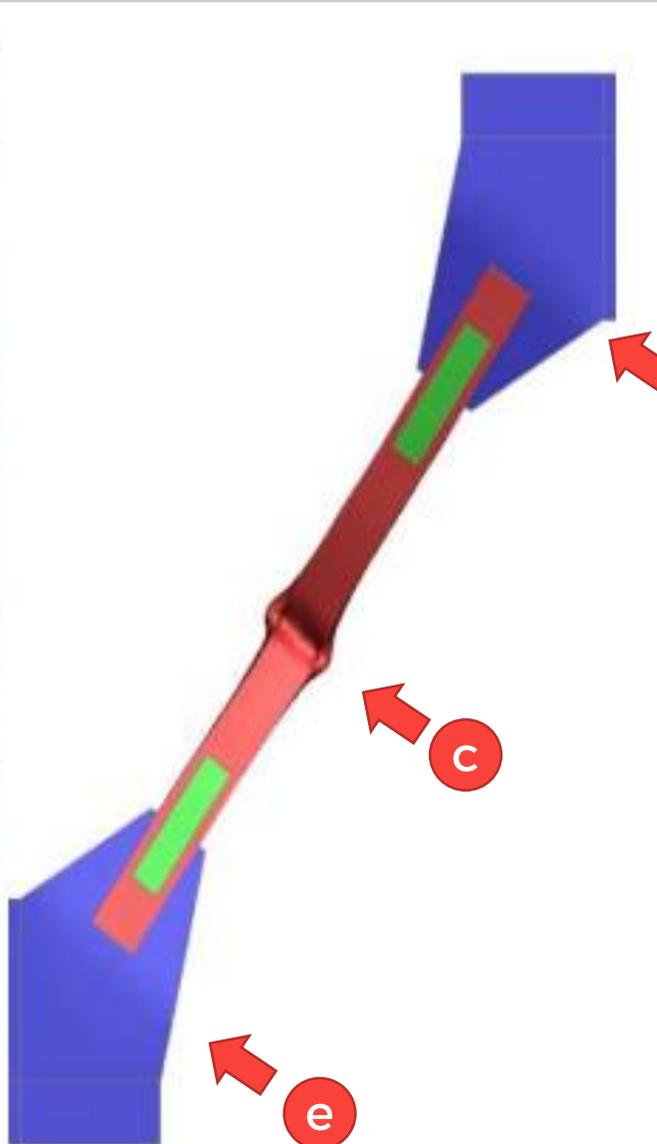


Distorsiones de Entrepiso
Residuales
MCE

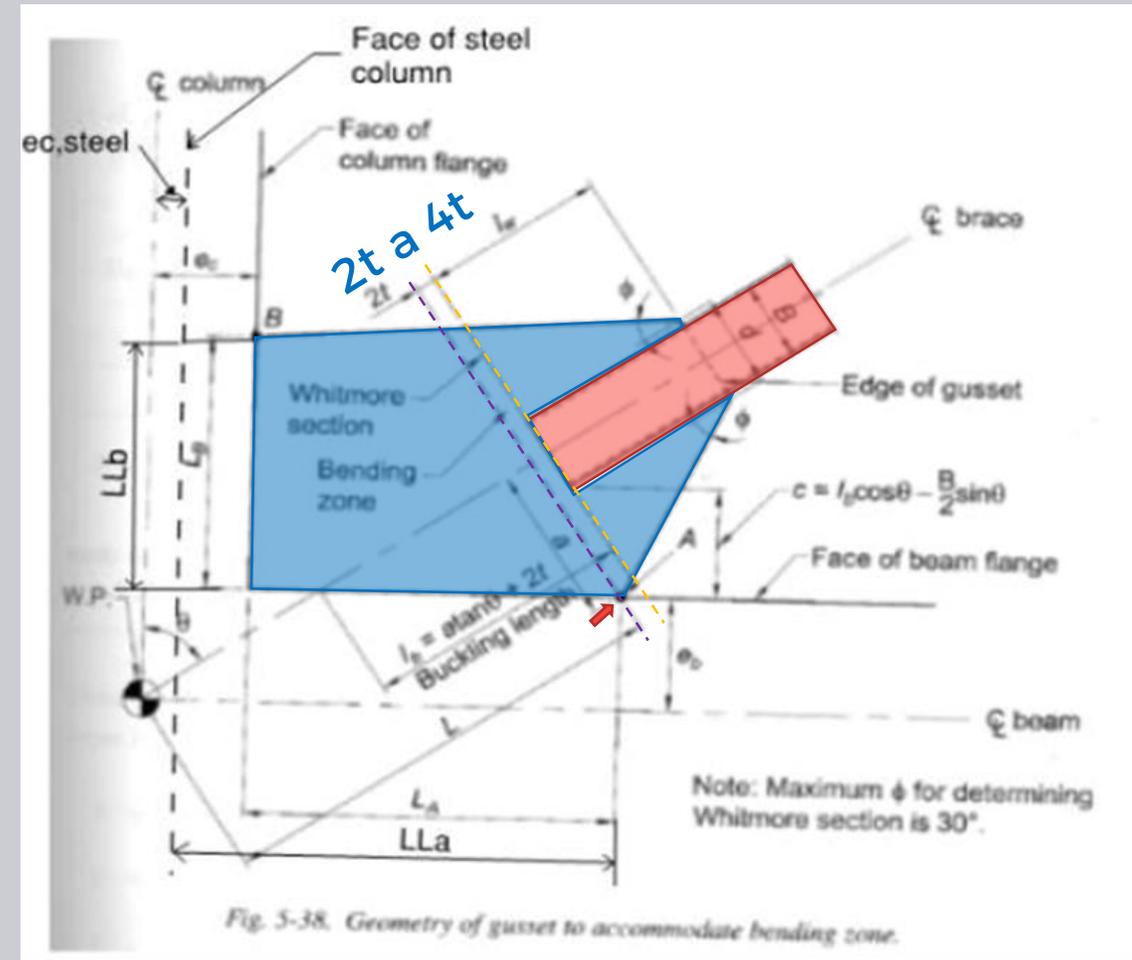
Análisis No Lineal - Diagonales



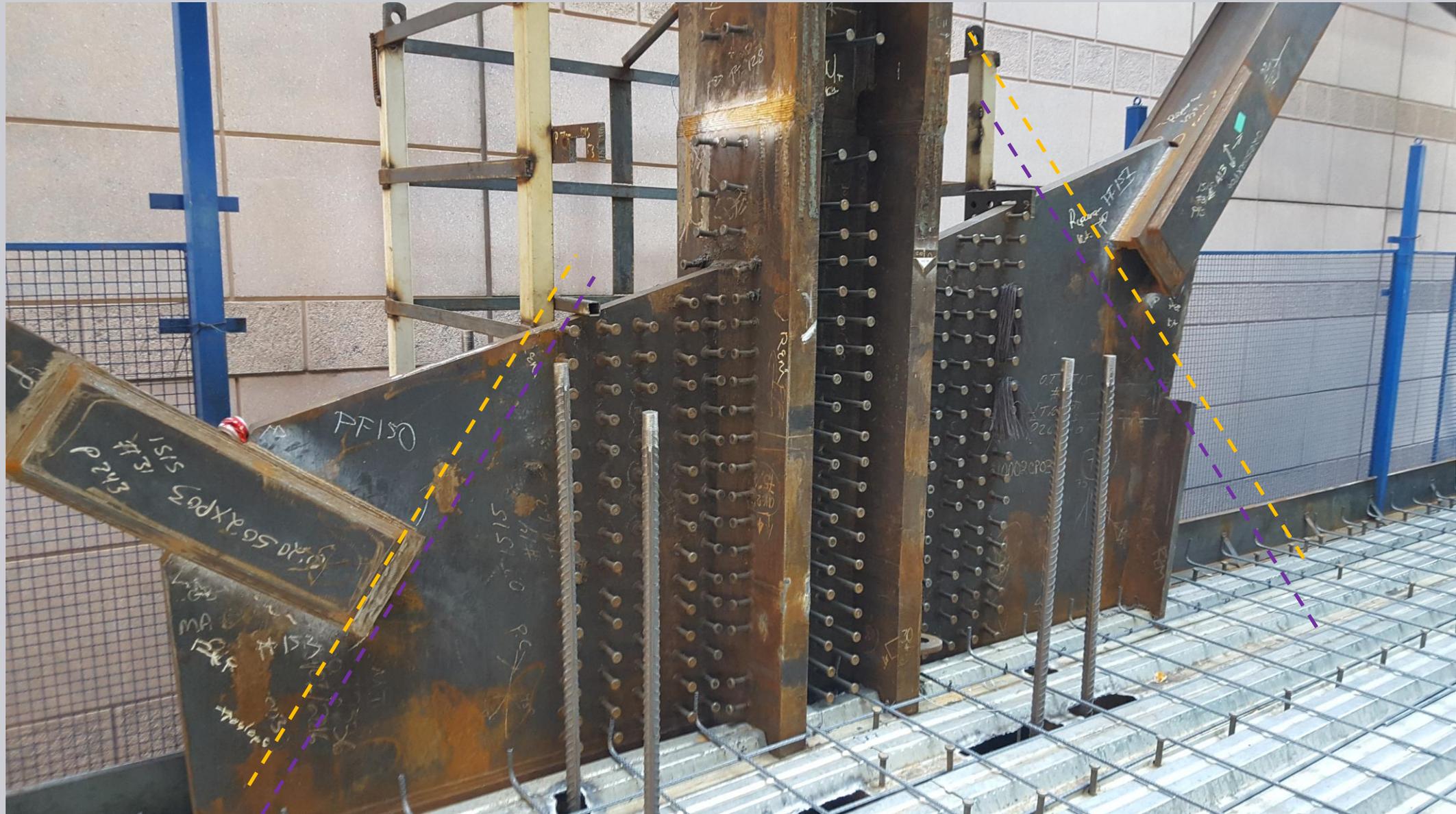
Análisis No Lineal - Diagonales



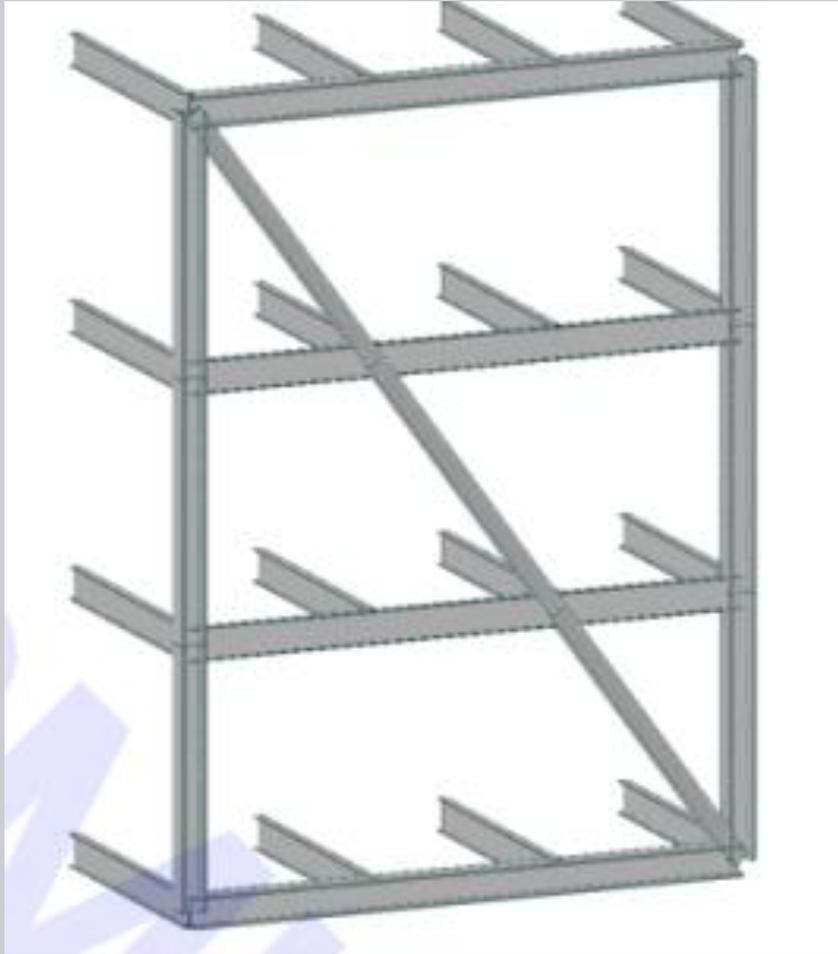
Análisis No Lineal - Diagonales



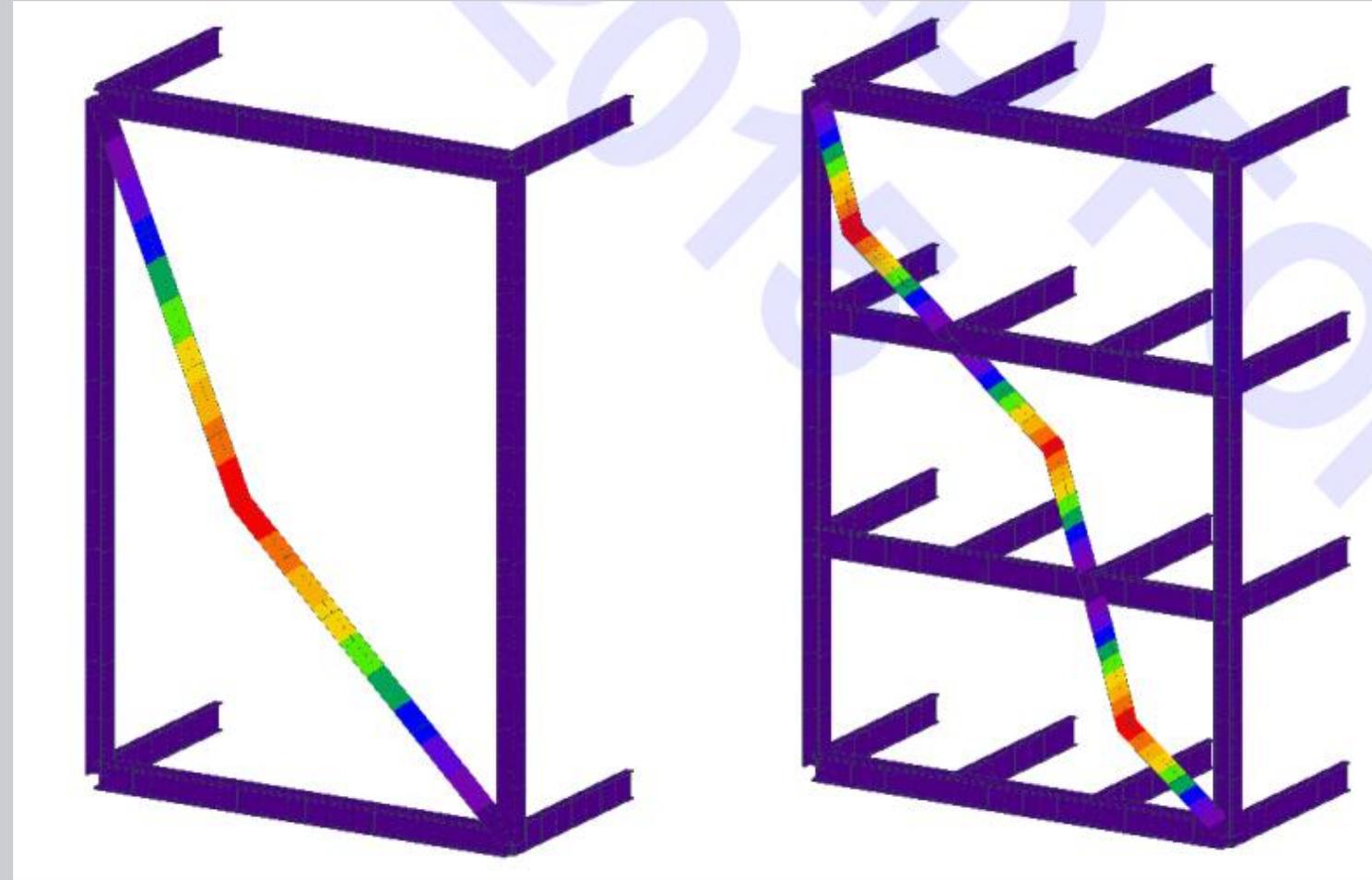
Análisis No Lineal - Diagonales



Análisis No Lineal - Diagonales

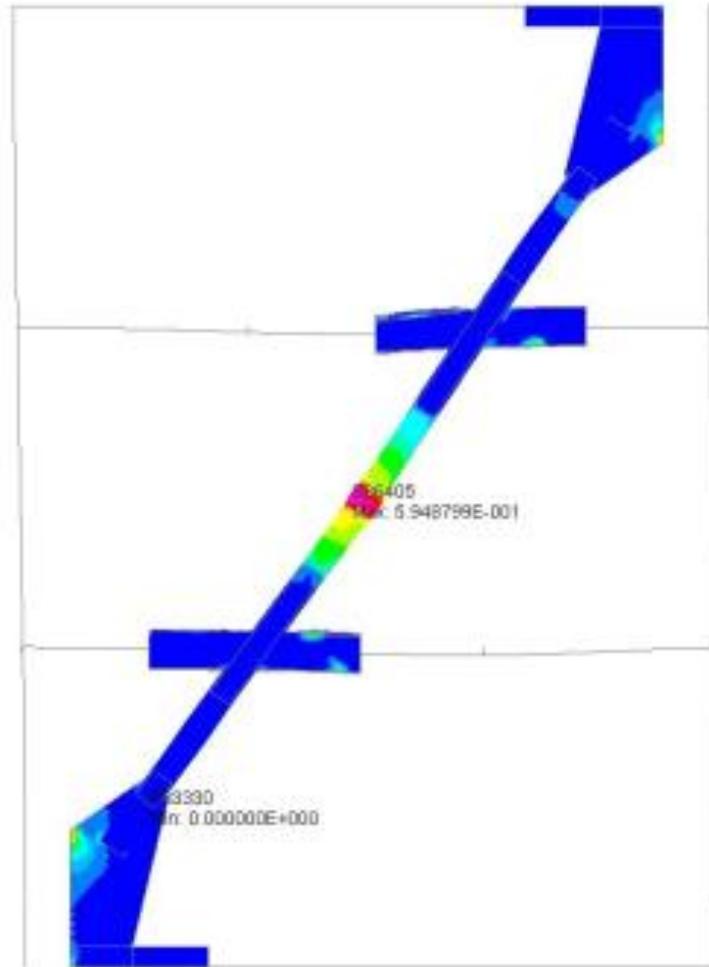
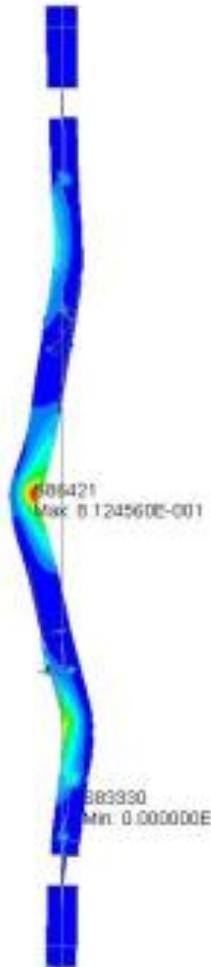


Arriostamiento Tipo de Diagonales

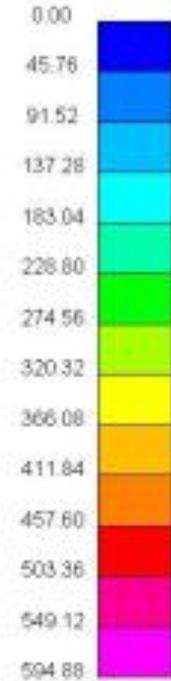


Pandeo Tipo de Diagonales

Análisis No Lineal - Diagonales



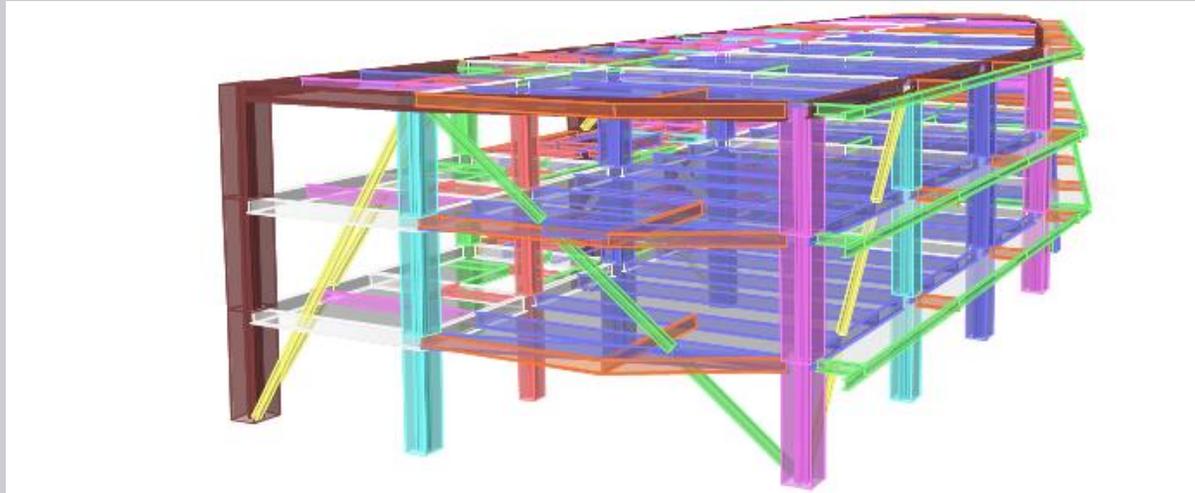
PLASTIC_STRAIN
(Mag all pts)



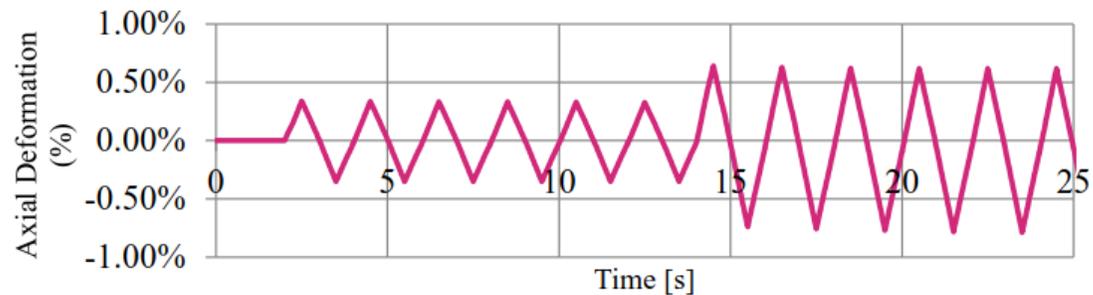
x 1.0E-03



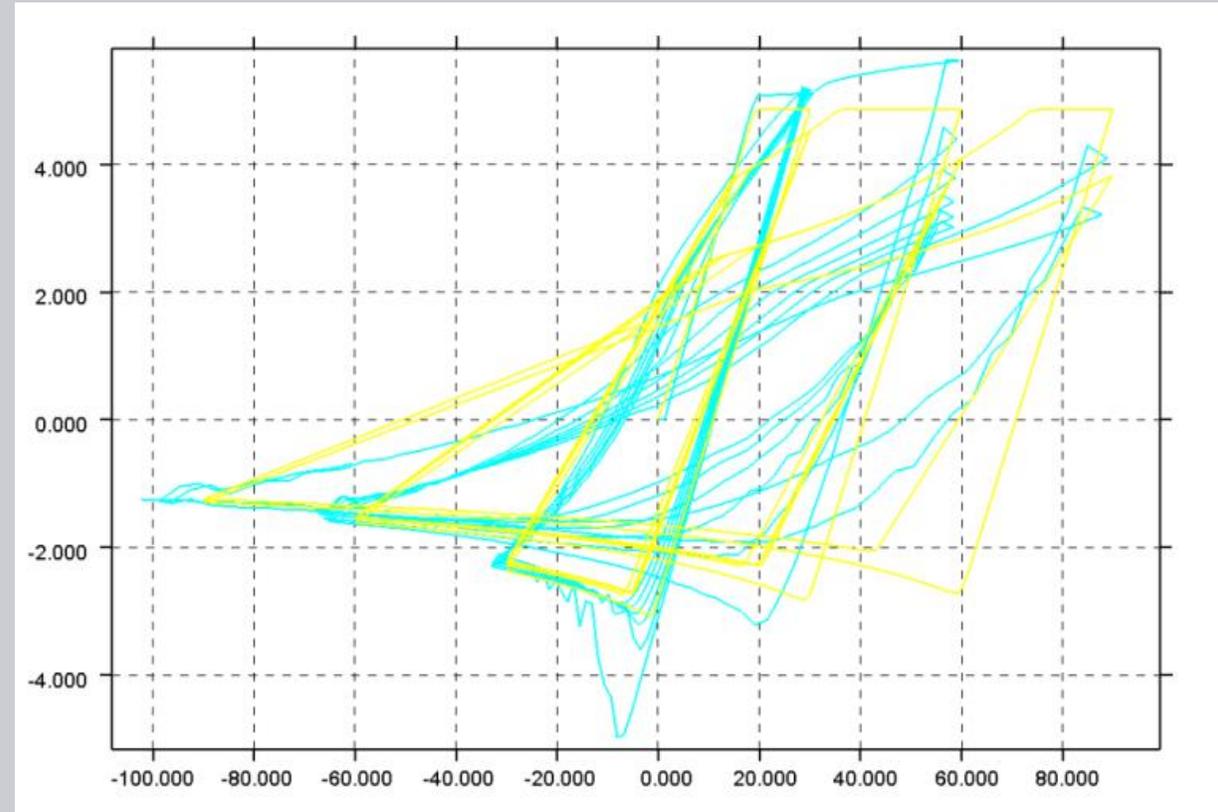
Análisis No Lineal - Diagonales



Representación de Diagonales a lo Largo de Tres Niveles de Entrepiso



Análisis Tiempo Vs Deformación Axial de Diagonales

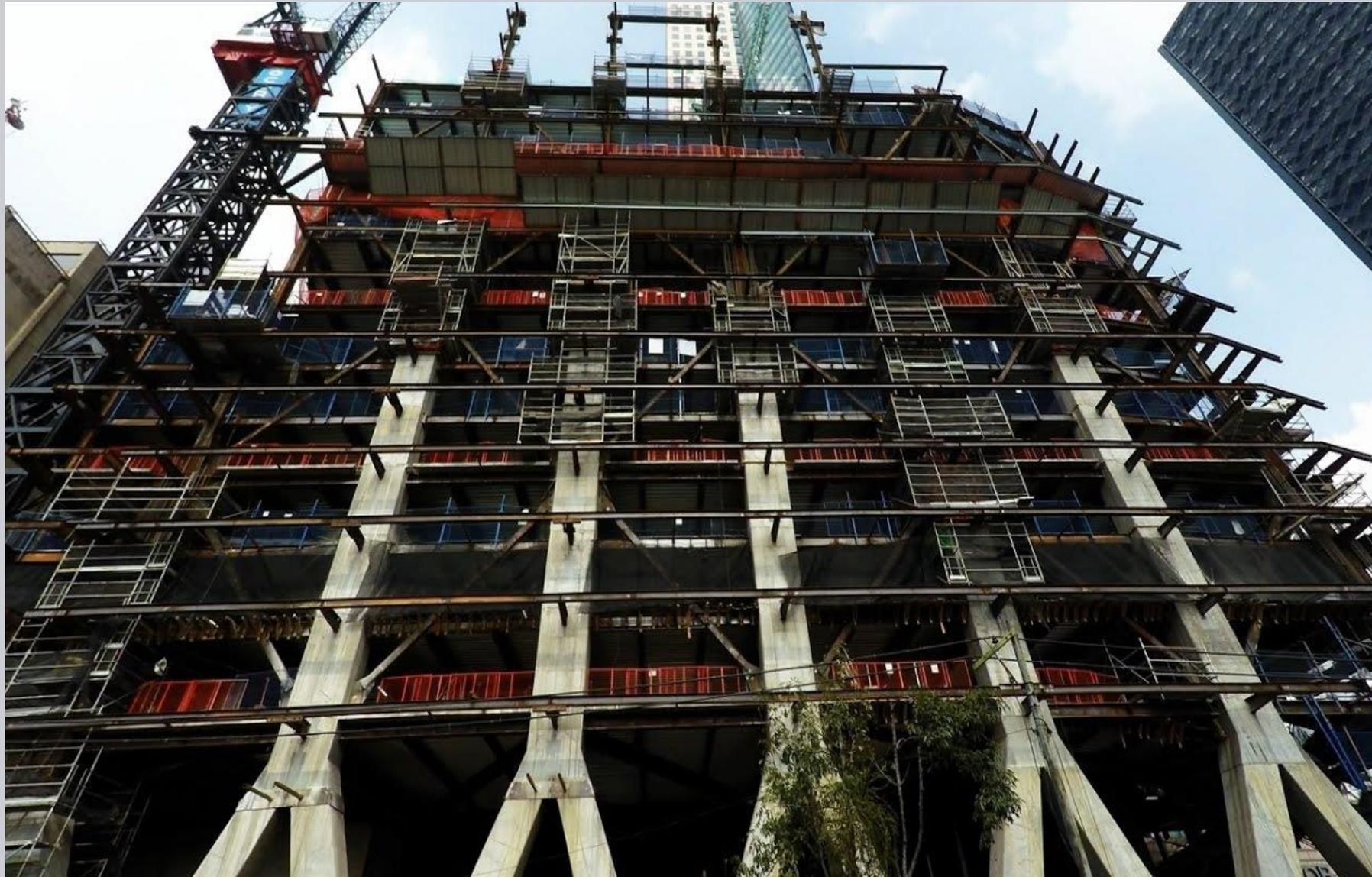


Ciclo Histerético del Modelo **Local** en Color **Azul**
Ciclo Histerético del Modelo **Global** en Color **Amarillo**

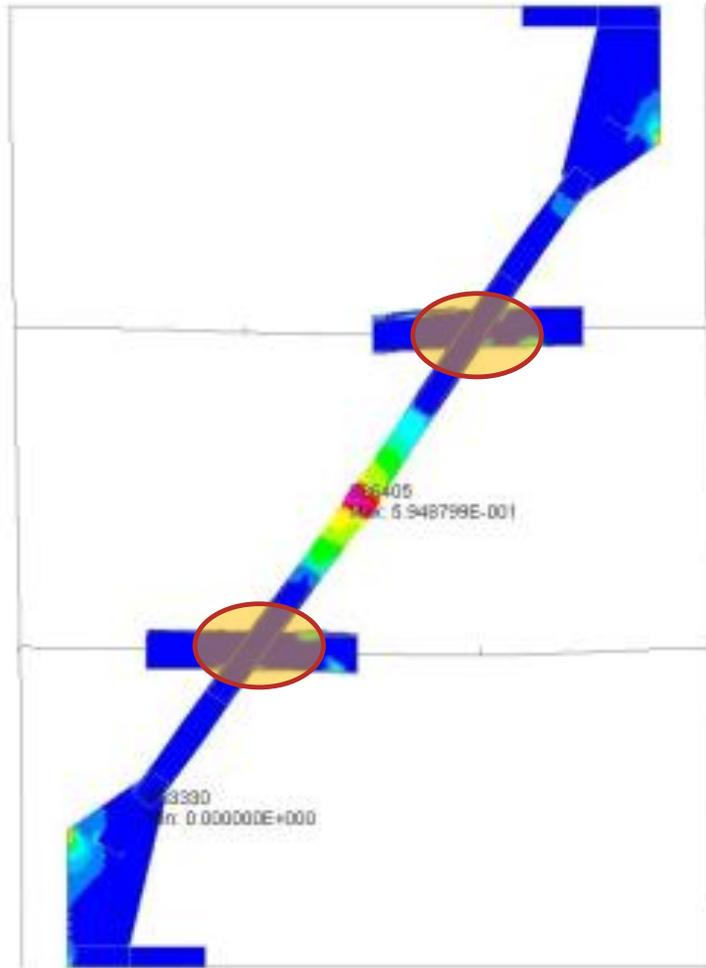
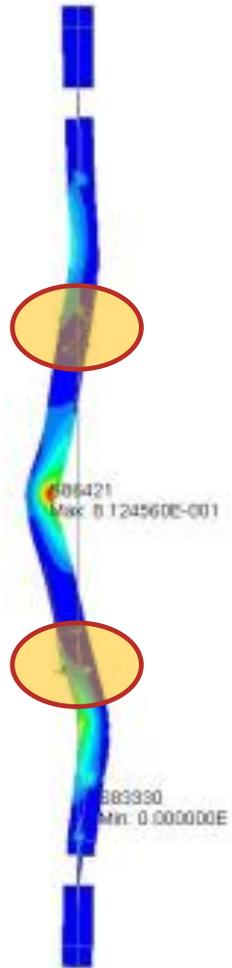
Análisis No Lineal - Diagonales



Análisis No Lineal - Diagonales



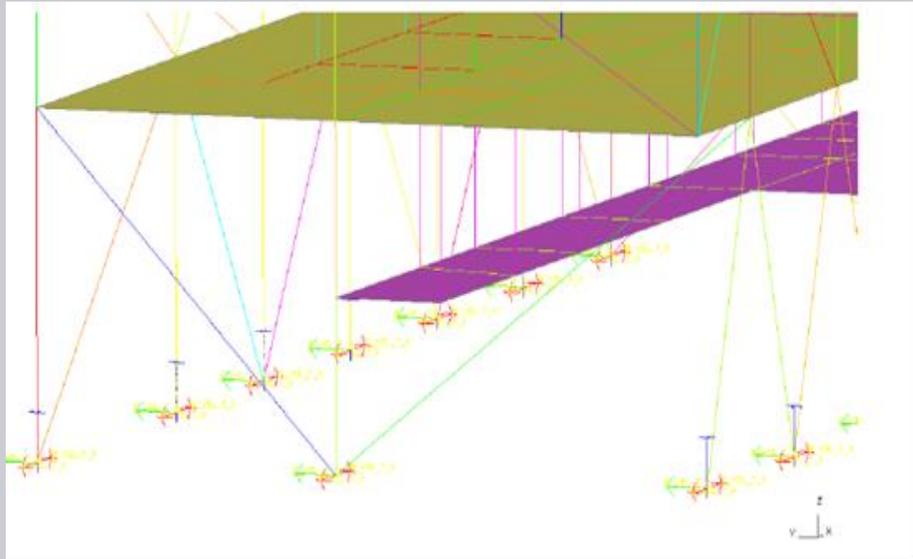
Análisis No Lineal - Diagonales



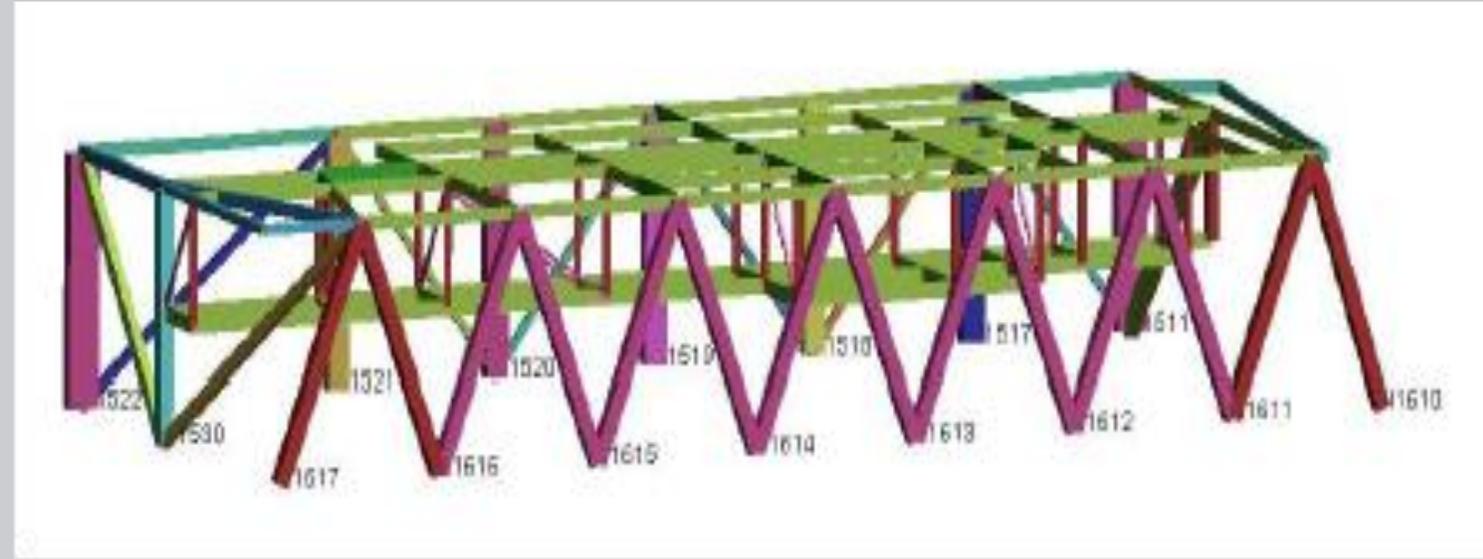
Análisis No Lineal - Condiciones de Frontera en la Base



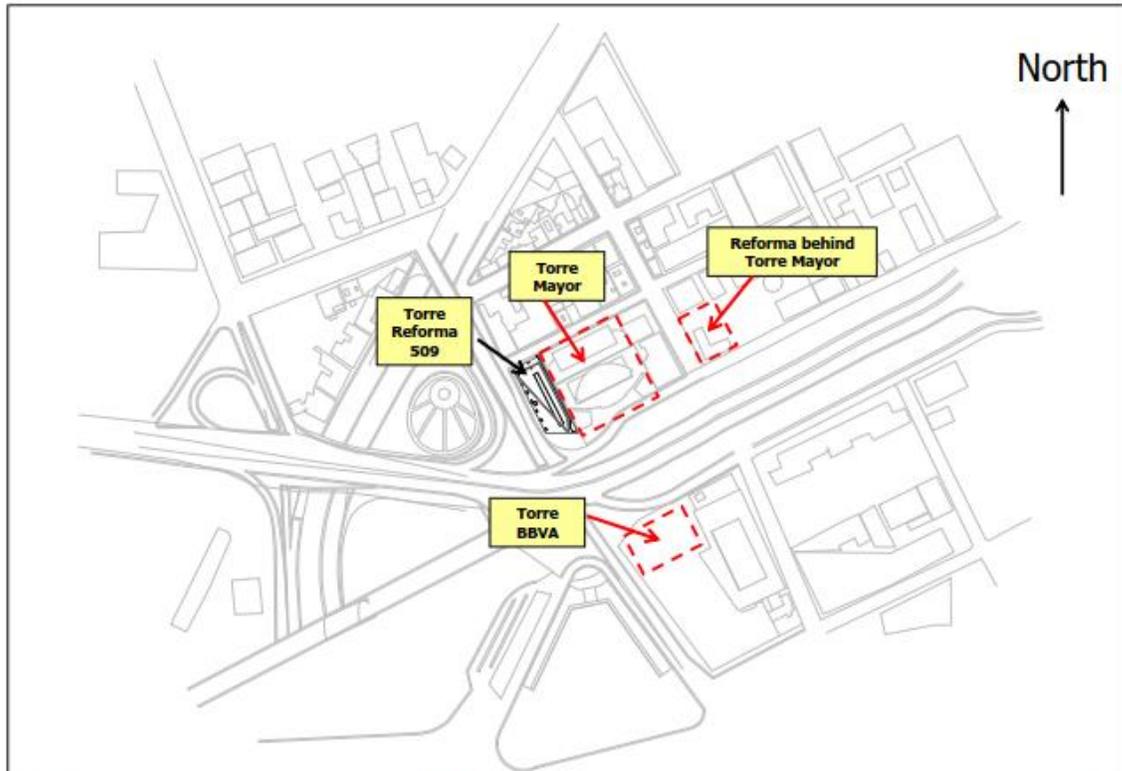
- Las ***componentes del sismo*** están aplicadas en cada uno de los nodos de la base.
- ***Resortes rotacionales*** representan la rigidez de los ***muros de cimentación***



Condiciones de Frontera en la Base del Modelo de Base Fija



Ubicación de Diagonales en la Base del Modelo de Base Fija



431253 - Torre Reforma 509
Location of the Proposed Development

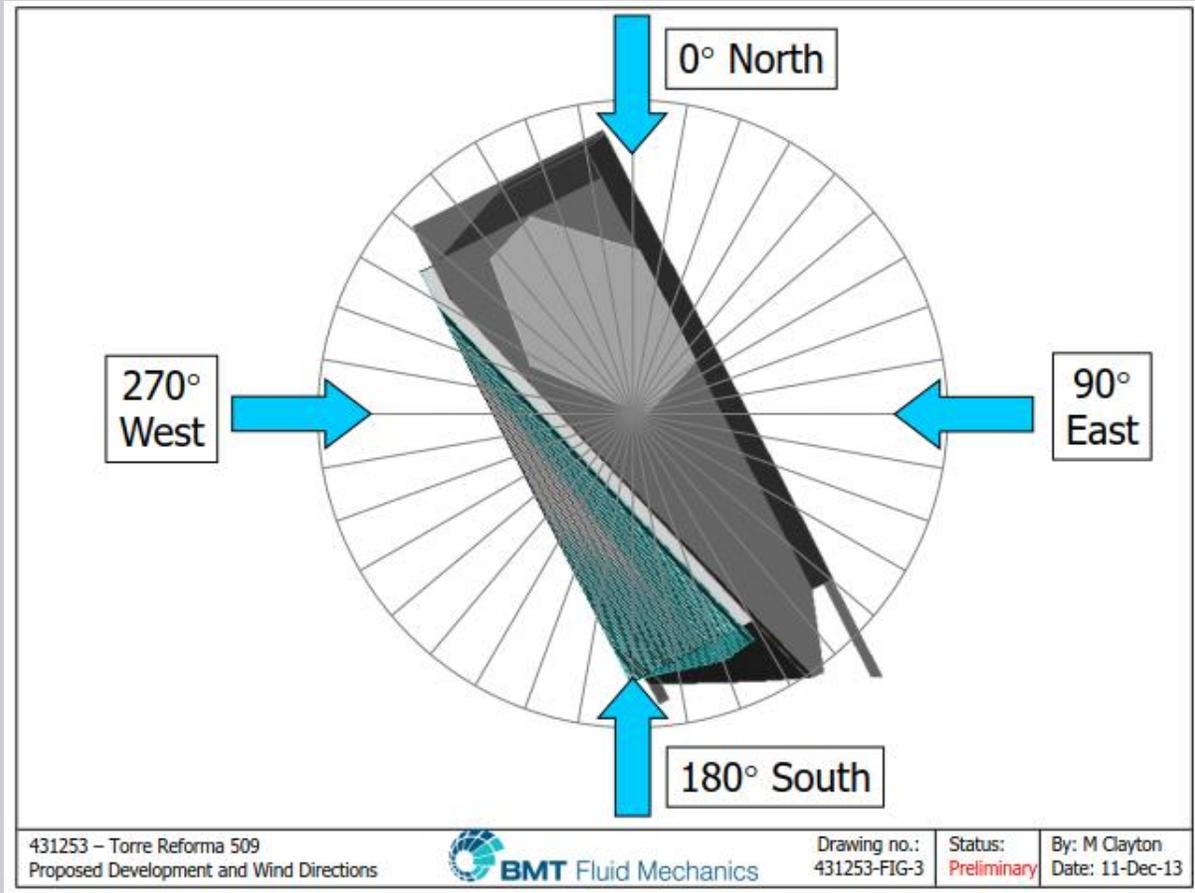


Drawing no.: 431253-FIG-2
Status: Preliminary
By: M Clayton
Date: 11-Dec-13

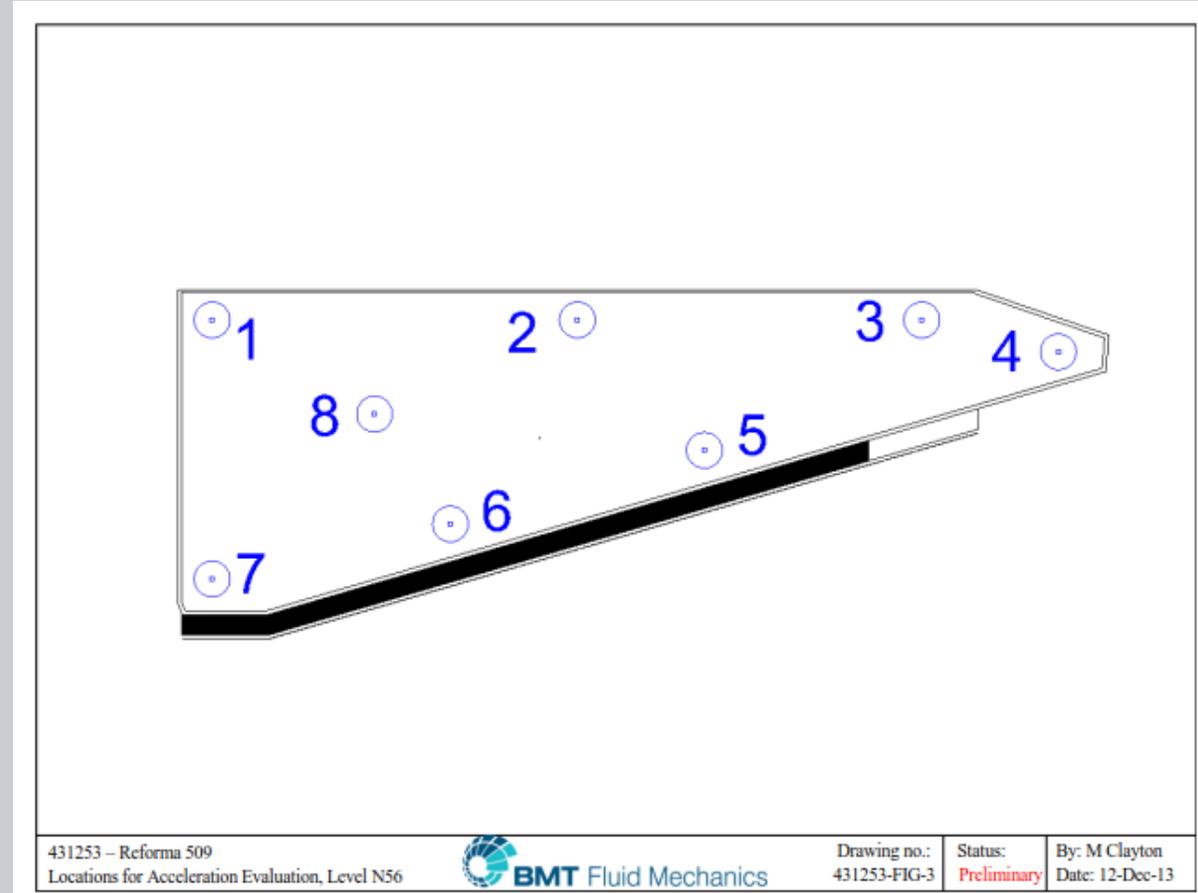


Ubicación Torre Chapultepec Uno

Influencia de Construcciones Cercanas en el Análisis del Túnel de Viento

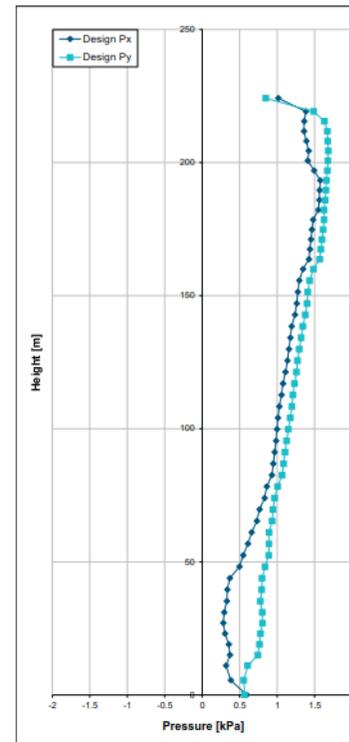
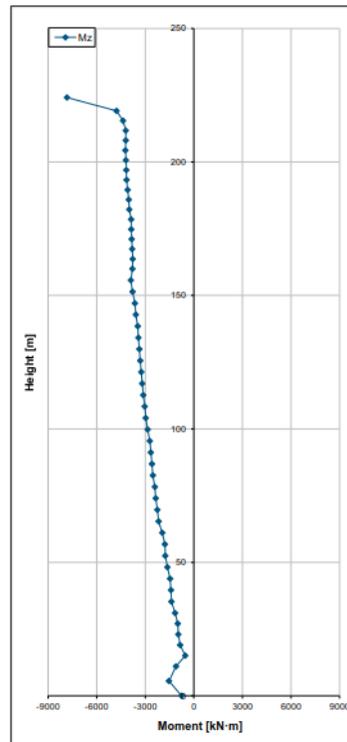
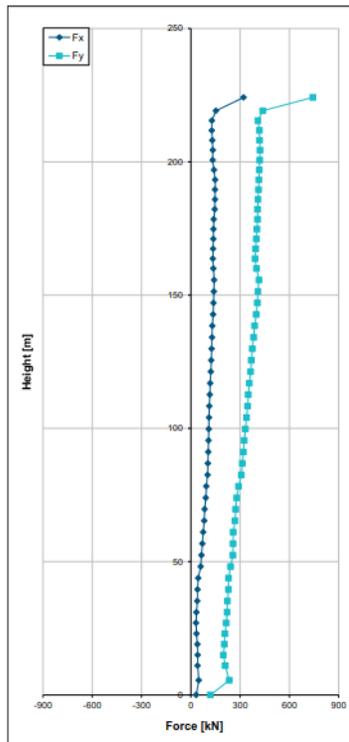


Direcciones del Viento

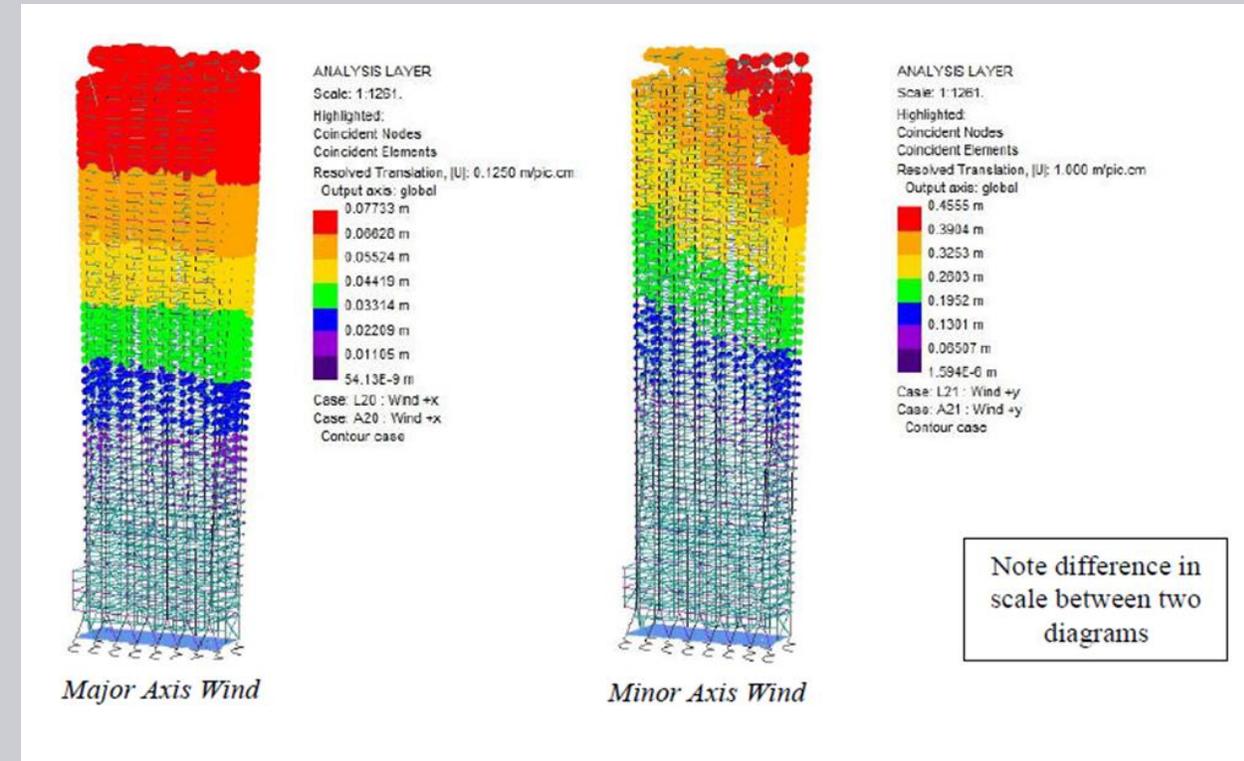


Nivel y Puntos de Análisis Dentro de la Planta de Estudio

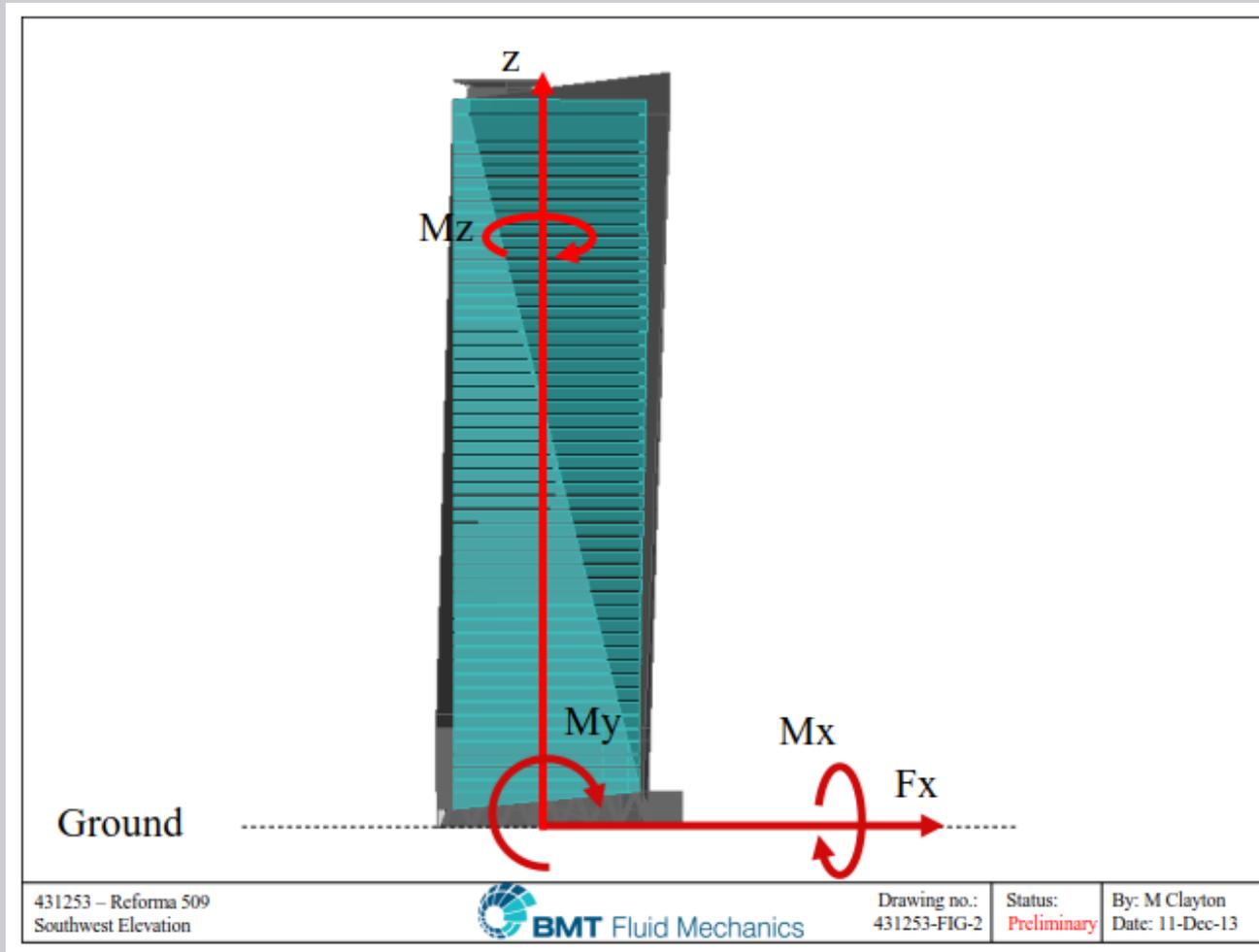
Estudio de Viento



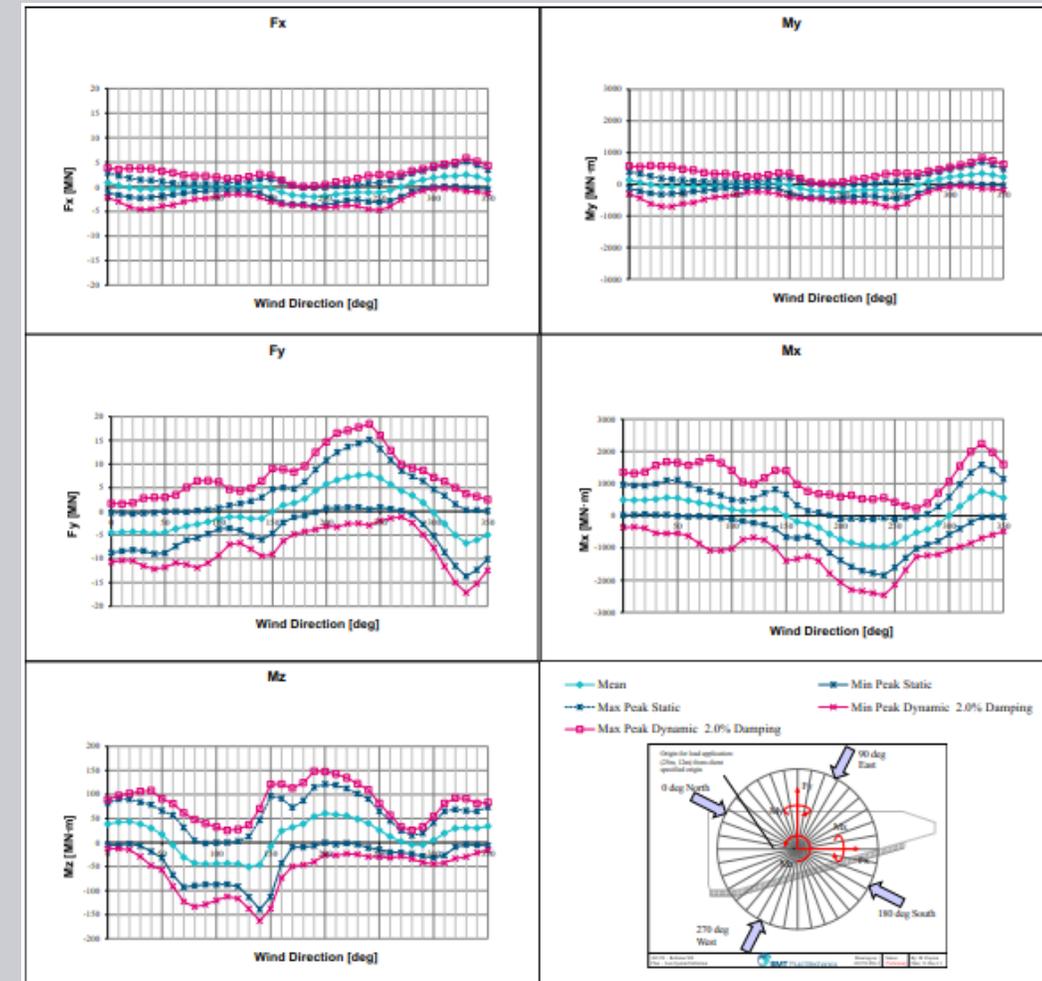
Fuerzas Inducidas por Viento



Desplazamientos Obtenidos por Presiones de Viento

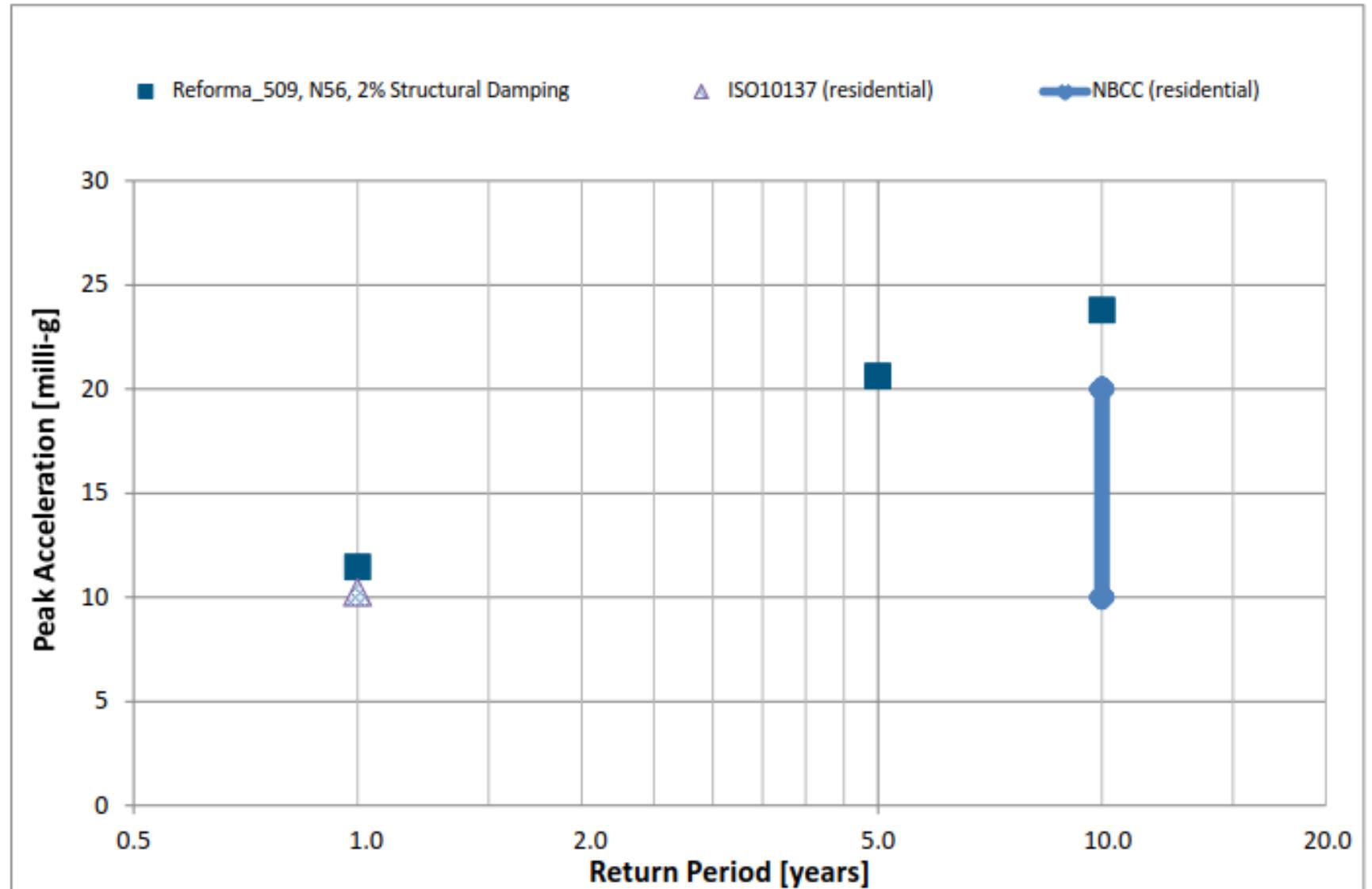


Sistema de Ejes

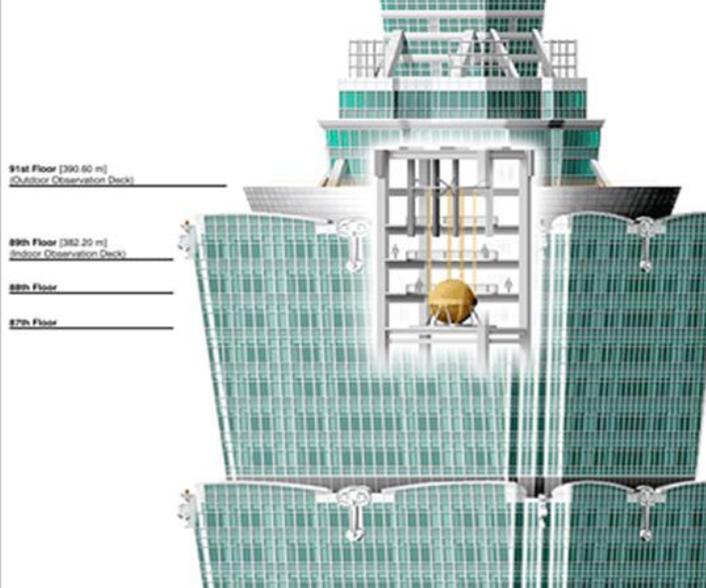


Variación de Fuerzas

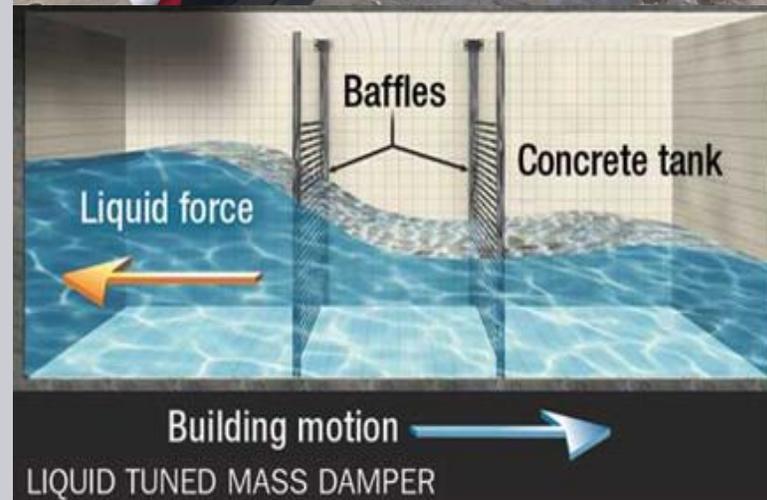
Amortiguamiento de 2%



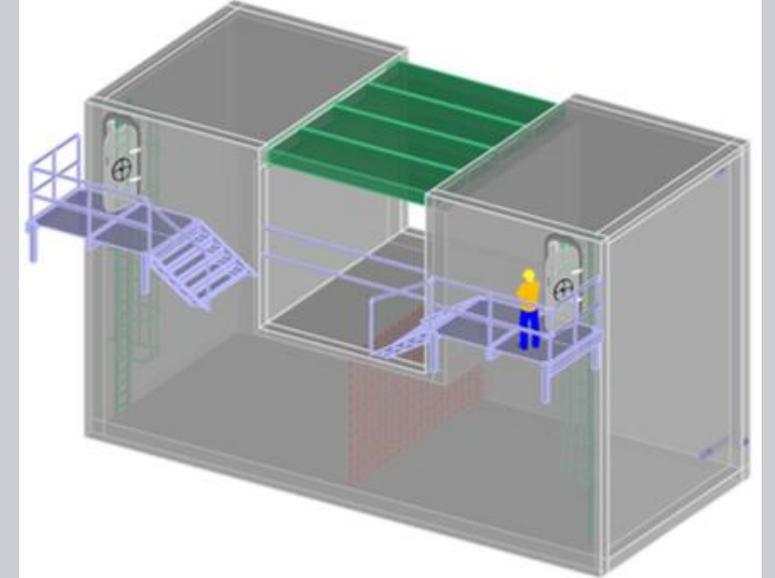
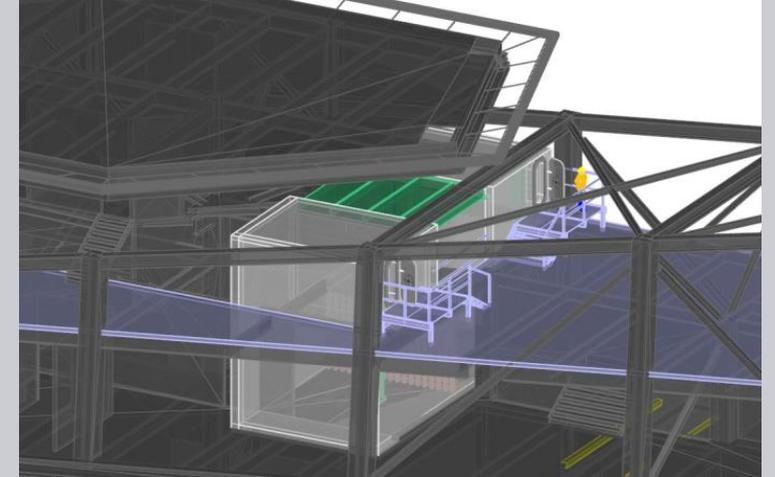
Sintonizador de Masas



Ejemplo de Sintonizadores de Masa

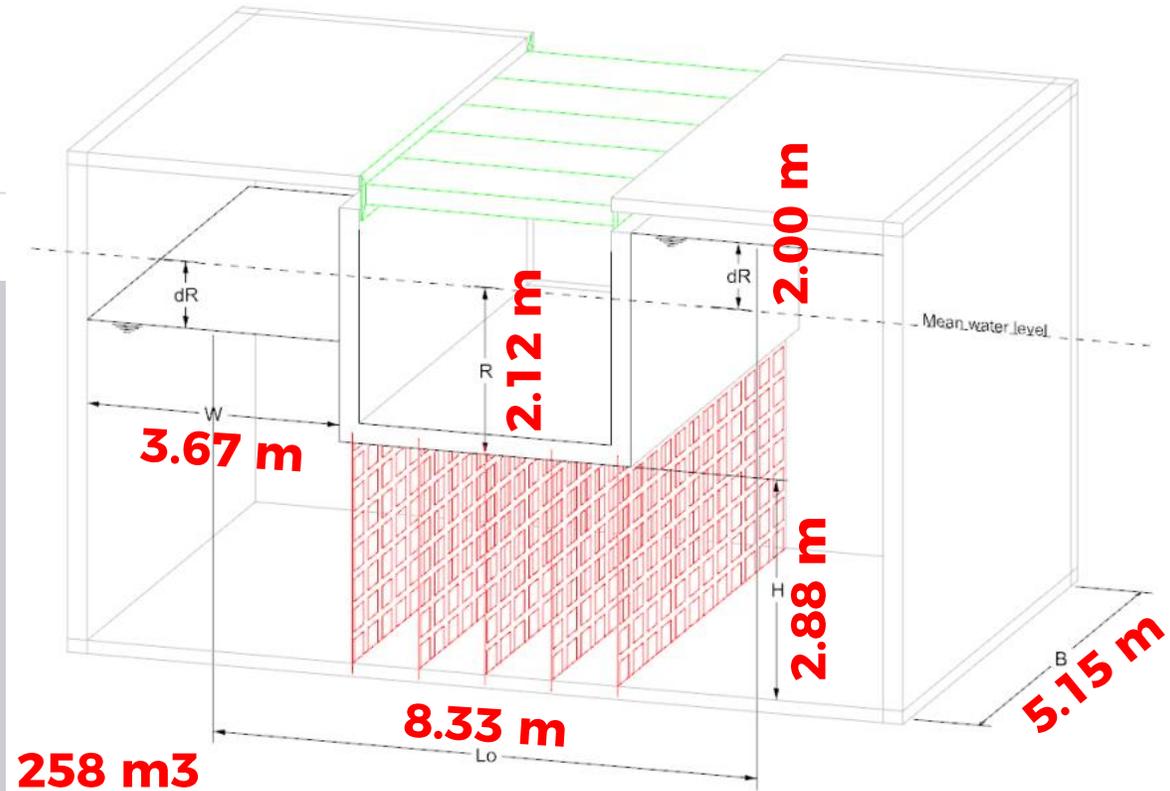
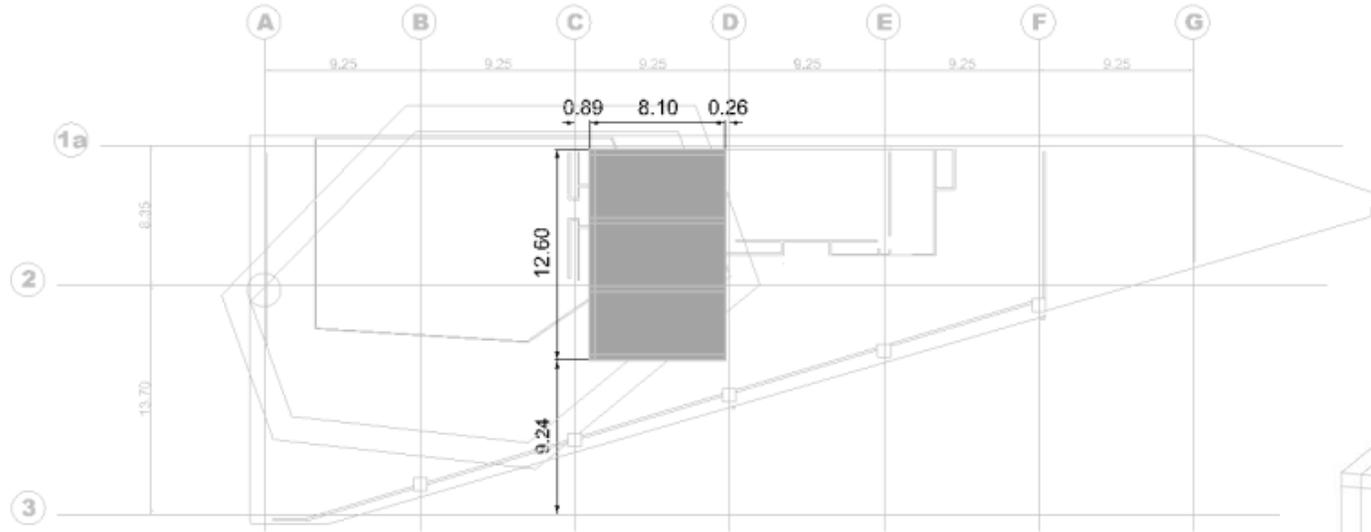


Principios Básicos de Funcionamiento

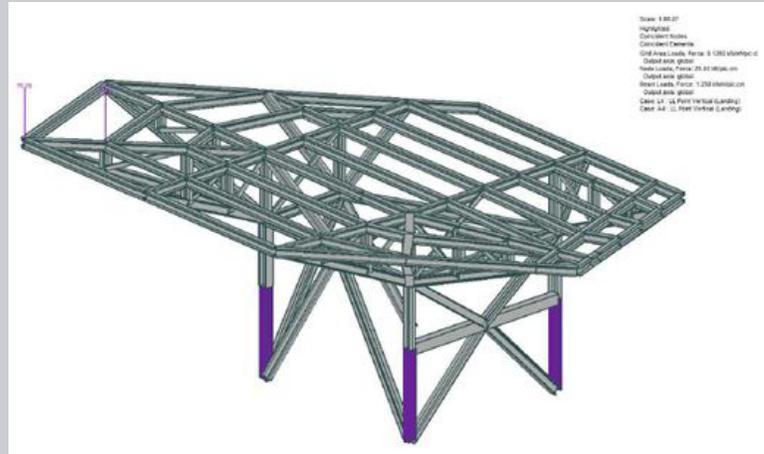
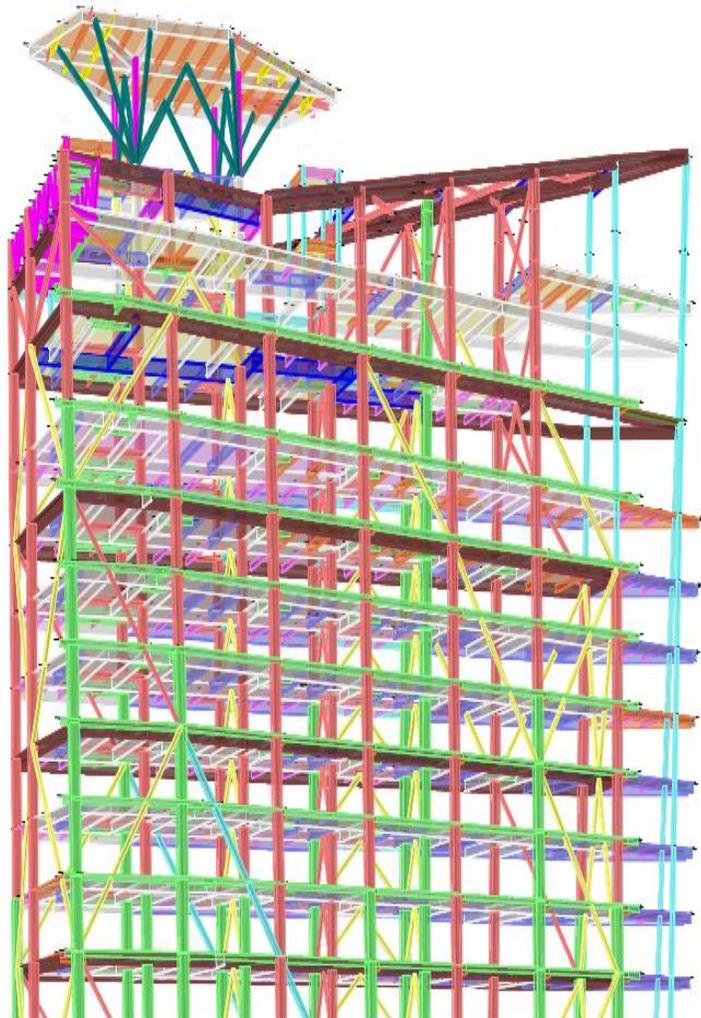


Modelo Esquemático Utilizado en Torre Reforma 509

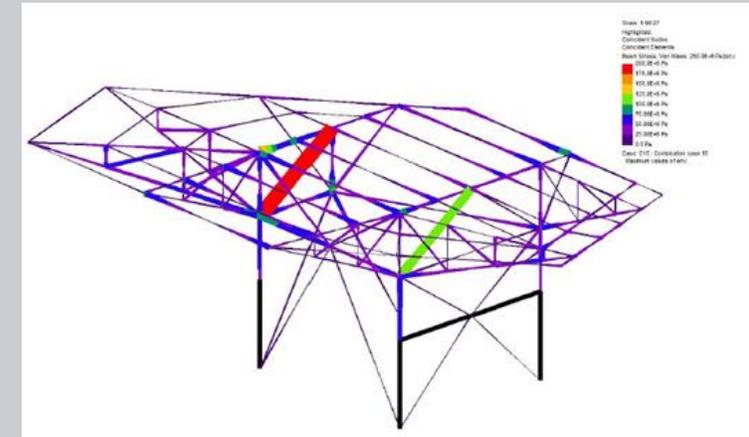
Sintonizador de Masas



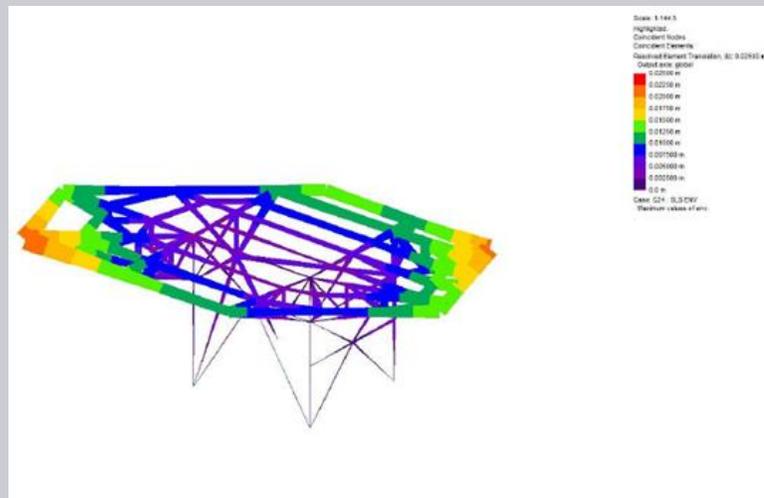
Helipuerto



Comportamiento Bajo Cargas Puntuales



Envolvente de Esfuerzos Últimos



Envolvente Deflexión Máxima









La Torre Hoy

El Desenlace



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox



Award of Excellence for Geotechnical Engineering 2020

2020
**TALL+URBAN
INNOVATION**
CONFERENCE

Featuring the 2020 #CTBUHAwards
[Register Now!](#)



Overall Category Winners

Award of Excellence Winners



Geotechnical
Engineering Award
2020

[500 Folsom](#)
San Francisco, USA



Geotechnical
Engineering Award
2020

[Chapultepec Uno R-509](#)
Mexico City, Mexico



Geotechnical
Engineering Award
2020

[Claridge's Hotel](#)
London, UK



Geotechnical
Engineering Award
2020

[Lakhta Center](#)
St. Petersburg, Russia



Geotechnical
Engineering Award
2019

[Avalon Brooklyn Bay](#)
New York City, USA



Geotechnical
Engineering Award
2019

[Panorama Tower](#)
Miami, USA



Otros Proyectos

Otras Historias



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox



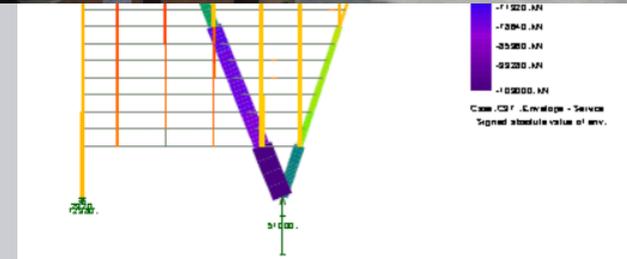
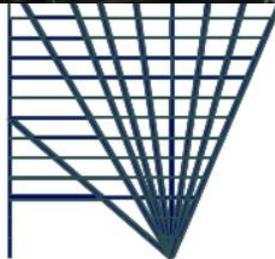
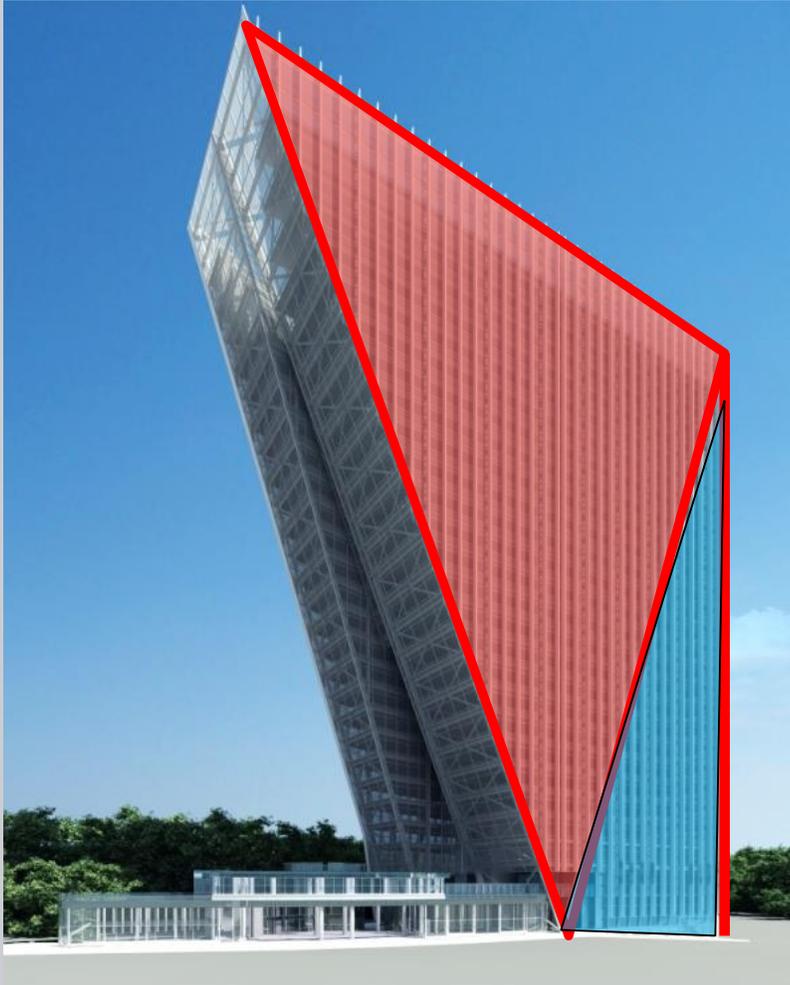
Torre Virreyes

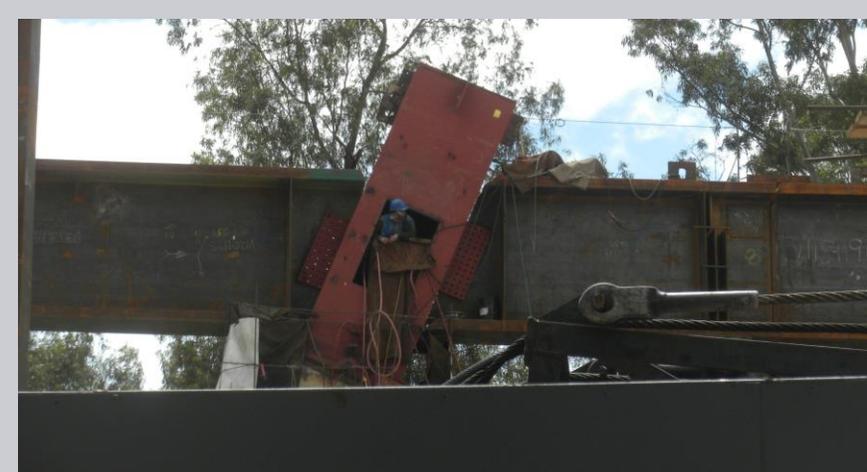
Otras Historias



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

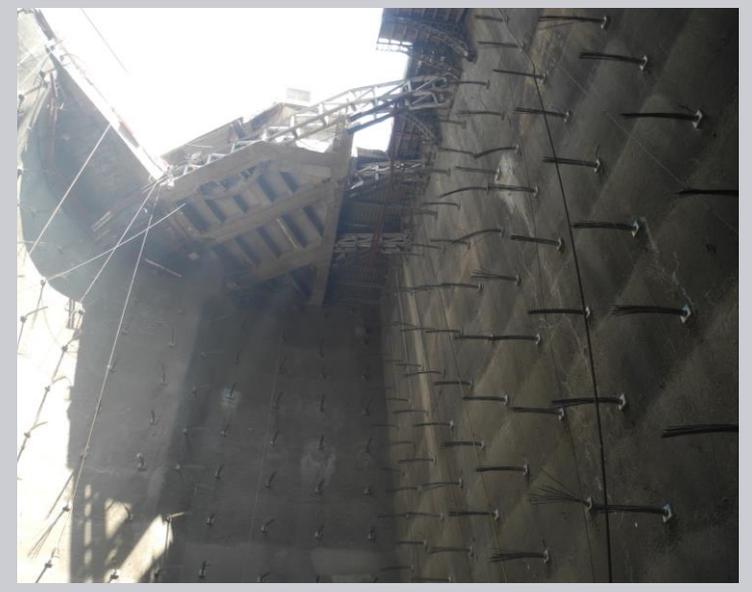
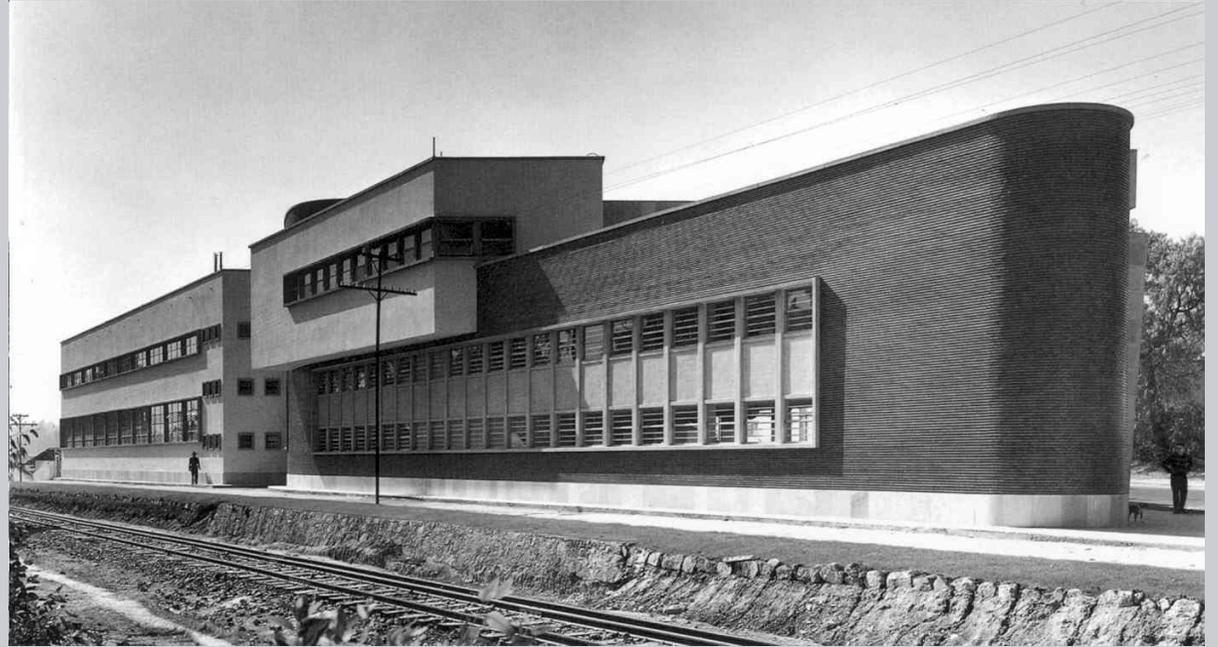
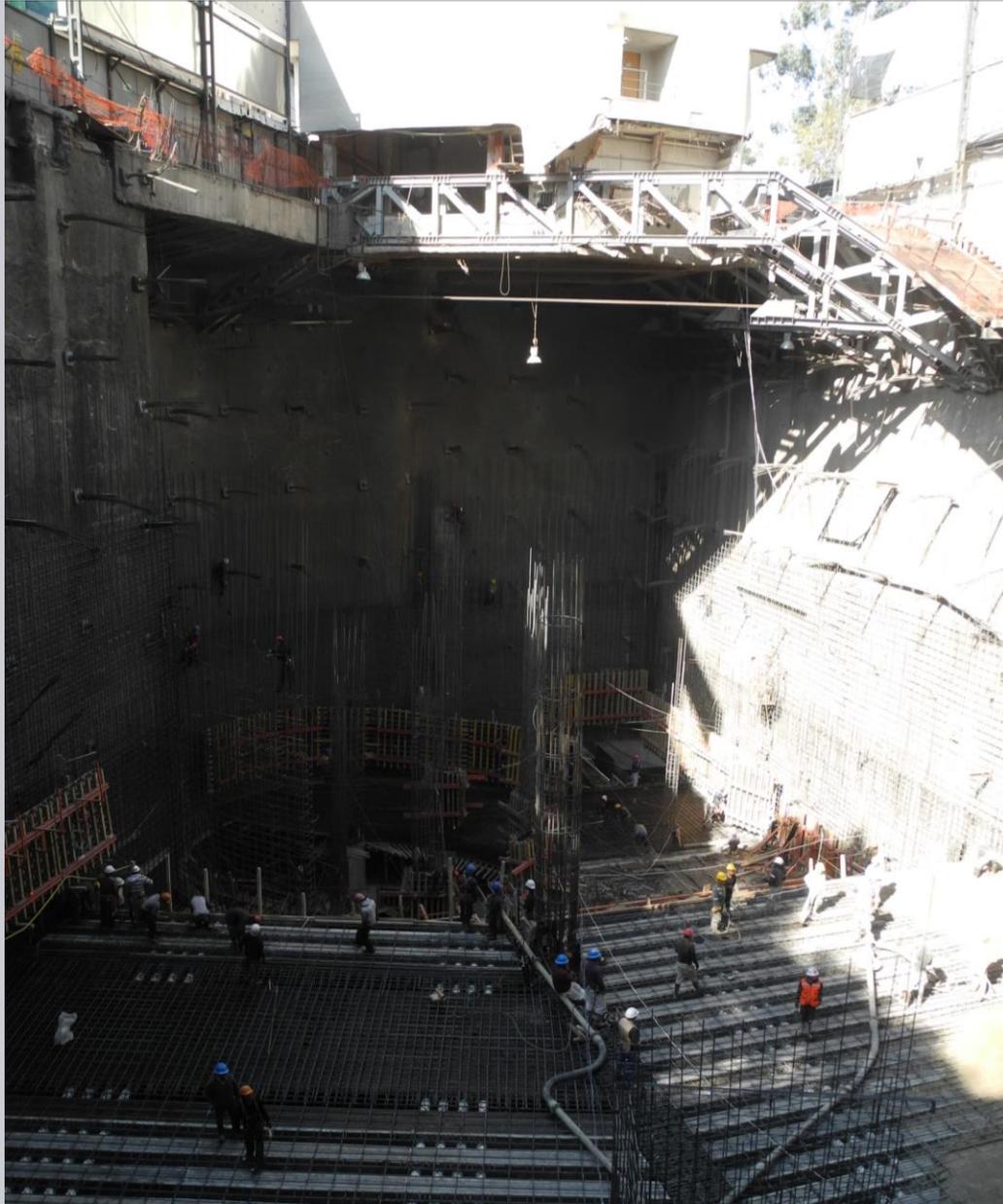
Concepto Estructural





WSP

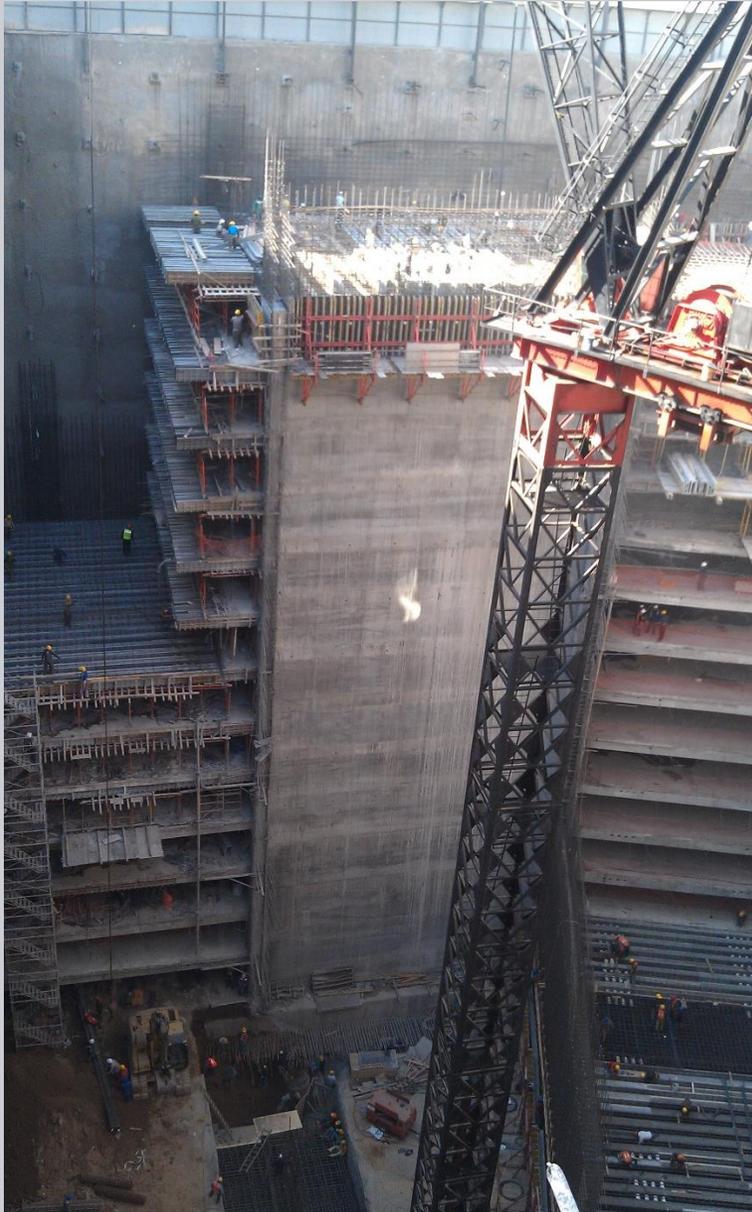
Edificio Catalogado



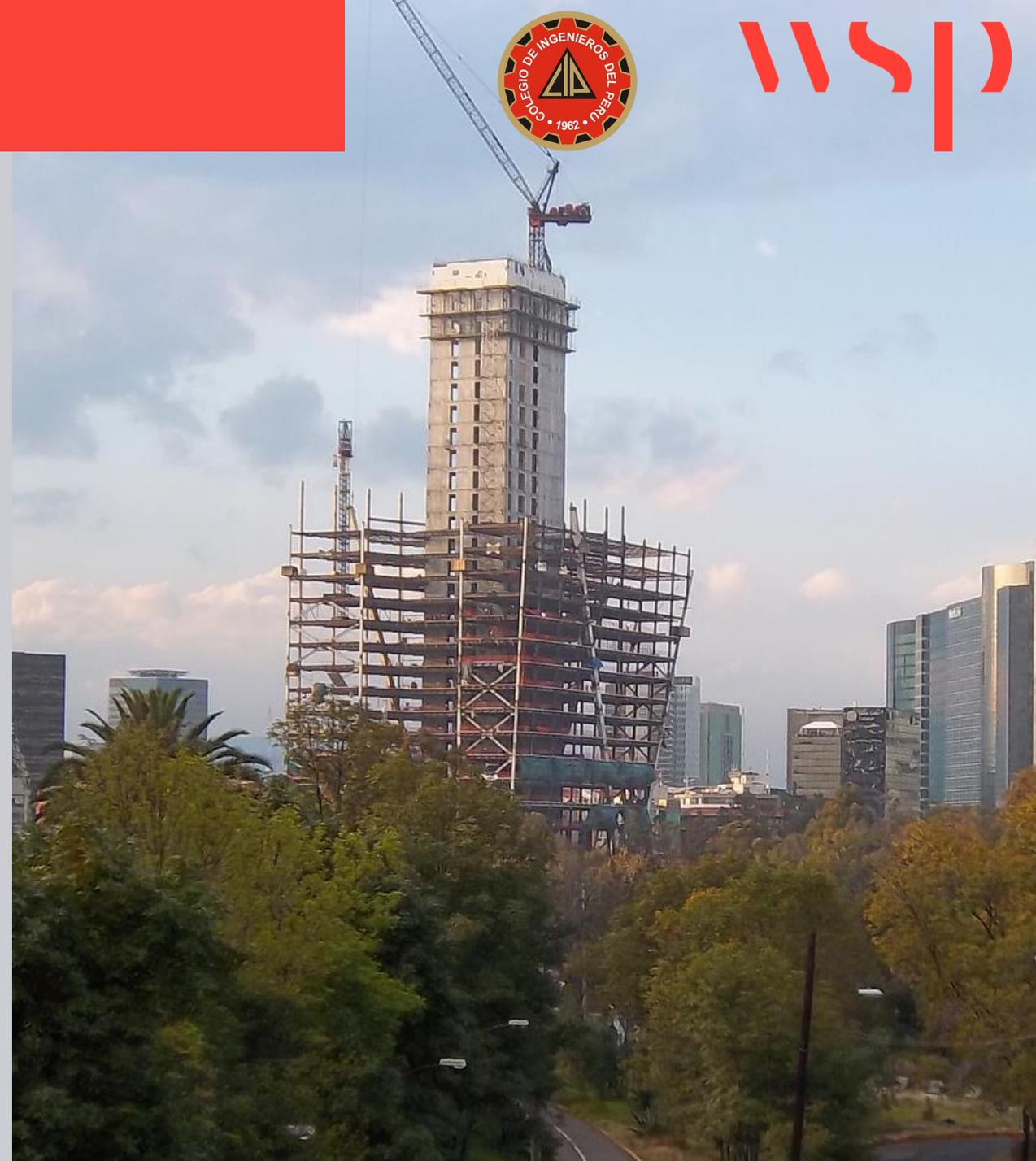
Excavación



Anécdota



Anécdota







Manacar

Otras Historias



Dr. Rodolfo E. Valles Mattox



Arquitectura: Teodoro González de León

Altura: 144 metros

Número de Niveles: 30

Número de Estacionamientos: 12

Uso: Mixto

Cimentación: Pilas y Zapatas

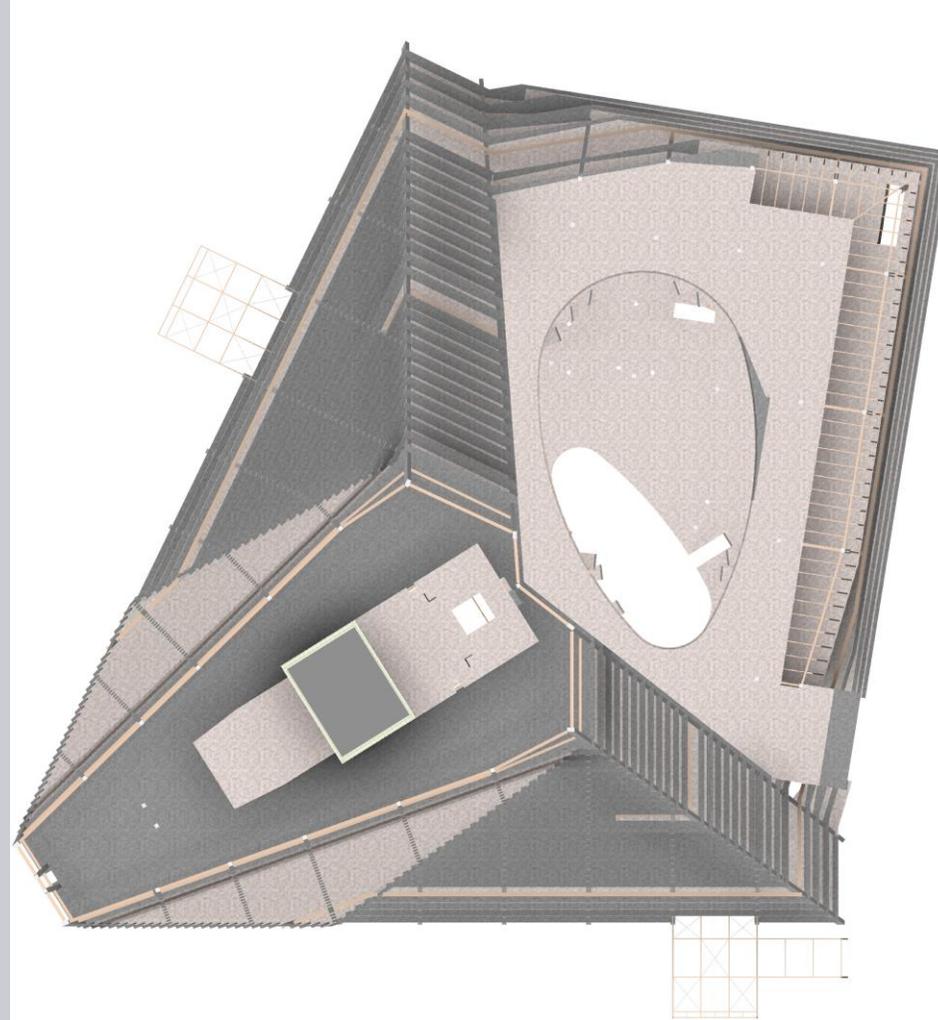
Tipo de Estructura: Híbrida

Diseño Sísmico: Core de Concreto.

Información Adicional: Domo, Losa Transfer PB

Año de Finalización: 2017

Modelo BIM



Domo



Construcción





C5i

Otras Historias



wsp

Dr. Rodolfo E. Valles Mattox

El Proyecto



Arquitectura: SMA

Área de Construcción: 26,330 m²

Número de Niveles: 3

Número de Estacionamientos: 1

Uso: Oficinas Gubernamentales

Cimentación: Pilas y Zapatas

Tipo de Estructura: Metálica (Concreto en Talud)

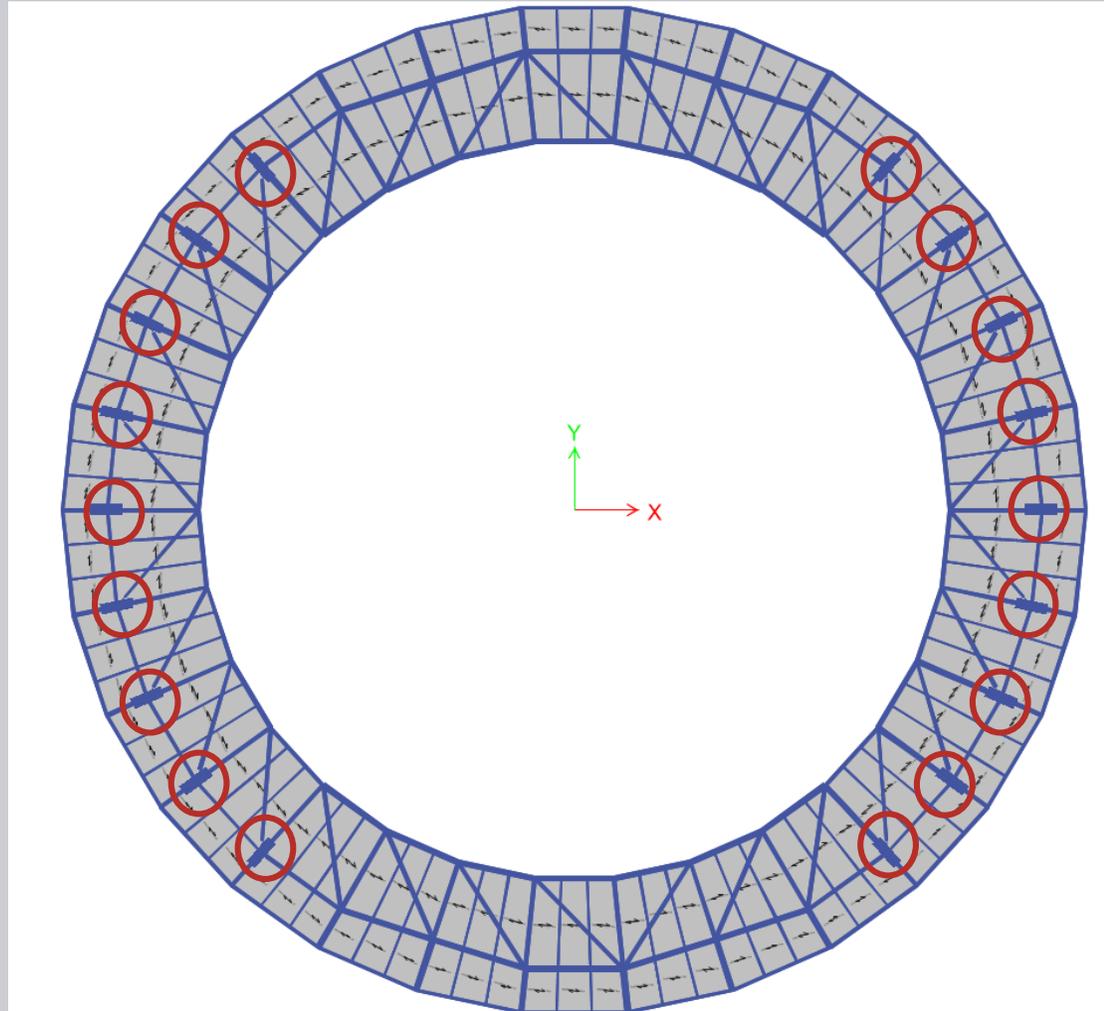
Información Adicional: “El Arco”

Año de Finalización: 2019

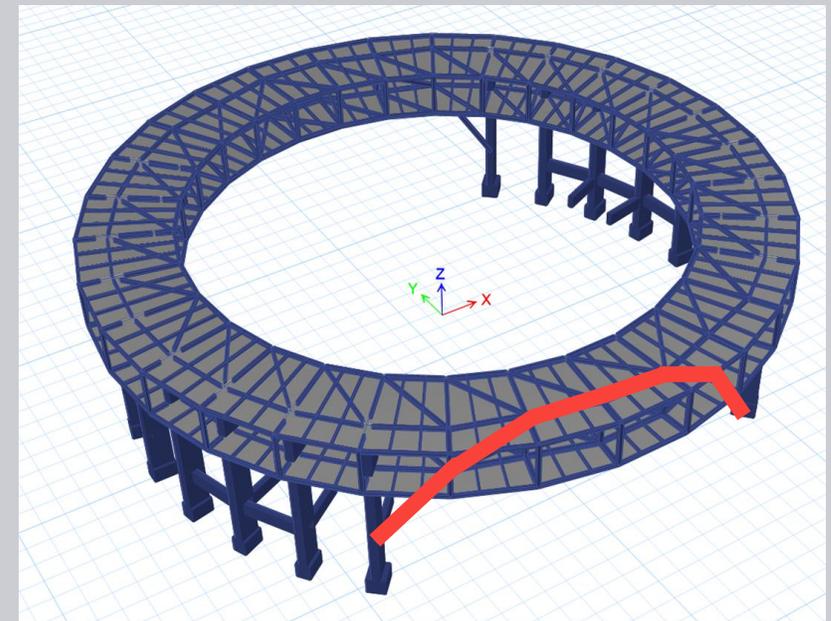
Concepto Estructural



○ Columnas 250x80 cm

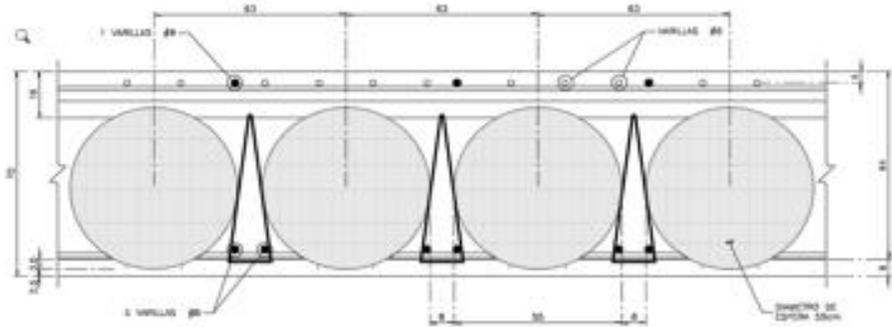
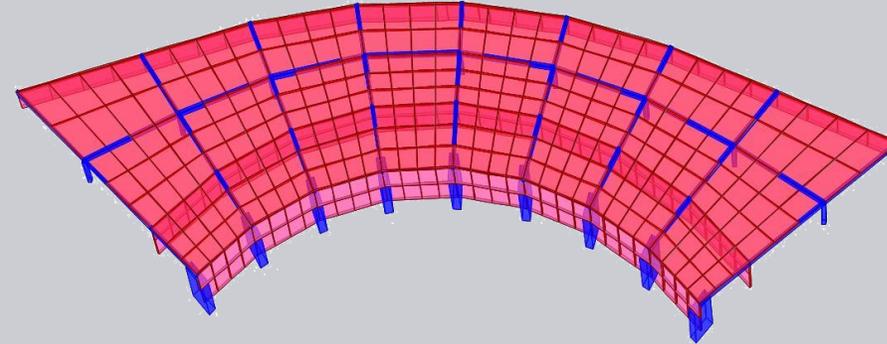
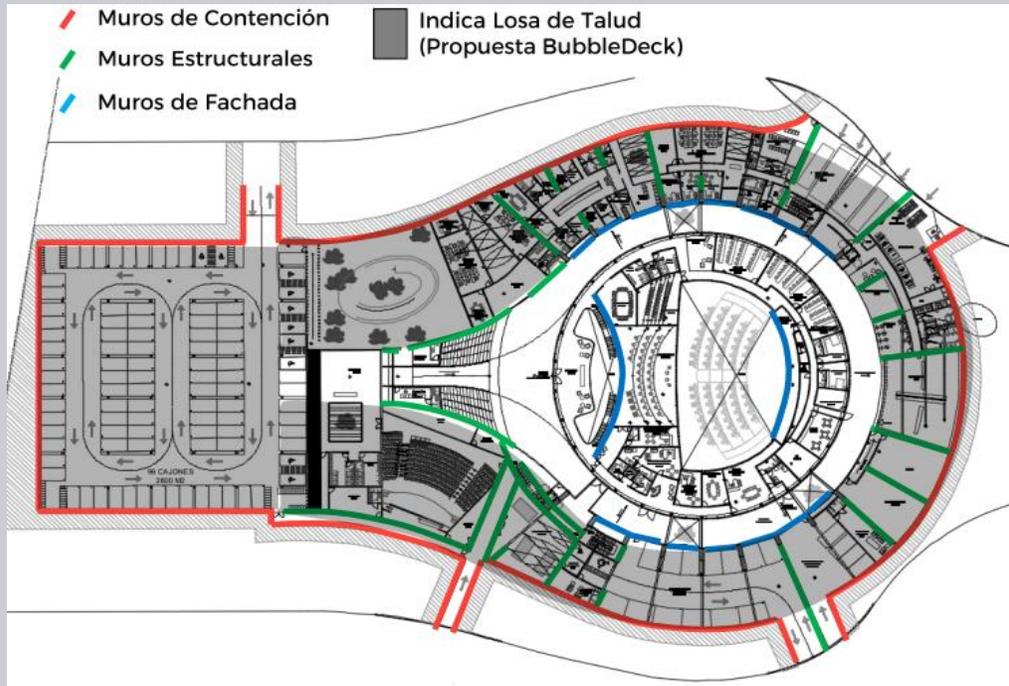


56 metros



HSS 40X40X4.5 cm

Sistema Bubble Deck e= 45 a 70 cm



DETALLE DE LOSA TIPO

2021 11/10
2021 11/10



Construcción



GRACIAS

Dr. Rodolfo E. Valles Mattox
12/06/2020

