



CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL EN CIUDADES PATRIMONIO MUNDIAL



“Hacia la Trascendencia de Nuestro Patrimonio”
Recimentación - Reestructuración - Movilidad - Seguridad Hídrica

Recimentaciones con perfiles de acero en suelos blandos Puebla, 19 de octubre de 2022

PRESENTA:

M. en I. Francisco Alonso Flores López

Ingenieros Geotecnistas Mexicanos

alonso.fafl@igmmexico.com

Objetivo

Mostrar varios casos de aplicación de perfiles de acero empleados en recimentaciones de estructuras en suelos blandos del Valle de México. Entre los casos de estudio se incluye la recimentación de un edificio escolar, la recimentación de un edificio del sector industrial, la recimentación de un conjunto de tanques de almacenamiento y la cimentación de un edificio en un sitio inmueble con fachada catalogada por INAH.

Contenido

- ✓ **Recimentación de un edificio escolar,**
- ✓ **Recimentación de tanques de almacenamiento,**
- ✓ **Cimentación de un edificio en un sitio inmueble con fachada catalogada por INAH,**
- ✓ **Recimentación de un edificio del sector industria.**

Recimentación de un edificio escolar

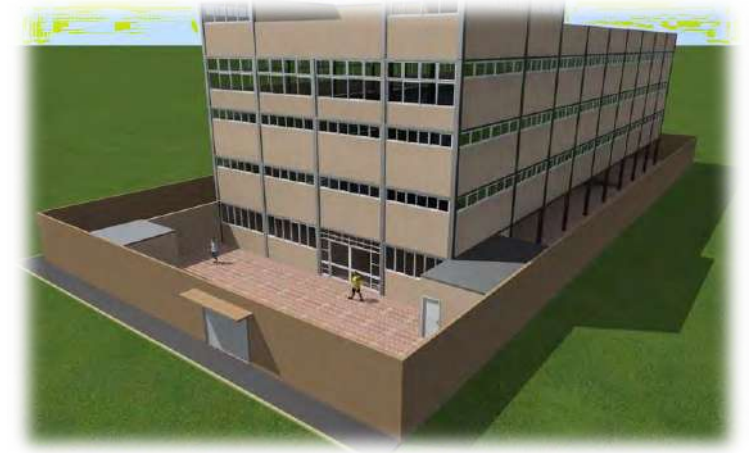
El proyecto al que se refiere esta presentación es una estructura para uso escolar, actualmente conformada por Planta Baja (estacionamiento), 3 niveles y azotea, que desde su construcción ha presentado asentamientos diferenciales, con asentamientos mayores de 30 cm hacia la esquina sureste, en 2 años posterior a su construcción.

Por tal motivo, se evaluaron el comportamiento de la cimentación bajo esas condiciones, la propuesta de solución y la ejecución de los trabajos de recimentación de la obra mediante perfiles de acero para controlar los asentamientos de la estructura.

Descripción y características de la estructura

La estructura consta de una planta baja, tres niveles y azotea a base de columnas y trabes de acero, cimentada sobre una losa de concreto armado de 19.05 x 47.15 m y 0.30 m de espesor, desplantada sobre un relleno controlado compactad

La zona donde se localiza el predio en estudio se encuentra dentro de un área urbana, con viviendas de uno y dos niveles, edificios de poca altura, bodegas, y en las cercanías METRO de la CDMX.



El mapa muestra la zona de estudio (Zona I) en el Estado de México, ubicada en la zona central del país. La zona de estudio está delimitada por una línea roja discontinua y se encuentra en la zona de influencia de la zona de estudio (Zona II). La zona de influencia de la zona de estudio (Zona II) está delimitada por una línea roja discontinua y se encuentra en la zona de influencia de la zona de estudio (Zona III). La zona de influencia de la zona de estudio (Zona III) está delimitada por una línea roja discontinua y se encuentra en la zona de influencia de la zona de estudio (Zona III).

El mapa incluye coordenadas de latitud y longitud, una escala gráfica y una leyenda.

Latitud: 19.15, 19.20, 19.25, 19.30, 19.35, 19.40, 19.45, 19.50, 19.55, 19.60

Longitud: -99.30, -99.25, -99.20, -99.15, -99.10, -99.05, -99.00, -98.95, -98.90, -98.85

Escala gráfica: 0 1 2.5 5 10 15 20 Km

Leyenda:

- Zona I (Área sombreada con cruces)
- Zona II (Área sombreada oscura)
- Zona III (Área sombreada clara)

El mapa también muestra la zona de estudio (Zona I) y las zonas de influencia (Zona II y Zona III). La zona de estudio está delimitada por una línea roja discontinua y se encuentra en la zona de influencia de la zona de estudio (Zona II). La zona de influencia de la zona de estudio (Zona II) está delimitada por una línea roja discontinua y se encuentra en la zona de influencia de la zona de estudio (Zona III). La zona de influencia de la zona de estudio (Zona III) está delimitada por una línea roja discontinua y se encuentra en la zona de influencia de la zona de estudio (Zona III).

Nivelaciones de la estructura

Una vez finalizada la construcción del edificio, con el transcurso del tiempo se presentaron asentamientos que llevaron a monitorear los hundimientos de la estructura.

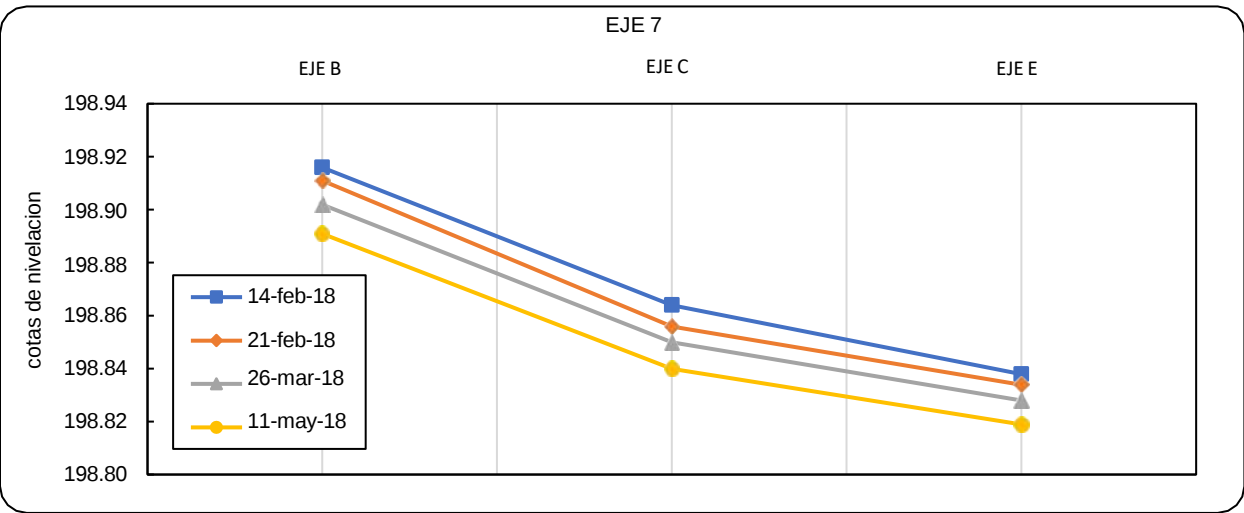
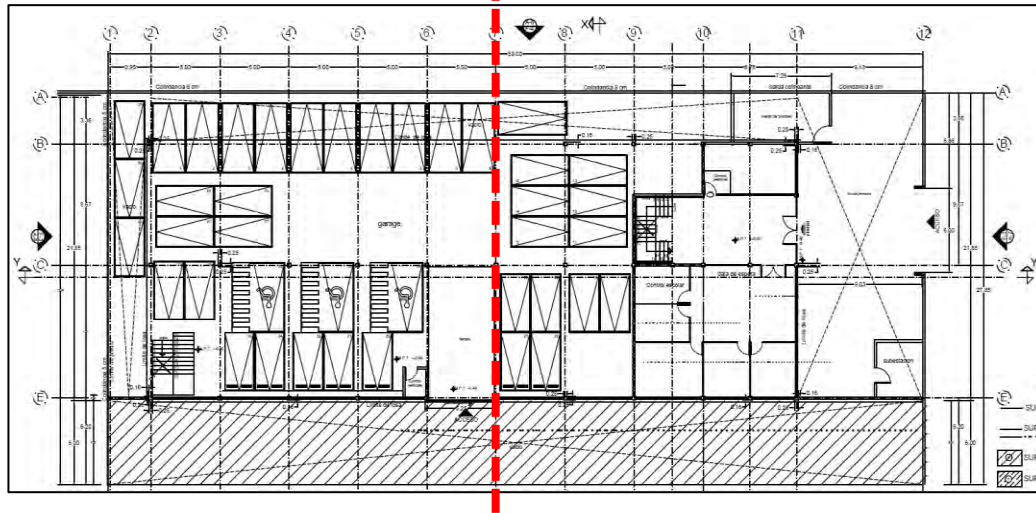
3 años después de su construcción se inició con el monitoreo de los asentamientos en el periodo del 9 de mayo de 2016 y se finalizó el 28 de noviembre del mismo año, presentando un asentamiento de 18 cm, con un asentamiento promedio por mes del orden de 3.0 cm.

Un segundo periodo de monitoreo del día 6 de septiembre del 2017 al 6 de diciembre del mismo año. Se midió un asentamiento de 4.0 cm, teniendo una deformación promedio del orden de 1.3 cm por mes.

En total, dentro de los periodos de monitoreo y tomando como referencia la estructura de la cisterna adyacente al edificio, se estima un asentamiento desde finalizada su construcción hasta la actualidad del orden de 45 cm.

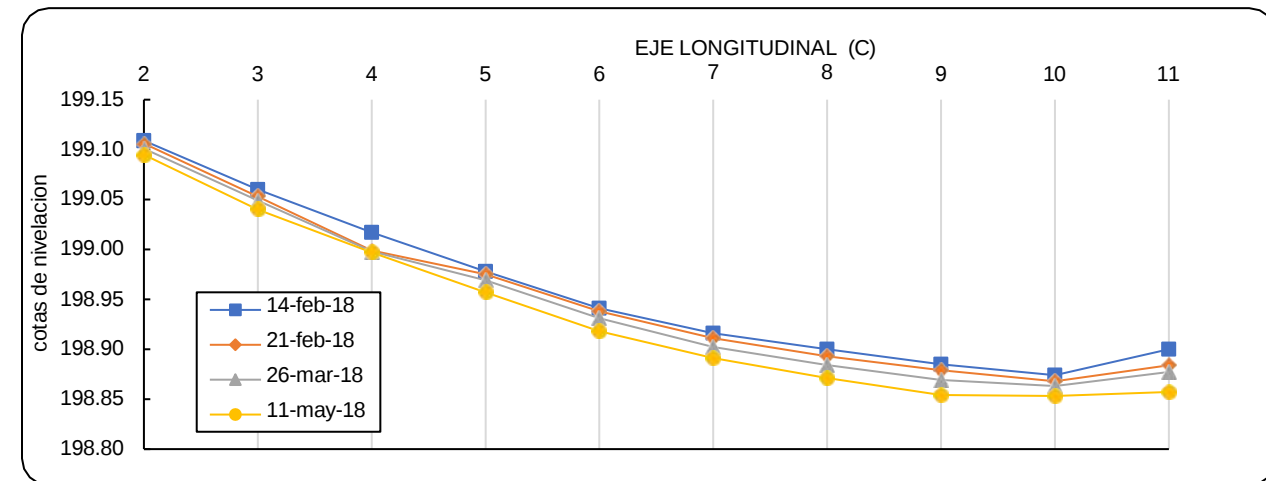
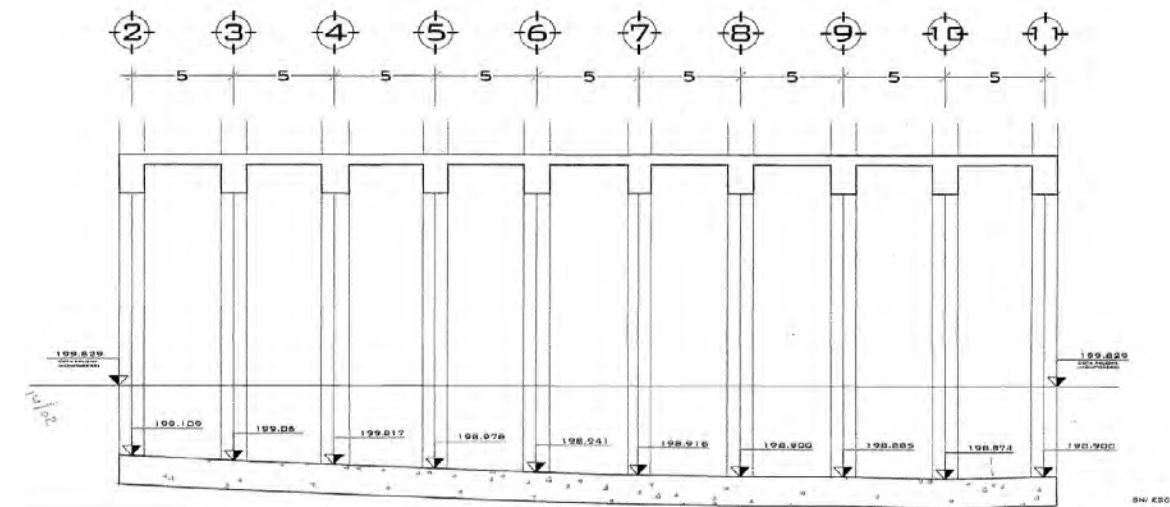
Nivelaciones de la estructura *Eje transversal*

Eje 7



Nivelaciones de la estructura

Eje longitudinal



Nivelaciones de la estructura

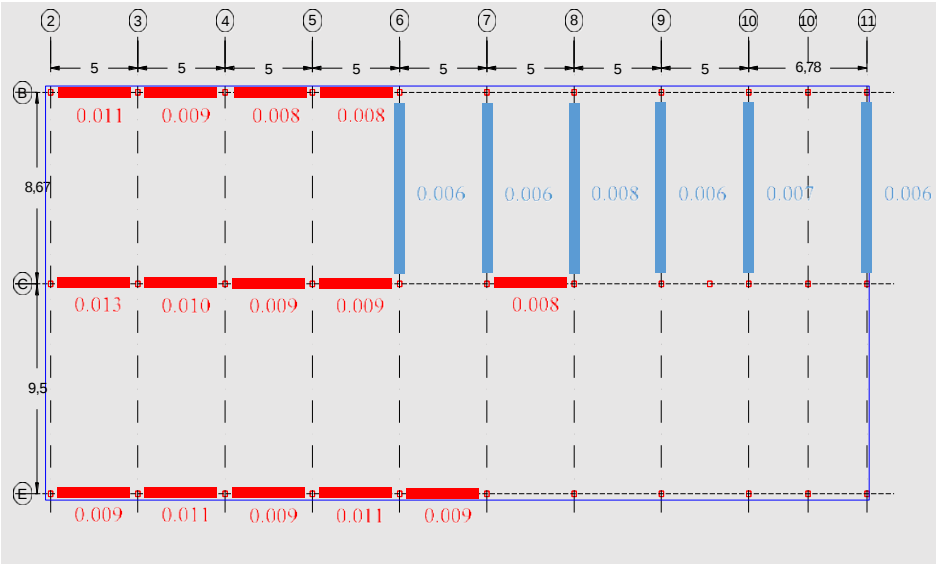
Monitoreo de la verticalidad de la estructura

El monitoreo realizado mostró un desplome máximo hacia el lado sur-este (hacia avenida central). En sentido longitudinal se tiene un **desplome máximo de 16 cm**, ubicado en el eje “11-E” (ver Figura 31). De la misma manera, en sentido transversal, en la Figura 32 se muestra el **desplome hacia el lado sur-este, con un máximo de 9 cm**.

Desplomes de la estructura

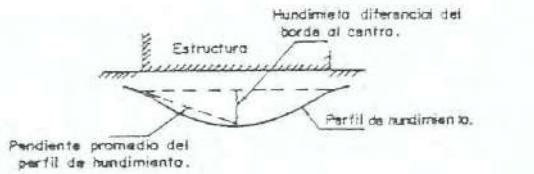
Δ_{long} [m]	Δ_{trans} [m]	H_c [m]	Desplome longitudinal	Desplome transversal
0.16	0.09	15	1.07%	0.60%

Distorsiones máximas en la estructura



Hundimientos diferenciales tolerables en estructuras, NTC-2017 CDMX

TIPO DE ESTRUCTURA	HUNDIMIENTO DIFERENCIAL TOLERABLE (m) *	OBSERVACIONES
Tanques estacionarios de acero para almacenamiento de petróleo o algún otro fluido Extremo fijo Extremo móvil	0.008 0.002 0.003 (dependiendo de los detalles de la tapa flotante)	Valores aplicados a tanques sobre base flexible. Las losas rígidas para la base deben diseñarse de tal manera que eviten fisuramiento y pandeo local.
Guías para grúas móviles 0.003	Guías para grúas móviles 0.003	Guías para grúas móviles 0.003
Losa de cimentación rectangular o zapatas anulares rígidas para estructuras rígidas esbeltas y altas, como torres, silos, tanques de agua.	0.002 (pendiente transversal de cimentaciones rígidas)	
Tuberías forzadas de concreto con juntas.	0.015 (variación del ángulo en una junta)	La máxima variación angular en la junta es generalmente de 2 a 4 veces el promedio de la pendientes del perfil de hundimiento. El daño la junta depende de la extensión longitudinal.
Marcos de acero: • Hasta cuatro pisos • Cuatro a catorce pisos • Quince o más pisos	0.006 0.006(1.255-0.0636n) 0.0018	n = número de pisos
Marcos de concreto reforzado: • Hasta cuatro pisos • Cuatro a catorce pisos • Quince o más pisos	0.004 0.004(1.255-0.0636n) 0.0012	n = número de pisos Deberá considerarse también como valor máximo tolerable un incremento semanal del hundimiento igual a 0.002 veces la distancia entre columnas.
Estructuras de acero de una o dos plantas, armaduras para cubierta, almacenes con muros flexibles.	0.006 a 0.008	La presencia de grúas móviles y de líneas de transmisión puede limitar el hundimiento tolerable.
Casas de una o dos plantas, con muros de carga de ladrillo y estructuras ligeras.	0.002 a 0.003	Pueden aceptarse valores mayores si la mayor parte del hundimiento ocurre antes de completar el acabado interior.
Estructuras con acabado interior o exterior relativamente insensible, como mampostería en seco o paneles móviles	0.002 a 0.003	La posibilidad de daños en la estructura pued limitar los desplazamientos tolerables.
Estructuras con acabado interior o exterior sensibles, como yeso, piedra ornamental, teja.	0.001 a 0.002	Pueden aceptarse valores mayores si la mayor parte del hundimiento ocurre antes de termina la aplicación de los acabados.
Estructuras rígidas de concreto pesado de varias plantas, sobre losa de cimentación estructurada con espesor aproximado de 1.20 m.	0.005	La posibilidad de daños a los acabados interiores o exteriores puede limitar los asentamientos tolerables.



Salvo indicación en contra, el hundimiento diferencial tolerable se expresa en radianes, y se refiere al asentamiento diferencial del centro del perfil de asentamientos con respect a la línea recta que une ambos extremos, en la configuración deformada de la cimentación. Esto se muestra gráficamente en la figura de l izquierda.

Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación, NTC -2017

a) Movimientos verticales (hundimiento o emersión)

Concepto	Concepto	Límite
En la zona I:		
Valor medio en el área ocupada por la construcción:		
Asentamiento:	Construcciones aisladas	50 mm ⁽²⁾
	Construcciones colindantes	25 mm
En las zonas II y III:		
Valor medio en el área ocupada por la construcción:		
Asentamiento:	Construcciones aisladas	300 mm ⁽²⁾
	Construcciones colindantes	150 mm
Emersión:	Construcciones aisladas	300 mm ⁽²⁾
	Construcciones colindantes	150 mm
Velocidad del componente diferido		10 mm/semana

b) Inclinación media de la construcción

Tipo de daño	Límite	Observaciones
Inclinación visible	$100 / (100 + 3h_c)$ por ciento	h_c = altura de la construcción en m
Mal funcionamiento de grúas viajeras	0.3 por ciento	En dirección longitudinal

c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas (véase tabla 6.2 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones)

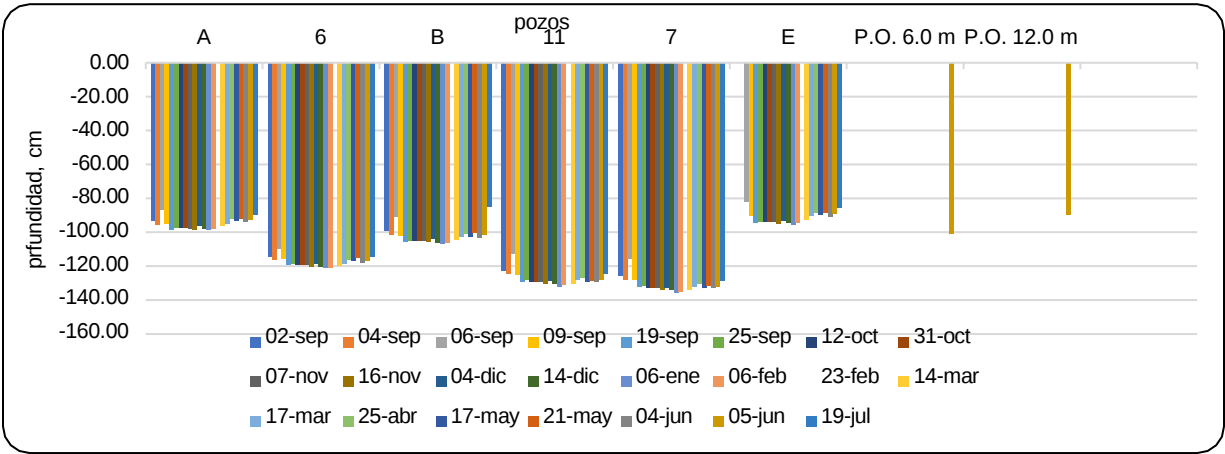
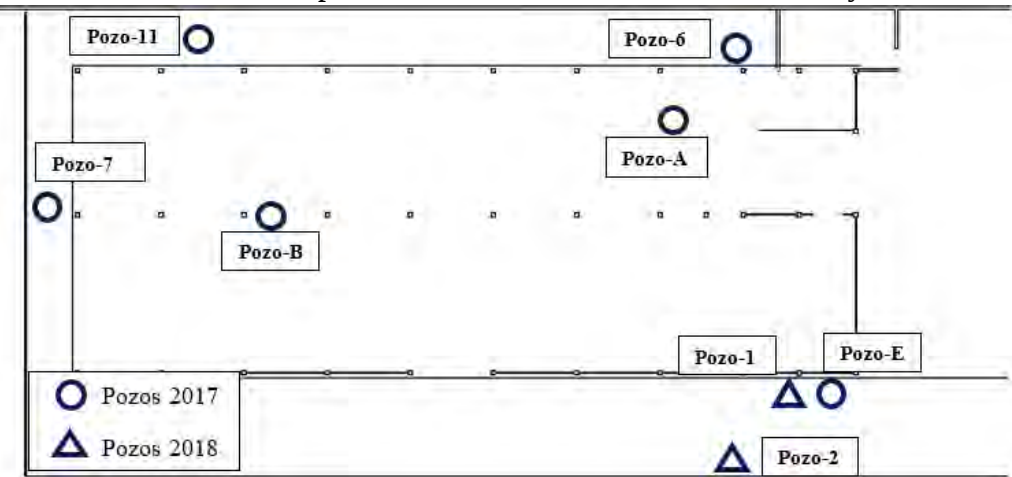
¹ Comprende la suma de movimientos debidos a todas las combinaciones de carga que se especifican en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias. Los valores de la tabla son sólo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se cause ninguno de los daños mencionados al principio de este Capítulo.

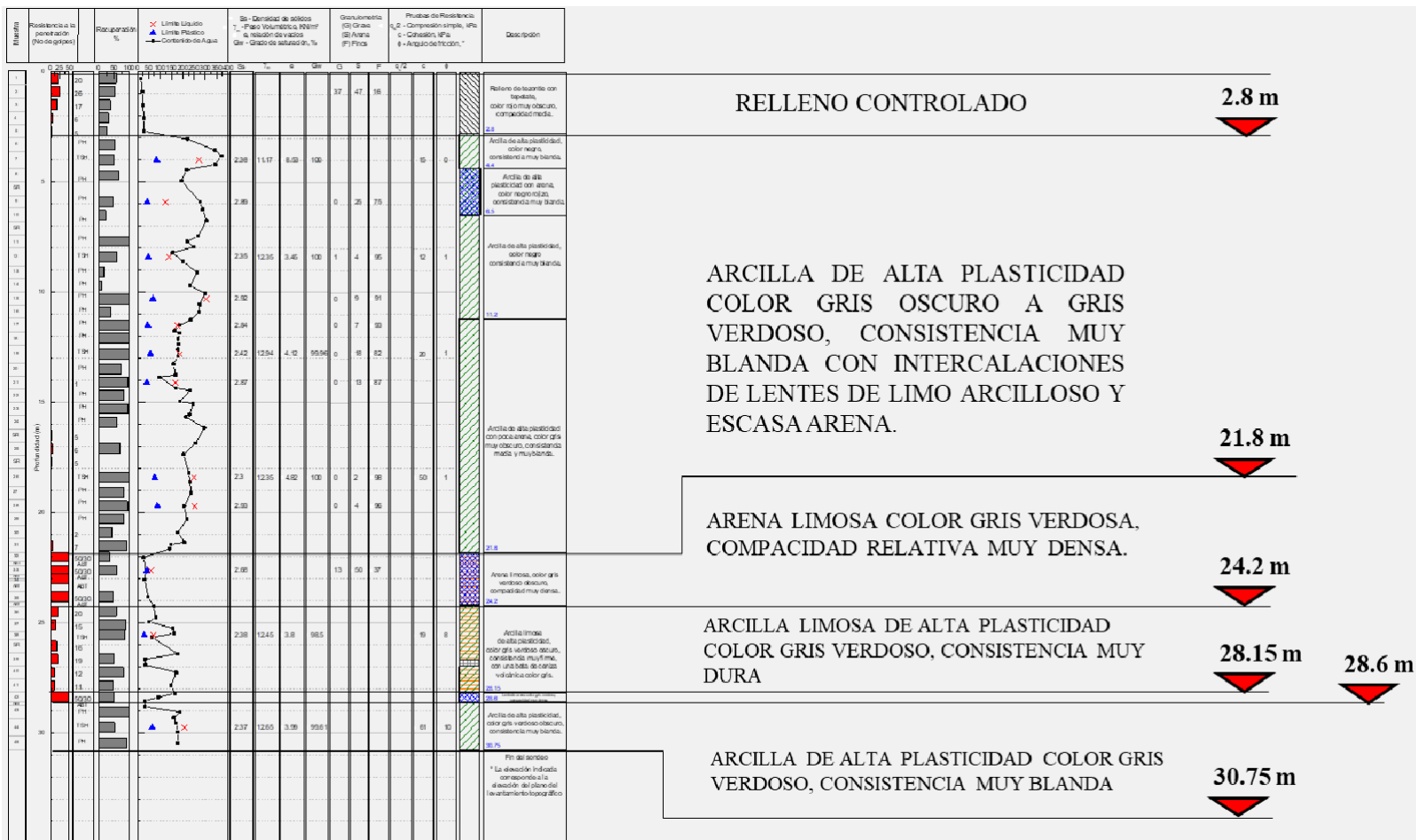
² En construcciones aisladas será aceptable un valor mayor si se toma en cuenta explícitamente en el diseño estructural de los pilotes y de sus conexiones con la subestructura.

Monitoreo del nivel de aguas superficiales

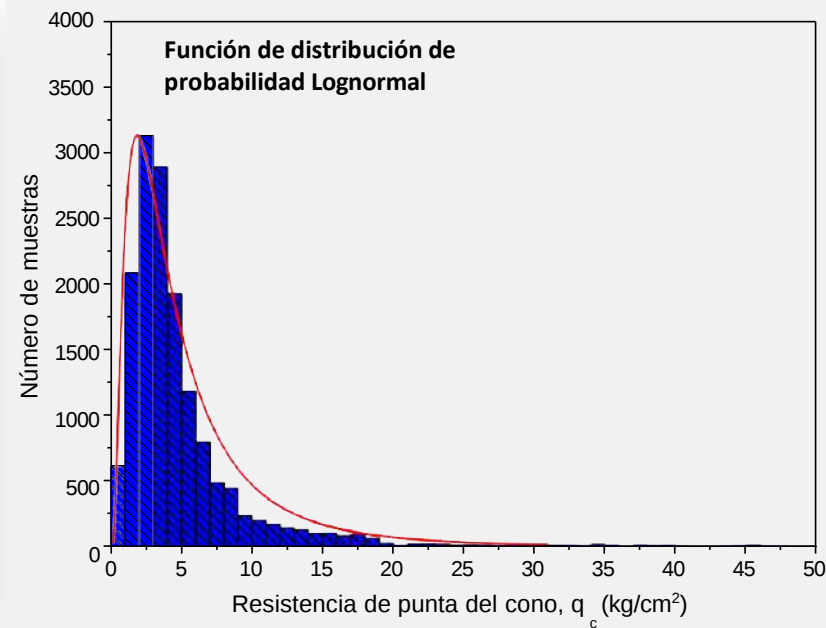
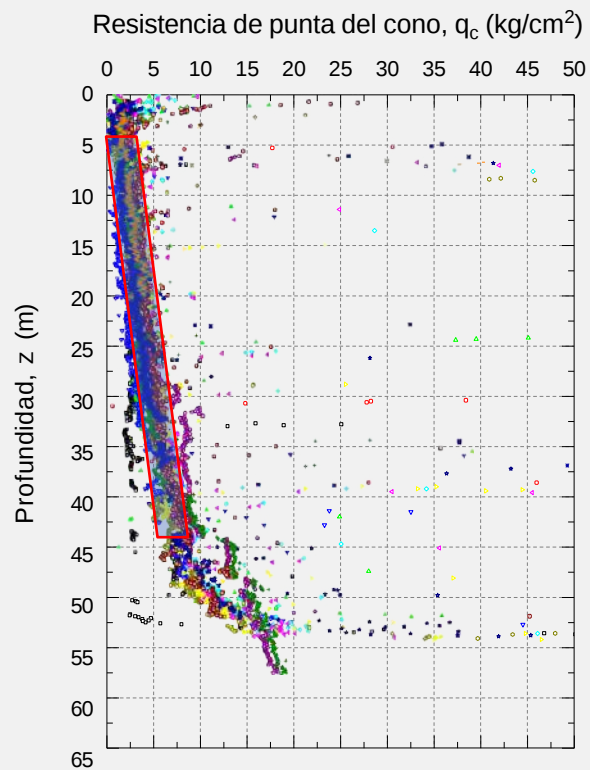
Dentro del predio actualmente existen seis pozos de observación, los cuales se habían instalado previamente a nuestra intervención.
Se instalaron dos pozos de observación adicionales cerca del área donde se presenta el mayor asentamiento.

Ubicación de los pozos de observación realizados en 2017 y 2018



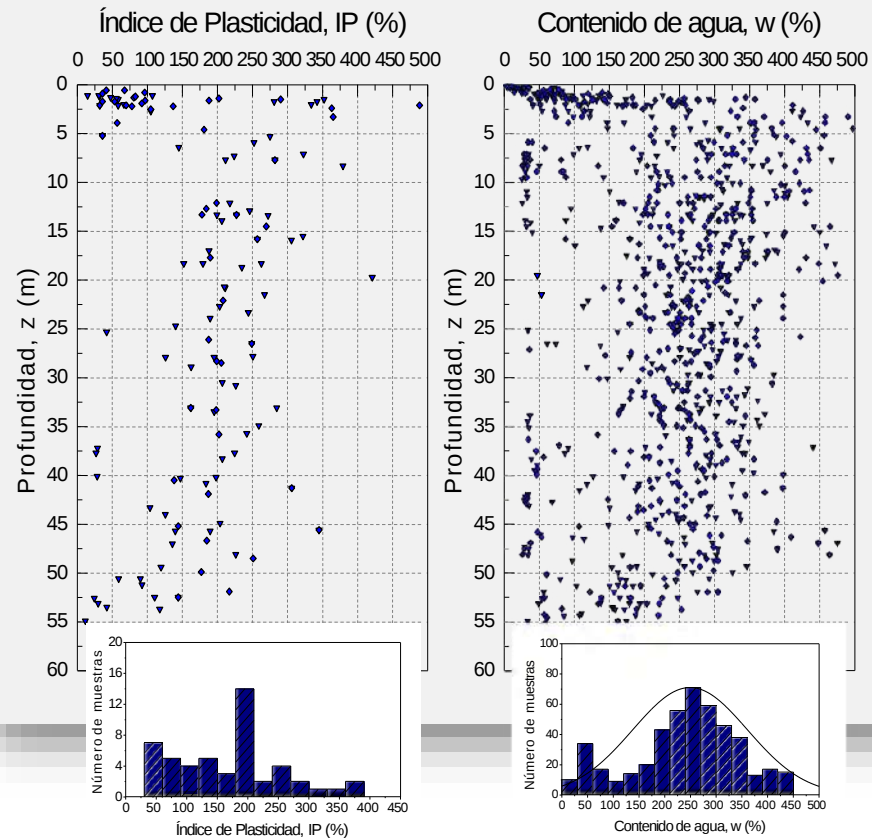


CONDICIONES GEOTÉCNICAS

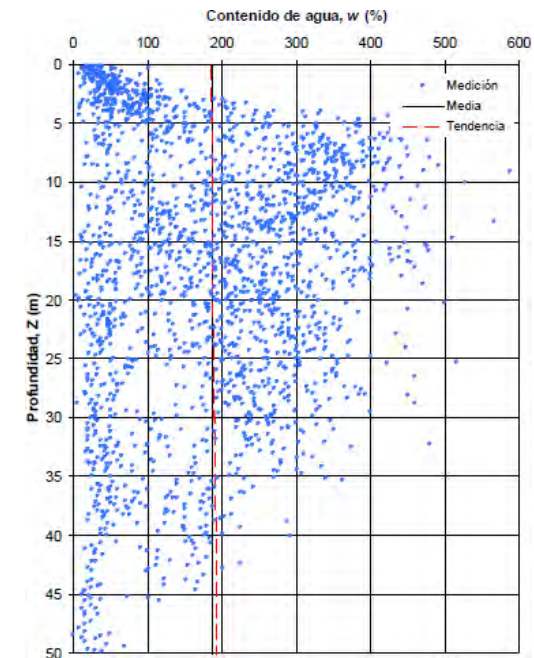


Flores F.A., Zárate I, Gordillo N. y De la Rosa. “Parámetros de compresibilidad de arcillas muy blandas de una zona periférica al Lago Nabor Carrillo”, Sexto Coloquio de Jóvenes Geotecnistas, CDMX, octubre 2019.

CONDICIONES GEOTÉCNICAS



Función de distribución de probabilidad normal

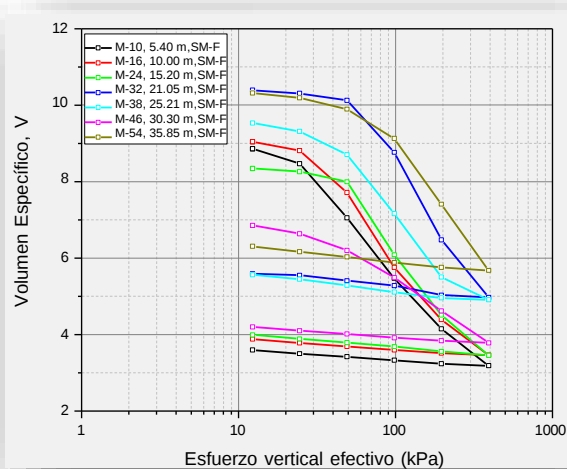
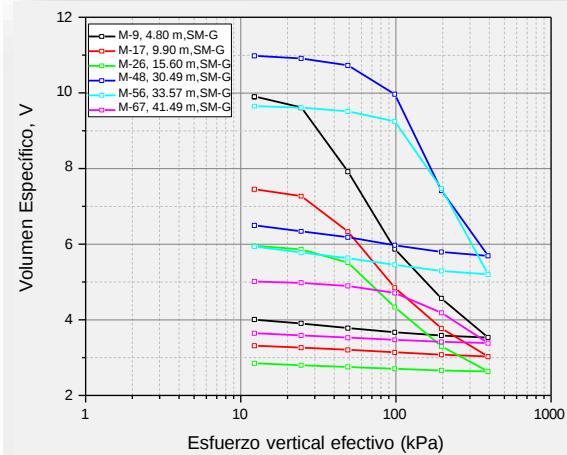
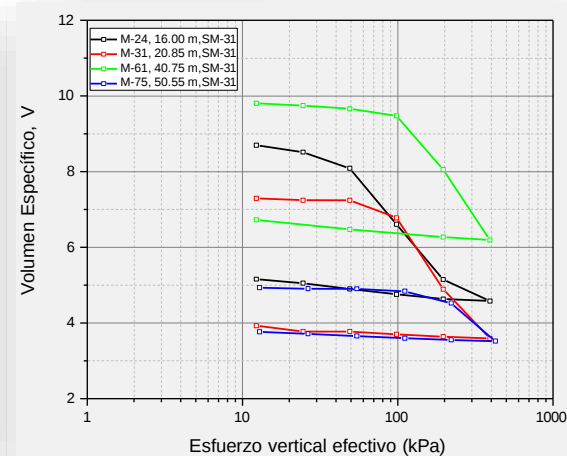
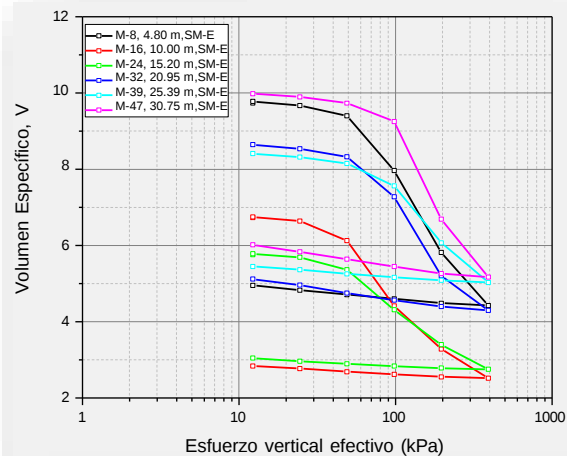


Juárez –Camarena M. “Análisis geoestadístico del subsuelo de la zona lacustre del Valle de México”, Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, UNAM, diciembre 2015.

CONDICIONES GEOTÉCNICAS

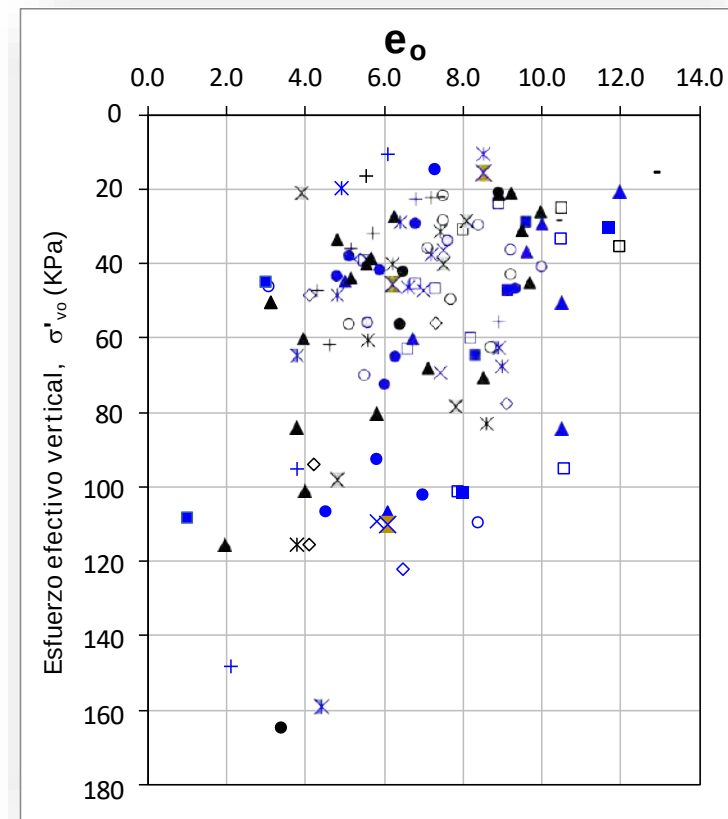
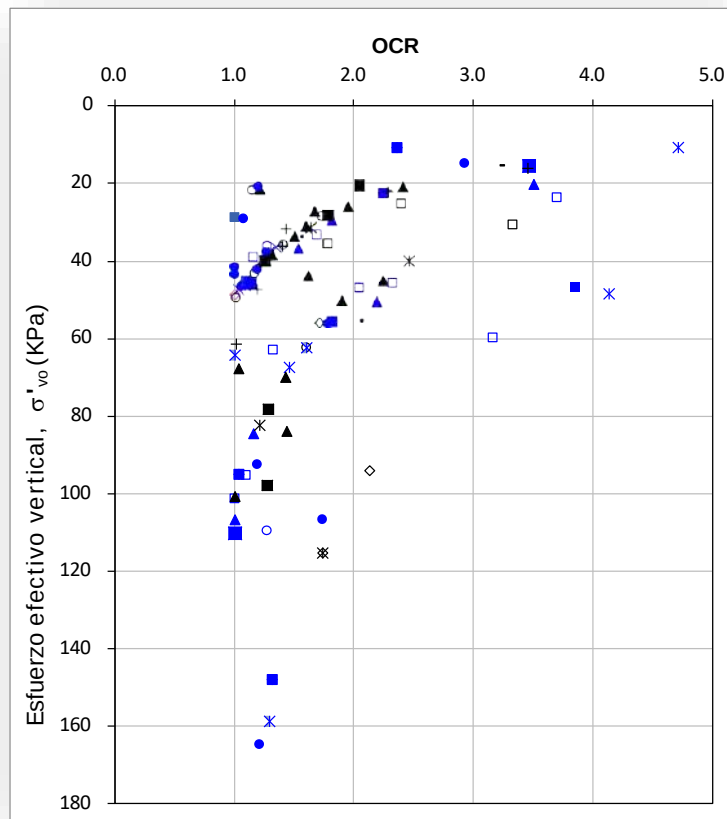
Curvas de compresibilidad

$$V=1+e_0$$



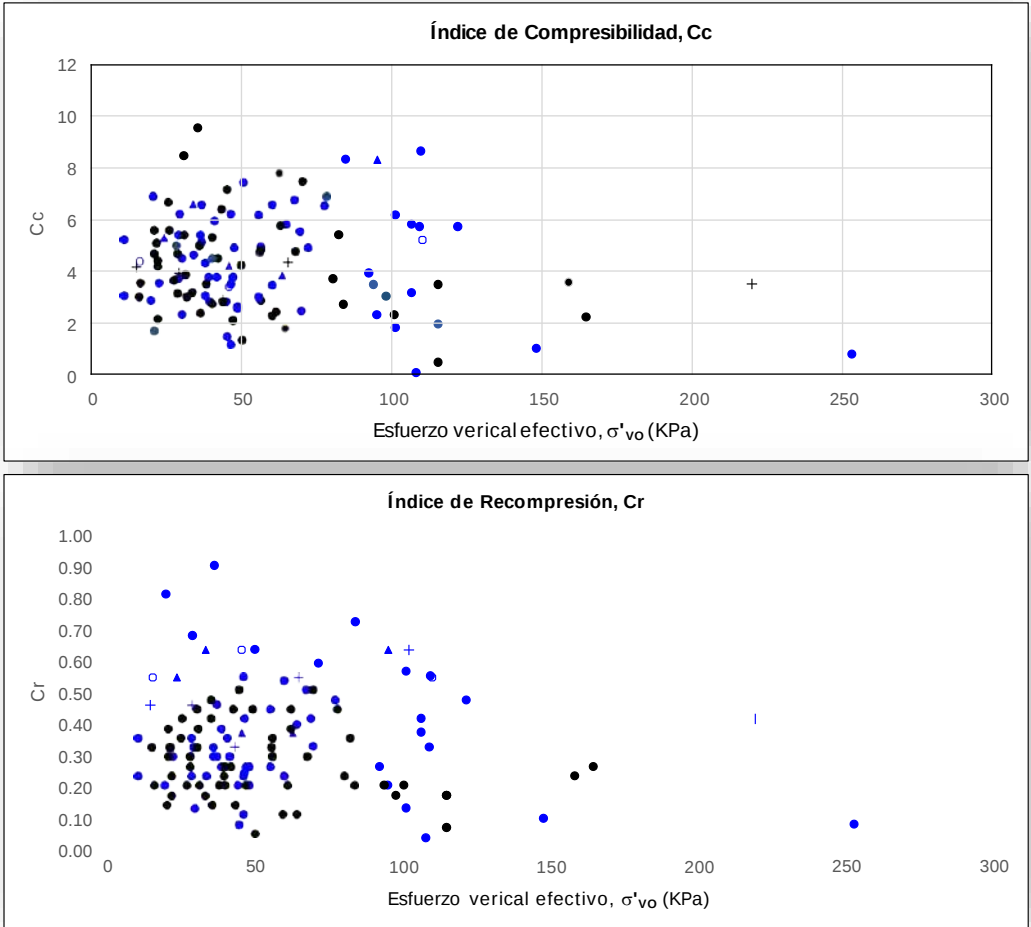
CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Relación de Preconsolidación (OCR) y Relación de Vacíos (e)



CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Esfuerzos Verticales Efectivos (σ'_{vo}), respecto al Índice de Compresibilidad (C_c), e Índice de Recompresión (C_r)



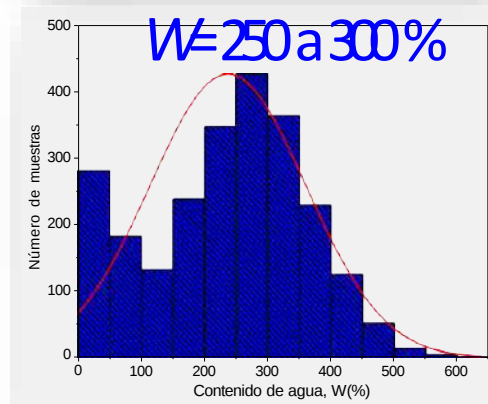
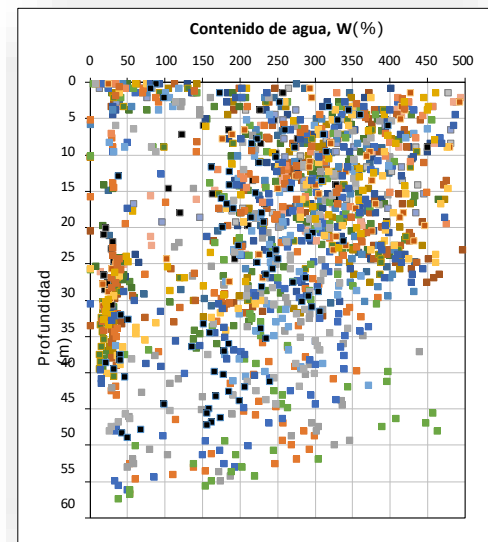
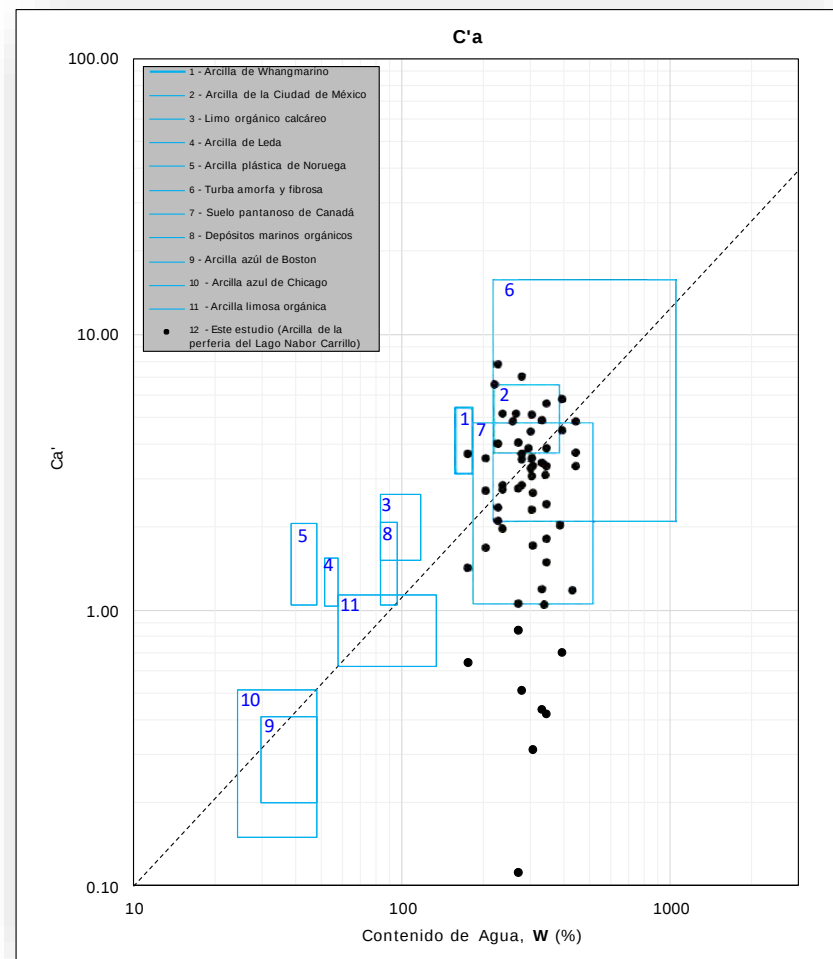
Braja M. Das. “Principios de ingeniería de cimentaciones”, Cuarta edición. California State University, Sacramento

Descripción del suelo	C_c/C_r
Arcilla Azul de Boston	0.24–0.33
Arcilla de Chicago	0.15–0.3
Arcilla de Nueva Orleans	0.15–0.28
Arcilla de St. Lawrence	0.05–0.1

CONDICIONES GEOTÉCNICAS

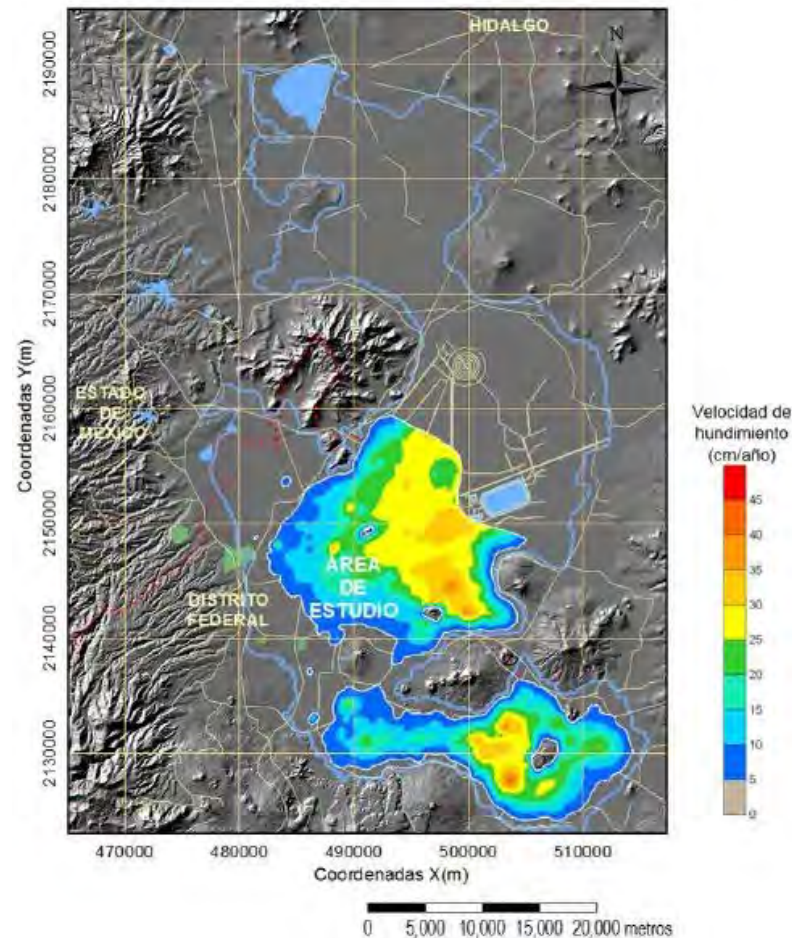
Índice de Compresibilidad Secundaria (C_α) y Contenido de Agua (W)

C'_α para distintos depósitos naturales de suelo, los símbolos corresponden a los valores de este estudio (Modificado de Mesri, 1973)



CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Hundimiento regional

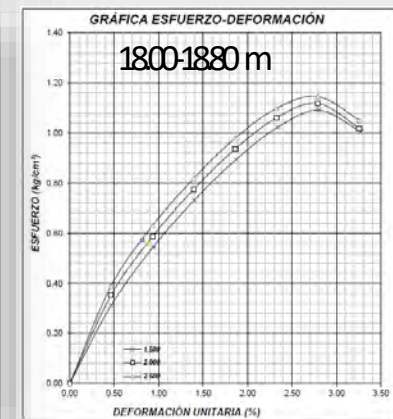
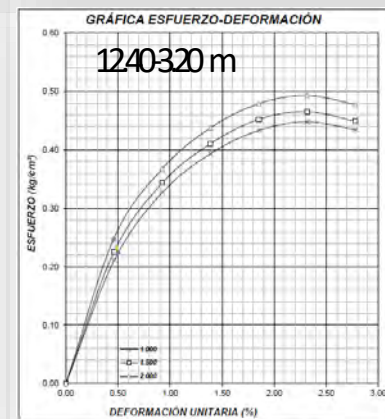
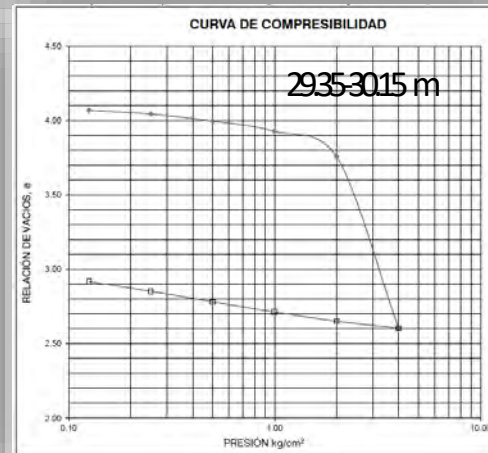
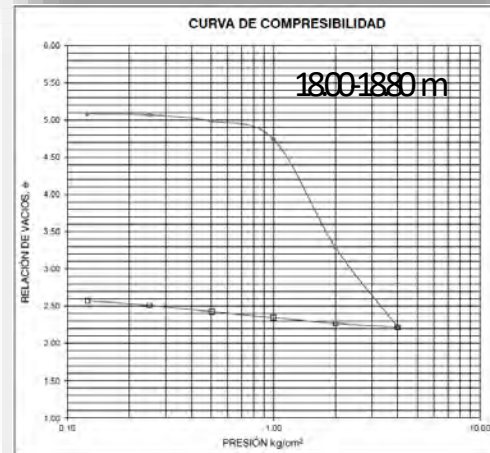
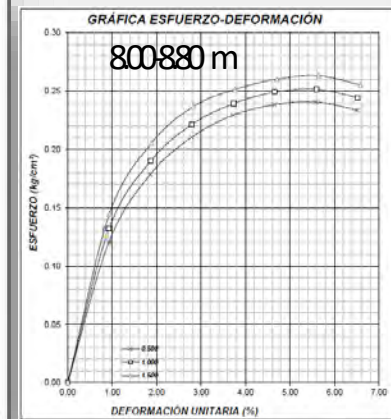
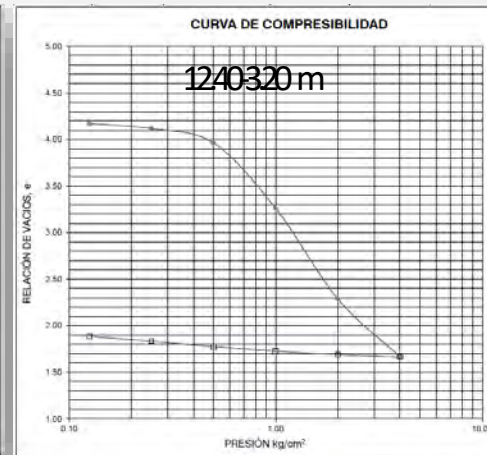
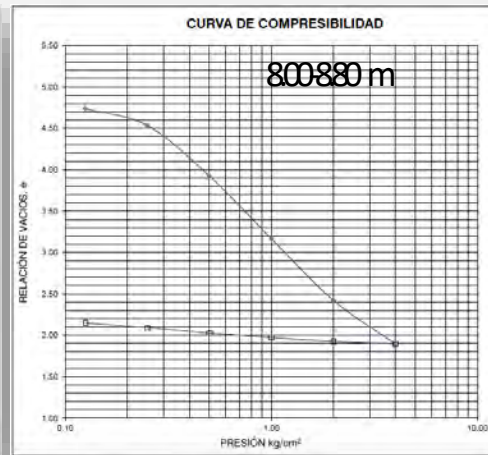
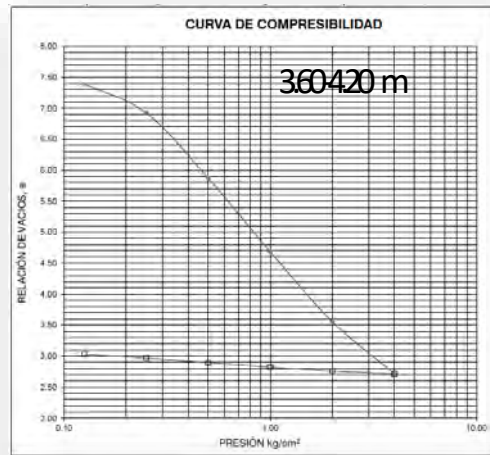


Velocidad de hundimiento,
periodo 2000-2005

Juárez –Camarena M. “Análisis geoestadístico del subsuelo de la zona lacustre del Valle de México”, Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, UNAM, diciembre 2015.

CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Condiciones particulares del sitio



CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Modelo geotécnico

S.U.C.S.	U.E.	de [m]	a [m]	γ_m [t/m ³]	c [t/m ²]	ϕ [°]	ν	E ₅₀ [t/m ²]	K ₀
-----	---	0.00	2.80	1.50	3.50	18	0.30	1200	0.43
CH	IA	2.80	5.70	1.14	1.50	0	0.45	230	0.82
	IB	5.70	10.20	1.27	1.20	0	0.45	130	0.82
	IC	10.20	15.20	1.33	2.03	0	0.45	455	0.82
	ID	15.20	21.80	1.26	5.10	0	0.45	581	0.82
SM	II	21.80	24.20	1.70	1.50	30	0.35	2000	0.54
CH	III	24.20	28.15	1.28	1.90	8	0.45	844	0.82
SP	IV	28.15	28.60	1.75	1.50	28	0.35	2000	0.54
CH	V	28.60	30.75	1.29	6.20	10	0.45	1887	0.82

γ_m , peso volumétrico natural, c, cohesión en parámetros totales, ϕ , ángulo de fricción en parámetros totales, E₅₀, módulo de elasticidad estático, ν , relación de Poisson, K₀, empuje en reposo.

S.U.C.S.	U.E.	de [m]	a [m]	m _v [m ² /t]	C _c --	C _r --	P _c [t/m ²]	e ₀ --	c _v [m ² /s]
-----	---	0.00	2.80	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CH	IA	2.80	5.70	0.0480	3.9420	0.2123	2.12	7.352	1.97E-09
	IB	5.70	10.20	0.0433	2.5121	0.1695	2.48	4.689	4.90E-08
	IC	10.20	15.20	0.0174	3.2330	0.1465	5.60	4.093	1.03E-09
	ID	15.20	21.80	0.0073	4.8229	0.1492	9.00	4.984	3.52E-08
SM	II	21.80	24.20	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CH	III	24.20	28.15	0.0073	4.8229	0.1492	0.90	4.98	3.52E-08
SP	IV	28.15	28.60	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CH	V	28.60	30.75	0.0031	3.8237	0.1476	18.40	3.9374	1.33E-08

m_v, coeficiente de compresibilidad volumétrica, C_c, índice de compresibilidad, C_r, índice de recompresión, P_c, esfuerzo de preconsolidación, e₀, relación de vacíos, c_v, coeficiente de consolidación.

CONDICIONES GEOTÉCNICAS

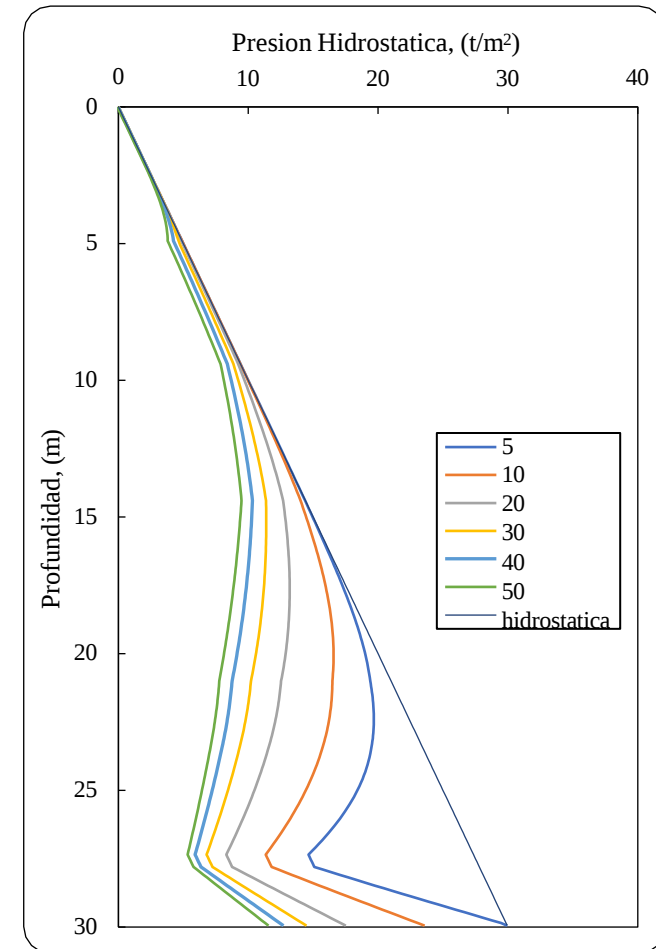
Abatimiento de las presiones de poro

El proceso de consolidación que se atribuye a disminución de las presiones de poro en las arcillas de la Ciudad de México puede estudiarse con el método de diferencias finitas (Carrahan et al., 1969) mediante las siguientes expresiones:

$$u_{i, n+1} = \Phi * u_{i-1, n} + (1 - 2\Phi)u_{i, n} + \Phi * u_{i+1, n}$$

$$\Phi = C_v \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2}$$

$u_{i, n+1}$ es la presión de poro a la profundidad z_i y un tiempo t_{n+1} ; $u_{i-1, n}$ es la presión de poro a la profundidad z_{i-1} y un tiempo t_n ; $u_{i, n}$ es la presión de poro a la profundidad z_i y un tiempo t_n ; $u_{i+1, n}$ es la presión de poro a la profundidad z_{i+1} y un tiempo t_n ; Δt es el incremento de tiempo, C_v es el coeficiente de consolidación, y Δz es el incremento de la profundidad.



Información de la estructura

Tabla 7. Cargas de la estructura.

nodo	carga muerta de servicio y pp ton	carga viva + carga muerta de servicio y pp ton
1	43.88	57.67
2	69.27	92.5
3	52.46	68.39
4	50.24	65.56
5	76.35	121.77
6	49.75	64.56
7	67.55	88.53
8	87.56	128.83
9	67.02	88.1
10	50.36	74.45
11	70.14	93.62
12	110.91	151.13
13	77.7	103.94
14	66.04	90.34
15	114.26	188.13
16	76.5	102.3
17	63.36	85.8
18	105.41	173.06
19	71.43	95.44
20	57.66	80.21
21	99.41	164.98
22	59.91	83.56
23	55.26	75.69
24	99.16	164.64
25	57.81	83.38
26	56.19	76.28
27	98.84	163.93
28	58.68	83.06
29	56.82	79.58
30	103.12	173.18
31	59.45	87.68
32	34.16	45.25
33	62.27	83.51
34	39.24	51.97

Av. Hank González

ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Análisis de la Capacidad de carga de la cimentación

Se empleó la ecuación propuesta por las NTC-2017 CDMX, Diseño y Construcción de Cimentaciones

$$r = [c_u N_c] F_R + p_v$$

Cimentación	Dimensiones [m]	D _f [m]	c [t/m ²]	N _c	F _R	p _v [t/m ²]	r [t/m ²]
Losa	18.74 x 47.19	0.0	2.82	5.65	0.65	0.0	10.4

$$\frac{\sigma Q F_c}{A} < r$$

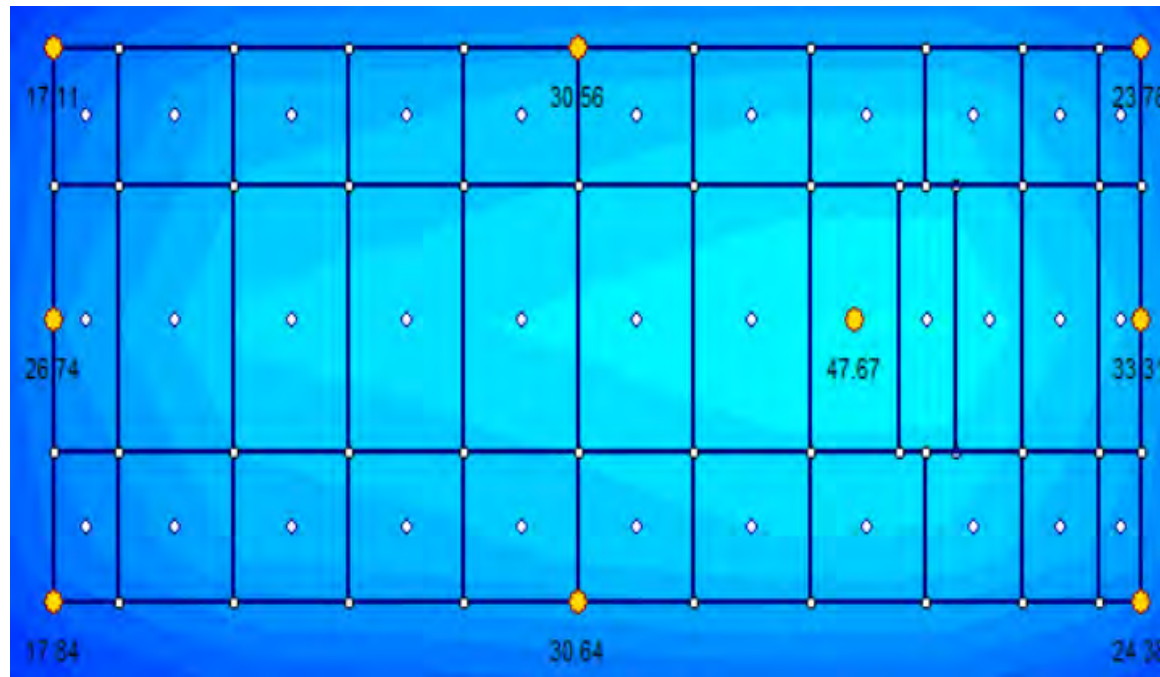
$\frac{\sigma Q F_c}{A}$ [t/m ²]		r [t/m ²]
6.60	<	10.4

ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Análisis de deformaciones

Antes de proponer una solución se realizaron análisis de asentamientos con el tiempo para definir el estado actual y futuro, con la cimentación sin refuerzo.

Asentamientos en la losa de la estructura a 3 años de la construcción.

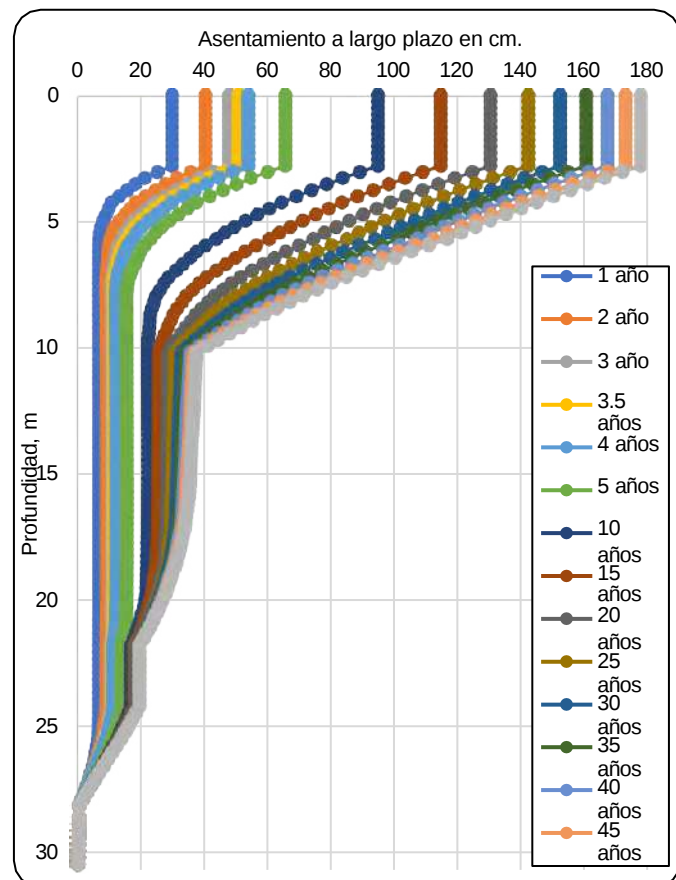


$$\Delta e = -C_r \log \left(\frac{\sigma_f'}{\sigma_i} \right)$$

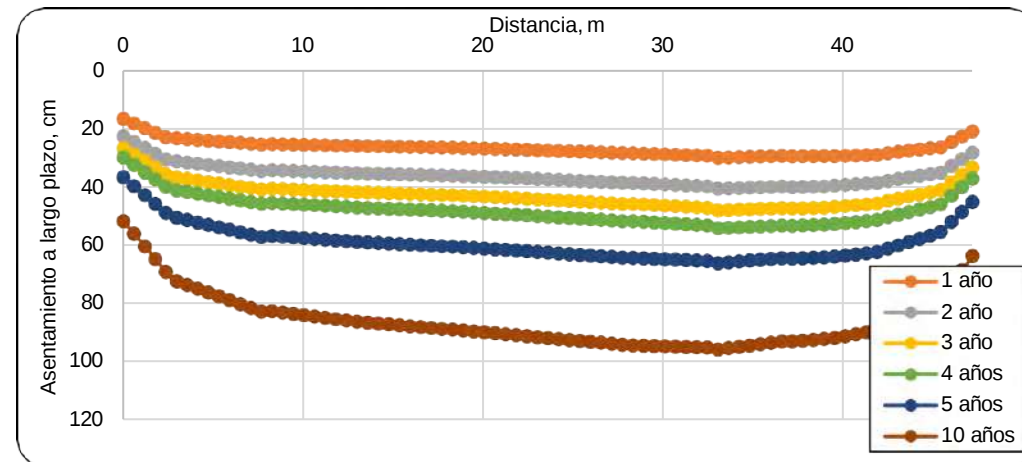
$$\Delta e = \frac{C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_c'}{\sigma_i} \right) + \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_f'}{P_c} \right)$$

ANÁLISIS GEOTÉCNICO

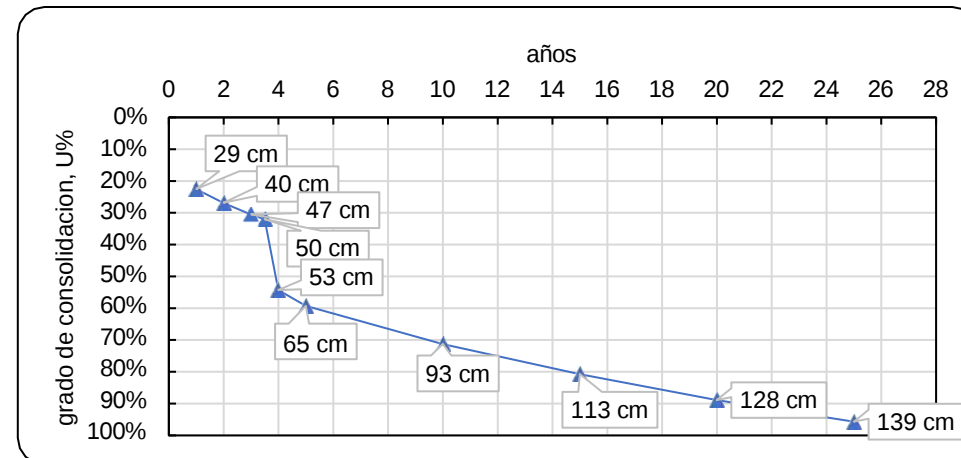
Análisis de deformaciones



Asentamientos con el tiempo en función de la profundidad



Asentamientos con el tiempo a lo largo del eje longitudinal



PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

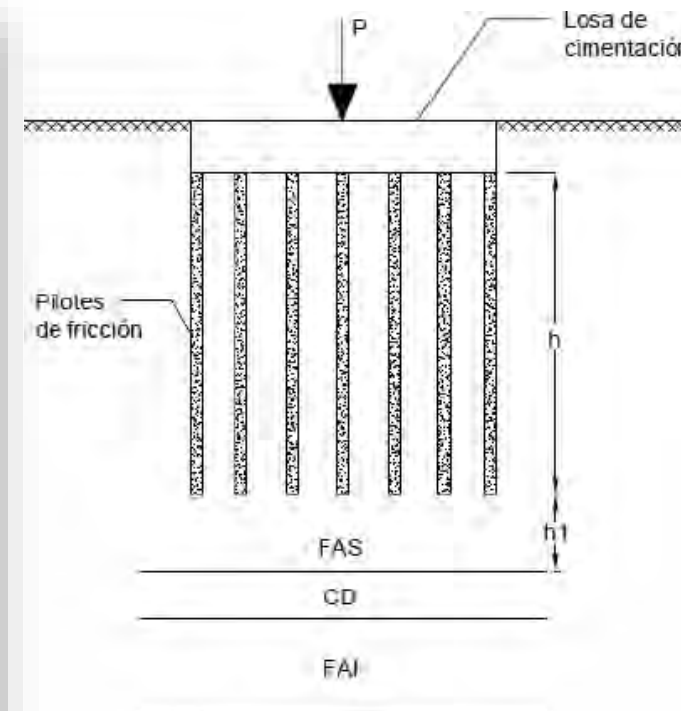
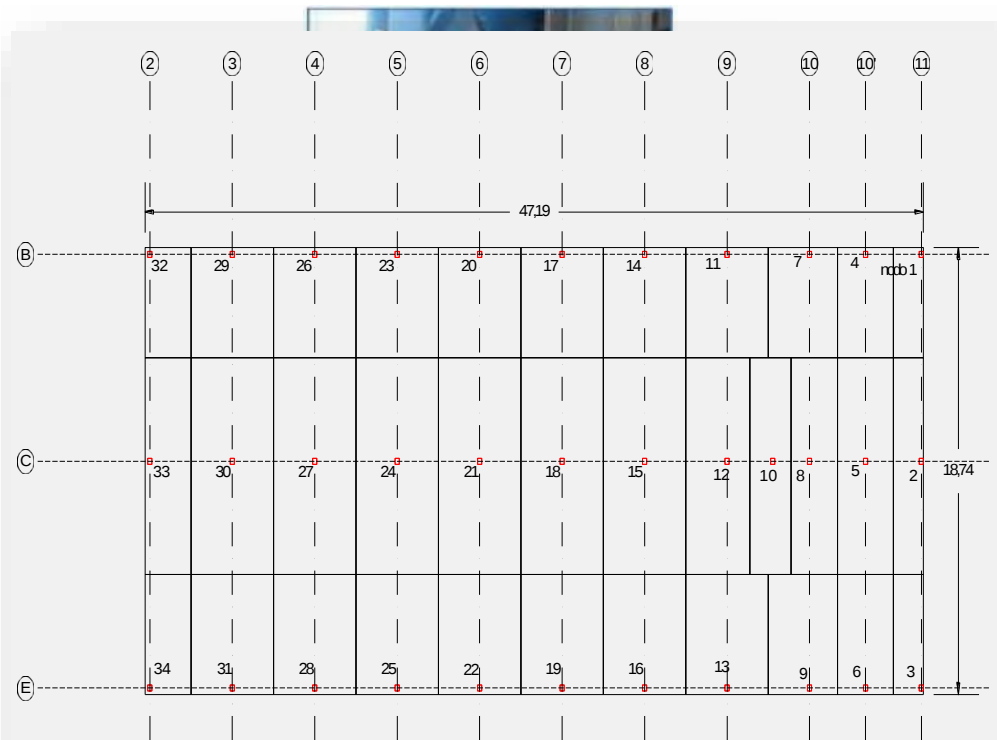
Con base en las características actuales de la estructura, colindancias y condiciones estratigráficas del predio en estudio; para disminuir los asentamientos y el desplome que pudiera presentarse a futuro, así como mejorar el comportamiento de esta, se presentan dos opciones de re-cimentación.

- ☐ Pilotes de control.
- ☐ Pilotes hincados con perfil metálico.

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Pilotes hincados con perfil metálico

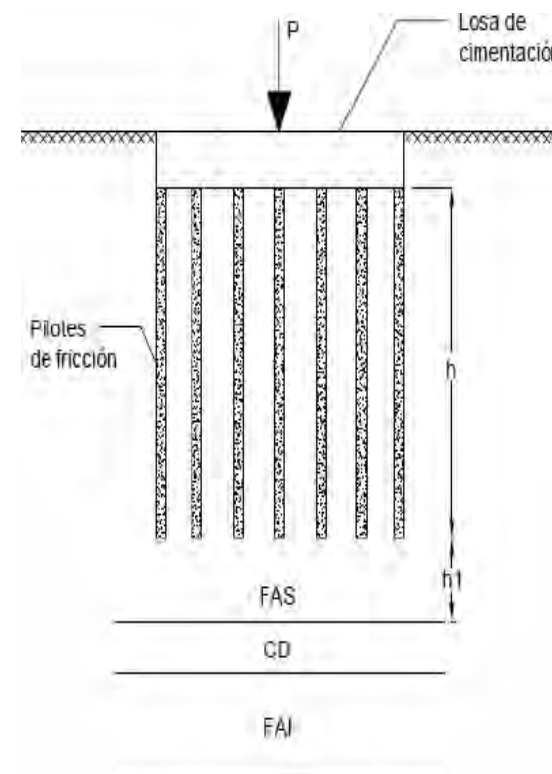
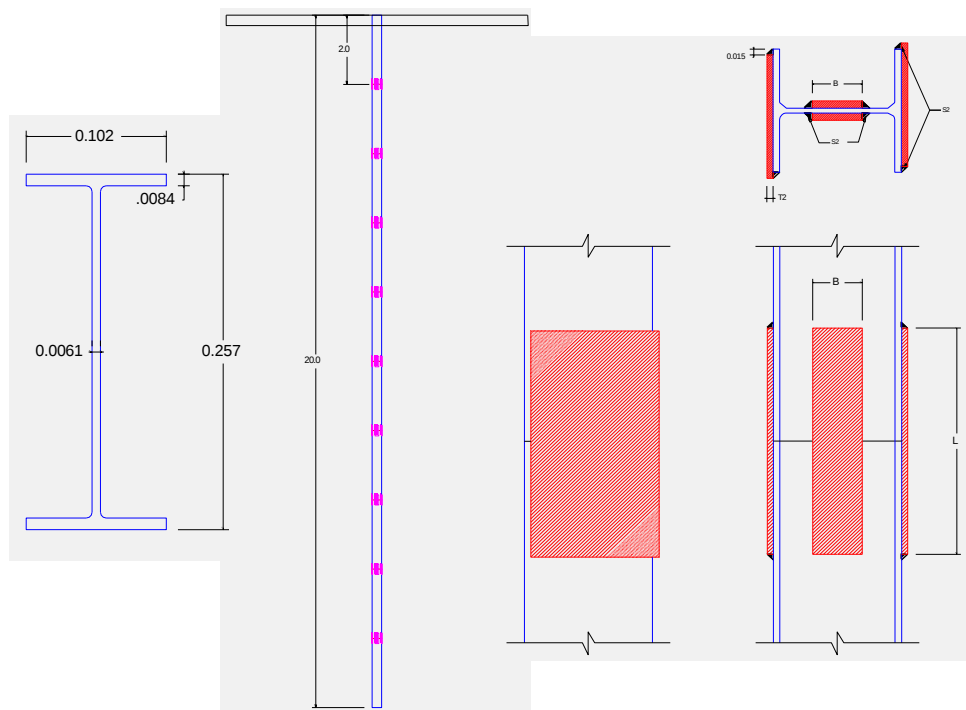
La solución de re-cimentación propuesta para disminuir los asentamientos debidos al incremento de carga para las condiciones de la estructura en operación, así como los **asentamientos a largo plazo** debido a la consolidación regional es a base de **44 pilotes** hincados con **perfil metálico tipo “IR” (W10x17)**.



PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Pilotes hincados con perfil metálico

Debido a las limitaciones de espacio, para llegar a la longitud total, se hincarán **secciones de 2 m de longitud**, unidas por medio de placas metálicas en el área del patín y el alma. Se consideraron dos pilotes por cada columna central y lateral, y un pilote para las columnas de las esquinas. Longitud enterrada de **20 m**. Los pilotes quedarán desplantados en el estrato de arcilla, a una distancia (h_1) de 1.80 m.



PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

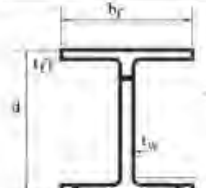
Análisis de asentamientos (Modelo numérico 3D)

Se realizaron los **análisis interacción suelo-estructura** de **asentamientos a largo plazo** bajo las cargas de servicio impuestas y los debidos a la **consolidación regional**, mediante un **modelo numérico 3D** considerando la ley constitutiva **Cam-Clay** para los estratos compresibles y las curvas de abatimiento.

Parámetros de la losa de cimentación.

Material	γ [kPa]	E [kPa]	f'_c [kPa]	ν	c [kPa]	K [kPa]	G [kPa]
Cimentación	24.0	26191602	35000	0.15	17500	12472191	11387653

Parámetros de los pilotes.



Material	d m	b_f m	P_p M	A_p m ²	γ [kPa]	E [kPa]	ν	K [kPa]	G [kPa]
Pilotes,	0.257	0.102	0.72	0.0031	78.5	2.1E+08	0.30	8.1 E+07	1.5 E+08

d, peralte, b_f , ancho del patín, P_p , perímetro del pilote, A_p , área transversal del pilote, E, Módulo de elasticidad, G, Módulo de rigidez al esfuerzo cortante.

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

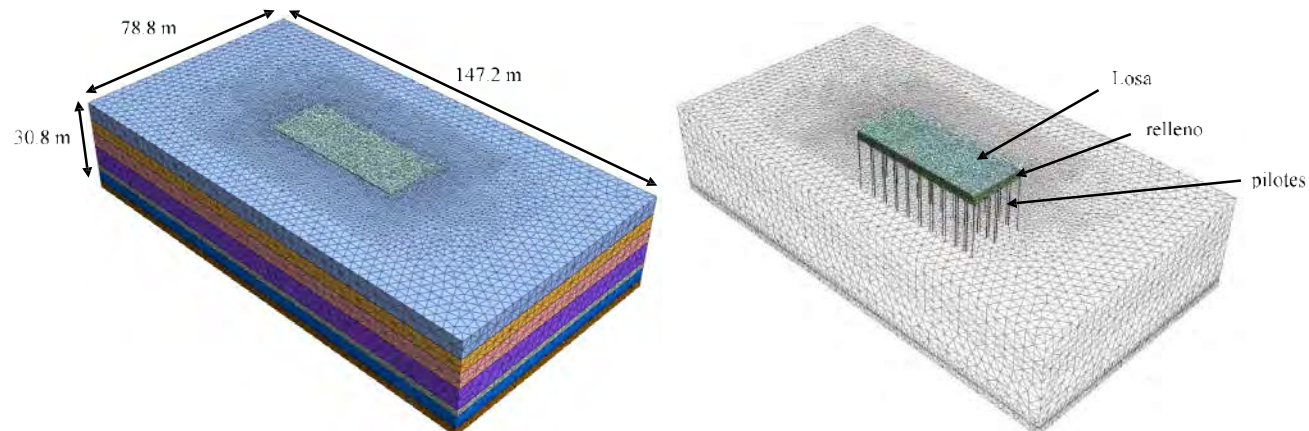
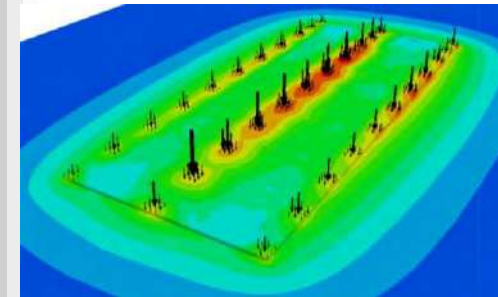
Modelo tridimensional de Interacción Suelo-Estructura

Parámetros modelo Cam Clay Modificado

U.E.	Material	De (m)	Hasta (m)	M	λ	κ	p_1	p_c	v_{λ}	Γ
----	relleno	0	2.8	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ia	CH	2.8	5.7	2.31	1.712	0.0913	25.0	21.2	7.93	6.802
Ib	CH	5.7	10.2	1.83	1.091	0.0736	25.0	24.8	5.53	4.829
Ic	CH	10.2	15.2	1.57	1.404	0.0636	50.0	56.0	4.96	4.033
Id	CH	15.2	21.8	2.00	2.095	0.0648	100.0	90.0	5.74	4.336
II	SM	21.8	24.2	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
III	CH	24.2	28.2	2.00	2.095	0.0648	100.0	90.0	5.74	4.336
IV	SP	28.2	28.6	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
V	CH	28.6	30.8	1.21	1.661	0.0641	200.0	184.0	4.76	3.650

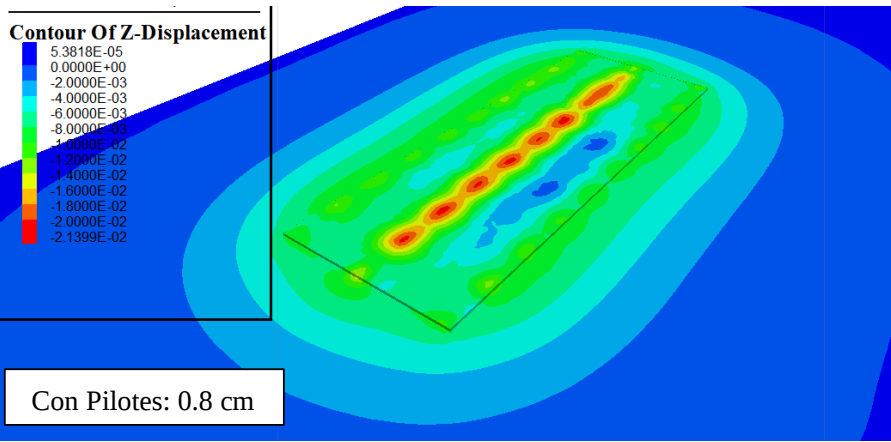
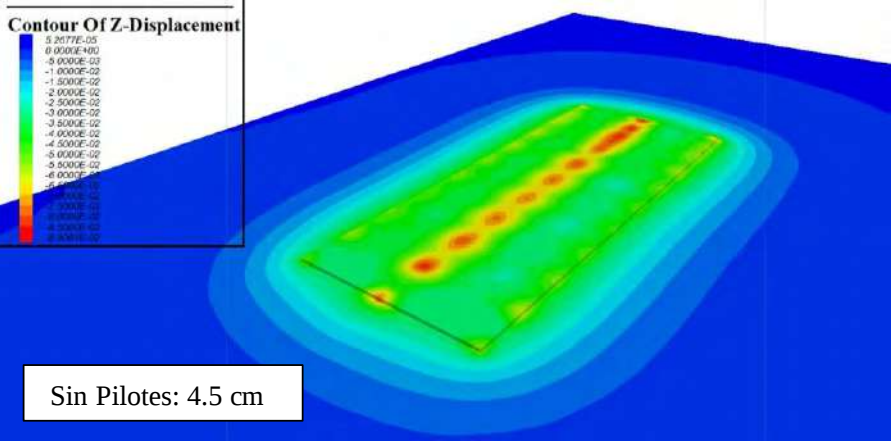
M, Parámetro del material, λ , Pendiente de la rama normalmente consolidada, κ , Pendiente de la rama preconsolidada, p_1 , Presión de referencia, p_c , Esfuerzo de preconsolidación, v_{λ} , Volumen de Referencia, Γ , Volumen específico en el estado crítico.

Aplicación de cargas

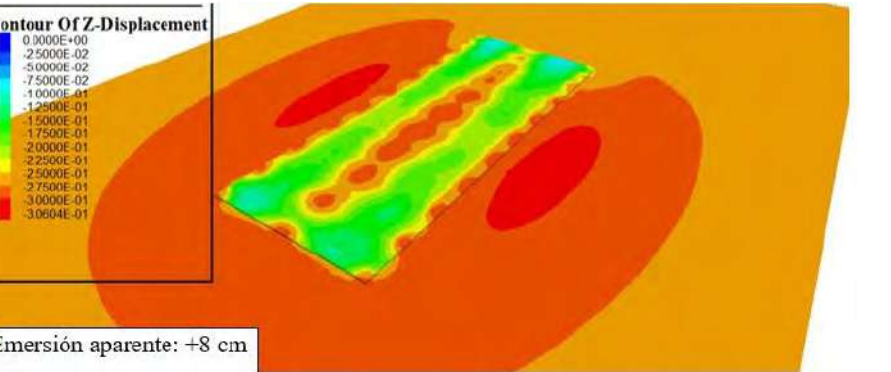
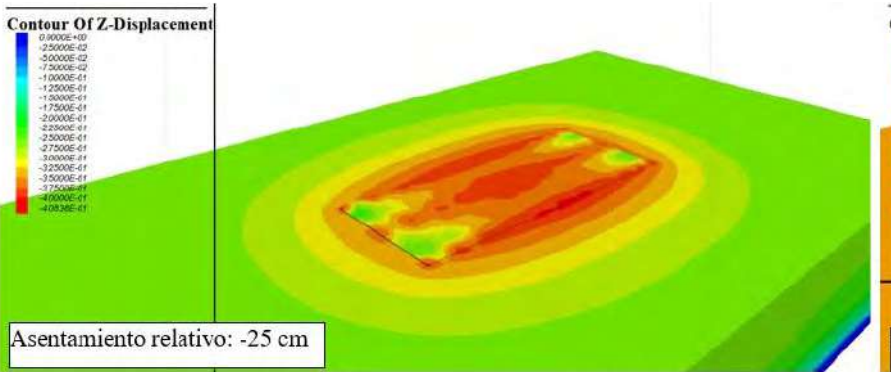


PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Modelo tridimensional de Interacción Suelo-Estructura



Asentamientos sin y con pilotes con cargas de servicio

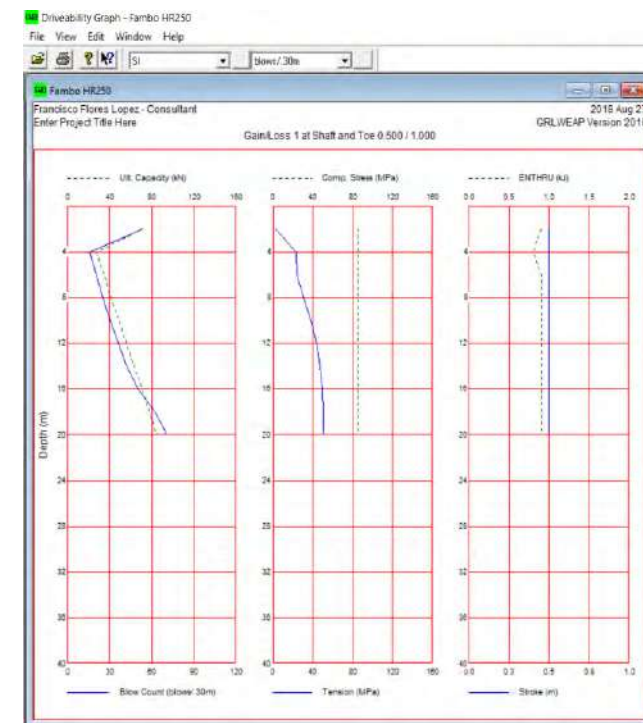
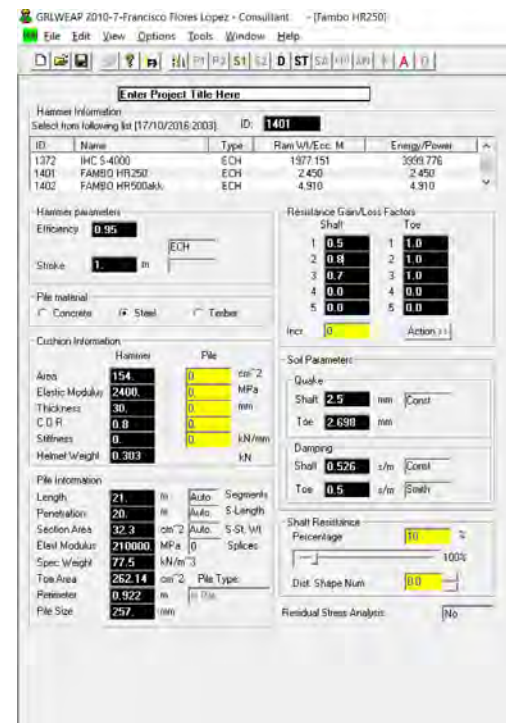
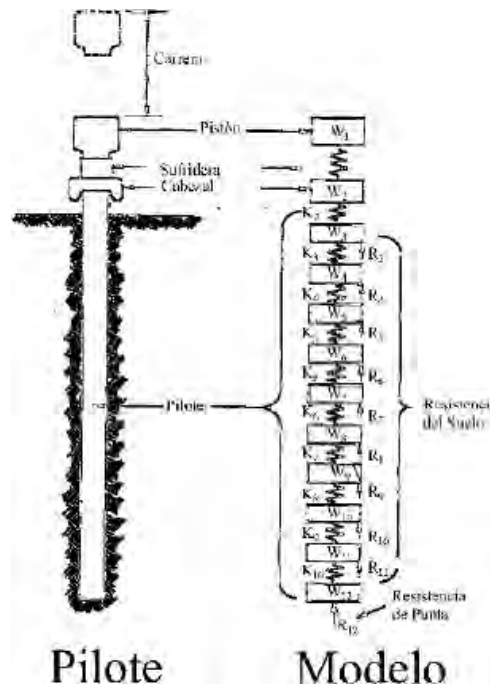


Abatimiento a 50 años. Sin y con pilotes con cargas de servicio

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Análisis de hincabilidad

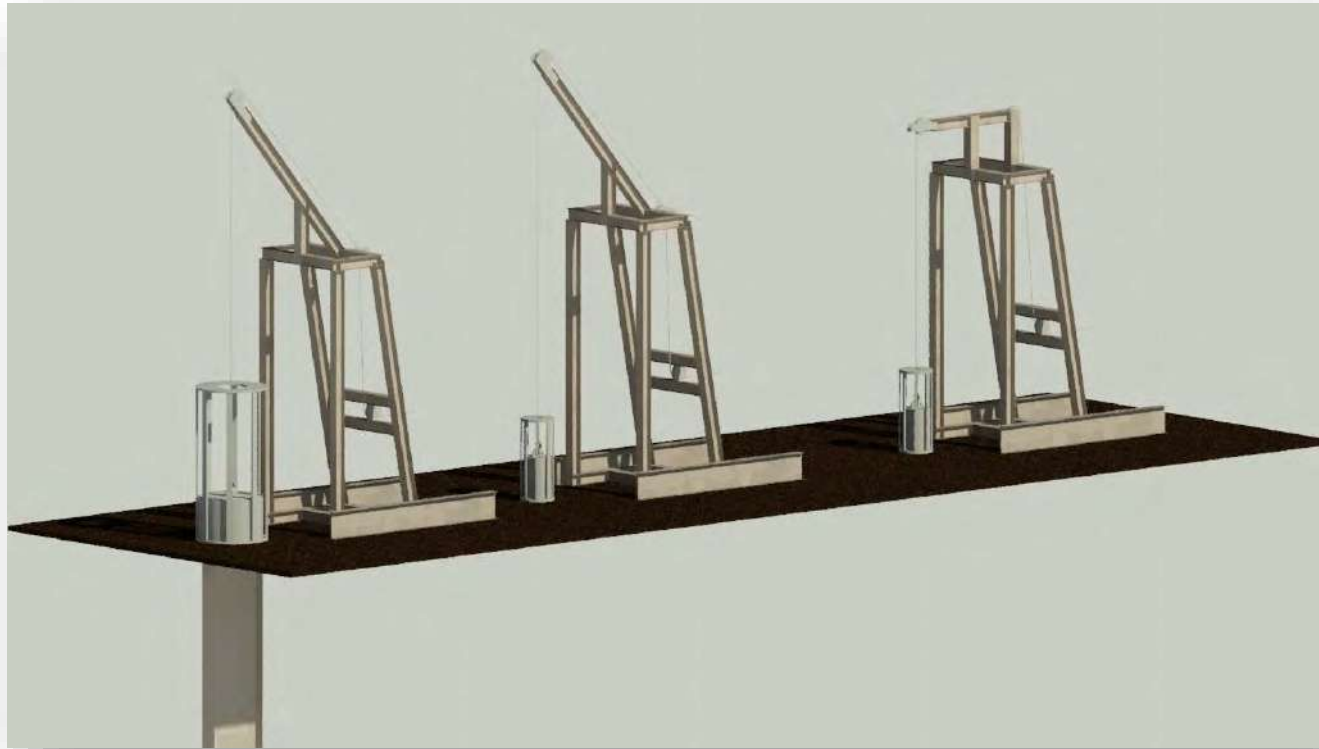
Se realizaron los análisis de hincado dinámico mediante la ecuación de onda, cuyo objetivo es **definir la energía necesaria que deberán desarrollar los martillos para lograr vencer la resistencia del suelo durante el proceso de hincado de los pilotes**, se simuló el seccionamiento de los pilotes y el tiempo de espera para poder unir las secciones de pilotes.



PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Martillo de impacto

Debido a la **restricción de espacio** se diseñó un marco para el **hincado de las viguetas de acero**. El marco se constituye a base de viguetas de acero que se ensamblan mediante tornillería para poder ingresar en **áreas confinadas** y de **difícil acceso**, cuenta con un malacate para levantar la masa golpeadora formada por “**discos apilados**” o placas de acero y una campana.

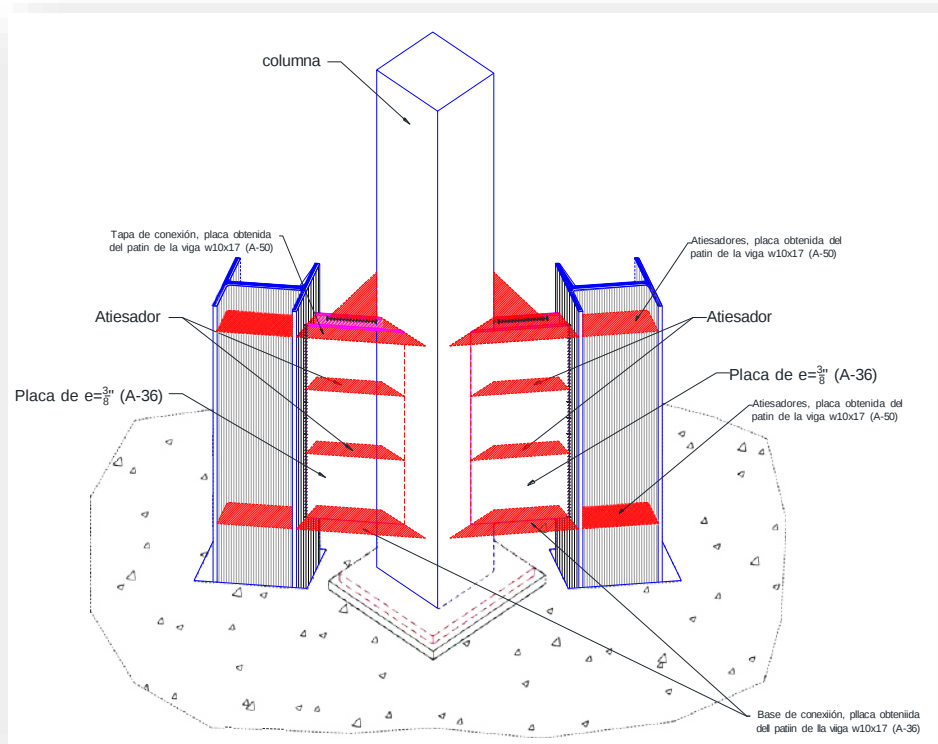


Masa de impacto = 300 kg
Altura de caída: 50 a 150 cm
Energía: 1.9 kJ

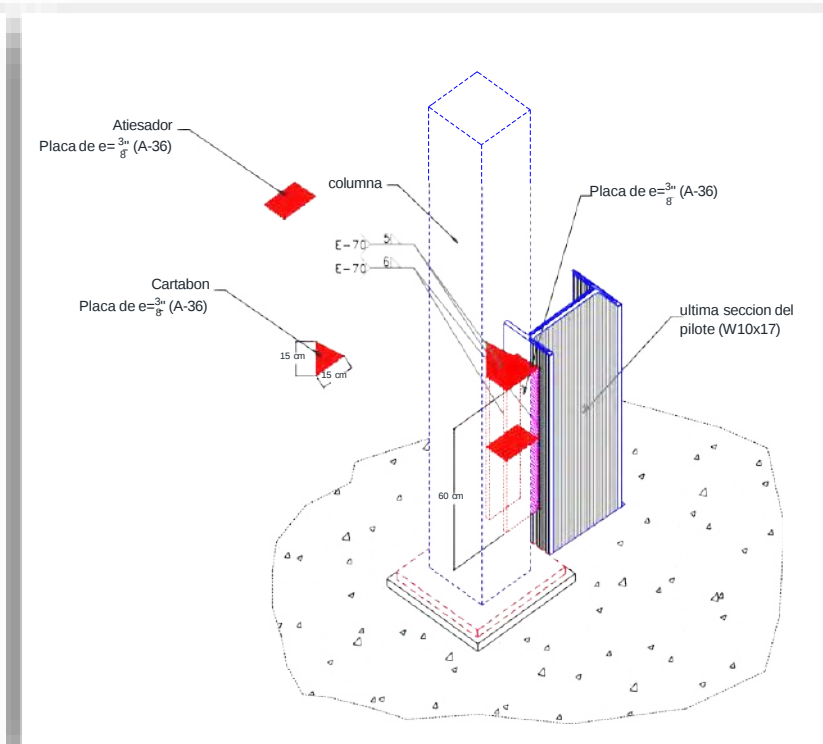
PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Conexión viguetas-columna

Con las descargas de la edificación, se desarrollaron los **análisis estructurales** para determinar la **longitud de conexión** y detalles estructurales entre las viguetas y las columnas.



Conexión entre pilotes y columnas centrales



Conexión entre pilotes y columnas laterales

TRABAJOS DE RE- CIMENTACIÓN

Procedimiento de instalación

- 1) Demolición de la losa.
- 2) Hincado de las vigas
- 3) Conexión en cada tramo del perfil
- 4) Sistema de conexión entre columna y pilote.

La altura de la planta baja del edificio limitó la longitud de cada sección de pilote a hincar por lo que se realizó el hincado de secciones con longitudes de entre **1.8 m y 2.2 m**.



TRABAJOS DE RE-CIMENTACIÓN

Procedimiento de instalación

- 1) Demolición de la losa.
- 2) Hincado de las vigas
- 3) Conexión en cada tramo del perfil
- 4) Sistema de conexión entre columna y pilote.

La altura de la planta baja del edificio limitó la longitud de cada sección de pilote a hincar por lo que se realizó el hincado de secciones con longitudes de entre **1.8 m y 2.2 m**.



TRABAJOS DE RE- CIMENTACIÓN

Procedimiento de instalación

- 1) Demolición de la losa.
- 2) Hincado de las vigas
- 3) Conexión en cada tramo del perfil
- 4) Sistema de conexión entre columna y pilote.

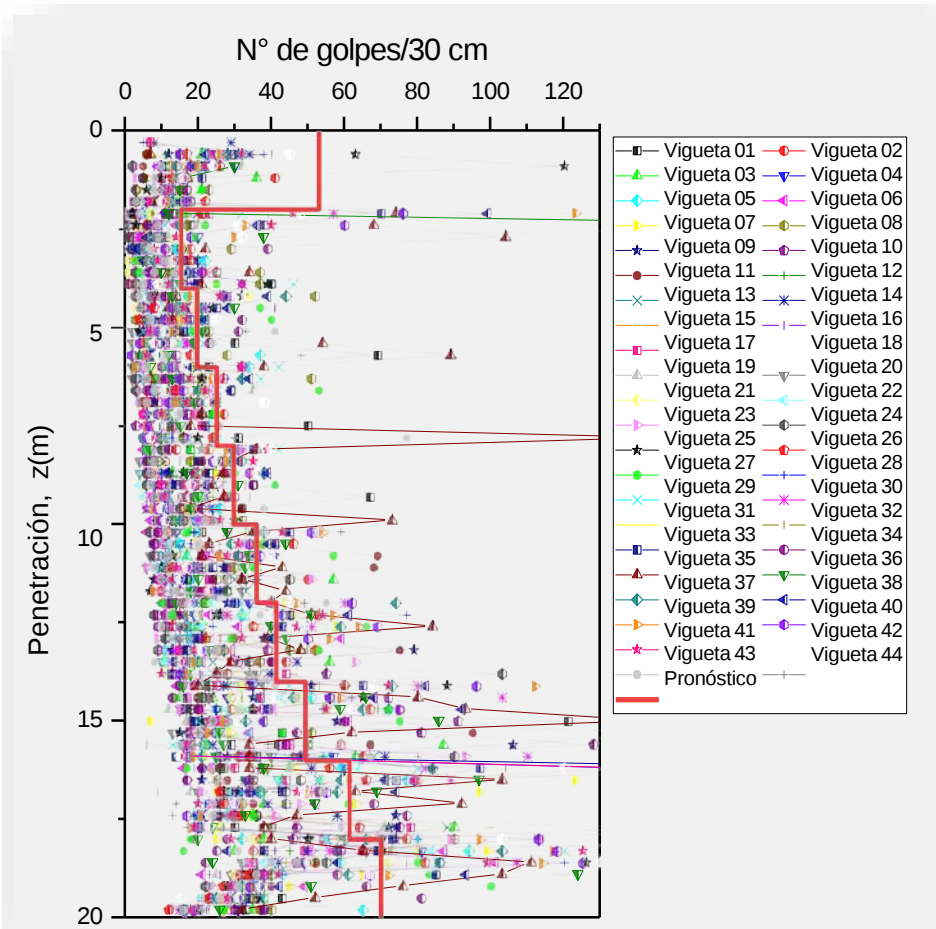
La altura de la planta baja del edificio limitó la longitud de cada sección de pilote a hincar por lo que se realizó el hincado de secciones con longitudes de entre **1.8 m y 2.2 m**.



TRABAJOS DE RE-CIMENTACIÓN

Registros de hincado versus pronóstico

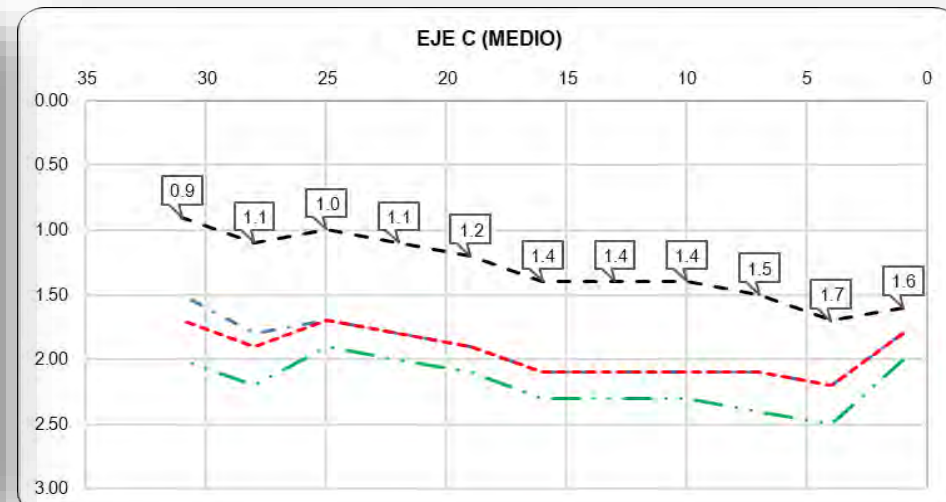
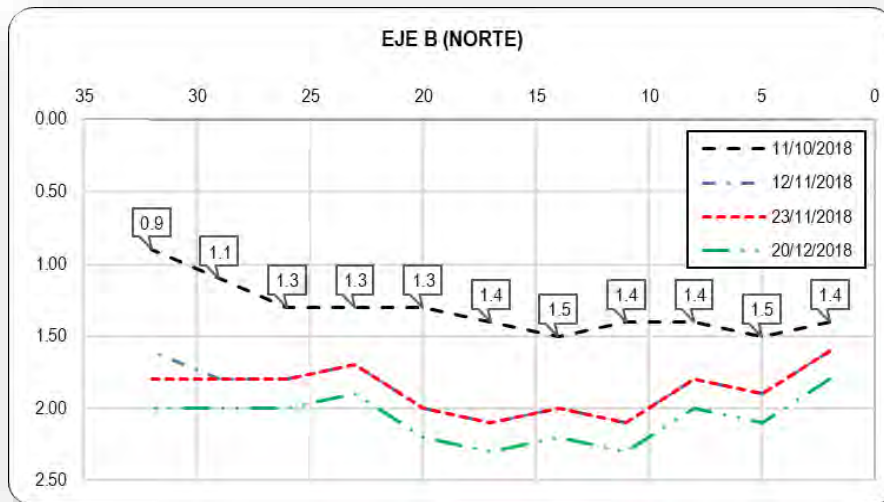
Durante los trabajos de hincado, se llevó un registro del n° de golpes por cada 30 cm, en promedio se hincaron de 9 a 11 secciones por pilote con n° de golpes/30 cm de entre **10 y 40 golpes**



TRABAJOS DE RECIMENTACIÓN

Monitoreo de asentamientos de la estructura recimentada

Se llevó a cabo el **seguimiento de los asentamientos** de la estructura, que hasta antes de realizar la recimentación, se **tenían valores de 1 cm por mes**, y después de colocados los pilotes de acero se midieron asentamientos máximos de **2 mm en un mes**. Los asentamientos de la estructura se **midieron un mes después de colocadas las viguetas**.



Recimentación de un edificio escolar

CONCLUSIONES

- ❑ Se presentó de manera detallada el proceso llevado a cabo para la recimentación de un edificio desplantado en suelo blando que **presentaba asentamientos de 30 cm en 2 años**.
- ❑ El uso de **perfiles de acero** representa una alternativa adecuada para **recimentar estructuras** y con esto tener una disminución de los asentamientos a largo plazo.
- ❑ La medición de los asentamientos de la estructura mostró que el uso de este sistema fue adecuado al disminuir los **asentamientos globales a 2 mm/mes**, en comparación con los asentamientos que se estaban presentando **antes de recimentar la estructura (1-2 cm/mes)**.

Algunas ventajas que se observaron al usar este tipo de soluciones fueron las siguientes:

Rendimiento

En función de las características del suelo, el avance resulta considerablemente rápido en comparación con pilotes de concreto.

Hincabilidad

Pueden ser hincados en longitudes muy largas o cortas, no desplazan gran cantidad de material para su hincado, por lo que requieren menor energía. Bajo nivel de vibración durante el hincado, tanto con martillos de libre caída como con los martillos hidráulicos.

Longitud de los elementos y empalmes

Los pilotes de acero pueden ser cortados o añadidos en campo mediante métodos conocidos una vez que se haya alcanzado el nivel de empotramiento requerido. Los acoples de pilotes no requieren elementos prefabricados especiales

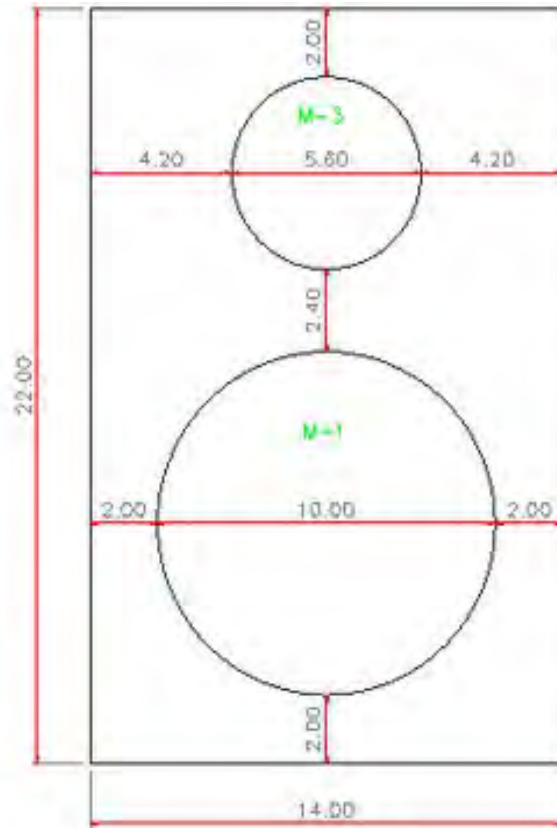
Recimentación de tanques de almacenamiento

El proyecto al que se refiere esta presentación es una estructura para tanques de almacenamiento de material químico, que presentó un asentamiento de 30 cm durante la prueba hidrostática. Por lo que se tuvo que demoler la losa de cimentación y colocar pilotes.

Recimentación de tanques de almacenamiento



Módulo 1



Módulo 2

Reubicación



Ubicación actual

Recimentación de tanques de almacenamiento

Dimensiones y pesos de los tanques

Tanque	Diámetro m	Peso del tanque kN	Peso del líquido contenido (90% de capacidad) kN	Peso total kN
M1	10.085	205.13	9,925.49	10,130.62
M2	6.197	106.03	3,811.21	3,917.24
M3	5.482	91.41	2,982.48	3,073.89
M4	5.000	82.34	2,449.26	2,531.60
M5	5.643	92.31	3,192.65	3,284.96

El diseño de la cimentación estará basado en la siguiente reglamentación:

- Especificaciones Técnicas Para Proyectos de Obras, Análisis y Diseño de Cimentaciones de Tanques, PEMEX, 2002.
- Manual de Diseño de Obras Civiles, Estructuras, Diseño por Sismo, CFE, 2015.
- Normas Técnicas Complementarias, Ciudad de México, 2017.

Recimentación de tanques de almacenamiento

Tabla 1.1. Clasificación de las estructuras según su destino.

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

ESTRUCTURA TIPO A1

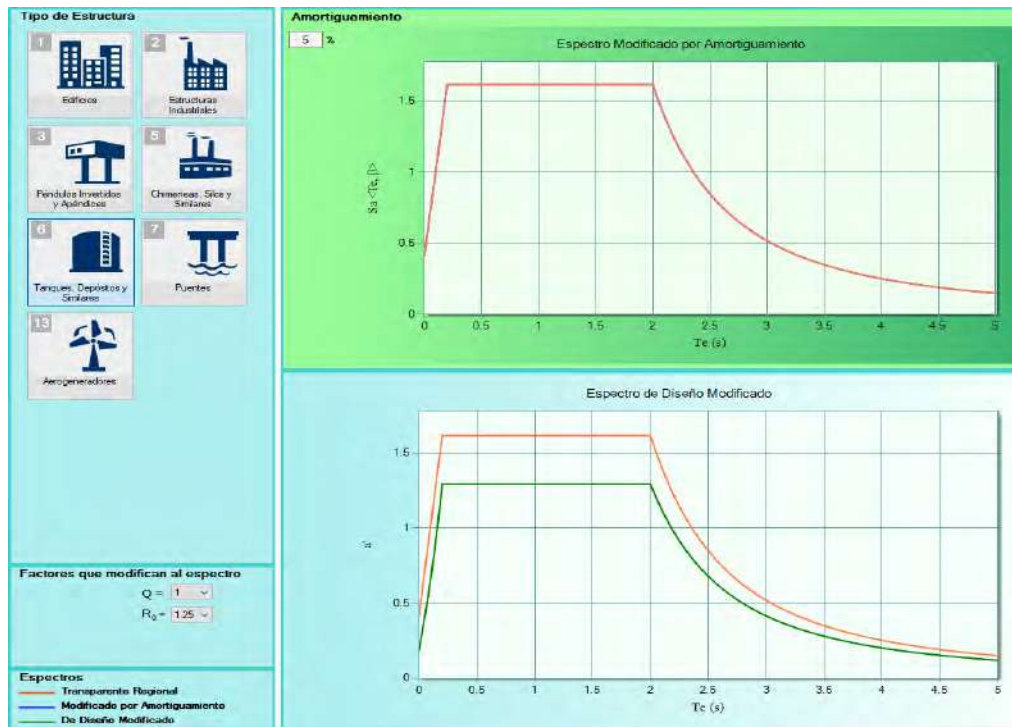
Tabla 1.2. Grupos y clases estructurales.

Grupo	Clasificación de las construcciones	
A+	Todas las estructuras de gran importancia del sector energético o industrial	
A	A1: Pertenece o se relaciona con el sector energético o industrial	A2: No pertenece ni se relaciona con el sector energético o industrial
B	B1: Altura mayor que 13 m o área total construida mayor que 400 m ²	B2: Altura menor o igual que 13 m y área total construida menor o igual que 400 m ²

Recimentación de tanques de almacenamiento

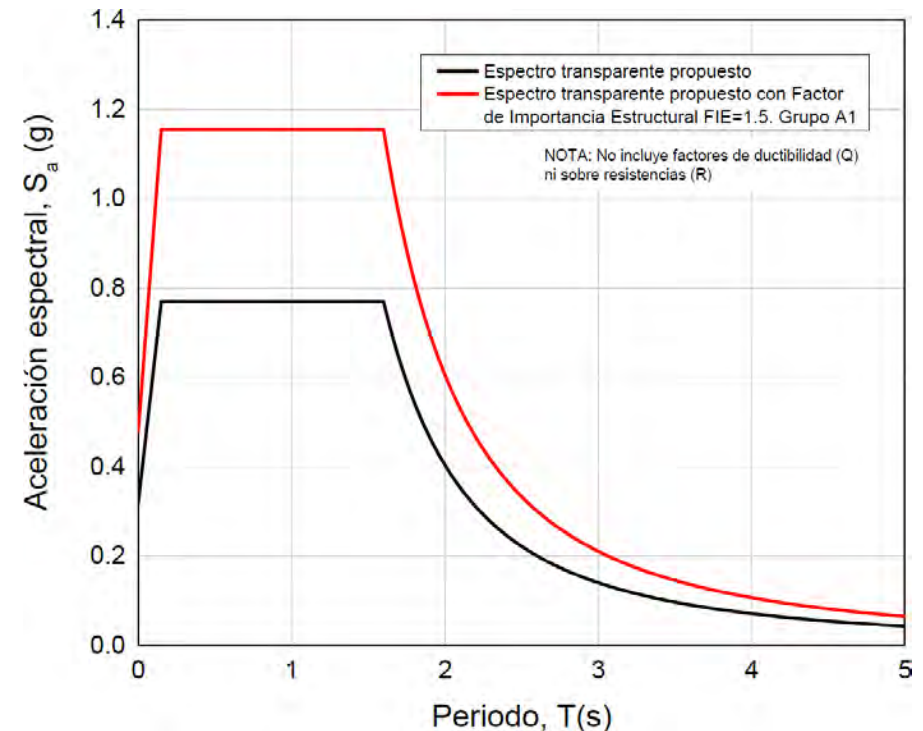
Espectro transparente (PRODISIS):

De acuerdo a las características estratigráficas de los depósitos, del subsuelo y a la zonificación geotécnica de la Republica Mexicana, el predio de interés se encuentra en un tipo de suelo III, importancia estructural tipo A, y por tanto corresponde un coeficiente sísmico **Cs=1.25g.**



Espectro de sitio:

Se presenta el espectro de sitio transparente obtenido empleando la forma funcional como lo indica el Manual de CFE-2015. El espectro propuesto corresponde a la superficie del terreno determinado en la superficie de suelo para la condición de colapso y corresponde a estructuras del Grupo A1. También se presenta el espectro de diseño afectado por los factores de ductilidad y sobre-resistencia correspondientes, y dónde finalmente el coeficiente sísmico resulta de **0.92g.**



Recimentación de tanques de almacenamiento

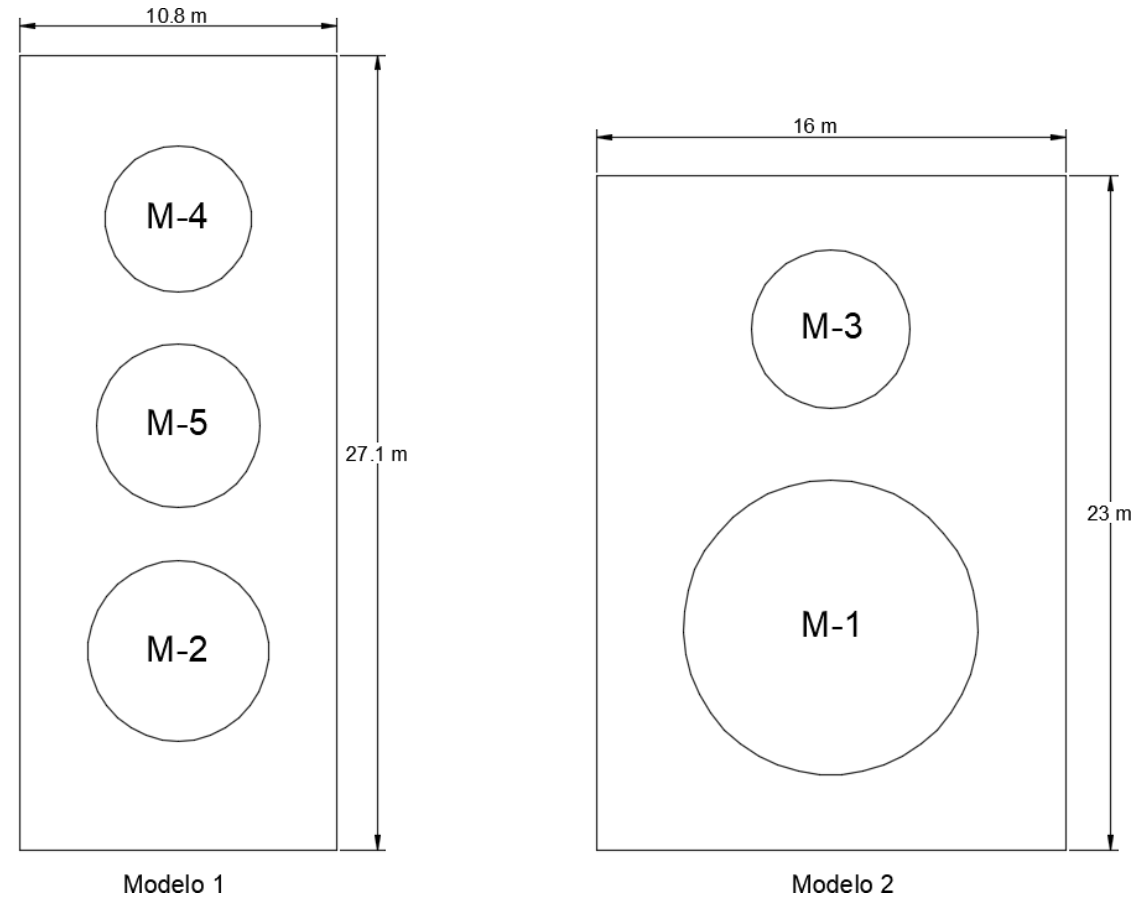
Con base en los resultados que se obtienen en los trabajos de exploración geotécnica y de las pruebas de laboratorio, se propone la siguiente caracterización para el subsuelo del sitio en estudio, considerando el nivel de terreno natural como el punto 0.

Unidad	Descripción	Profundidad (m)		γ	c	E
				(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
U1	Relleno de mala calidad, arcilla arenosa de consistencia muy blanda a muy dura de color gris claro con presencia de materia vegetal.	0	1.5	12.5	36	5208
U2	Arcilla de baja plasticidad de consistencia muy blanda de varias tonalidades con lentes de arena.	1.5	10	11.3	10	979
U3	Arcilla orgánica de alta plasticidad de consistencia blanda de color gris verdosa y olor fétido.	10	20	11.9	41	2439
U4	Arcilla de baja plasticidad de consistencia muy blanda a blanda de color gris verdosa con lentes de arena y grava empacada de ceniza volcánica.	20	27	12.9	42	3,481
U5	Arcilla limosa de consistencia dura de color gris claro con arena y grava.	27	30	14.5	100	45,000

Recimentación de tanques de almacenamiento

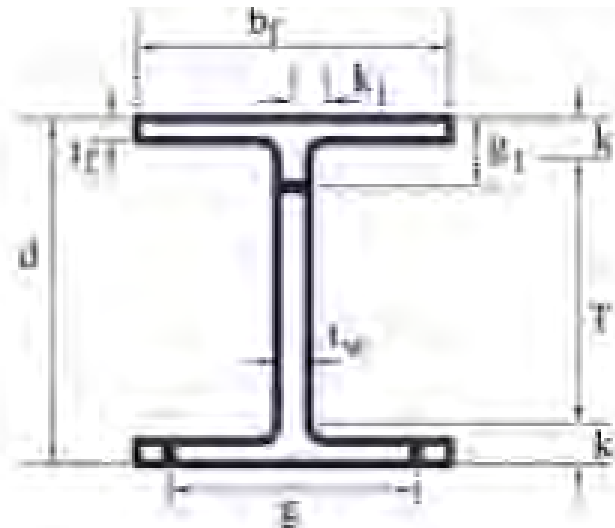
Debido a la cercanía de los tanques, no fue posible definir una cimentación individual por cada uno de ellos, dado que la eficiencia del grupo de pilotes decae por tener poca separación entre elementos.

Por tanto, se propone un sistema con base en losa de cimentación + viguetas de acero hincadas en sitio.



Dimensiones propuestas de losa de cimentación por Módulo

Recimentación de tanques de almacenamiento

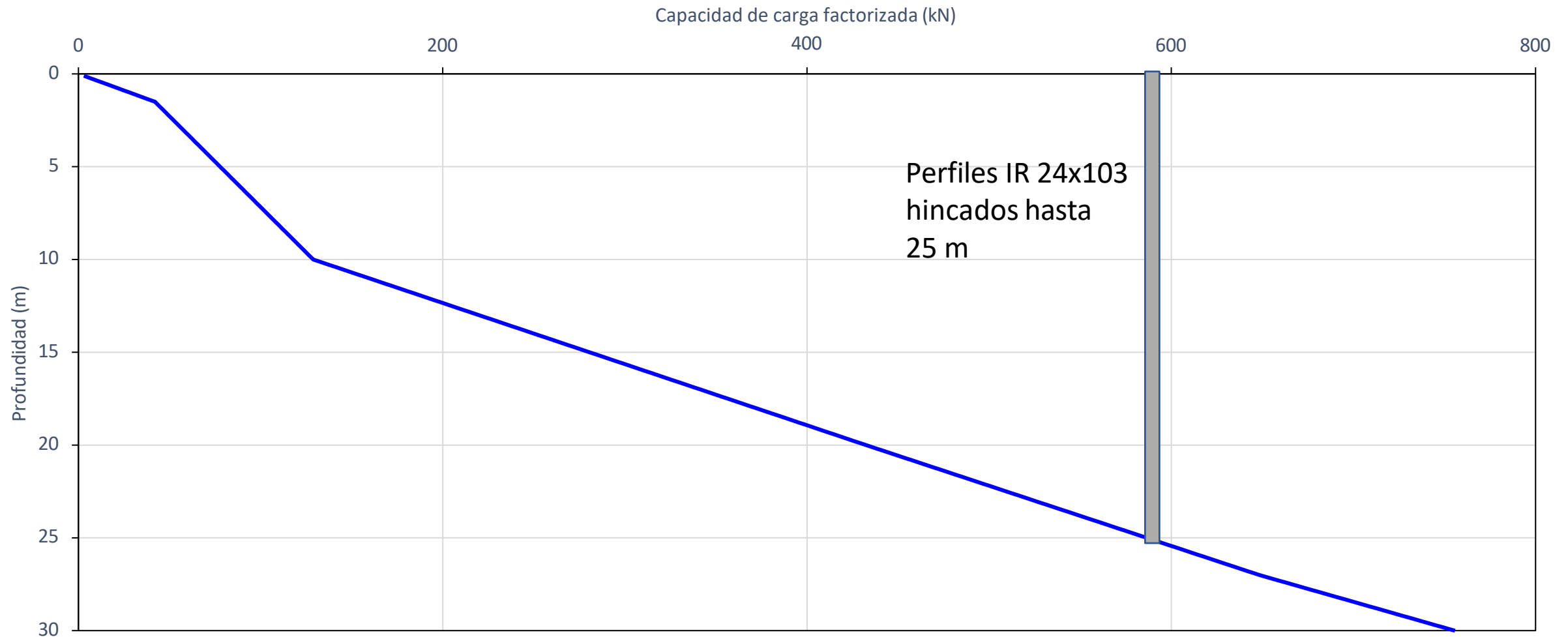


Designación *peralte x peso			Peralte	Alma	Patín		Distancia			Área
			d	t _w	b _f	t _f	T	k	k ₁	
Perfil	mm x kg/m	in. x lb/ft	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²
IR	623x153.4	24x103	623	14	229	24.9	533	45	25	196

Sección de vigueta propuesta para el hincado en sitio
Perfil IR 24x103

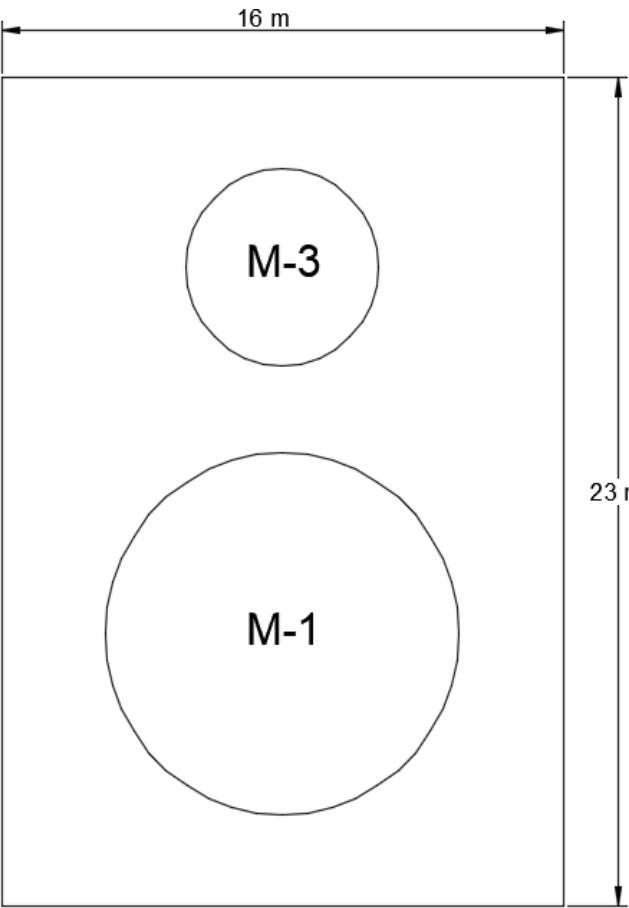
Recimentación de tanques de almacenamiento

En base a las propiedades mecánicas del suelo y obteniendo la resistencia unitaria para cada estrato de material, se muestra la mejor propuesta en cuanto a eficiencia, eficacia y efectividad.

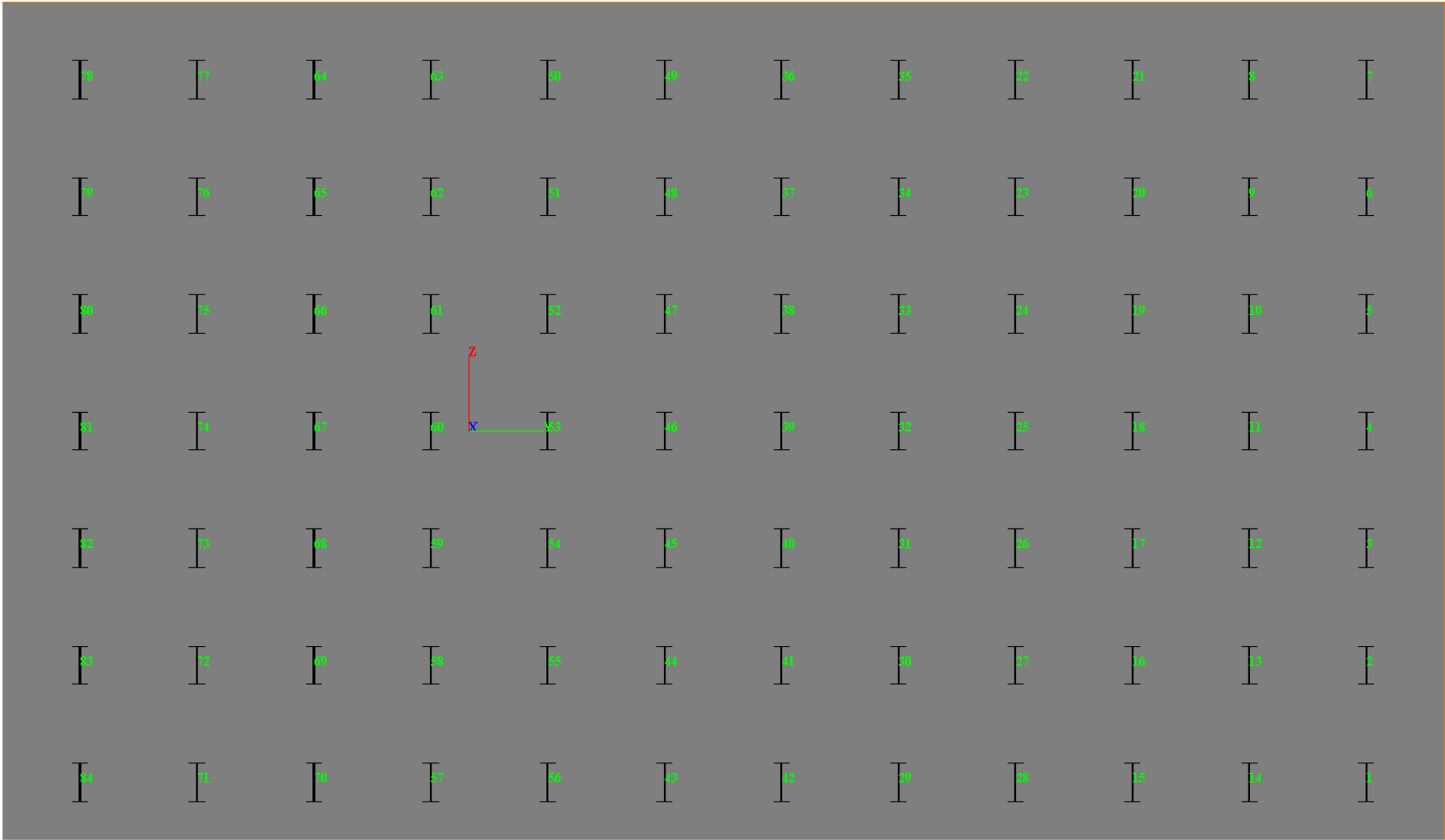


Recimentación de tanques de almacenamiento

Número de viguetas hincadas en Módulo 2
84 elementos

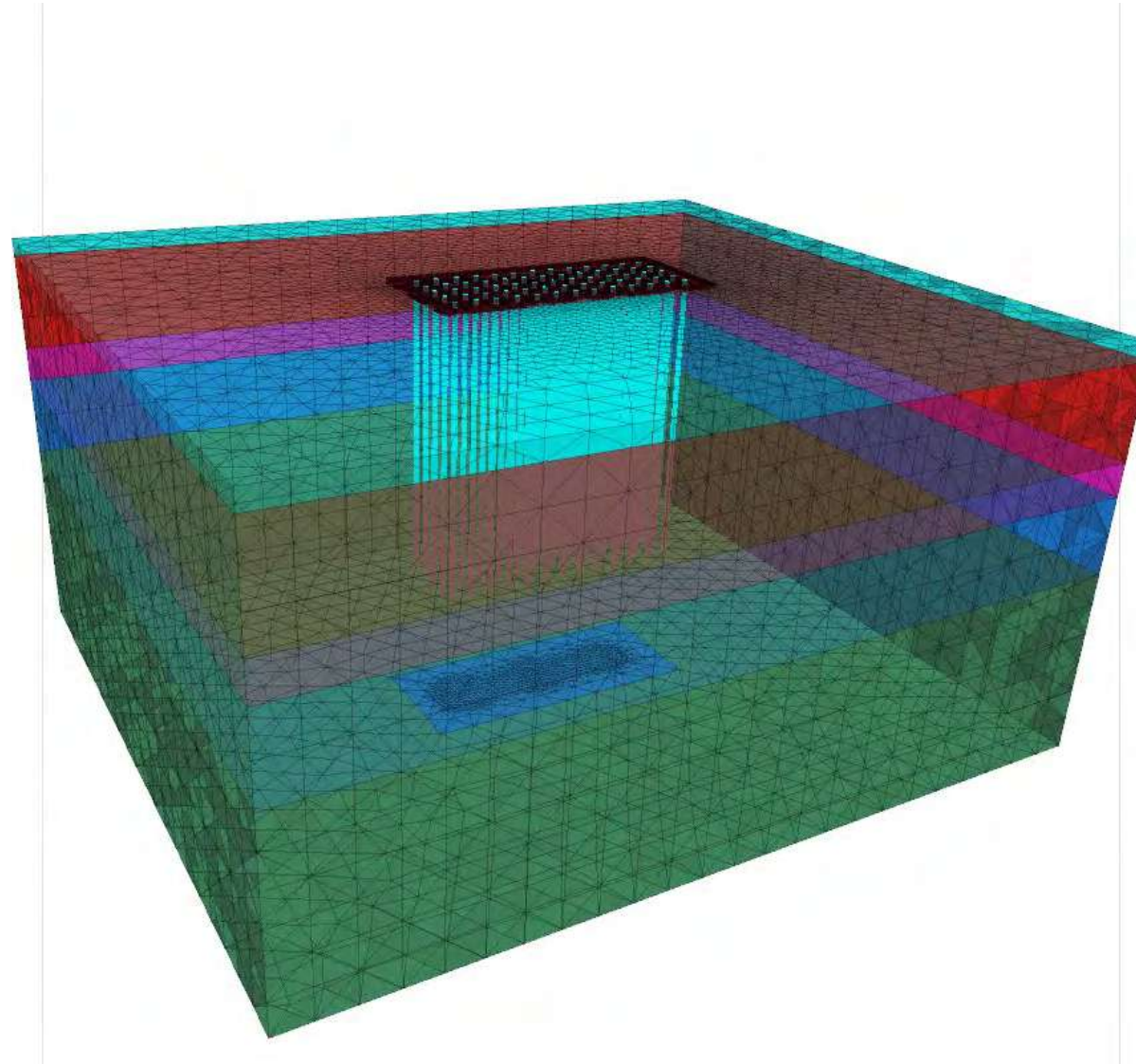


Modelo 2



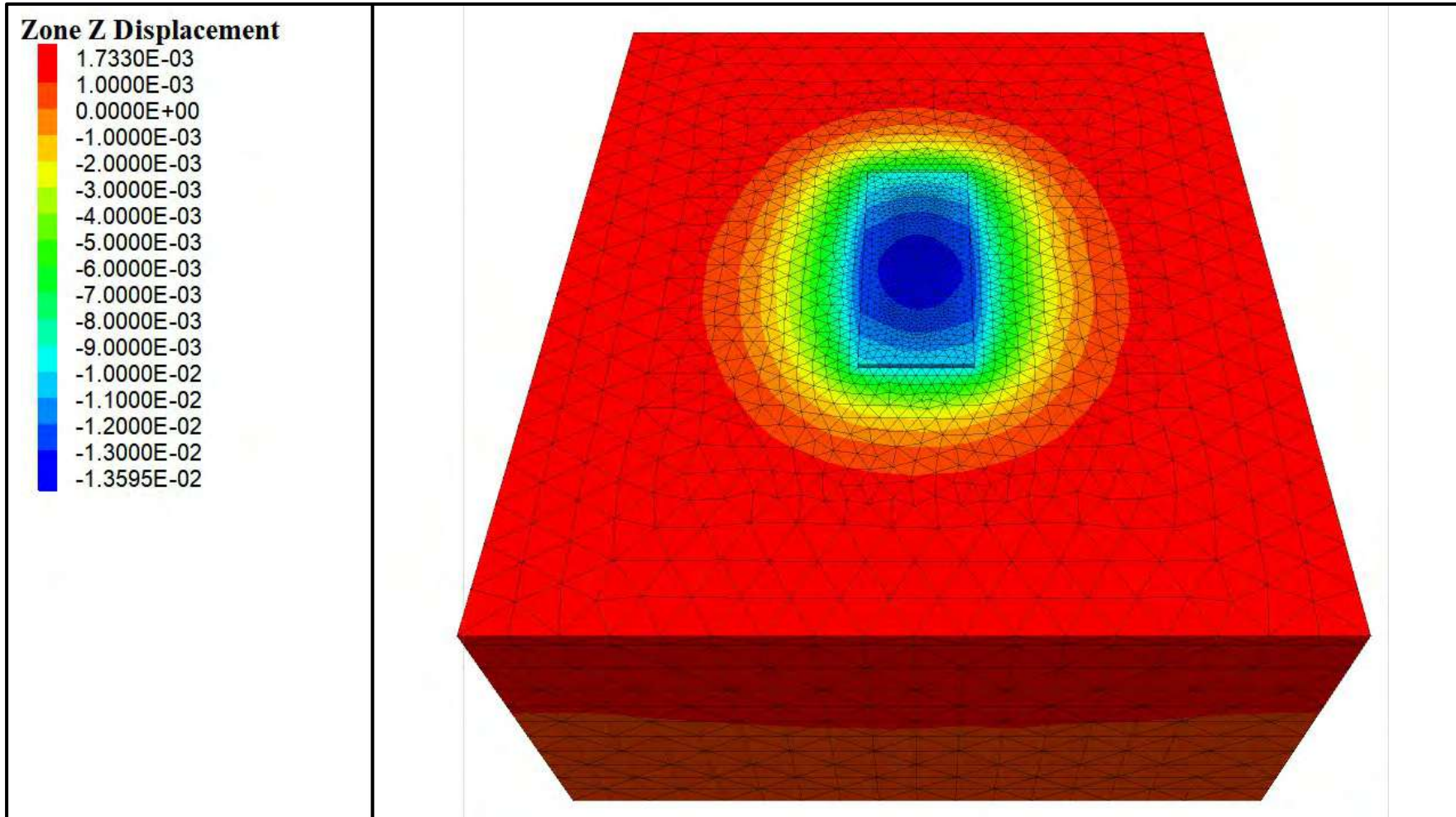
Recimentación de tanques de almacenamiento

Módulo 1



Recimentación de tanques de almacenamiento

Módulo 1



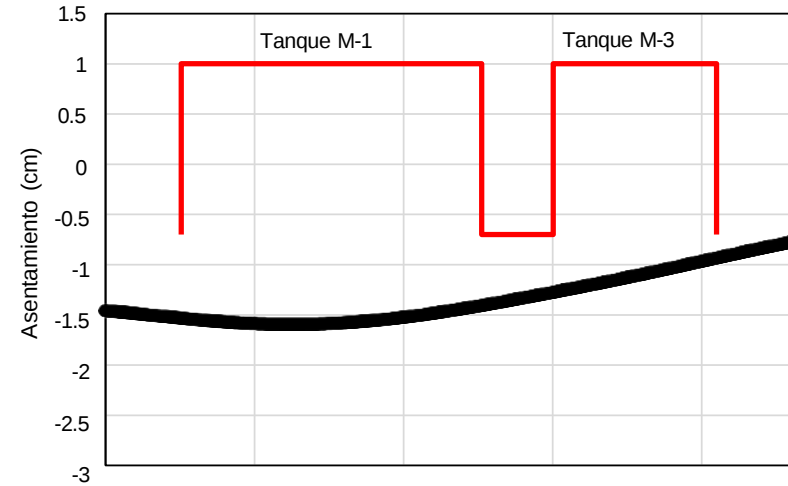
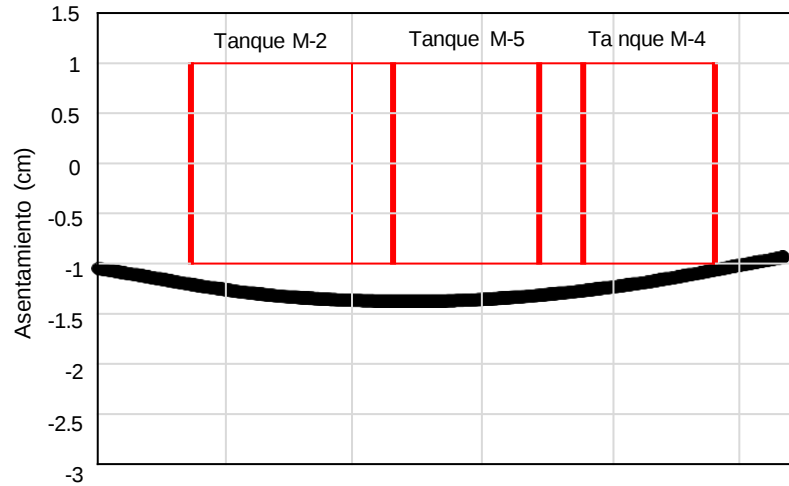
Recimentación de tanques de almacenamiento

La especificación de PEP determina que el asentamiento máximo permisible en la periferia de los tanques será de 30 cm

Modelo	Tanque	S_{total} (cm)	<30 cm
1	M-4	4.14	OK
	M-5	4.24	OK
	M-2	4.23	OK
2	M-1	4.31	OK
	M-3	4.05	OK

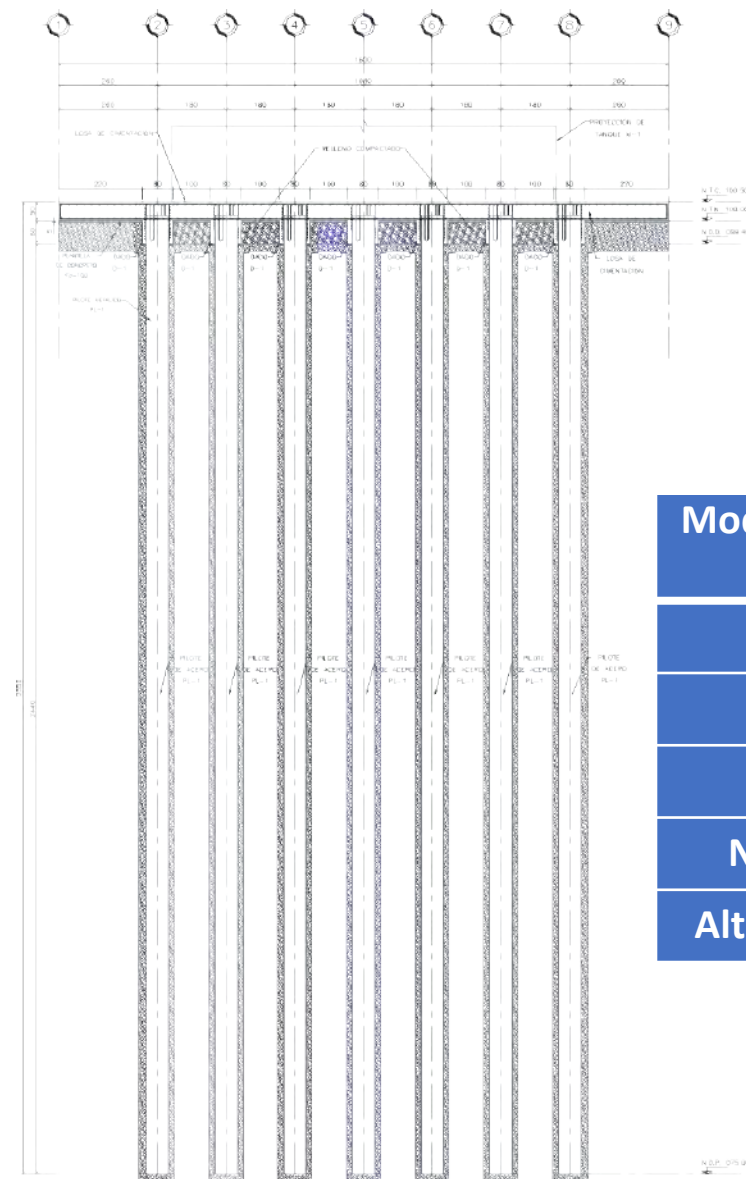
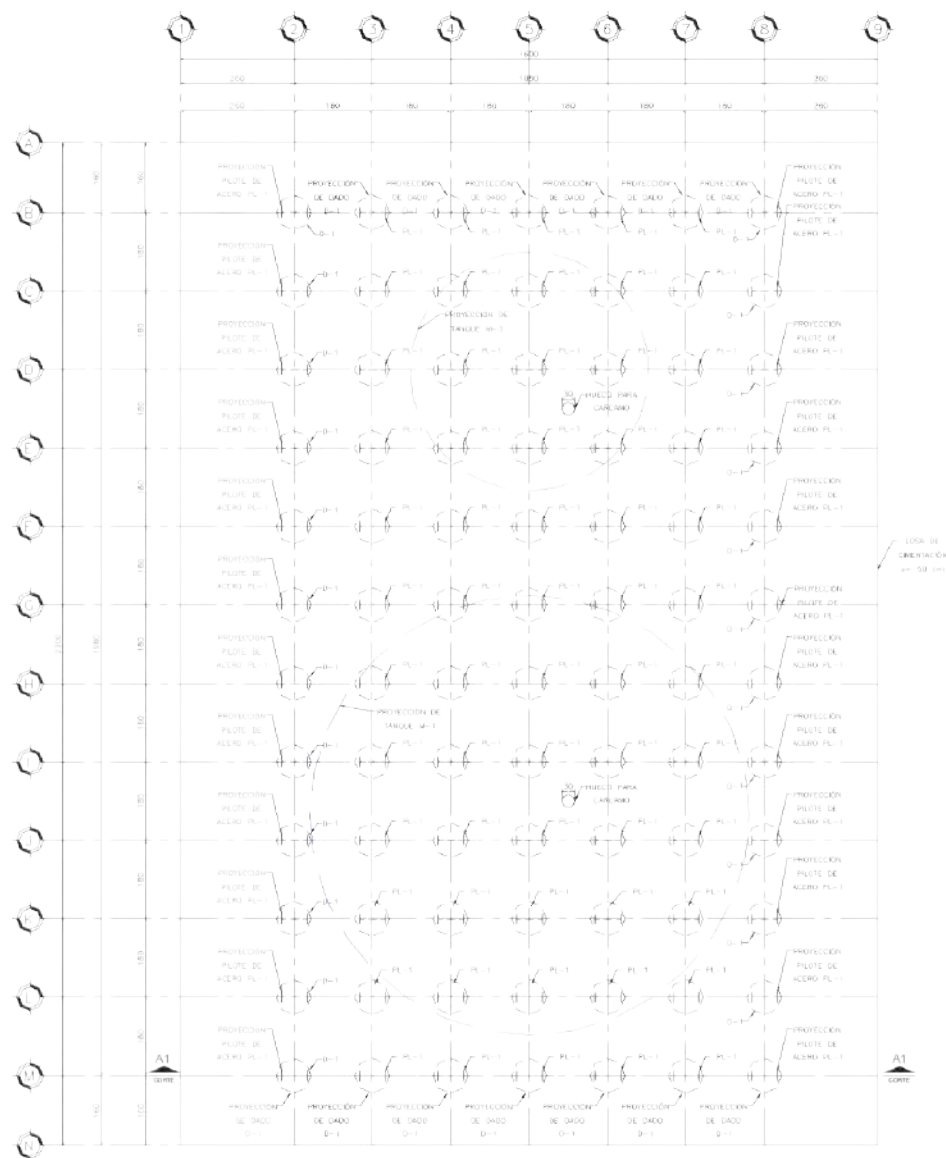
Recimentación de tanques de almacenamiento

La especificación de PEP determina que el asentamiento diferencial máximo permisible en la periferia de los tanques será de 5 cm por 10 m.



Modelo	Tanque	Diámetro	Asentamiento Diferencial máximo permisible	Asentamiento diferencial calculado
		(m)	(cm)	(cm)
1	M-4	5	2.5	0.19
	M-5	5.643	2.82	0.05
	M-2	6.197	3.1	0.15
2	M-1	10.085	5.04	0.34
	M-3	5.482	2.74	0.12

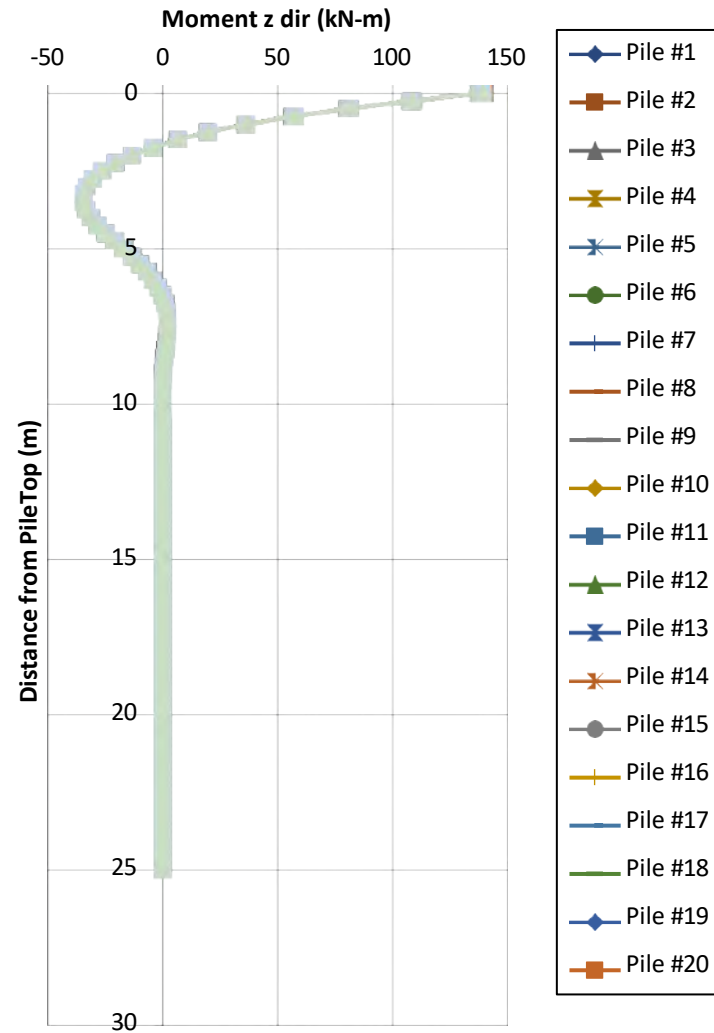
Recimentación de tanques de almacenamiento



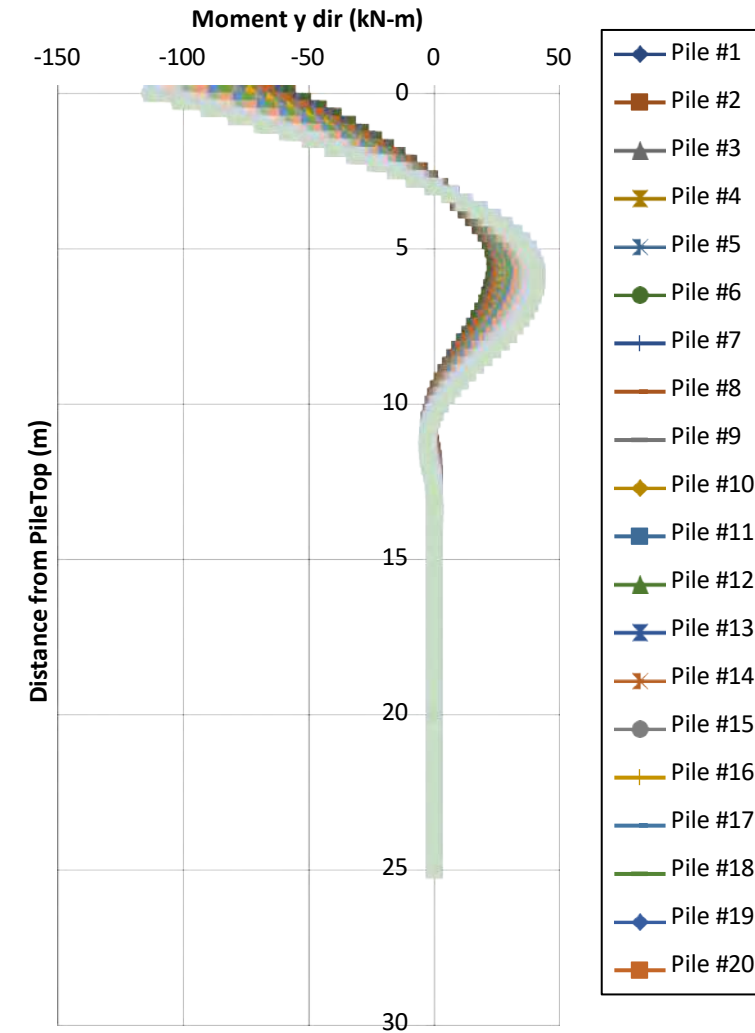
Modulo de Cimentación 1 (Tanque M-1 y M-3)

Ancho	16 m
Largo	23 m
Espesor	0.50 m
N. de Pilotes	84
Altura de pilotes	25.15 m

Recimentación de tanques de almacenamiento

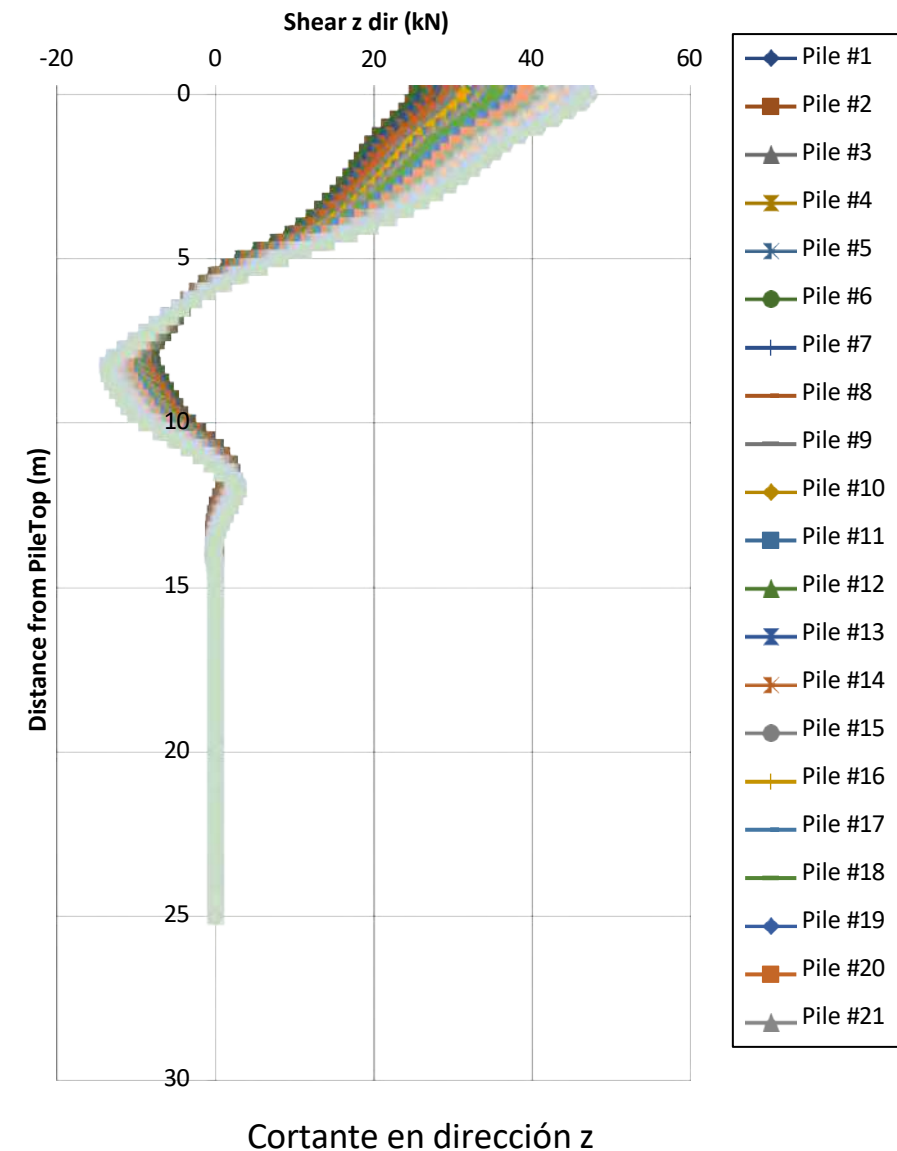
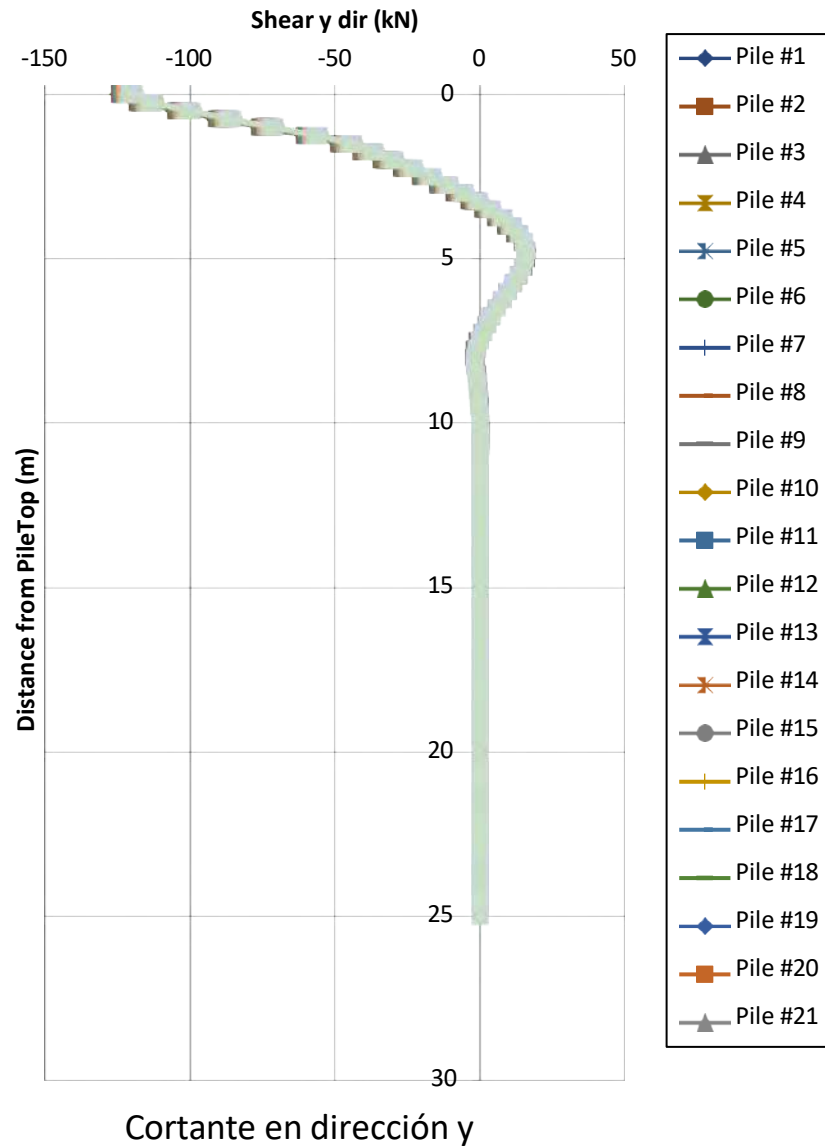


Momento alrededor del eje z

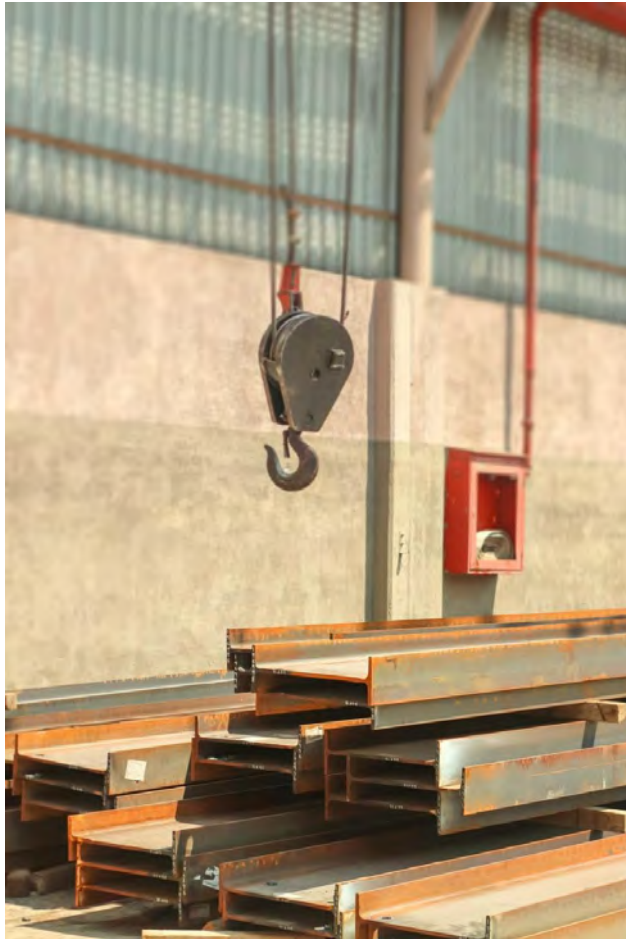


Momento alrededor del eje y

Recimentación de tanques de almacenamiento



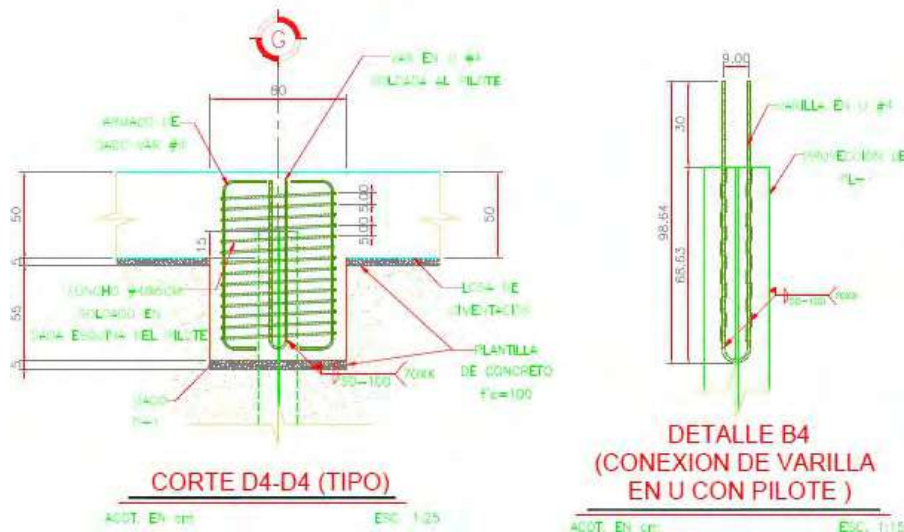
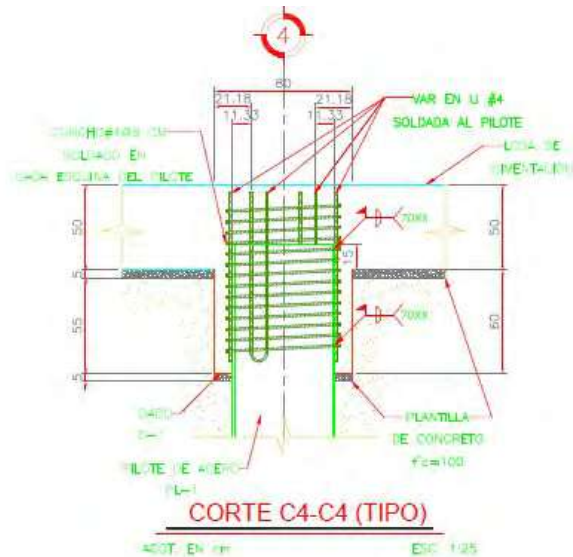
Recimentación de tanques de almacenamiento



Recimentación de tanques de almacenamiento



Recimentación de tanques de almacenamiento



Cimentación de un edificio en un sitio inmueble con fachada catalogada por INAH

El proyecto al que se refiere esta presentación es una edificación cimentada con pilotes de acero hincados con equipo de impacto pequeño debido a limitantes de espacio para los accesos por temas de la fachada histórica.



Cimentación de un edificio en un sitio inmueble con fachada catalogada por INAH

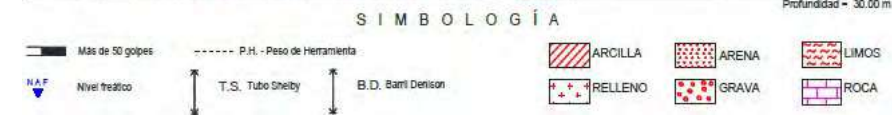
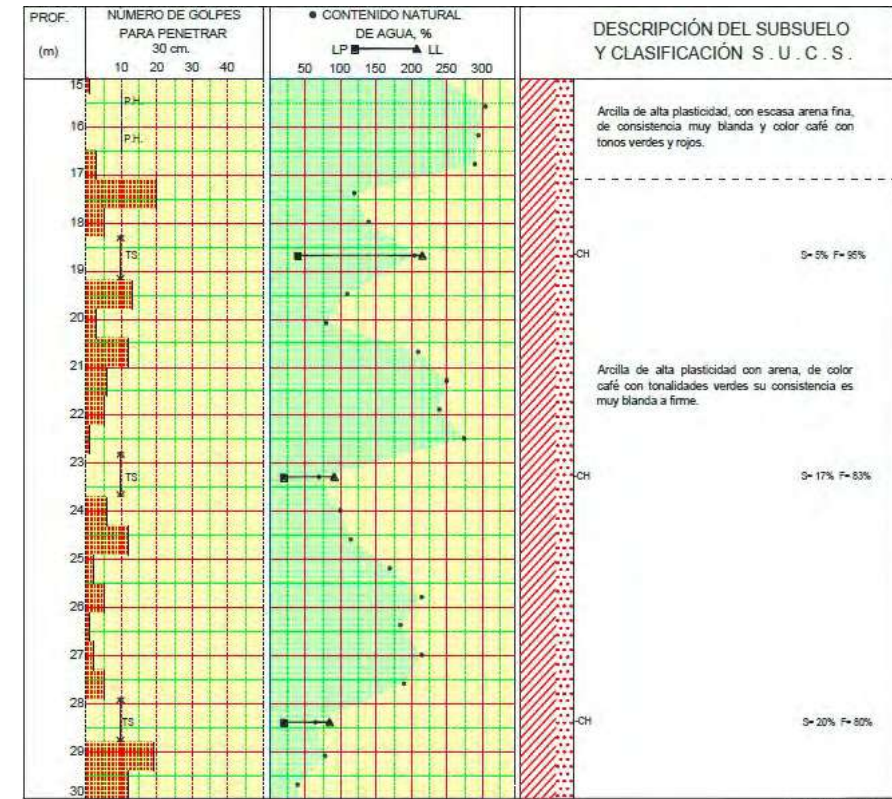
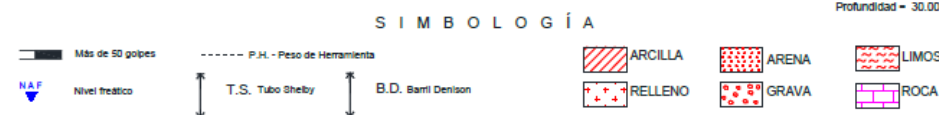
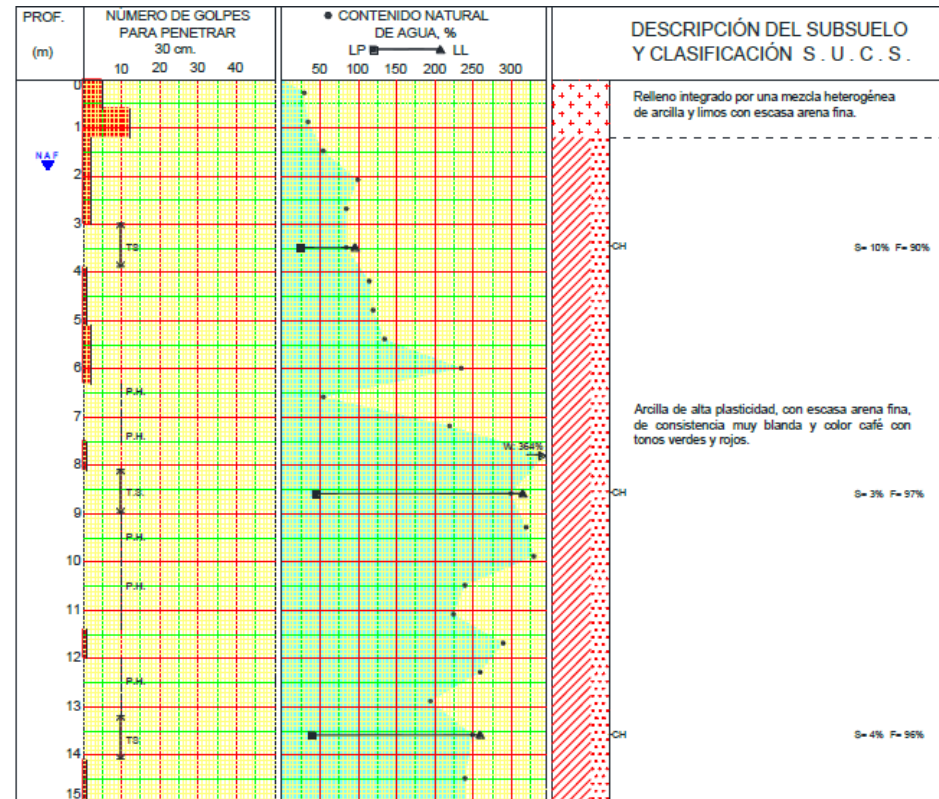
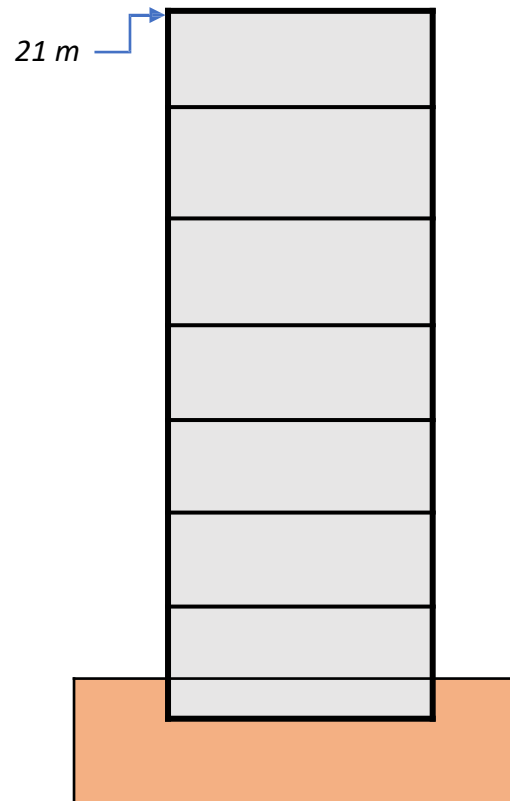
Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Altura del edificio 21 m

Área en planta: 210m²

Periodo del suelo, $T_s=1.86s$

Zona geotécnica: de Lago



Ejemplo de aplicación de simulación de ISE con pilotes de acero

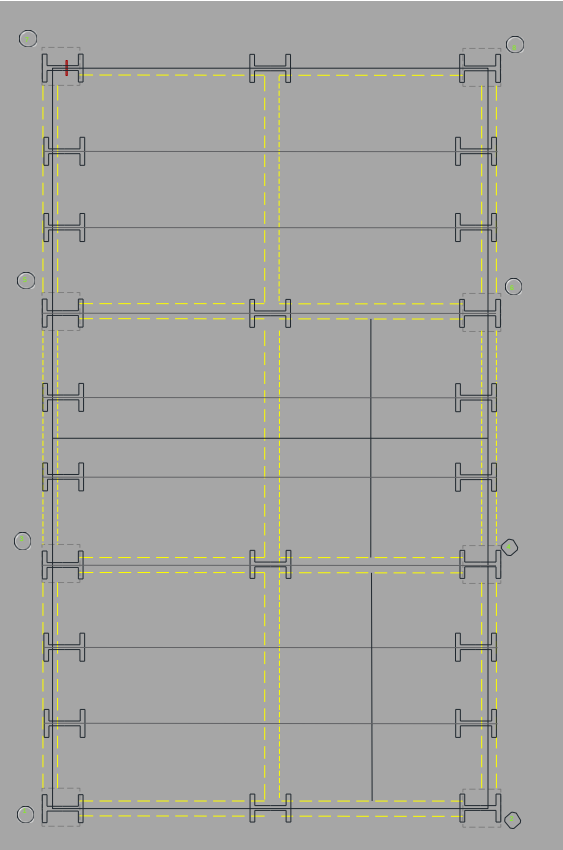
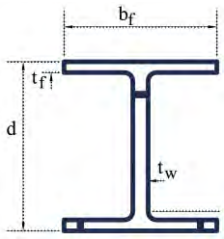
Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

De acuerdo con las cargas estructurales se requiere de 24 pilotes de acero IR desplantados a 21 m de profundidad

Parámetros de los pilotes

Material	d m	b _f m	A _p m2	γ [kPa]	E [kPa]
Pilotes.	0.599	0.178	0.01045	78.5	2.1E+08

d, peralte, b_f, ancho del patín, A_p, área transversal del pilote.
E, Módulo de elasticidad,



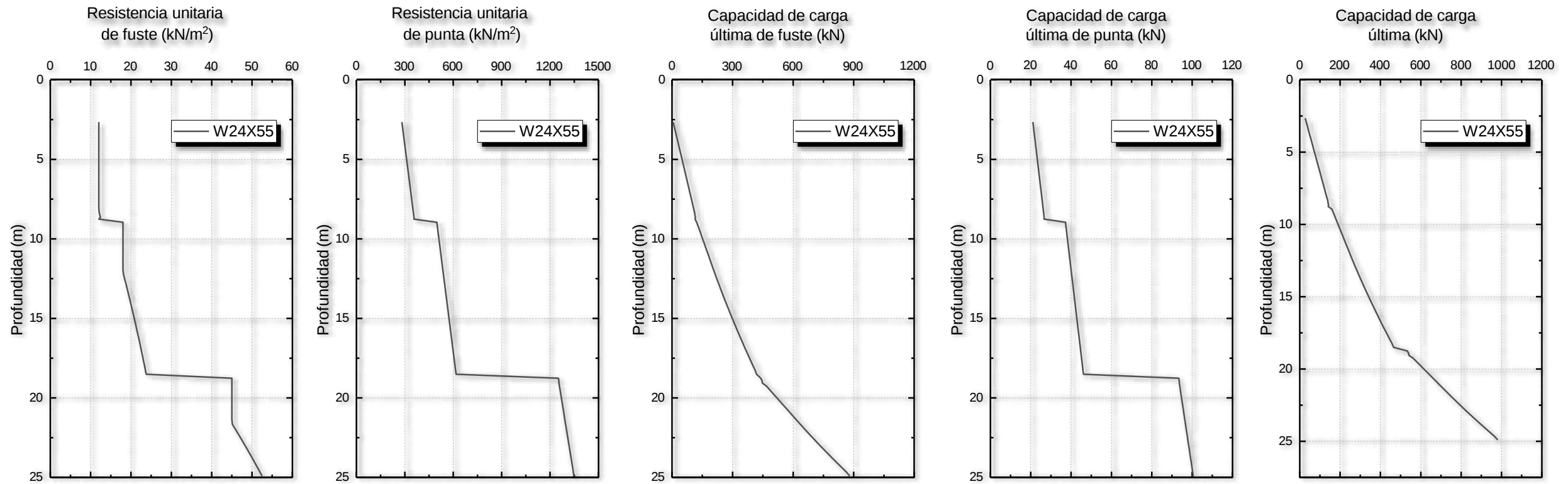
Geometría y Número de pilotes de acero, W24x55. de 21m de profundidad

Modelo Geotécnico

Profundida d m		Descripción	γ kN/m³	Su kPa	E MPa
0	8.5	Arcilla	12.5	40	2.94
8.5	11.5	Arcilla	12.5	40	3.67
11.5	18.5	Arcilla	12.5	60	3.67
18.5	21	Arcilla	15.8	60	3.67
21	30	Arcilla	15.8	150	6.47

Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

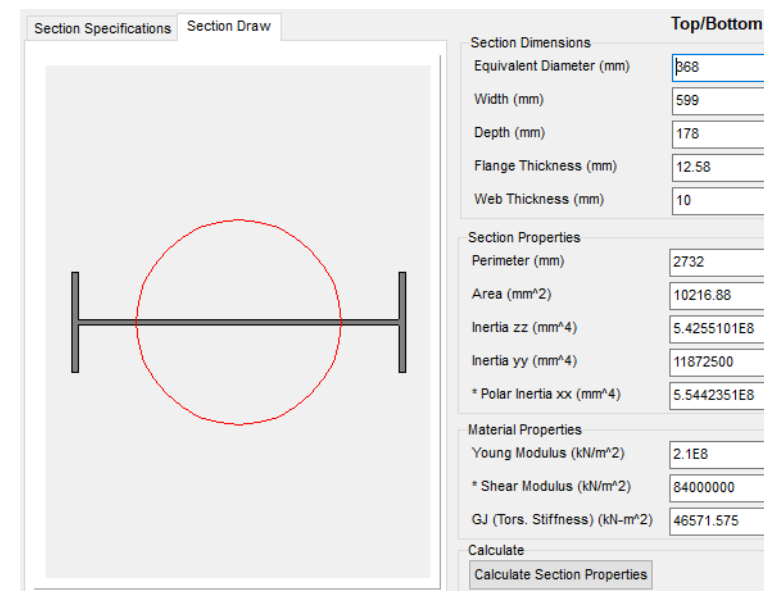
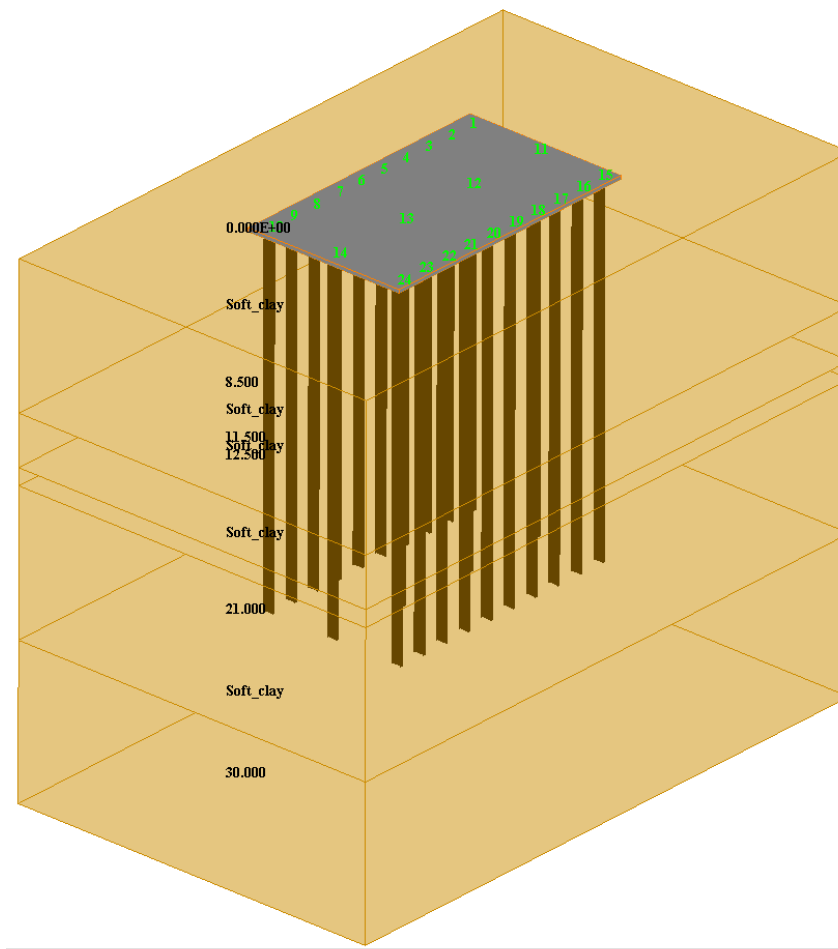
Resistencias unitarias y curvas de capacidad de carga



Resistencias unitarias y capacidad de carga última de los pilotes de acero W24x55

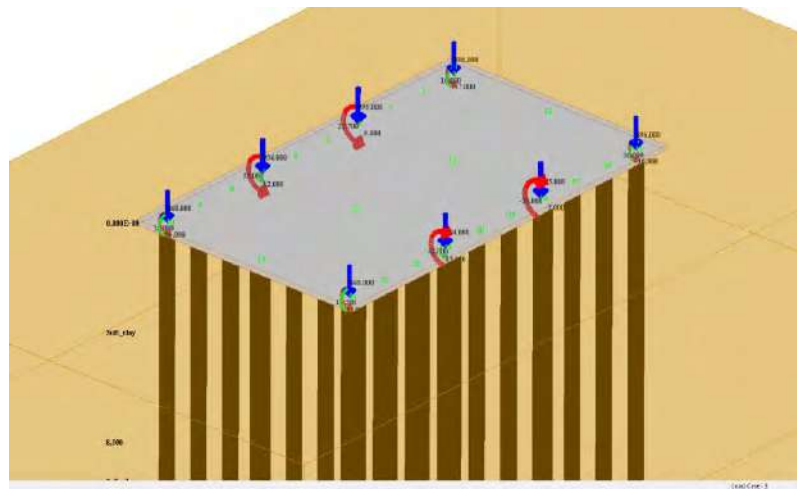
Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Modelo de Group 2019.11.1

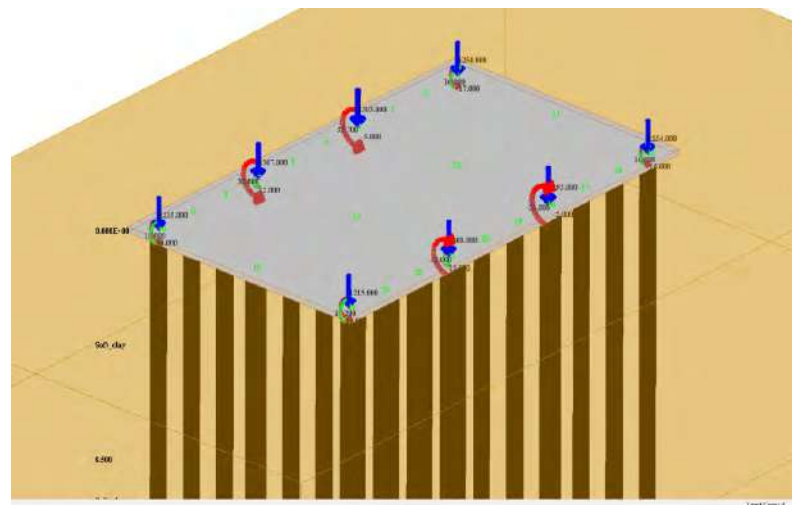


Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

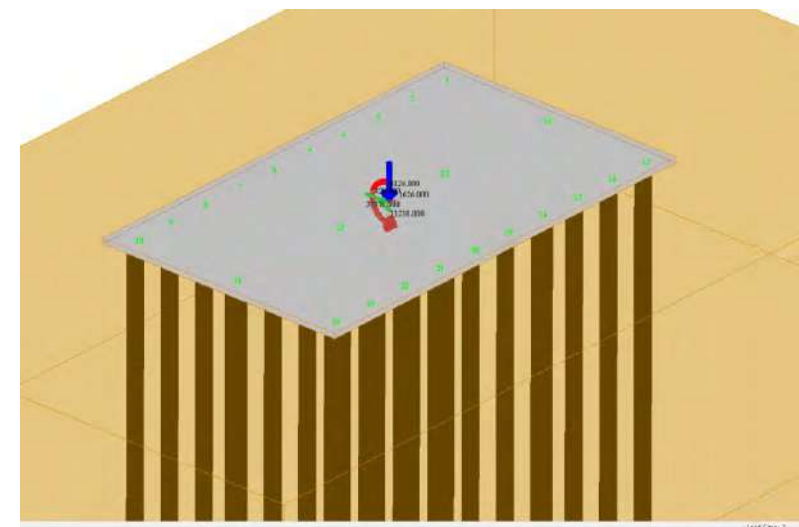
Modelo de Group 2019.11.1



Cargas de servicio



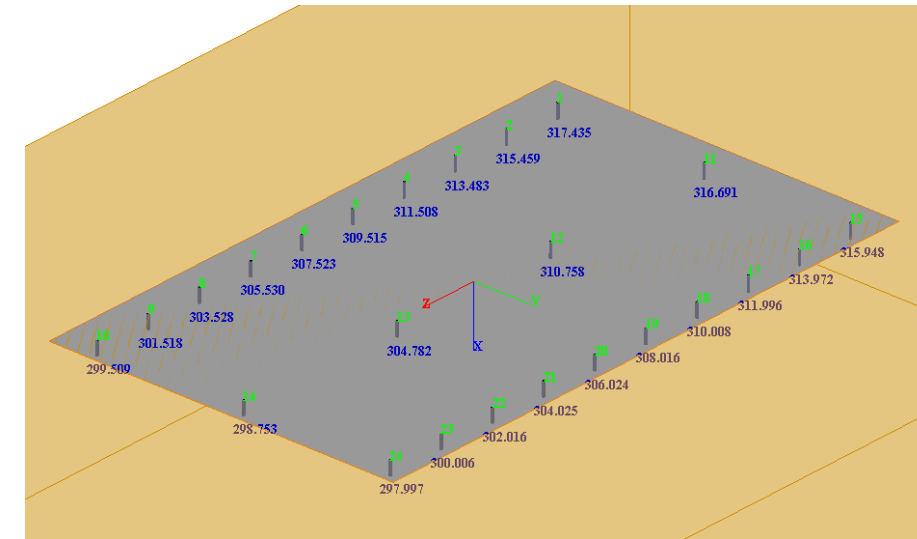
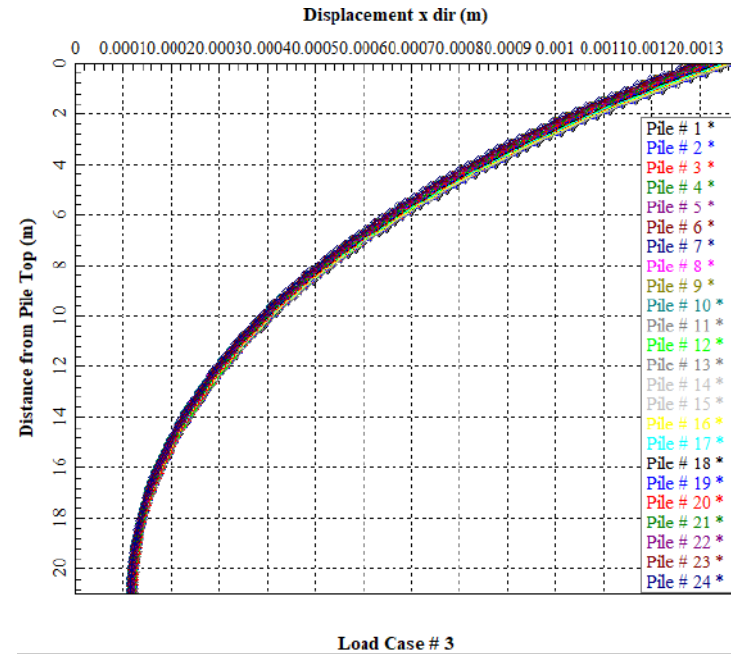
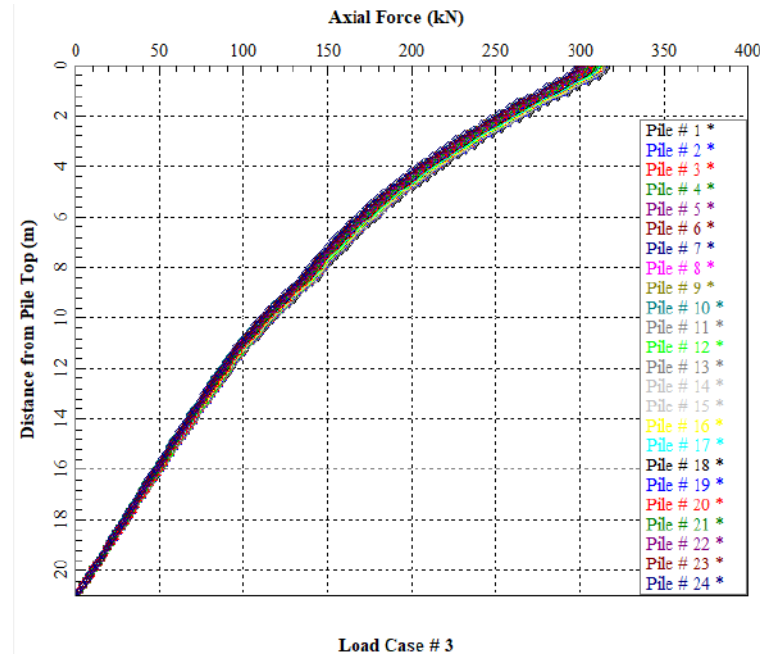
Cargas de colapso (estáticas)



Cargas sísmicas (1.0y+0.3z)

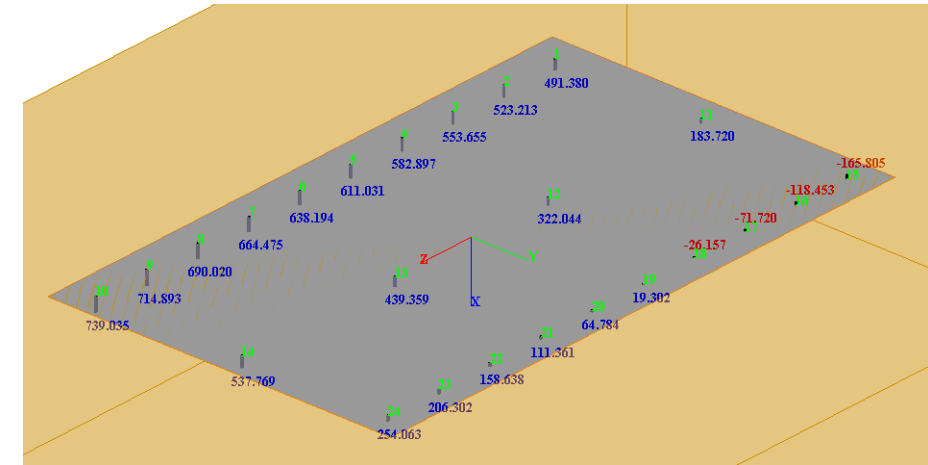
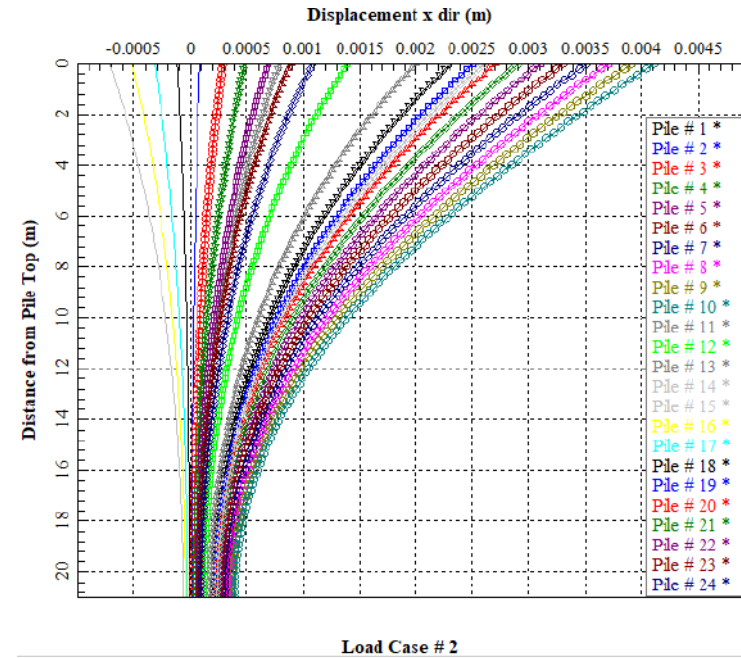
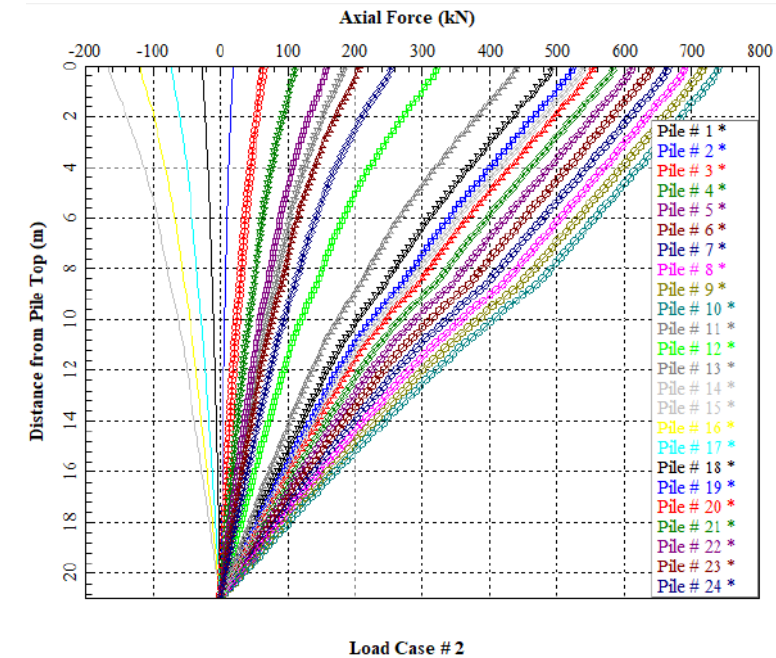
Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Cargas de servicio



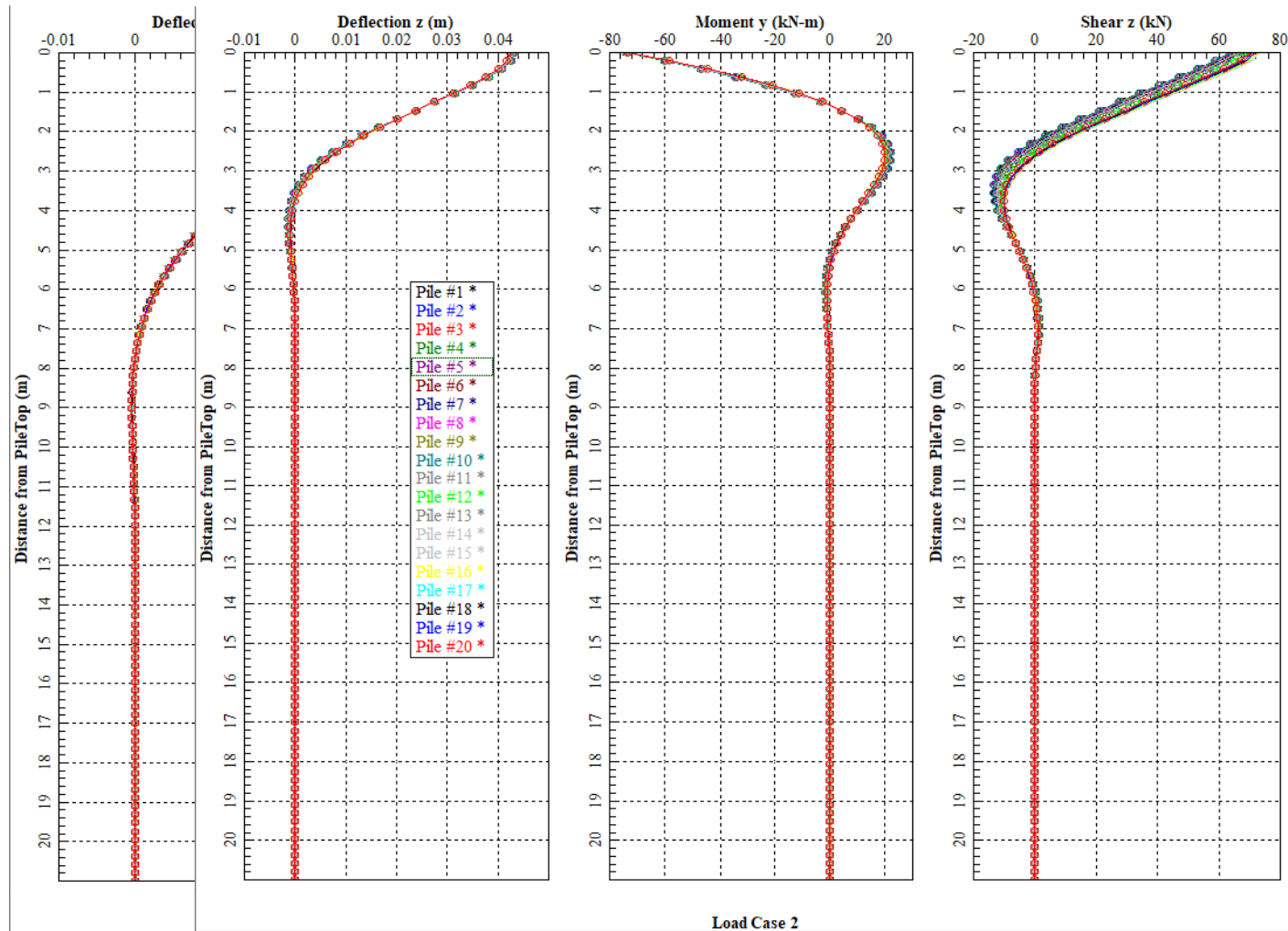
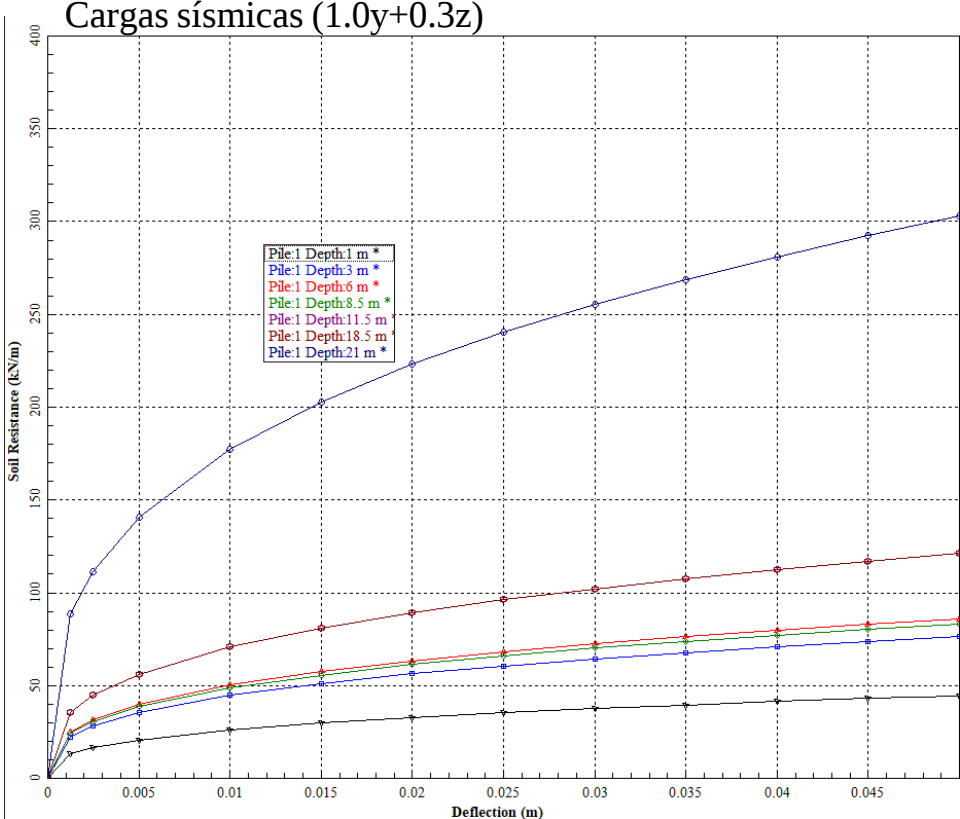
Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Cargas sísmicas (1.0y+0.3z)



Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

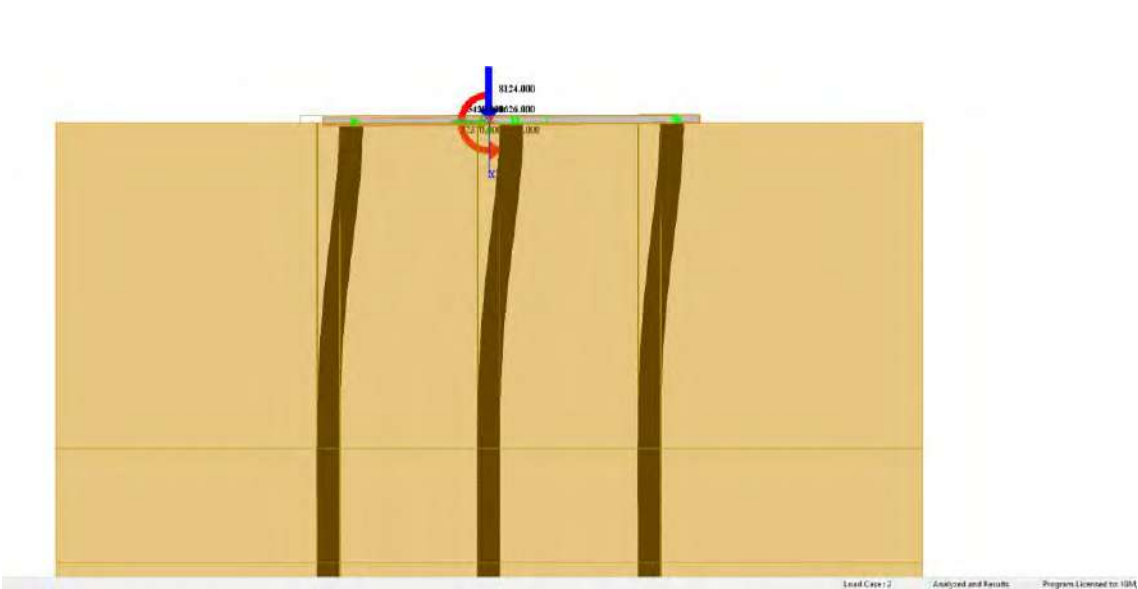
Cargas sísmicas (1.0y+0.3z)



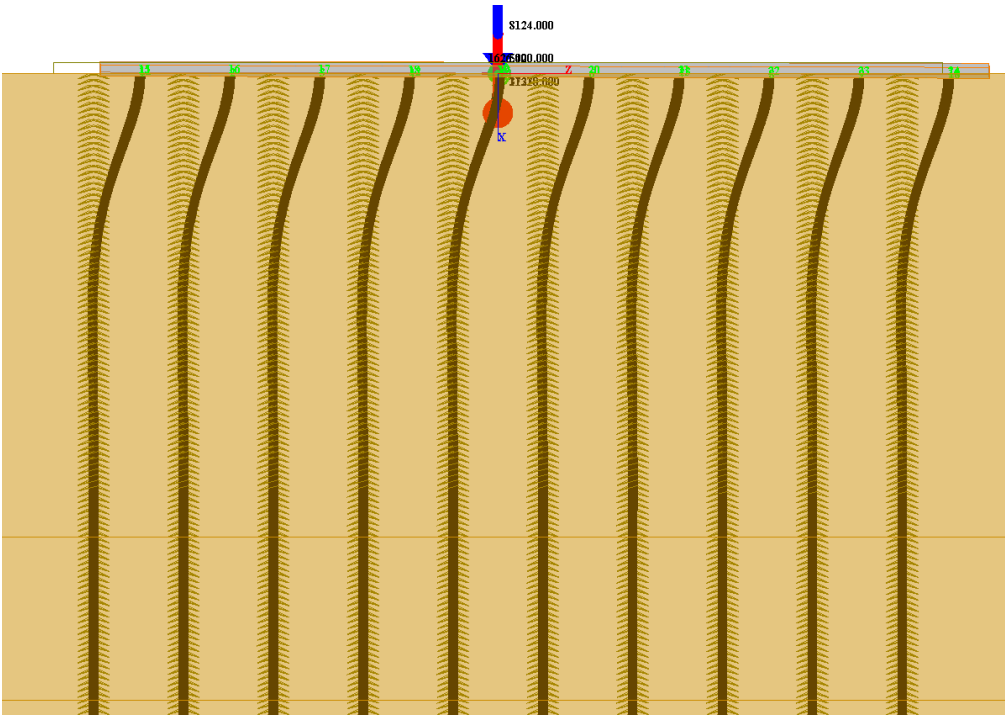
Load Case 2

Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Cargas sísmicas (1.0y+0.3z)



Plano y=0

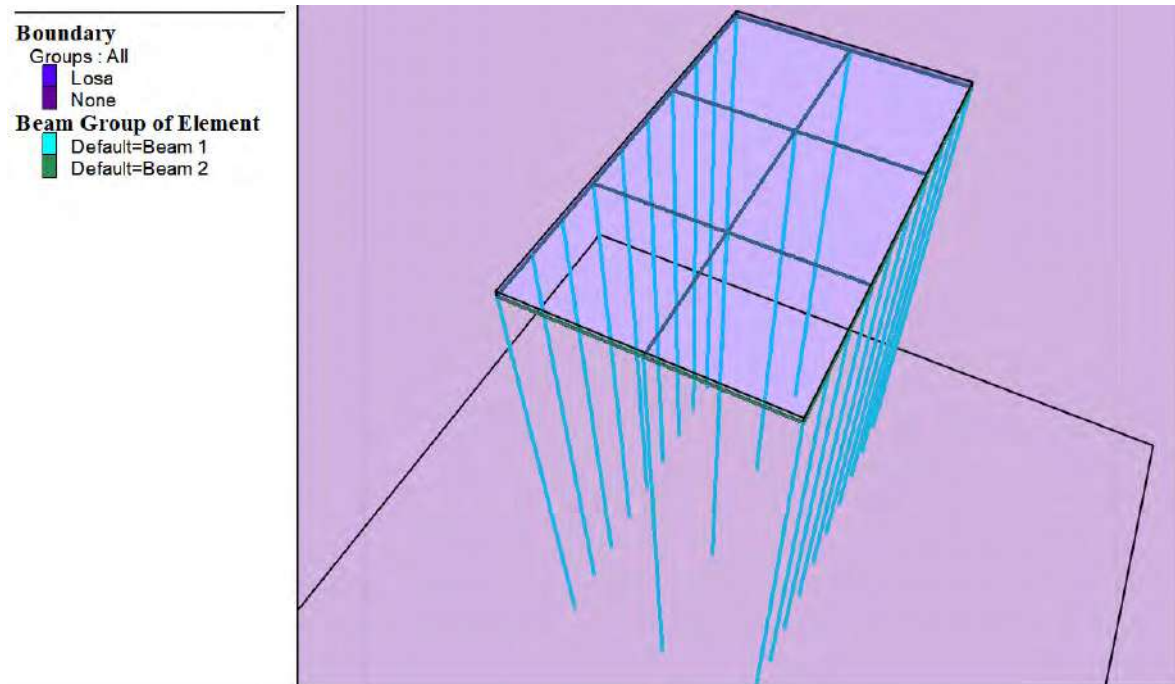


Plano z=0

Pilotes deformados (Escala: 20)

Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

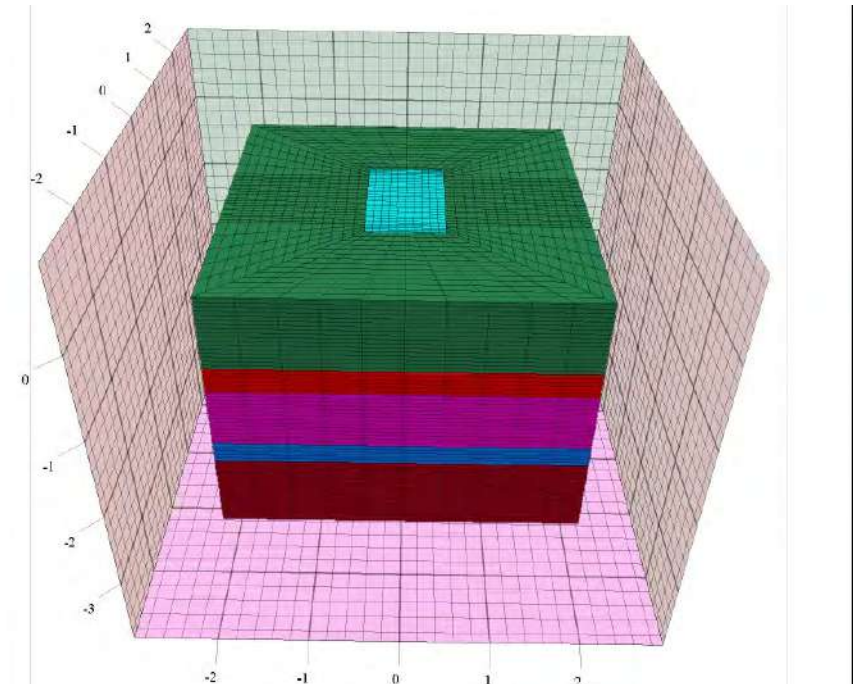
Modelo numérico 3D de ISE



Zone Group Slot Extrusion
Losa-Suelo
S1
S2
S3
S4
S5

Scalebox
X
Y
Z

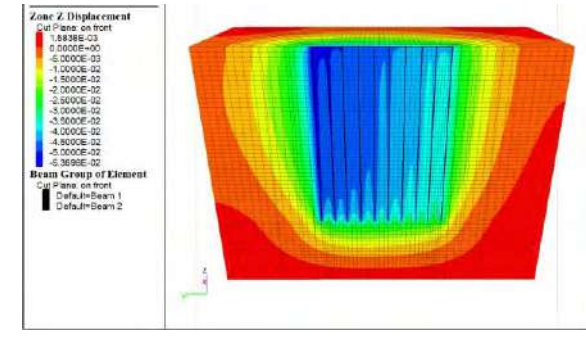
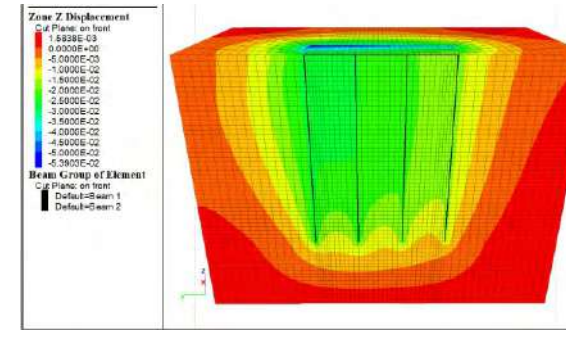
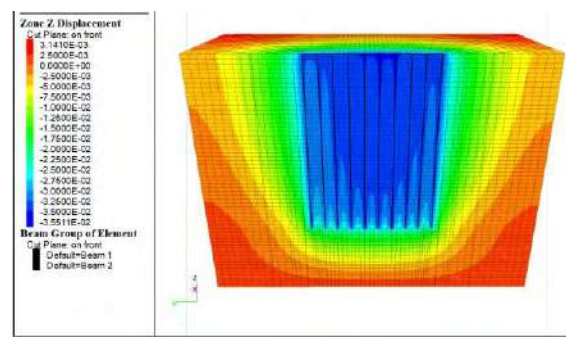
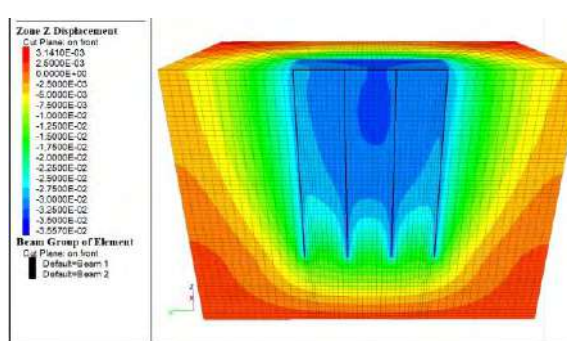
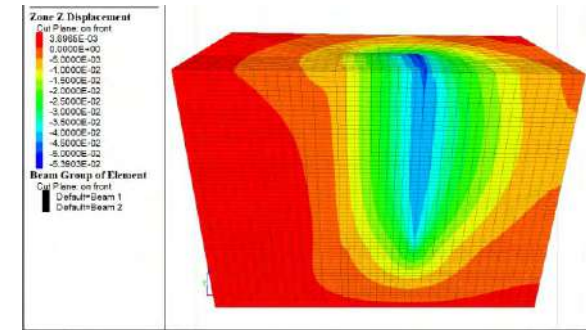
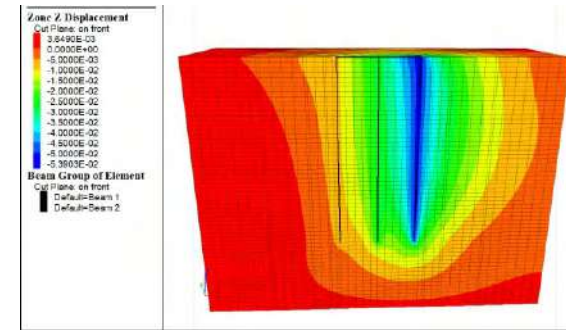
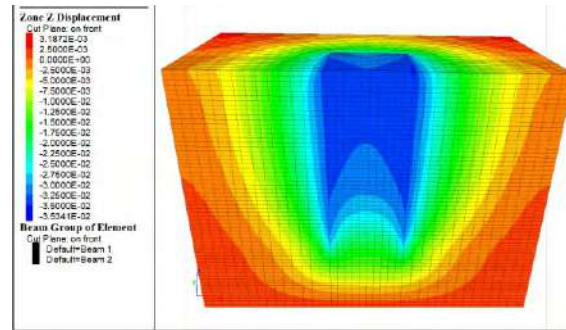
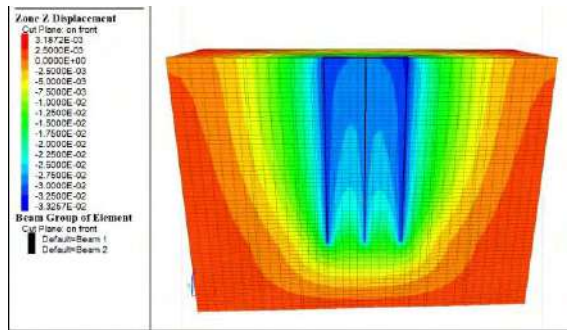
Major Scale = 10
Minor Scale = 2
Exponent Multiplier = 1
X = -29.1833 to 29.1833
Y = -29.1833 to 29.1833
Z = -39.1833 to 9.38333



Modelo de diferencias finitas 3D

Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Modelo numérico 3D de ISE



Cargas estáticas

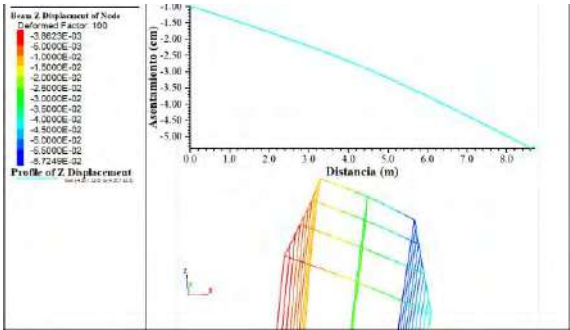
Cargas sísmicas

Modelo de diferencias finitas 3D

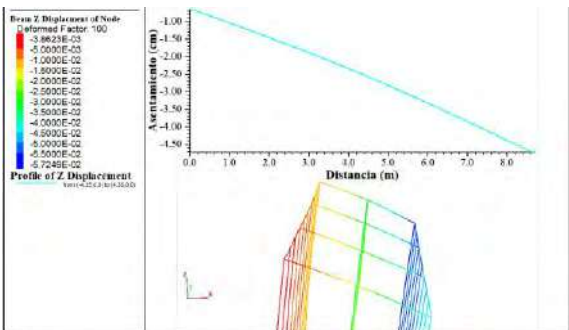
Ejemplo de aplicación de simulación de ISE con pilotes de acero

Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

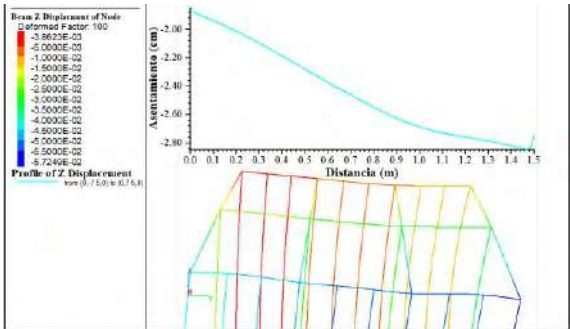
Modelo numérico 3D de ISE



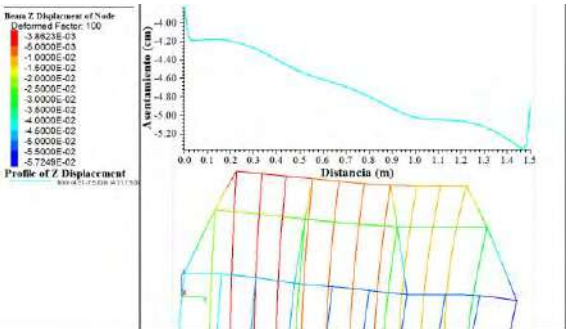
Corte A



Corte B



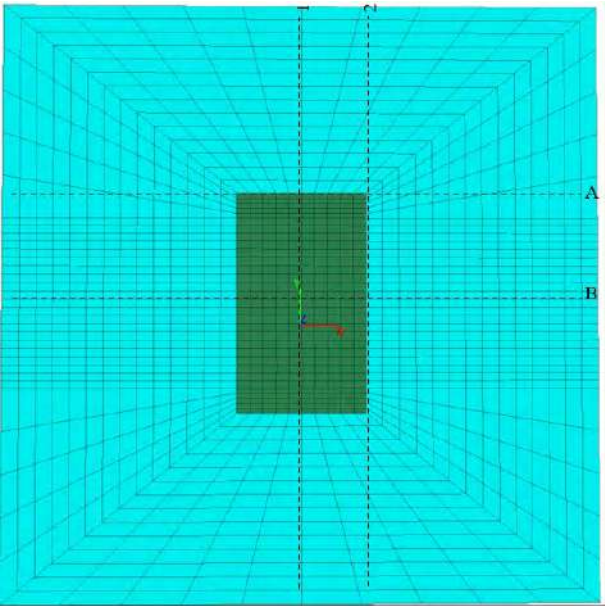
Corte 1



Corte 2

Cargas sísmicas

Modelo de diferencias finitas 3D

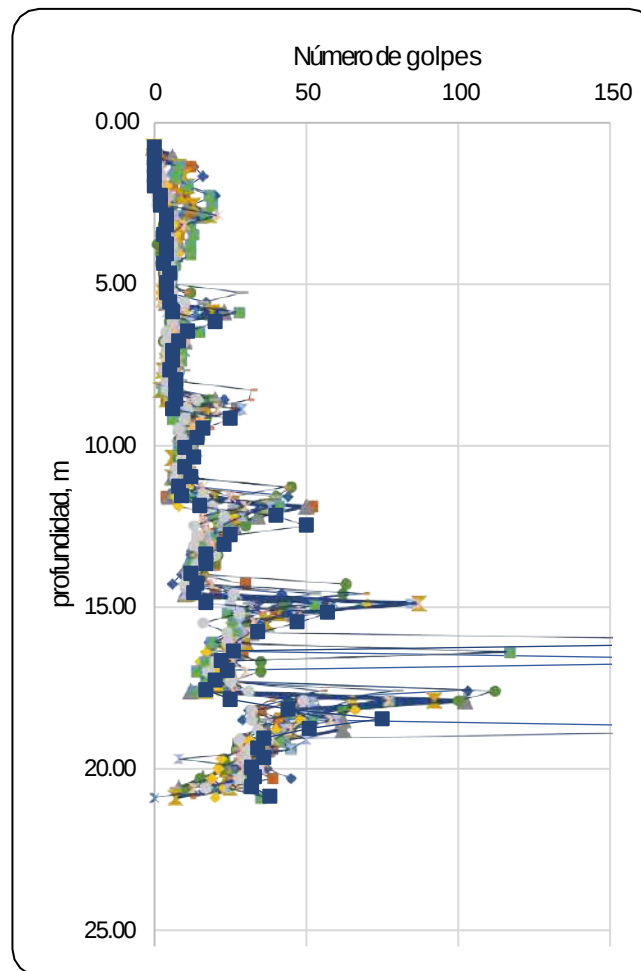


Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México



Edificio de 7 niveles en la Ciudad de México

Construcción de los pilotes y avance de obra



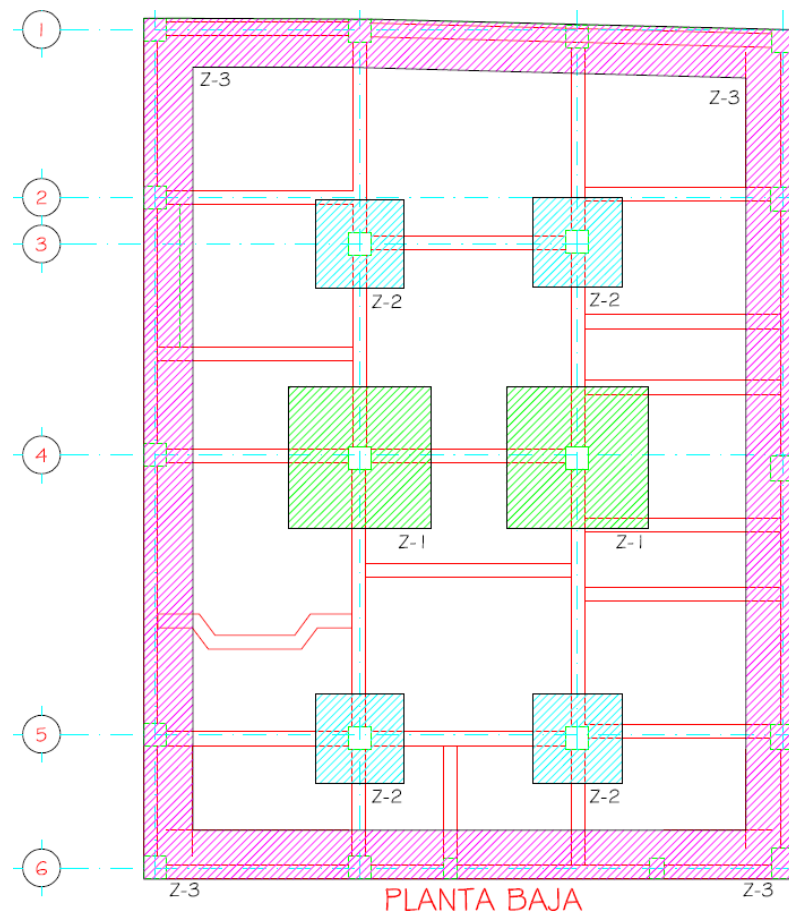
Recimentación de un edificio del sector industria

Estructura de dos niveles al cual se le agregan dos niveles más para albergar tanques que procesan resina.

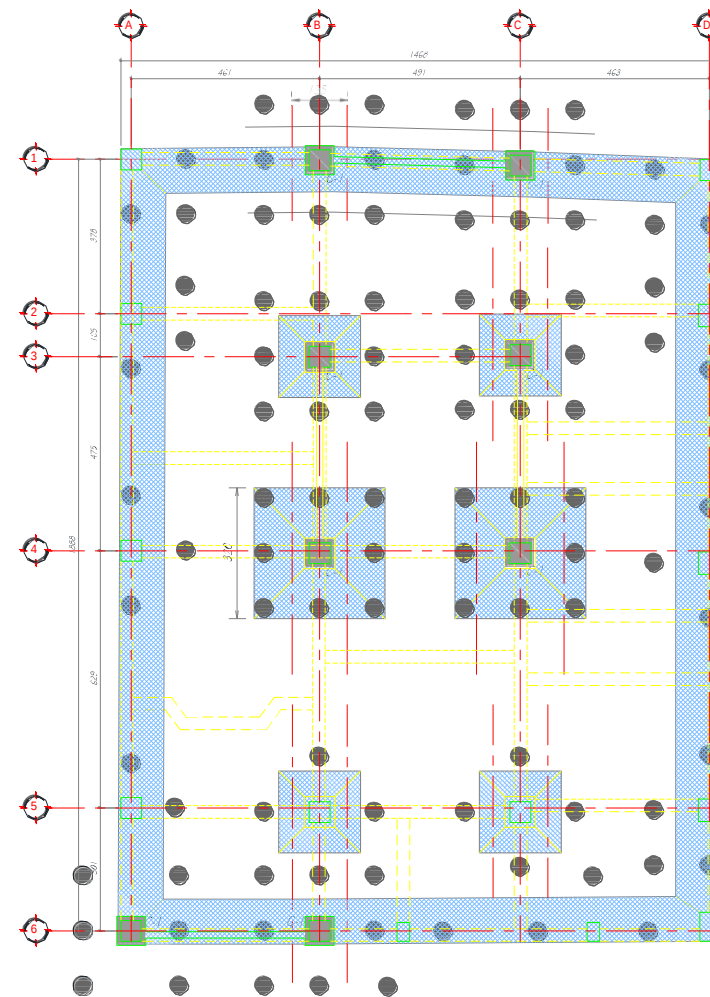
La recimentación incluye pilotes de acero en las zapatas de apoyo del edificio.



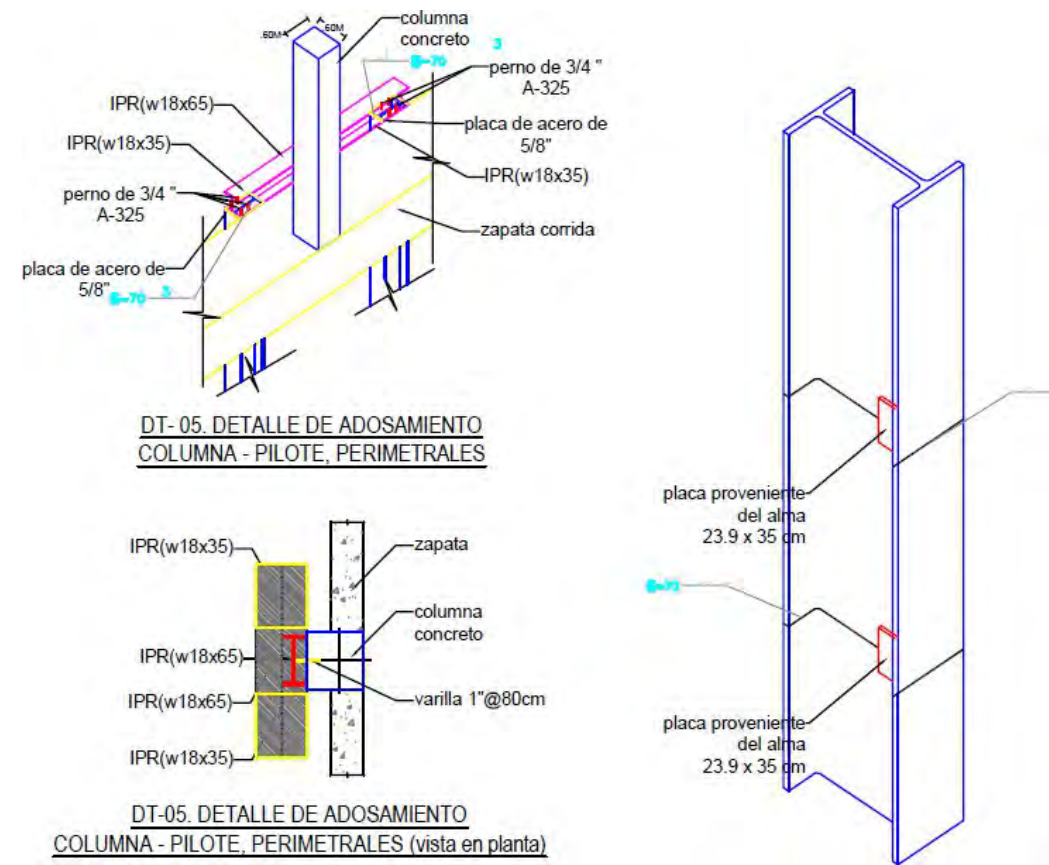
Recimentación de un edificio del sector industria



 ZAPATA CENTRAL Z-1



Recimentación de un edificio del sector industria



¡GRACIAS!