

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLAN**

**Análisis de las causas del asentamiento diferencial y propuesta de la corrección
geométrica del edificio de la CTM ubicada en Ignacio L. Vallarta No. 8, Col. Tabacalera,
Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL**

PRESENTA

GILBERTO BARRERA VILLAGRÁN

ASESOR

ING. CELSO BARRERA CHÁVEZ

ENERO 2017

SANTA CRUZ ACATLÁN, NAUCALPAN, EDO. DE MÉXICO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado

Presidente: Ing. Juan Víctor Padilla Correa.

Vocal: Ing. Celso Barrera Chávez.

Secretario: Ing. Marco Antonio Ruiz Gonzales.

Suplente 1: Mtra. María Luisa Jiménez Jiménez.

Suplente 2: Dr. Ricardo Ortiz Hermosillo.

TUTOR DE TRABAJO PROFESIONAL

ING. CELSO BARRERA CHÁVEZ

Dedicatorias

A mi asesor el Ing. Celso Barrera Chávez por compartir parte de su tiempo y dedicación a la investigación.

A la constructora EXCOGE por formar parte de ella durante mi formación profesional.

Al Dr. Arturo Granados por la oportunidad de trabajar por primera vez en una obra como fue la nivelación geométrica del edificio de la CTM.

Al Ing. Felipe Vega González, por la oportunidad de seguir con mi desarrollo profesional y pertenecer de su equipo de trabajo en el desarrollo de México.

Agradecimientos

En el presente trabajo quiero agradecer primeramente a Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad de ser parte de esta institución y por darme la oportunidad de estudiar para ser un profesional.

Agradezco a mi Madre María de la Luz Villagrán Callejas; por su gran esfuerzo y desvelos. Por haberme apoyado en mi vida como estudiante y por inculcarme ser una persona responsable.

A mi esposa Patricia Deciga Cortes, que siempre ha estado brindándome su apoyo y cariño e impulsándome en terminar la investigación de la tesina.

A mi hijo Gilberto Por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

Tabla de contenido

<i>Jurado asignado</i>	<i>I</i>
<i>Dedicatorias</i>	<i>II</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>III</i>
<i>Tabla de contenido</i>	<i>IV</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>VIII</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>IX</i>
<i>Introducción</i>	<i>1</i>
<i>Planteamiento del problema</i>	<i>2</i>
<i>Objetivo general</i>	<i>3</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>3</i>
<i>CAPITULO 1. Revisión geotécnica del edificio</i>	<i>4</i>
1.1 Historia de cargas	4
1.2 Diseño original de la cimentación de la CTM	4
1.3 Asentamiento diferencial del edificio	6
1.3.1 Hundimiento regional diferencial	6
1.3.2 Sobrecargas adicionales:	8
1.4 Inspección geotécnica	8
<i>Capítulo 2. Condición actual del predio</i>	<i>10</i>
2.1 Características del edificio	10
2.2 Evolución de los espectros de diseño por sismo desde su construcción	10
2.3 Exploración e instrumentación geotécnica	13
2.4 Interpretación estratigráfica	15
2.5 Condiciones piezométricas	17

2.6	Nivelaciones topográficas	19
2.6.1	Nivelación sótano 2	20
2.6.2	Nivelación de losas de entrepisos	20
2.7	Inspección de sótano 2 y celdas de cimentación	21
2.8	Condición actual de la cimentación	22
2.8.1	Inspección visual del perímetro del edificio	23
2.8.2	Nivelaciones Topográficas.....	23
2.8.3	Inspección de celda de cimentación	24
2.8.4	Pilotes de Madera	24
2.8.5	Pilotes de concreto reforzado	24
Capítulo 3. Revisión geotécnica de la cimentación		25
3.1	Condiciones geotécnicas de la cimentación.	25
3.1.1	Cargas y datos del proyecto.	27
3.1.2	Coeficiente sísmico.....	28
3.2	Análisis de estabilidad	28
3.2.1	Excentricidades	28
3.2.2	Análisis de estabilidad	29
3.2.3	Presión de compensación	29
3.2.4	Presión Neta	30
3.2.5	Capacidad de carga Admisible.....	30
3.2.6	Momento de volteo sísmico.....	31
3.2.7	Instrumento de esfuerzos sísmicos	31
3.2.8	Factor de seguridad en condición sísmica.....	31
3.2.9	Giro máximo de la cimentación	32
3.3	Asentamientos	33
3.4	Módulo de reacción vertical (K_v).....	33
Capítulo 4. Aspectos Reglamentarios.....		34
4.1	Artículo 139 (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RDF-2004)	34
4.1.1	Grupo A	34
4.1.2	Grupo B	34

4.1.3	Subgrupo B1	34
4.1.4	Artículo 232 (Manual de diseño por Sismo RDF 1977)	35
4.2	Artículo 1.10 (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RDF-2004)	36
4.3	Artículo 3 (Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones del RDF-2004) (DDF, 2004)	36
4.3.1	Revisión de los hundimientos	38
4.4	Artículo 177	39
4.5	Artículo 6 Condiciones de regularidad (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo del RDF-2004) (DDF, 2004).....	41
4.6	Cargas reglamentarias y cargas existentes Reglamento 1977	42
4.7	Reglamento para Construcciones del Distrito Federal 2004 Cargas Vivas	43
Capítulo 5. Alternativas para corregir la excentricidad estática del edificio		45
5.1	Opción para corregir la inclinación del edificio.....	45
5.2	Bombeo	45
5.3	Reubicación y colocación del lastre seleccionado.....	46
5.4	Subexcavación del edificio	47
5.5	Técnicas geofísicas para determinar la posición y longitud de pilotes	48
5.6	Descabece de pilotes de madera y de concreto.....	48
5.7	Restitución de la masa de suelo con lodo fraguante.....	49
5.8	Tapado y sellado de lumbreras y pozos de bombeo	49
5.9	Monitoreo topográfico	49
Conclusiones.....		50
Bibliografía.....		53
Anexo I. Memoria fotográfica		54
Anexo II. Planos		70

Anexo III. Sondeos.....87

Anexo IV. Ensayes de laboratorio102

Anexo V. Nivelaciones topográficas114

Índice de tablas

Tabla 1 Estructuración del edificio	10
Tabla 2 Espectros para diseño por sismo de 1977 y del 2004.....	12
Tabla 3 Sismo registrado de la República Mexicana	13
Tabla 4 Muestreo inalterado	14
Tabla 5 Estación piezométrica.....	15
Tabla 6 Piezometría del sitio	18
Tabla 7 Comportamiento de la cimentación y acciones para garantizar su seguridad y buen funcionamiento.....	26
Tabla 8 Cargas reales del edificio CTM.....	28
Tabla 9 Parámetro de diseño entre el grupo A y B	35
Tabla 10 Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación ...	36
Tabla 11 Inclinación permisible de la CTM	37
Tabla 12 Registro de niveles en columnas y losa del sótano 2.....	39
Tabla 13 Carga reglamentaria y cargas existentes reglamento 1977	43
Tabla 14 Cargas vivas.....	44
Tabla 15 Acotaciones.....	44
Tabla 16 Alternativas para corregir la excentricidad estática	47

Índice de figuras

Figura 1 Estructura anteriores al edificio de la CTM5

Figura 2 Hundimiento regional de la Ciudad de México Periodo 1998-2002 (laboratorio de geoinformática, instituto de ingeniería UNAM).....7

Figura 3 Zonificación geotécnica de la ciudad de México por (Holguín et al., 2003) 11

Figura 4 Velocidad de inclinación del edificio con el tiempo23

**Análisis de las causas del asentamiento diferencial y propuesta de la corrección
geométrica del edificio de la CTM ubicada en Ignacio L. Vallarta No. 8, Col. Tabacalera,
Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México**

Introducción

El edificio de la Confederación de Trabajadores de México (CTM) se localiza en la calle de Ignacio L. Vallarta no.8, Colonia Tabacalera en la ciudad de México se encuentra apoyado sobre un terreno que ha sido ocupado anteriormente por diversas estructuras, con diferentes cargas y número de niveles, por lo que la masa de suelo bajo la cimentación del edificio actual, cuenta con una condición de preconsolidación diferencial. Además, se menciona la existencia de pilotes de madera en la zona comprendida entre los ejes 1 a 5 y entre los ejes "D" y "G", que formaban la cimentación de una torre de 10 niveles y del teatro del Músico, localizados en la zona norponiente del actual edificio.

Desde la construcción del edificio ha presentado hundimientos diferenciales del lado sur, teniendo una resultante de diferencial máximo en la esquina suroriente, situación que deriva problemas de fisuramiento en elementos estructurales visibles principalmente en el firme, losas, trabes y columnas del sótano, así como la aparición en la zona norponiente respecto al resto del edificio se han encontrado fisuras paralelas a la calle Vallarta en donde se encuentra ubicado el inmueble. Ante tal problemática, un equipo de Ingenieros determinó el modelo estratigráfico del sitio que en conjunto con la información estructural y geotécnica de la cimentación del edificio y sus cargas reales determinó las acciones para garantizar la seguridad de su cimentación y corregir el desplome.

El presente trabajo tiene como objetivo de identificar las causas que han generado el asentamiento diferencial y a su vez dar a conocer algunas alternativas para la restauración y uniformizar el estado de deformabilidad del suelo y lograr corregir el desplome del predio.

Planteamiento del problema

Desde la construcción del edificio de la CTM se han presentado diversos asentamientos diferenciales generando un desplome en sus direcciones Sur y Oriente, por lo que se propone realizar diferentes inspecciones geotécnicas de la cimentación del inmueble así como las revisiones de la cimentación original y generar propuestas de corrección de acuerdo al Reglamento de Construcción para el Distrito Federal con la finalidad de corregir la excentricidad estática del inmueble.

Objetivo general

El presente trabajo tiene por objetivo principal identificar las causas que han generado el asentamiento diferencial y detener las deformaciones del subsuelo del edificio de la CTM así como documentar las inspecciones geotécnicas de su cimentación para generar algunas alternativas para corregir la excentricidad estática.

Objetivos específicos

- Documentar los antecedentes del suelo, estructura y cimentación del edificio de la CTM
- Analizar los ensayos de laboratorio que se realicen al suelo y cimentación del inmueble en cuestión para detectar las causas del hundimiento y asentamiento diferencia
- Comparación de los Reglamentos de Construcción para el Distrito Federal 1977 y 2004 para verificar el cumplimiento de lineamientos vigentes
- Presentar algunas alternativas para corregir la excentricidad estática del edificio y evitar futuros asentamientos diferenciales

CAPITULO 1. Revisión geotécnica del edificio

1.1 Historia de cargas

Antes de la construcción del edificio de la CTM, el predio se encontraba ocupado por diversas estructuras distribuidas de la siguiente manera:

- a) Al norte del predio, existía una torre de oficinas que contaba con 10 niveles, además, del teatro del Músico, una tienda de conasupo de un nivel y zonas abiertas que funcionaban como estacionamiento. Se presume la existencia de pilotes de punta de madera en retícula de 2.0 x 2.0 m hincadas en un estrato duro.
- b) La zona centro la ocupaba el edificio anterior de oficinas de la CTM, con 4 niveles y el Auditorio Felipe Carrillo Puerto, que cuenta con una cimentación de pilotes de punta de madera hincadas en un estrato duro.
- c) Finalmente, la zona sur estaba ocupada por unidades habitacionales de 2 niveles. Contaba con una cimentación de cajón

A partir de esta historia de cargas, la construcción del edificio de la CTM se realizó en un área donde la masa de suelo presentaba diferentes grados de preconsolidación (ver Fig.1 Estructuras anteriores al edificio de la CTM).

1.2 Diseño original de la cimentación de la CTM

La construcción de la cimentación del edificio consiste en un cajón desplantado a 12.0 metros de profundidad. Así mismo se aprecia que el peso del suelo excavado debía ser mayor que el peso total del edificio, por lo que se consideró una cimentación de tipo sobrecompensada, las recomendaciones geotécnicas para elegir la cimentación fueron las siguientes:

1.- El sistema de estabilización durante la excavación, consistió en un Muro Milán perimetral y secundario localizado de manera longitudinal en la parte media del predio de 0.6 y 0.8 metros de espesor, con un desplante a 15 metros de profundidad, complementado con un sistema de troqueamiento que se fue excavando conforme al avance de la excavación.

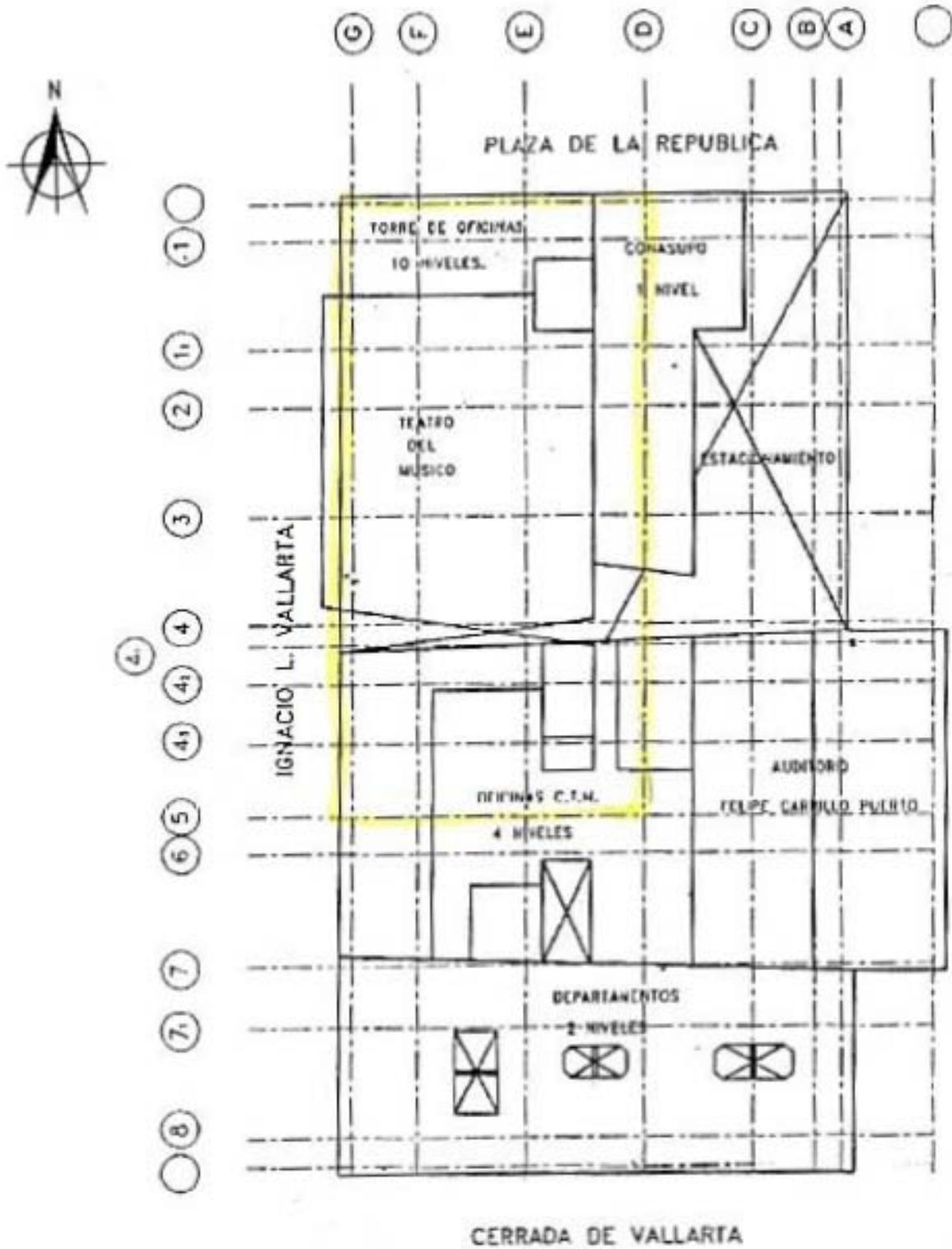


Figura 1 Estructura anteriores al edificio de la CTM

2.- En la esquina norponiente del predio, existió la torre de diez niveles y el teatro del Músico, se presume la existencia de pilotes de madera en una zona comprendida entre los ejes 1 a 5 y entre los ejes D y G. En el año 1980 ICA realizó un estudio para homogenizar el comportamiento de la masa del suelo, que en el resto del área se recomendó el hincado de pilotes de concreto reforzado de sección cuadrada de 0.5 x 0.5 metros y de 17.0 metros de longitud, instalados a 31.0 metros de profundidad, dejando un colchón de suelo de 2.0 metros entre la losa fondo del cajón y su cabeza (ISTME, 1981) .

1.3 Asentamiento diferencial del edificio

Como se ha mencionado con anterioridad, desde su construcción, el edificio de la CTM ha sufrido un hundimiento diferencial entre sus esquinas norponiente y suroriente del orden de 45 centímetros en 1986, como pasaron los años el hundimiento incremento hasta 70 centímetros debido a dos aspectos principalmente (ICA, 1995).

1.3.1 Hundimiento regional diferencial

El hundimiento regional de la Ciudad de México, el 75 por ciento se hunde de dos a 30 centímetros cada año de acuerdo a la zona, siendo la principal causa de este hundimiento la brutal explotación de los mantos acuíferos. Refiere que en los últimos 10 años, el hundimiento en la Ciudad de México alcanzó un metro en promedio y durante el siglo pasado sumó 10 metros.

Destaca que las áreas más afectadas históricamente son el centro, que comprende la delegación Cuauhtémoc; oriente, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa; y norte, Gustavo A. Madero y Azcapotzalco. Aunque hay que señalar que en el Estado de México los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl también presentan hundimientos.

Entre las causas que provocan el hundimiento de la ciudad, refieren que la “extracción de agua subterránea causa el abatimiento de la superficie piezométrica (superficie ideal) y produce subsidencia (proceso de hundimiento vertical) del terreno por la consolidación de las arcillas superficiales”.

Pero además de la brutal extracción del agua, no recargar los mantos acuíferos también contribuye a que la ciudad siga con el proceso de hundimiento, el cual ha causado graves problemas en todo tipo de construcciones, ya que en la inmensa mayoría de los casos el hundimiento es disparajeo.

Para evitar que el hundimiento de la Ciudad de México siga incrementándose, es indispensable implementar un ambicioso programa para recargar el acuífero, así como acciones concretas para reutilizar el vital líquido e impedir su desperdicio, el 72 por ciento del agua para consumo se obtiene de los mantos acuíferos, mientras que solamente la mitad ingresa por medio de las lluvias.

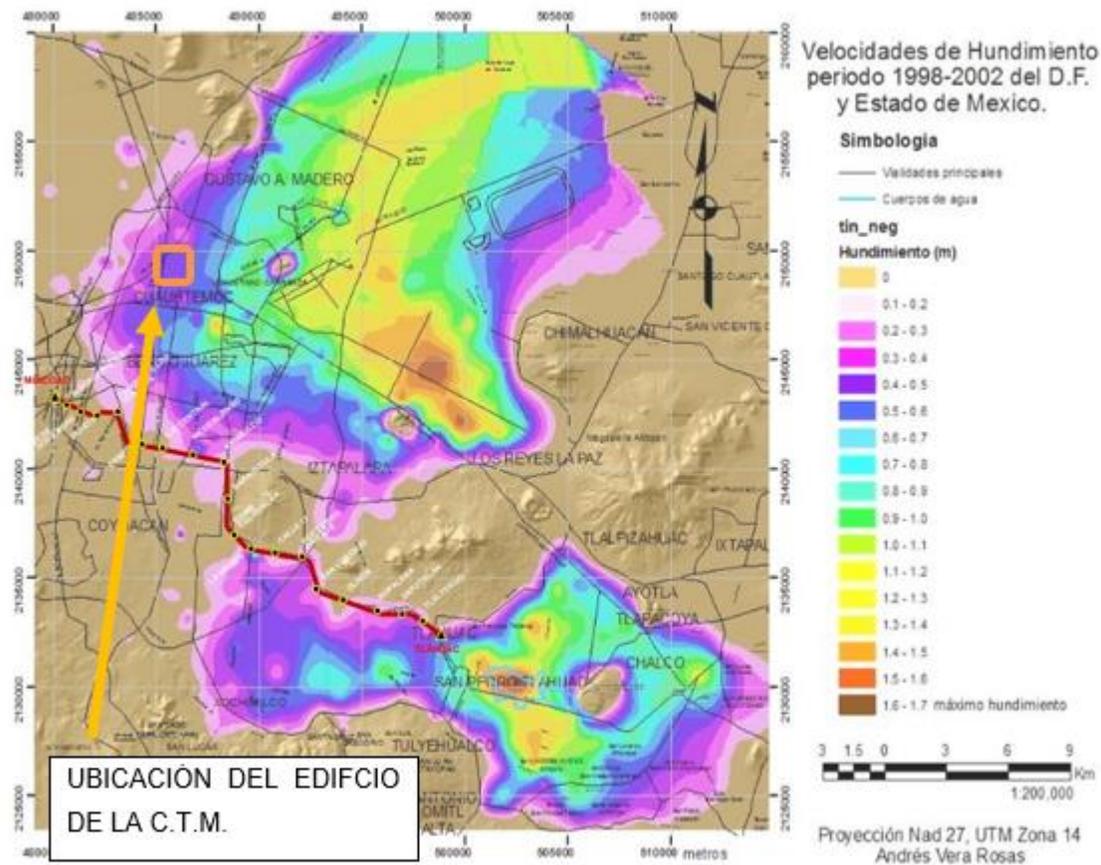


Figura 2 Hundimiento regional de la Ciudad de México Periodo 1998-2002 (laboratorio de geoinformática, instituto de ingeniería UNAM)

1.3.2 Sobrecargas adicionales:

La acumulación del agua en los sótanos representa una carga adicional para la cimentación y una reducción de la carga de compensación, teniendo su valor máximo en la esquina suroriente, favoreciendo la inclinación del inmueble.

Después de analizar dichas premisas, se sugirió las siguientes recomendaciones para corregir las deformaciones existentes:

- Para evitar la sobrecarga del tirante de agua proveniente del NAF, se recomendó el bombeo de achique en la esquina suroriente con mayor diferencial.
- Sellado de las celdas de cimentación para dejar estanco el cajón y evitar reducir el efecto de compensación.
- Colocación de un lastre de arena en aquellas zonas que registraron menor hundimiento regional.
- Colocación de poliestireno en el resto de las celdas de cimentación para evitar la entrada de agua proveniente del NAF.
- Sellado de juntas, grietas, piso y paredes de celdas y sótanos para impedir la filtración del agua freática.
- Colocación de cables de tensión entre las losas fondo y tapa para lograr un comportamiento adecuado entre ambos elementos.

1.4 Inspección geotécnica

Se realizó una revisión geotécnica y estructural por parte de la empresa SOILTEC SA de CV, debido el asentamientos diferencial que existe en la esquina suroriente del edificio que además se llevaron a acabo nivelaciones topográficas. Para ello, se colocaron palomas de control en cada una de las columnas del sótano 2; ver el plano No. 4 "referencias topográficas en columnas y patrón de fisuramiento en losa NPT del sótano 2" situadas todas a un mismo nivel para definir un plano horizontal tomando la distancia entre las palomas y algún elemento estructural que en su origen fue construido también horizontalmente. En este caso, se tomó como referencia la losa de

entrepiso del sótano 1 ya que de esa forma se determinaron los diferenciales entre columnas y la distorsión angular correspondiente (Soiltec, 2006).

A partir de los resultados se observó que existían zonas con valores de distorsión angular mayor que la permisible, lo que provocó daños estructurales, principalmente en las zonas comprendidas entre los ejes "B" y "D" y entre "4" y "9".

Los resultados de desplome fueron de 8 a 22 centímetros en la dirección Sur y de 9 a 21 centímetros en la dirección Oriente, el diferencial entre las esquinas norponiente y suroriente fue de 54.4 centímetros, valor menor a los 70 centímetros determinados por la empresa constructora ICA.

Las recomendaciones por parte de la empresa SOILTEC SA de CV fueron las siguientes:

- Revisión del estado límite de falla, previa inspección de las celdas de cimentación, donde se reportaron las distorsiones máximas.
- Enderezado del inmueble mediante flujo plástico controlado del subsuelo, bajo la cimentación (subexcavación).
- Revisión en magnitud y distribución del lastre de arena para corrección de la excentricidad del edificio.
- En caso de que no se detenga el asentamiento diferencial, se recimentará el edificio con pilotes, con ampliación en su base, desplantados en la capa dura o mediante inclusiones o columnas de mortero para reducir los asentamientos generados por el hundimiento regional (Soiltec, 2006).

En la fachada sur del edificio de CTM ubicada en la cerrada Ignacio L. Vallarta. Se observa el desplome del inmueble hacia la dirección sur. Ver Fotografía No 4; y en la otra vista de la fachada sur del inmueble se observa el desplome del inmueble hacia la dirección sur. Ver fotografía No. 5

Capítulo 2. Condición actual del predio

2.1 Características del edificio

Como ya se ha mencionado, el edificio en la actualidad cuenta con la siguiente estructura: 3 sótanos de los cuales 2 funcionan como estacionamientos (el tercero como cajón falso), además de un auditorio, planta baja o lobby, 6 niveles y azotea. El NPT del sótano 2 es la cota - 8.87 metros, respecto al nivel ± 0.0 metros, correspondiente al nivel de banqueteta, mientras que el cajón de cimentación estaba desplantado a 11.87 metros de profundidad. La estructuración del edificio se describe en la siguiente tabla:

Tabla 1 Estructuración del edificio

Nivel	Estructuración
Cimentación	Cajón de cimentación con altura de 3.0 m y contratrabes.
Sótanos	Losa plana reticular con $h=0.51$ metros, columnas de concreto con capiteles y muros de concreto perimetrales.
Entrepisos	Losa reticular en un sentido de 1.2 y 0.75 m de peralte, losa maciza de 12 cm de espesor y losacero de 13 cm; columnas y trabes de concreto y acero.
Azotea	Losa reticular en un sentido de 1.2 m y 0.75 m de peralte, losa maciza de 12 cm de espesor y losacero de 13cm; columnas y trabes de concreto y acero y una cubierta de estructura metálica a base de armaduras.

2.2 Evolución de los espectros de diseño por sismo desde su construcción

Dado que el edificio de la CTM se localiza en una zona sísmica, resulta importante analizar la evolución de los espectros de diseño para poder establecer los incrementos de fuerzas sísmicas y la definición de la vulnerabilidad de la estructura ante eventos sísmicos.

Como se ha mencionado en diversas ocasiones, la estructura de estudio se localiza en la zona IIIa o lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente comprensible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla Ver Imagen No. 2 "zonificación geotécnica de la ciudad de México" (Holguín et al., 2003).



	Zona I	Cs=0.16		Zona IIIb	Cs=0.45		Esta zona se considera como II (Transición)
	Zona II	Cs=0.32		Zona IIIc	Cs=0.40		Zonificación indicativa
	Zona IIIa	Cs=0.40		Zona IIId	Cs=0.30		

Nota:
Cs coeficiente sísmico

Figura 3 Zonificación geotécnica de la ciudad de México por (Holguín et al., 2003)

Tabla 2 Espectros para diseño por sismo de 1977 y del 2004

Reglamento	Coficiente sísmico	Espectro
RCDF-1977	$C_s=0.24$	$a_0 = 0.06$ $T_1 = 0.8$ $T_2 = 3.3$ $r=1$
RCDF-2004	$C_s=0.45$	$a_0 = 0.11$ $T_1 = 0.85$ $T_2 = 3.0$ $r=2$

Acotaciones: T =Periodo natural de la estructura, c_s = Coficiente sísmico, a_0 =Ordenada espectral para $T=0$, T_1 - T_2 =Valores característicos de los espectros de diseño

El factor de comportamiento sísmico (Factor de Reducción por Ductilidad) que estipula el RDF-77 para el tipo de estructura de este edificio es de $Q=4.0$, mientras que para fines de revisión bajo las NTC-RDF-2004-SISMO se usó un factor de $Q=2.0$

El coeficiente sísmico del RDF-77 es de $c=0.24$ que es 50% aproximadamente del coeficiente sísmico que establece el RDF-2004 para la zona IIIb de $c=0.45$. De acuerdo con el Artículo 177 del RDF-2004 no se requiere que el inmueble cumpla con estas especificaciones sino con las estipuladas en el reglamento vigente al momento de su construcción, esto es, RDF-77. Por tal razón se analizan ambos reglamentos en este documento.

De manera simplificada se entiende por coeficiente sísmico al porcentaje del peso que debe ser aplicado como fuerza horizontal para representar los efectos del sismo.

En la siguiente tabla No. 3 se muestran los sismos registrados más significativos en la República Mexicana a partir de 1970 siendo el de mayor importancia para la Ciudad de México el del 19 de septiembre de 1985 (UNAM, s.f.).

Tabla 3. Sismos registrados en la República Mexicana

SISMO	FECHA	COMENTARIO
Chiapas	29 de abril de 1970	M= 7.3
Colima	30 de enero de 1973	M= 7.5; 56 muertos
Orizaba	28 de agosto de 1973	600 muertos
Oaxaca	29 de noviembre de 1978	M= 7.6
Petatlán (Guerrero)	26 de enero de 1979	M= 6.5
Petatlán (Guerrero)	28 de febrero de 1979	M= 5.2
Petatlán (Guerrero)	14 de marzo de 1979	M= 5.6; 5 muertos
Tehuantepec	22 de junio de 1979	M= 7.1
Huajuapán de León (Oaxaca)	24 de octubre de 1981	M= 7.3
Playa Azul (Michoacán)	25 de octubre de 1981	M= 7.3
Ometepec (Guerrero)	7 de junio de 1982	M= 6.9
Michoacán	19 de septiembre de 1985	M= 8.2 ; 20,000 muertos
Colima	9 de octubre de 1995	M= 8.0
Guerrero	7 de octubre del 2001	M= 6.1
Costa de Colima	21 de enero del 2003	M= 7.6
Oaxaca	12 de febrero del 2008	M= 6.6
Baja California	4 de abril del 2010	M= 7.2
Istmo de Tehuantepec	7 de abril del 2011	M= 6.7
Guerrero	20 de marzo del 2012	M= 7.4
Michoacán	11 de abril del 2012	M= 6.4
Guerrero	12 de abril del 2012	M= 6.8

Dónde:

M= Magnitud.

2.3 Exploración e instrumentación geotécnica

Con la finalidad de determinar posibles variaciones en la resistencia del suelo por la influencia de las estructuras anteriores al edificio de la CTM o detectar alguna irregularidad estratigráfica que pudiera explicar el comportamiento inusual del edificio, por lo cual se realizaron diez sondeos mixtos (SM-1 a SM-10) a una profundidad entre 45.0 y 80.35 metros combinando las técnicas de cono eléctrico y penetración estándar, midiendo la resistencia por punta (q_c) que ofrece el suelo al hincado de las barras a una velocidad de 1cm/seg por cada 10cm de avance y contabilizando el número de golpes necesario para hincar los 30 cm centrales de un muestreador con dimensiones estandarizadas respectivamente.

Adicionalmente, se realizaron dos sondeos de muestreo selectivo (SM-1 y SM-2) con la obtención de 12 y 16 muestras respectivamente. Mediante el hincado o rotación de tubos lisos o dentados según la dureza de los materiales por muestrear. A demás, se realizó un sondeo de penetración estándar continuo a 45.05 metros de profundidad para obtener muestras alteradas y caracterizar la estratigrafía hasta la profundidad señalada. Finalmente, para determinar las condiciones hidráulicas de la masa del suelo, se instaló una estación piezométrica consistente en 10 instrumentos a diferentes profundidades.

En la tabla 4 se indica el número, tipo y profundidad del muestreo inalterado, mientras que en la tabla 5 se cita la profundidad de instalación de cada instrumento que conforma la estación piezométrica.

Tabla 4 Muestreo inalterado

Sondeo de muestreo selectivo SMS-1		Sondeo de muestreo selectivo SMS-2	
Muestra	Profundidad de muestreo (m)	Muestra	Profundidad de muestreo (m)
TS-1	6.00-6.80	TS-1	8.00-8.80
TS-24	11.00-11.90	TS-2	14.20-15.00
TS-2	15.00-15.80	TS-3	18.00-18.80
TS-3	17.00-17.80	TS-4	21.20-22.00
TS-4	21.80-22.60	TS-5	22.60-23.40
TS-5	27.00-27.80	TS-6	25.80-26.60
TS-16	33.80-34.10	TD-7	32.00-32.40
TS-18	34.25-35.05	TS-8	33.00-33.60
TD-20	36.20-36.95	TD-9	34.20-35.00
TD-21	56.20-57.00	TD-10	36.80-37.60
TD-22	64.15-64.95	TD-11	42.00-42.80
TD-23	68.20-68.70	TD-12	46.60-47.20
		TD-13	57.00-57.80
		TD-14	66.50-67.30
		TD-15	69.50-67.30
		TD-16	72.00-72.70

Donde:
 TS tubo shelby
 TD tubo dentado

Tabla 5 Estación piezométrica

ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA	
Instrumento	Profundidad de instalación, m
TO	6.00
PA-1	12.65
PZ-2	19.80
PZ-3	25.30
PZ-4	35.80
PZ-5	42.00
PZ-6	48.50
PZ-7	54.00
PZ-8	63.15
PZ-9	69.90

Donde:

TO tubo de observación

PZ piezómetro abierto tipo Casagrande

2.4 Interpretación estratigráfica

Apoyándonos con la información existente y de los trabajos de exploración, se definió la estratigrafía que se describe a continuación.

De 0.0 a 5.6m Costa Superficial: Integrada por tres substratos, que constituyen una secuencia de materiales naturales cubiertos por un relleno artificial Heterogéneo. De 0.0 a 2-0m Existe un relleno formado por arena limosa y arena arcillosa en estado suelto a semicompacto, con fragmentos de tabique rojo recocido, le subyacen hasta 5.6m, intercalaciones de suelos semirrígidos, constituidos por depósitos aluviales con lentes de material eólico y una costra formada por secado solar, la resistencia por punta (q_c) obtenida con el cono eléctrico varía entre 4.0 y 200 kg/cm².

De 5.6 a 29.0m Serie Arcillosa Superior: Formada por estratos de arcilla y limos compresibles de color café ocre, Café rojizo y gris verdoso claro, de consistencia blanda intercalados con lentes de arena fina, vidrio volcánico, ceniza volcánica y limos arenosos. El q_c obtenido con el

cono eléctrico varía entre 3 y 12kg/cm²; mientras que la penetración estándar el número de golpes varía entre 0 y 6 golpes en los suelos blandos en los lentes duros, se alcanzaron golpes entre 9 y 43.

De 29.0 a 33.4m capa dura: Está constituido por materiales limosos y limo arenosos de color gris blanquizco claro y gris verdoso, de consistencia blanda a dura y ocasionales gravas, de cementos variables. La resistencia por punta q_c promedio obtenido con el cono eléctrico es superior a 100Kg/cm²; mientras que el número de golpes obtenido durante la penetración estándar varía entre 12 y 100.

De 33.40 a 38.0m Serie Arcillosa Inferior: Compuesta por estratos de arcilla y limos compresibles de color gris verdoso y café claro, de consistencia semirrígida, separados por lentes duros de arena y ceniza volcánica gris claro. El N obtenido en penetración estándar varía entre 3 y 14 golpes; en los lentes duros supera los 100 golpes.

De 38.0 a 80.35m (máxima profundidad explorada) Depósitos profundos. Constituidos por materiales limo-arcillosos y arenosos con gravillas, distribuidos de la siguiente manera.

De 38.0 a 47.8m 1ª Serie Limo Arcilloso Profunda. Formada por limos arenosos de color gris verdoso claro, de consistencia muy rígida a dura, intercalados con estratos de arena fina a gruesa de color gris oscuro, con gravillas, en estado muy compacto. El número de golpes (N) obtenido en penetración estándar varía entre 22 y 100.

De 47.8 a 56.8 1ª Serie Arenosa Profunda. Constituida por arenas muy finas a medias de color gris verdoso claro y gris rosáceo oscuro, en estado semicompacto a muy compacto, con algunas gravillas e intercaladas con pequeños lentes de arena pumítica gris claro y limo. El (N) obtenido en penetración estándar varía entre 25 y 100 golpes.

De 56 a 68.95m 2ª Serie Limo Arcillosa Profunda. Formada por limos, limos arcillosos y arcilla de color café y oscuro, verde azulado y gris verdoso claro, de consistencia rígida a muy rígida, interestratificados con lentes de arena fina y ceniza volcánica gris claro. El número de golpes (N) obtenido en penetración estándar varía entre 12 y 100 golpes.

De 68.95 a 74.8m 2ª Serie Arenosa Profunda. Constituida por arenas finas a medias de color gris verdoso olivo, en estado muy compactado, intercaladas con lentes de limo cementado con ceniza volcánica blanca y lentes de turba de consistencia rígida a muy rígida. El número de golpes (N) obtenido en penetración estándar varía entre 16 y 31 en los suelos orgánicos y superior a 100 en las arenas.

De 74.80m 79.20m 3ª Serie Limo Arcillosa Profunda. Formada por limos y limos arenosos de color gris claros y gris verdoso claro, de consistencia muy rígida a dura intercalados con lentes de arena fina y media de color gris oscuro, en estado muy compactado. El (N) promedio, obtenido en penetración estándar es superior a 100 golpes.

De 79.20 a 80.35m (máxima profundidad explorada) Serie Arena Limosa Profunda. Constituida por arenas finas a gruesas, limosas, de color verde azulado, con lentes de ceniza volcánica café claro, en estado muy compactado. El número de golpes (N) promedio, obtenido en penetración estándar es superior a 100. Ver la ilustración No. 2 “Interpretación estratigráfica, corte a-a’ y solución de cimentación”.

2.5 Condiciones piezométricas

El nivel de aguas freáticas (NAF) se detectó a 3.4m de profundidad en el tubo de observación integrante de la estación piezométrica instalada, medidos a partir del nivel del terreno natural actual en la parte más alta de la calle Ignacio I. Vallarta; por consiguiente en la parte más baja que corresponde con la esquina suroriente, en la cerrada de Ignacio L. Vallarta se encuentra 2.55m.

La variación con la profundidad de la presión se muestra en el plano No. 3 “Diagrama de esfuerzos verticales y condiciones hidráulicas del sitio.”; los valores de presión determinados en cada instrumento, se cita en la siguiente tabla.

Tabla 6 Piezometría del sitio

Instrumento	profundidad de instalación	condición hidrostática U_h (ton/m ²)	condiciones piezométrica		Δu (ton/m ²)
			lectura registrada (m)	U_p (ton/m ²)	
TO-1	6.00	2.60	3.40	2.60	N/A
PZ-1	12.65	9.25	6.06	6.59	2.66
PZ-2	19.80	16.40	10.10	9.70	6.70
PZ-3	25.30	21.90	15.20	10.10	11.80
PZ-4	35.80	32.40	15.36	20.44	11.96
PZ-5	42.00	38.60	41.36	0.64	37.96
PZ-6	48.50	45.10	46.63	1.87	43.23
PZ-7	54.00	50.60	32.14	21.86	28.74
PZ-8	63.15	59.75	43.93	19.22	40.53
PZ-9	69.90	66.50	45.80	24.10	42.40

Acotaciones:

U_h presión de poro o intersticial para una condición hidrostática, ton/m²

U_p Presión de poro o intersticial real, ton/m²

Δu Abatimiento de la presión de poro con respecto a la hidrostática, ton/m²

De los resultados del análisis de las presiones citadas en la tabla 6 y el plano No. 3, a partir de 12.5m de la profundidad inicia el abatimiento piezométrico con relación a la condición hidrostática, alcanzando un máximo de 43.23 ton/m² entre 42.0 y 48.5m. Esta fuerte reducción de la presión es debida a la extracción profunda de agua subsuelo para fines de suministro de la ciudad de México, generando el fenómeno de hundimientos regional por enjuntamiento de las arcillas.

En el Análisis de sondeos a partir de la información y procesamiento de los sondeos realizados, se determinó que la resistencia del subsuelo localizado en la esquina norponiente (la más alta), es ligeramente menor que el resto, lo que seguramente se debe al desarrollo de fricción negativa a lo largo de los pilotes de madera que ya están en contacto con el cajón de la cimentación.

2.6 Nivelaciones topográficas

Se tienen las siguientes referencias topográficas realizadas para valorar el desplomo actual y el desarrollo de los asentamientos diferenciales del edificio. Consistieron en tomar lecturas de las referencias instaladas en las columnas del sótano 2 (palomas 1 al 53), localizadas en un mismo plano horizontal, además se midió la distancia entre ellas y el lecho inferior de la losa del sótano 1 (esta losa se construyó horizontalmente); alguna de las palomas ya no existen actualmente.

Finalmente, para determinar el diferencial de los entrepisos y correlacionarlo con el desplomo registrado, se llevaron a cabo nivelaciones en las losas de los entrepisos del sótano 2, lobby o planta baja, nivel 1, nivel 3 y 5, construyendo con la información secciones longitudinales y transversales. En el plano No. 4 “referencias topográficas en columnas (palomas) y patrón de fisuramiento en la losa NPT del sótano 2.” se muestra la ubicación de las referencias y las secciones citadas.

A partir de los resultados obtenidos, se elaboraron las gráficas correspondientes a los asentamientos bajo cada columna de referencia y se calcularon las distorsiones angulares correspondientes entre claros; asimismo, se elaboraron los perfiles de los firmes de cada entrepiso del edificio. En el **anexo V** se muestran los resultados de cada nivelación y las gráficas correspondientes. Para el cálculo de las distorsiones angulares se aplicó la expresión.

$$\Delta = \frac{\delta A - \delta B}{L}$$

Dónde:

- Δ Distorsión angular, adimensional
- δ_A asentamiento del punto A, cm
- δ_B Asentamiento del punto B, cm
- L Distancia horizontal entre los puntos A y B, cm

El desplomo registrado en las direcciones Sur y Oriente son del orden de 20 y 26cm, respectivamente; valores similares a los medidos por Soiltec; mientras que las lecturas diferenciales del orden del 1 a 3mm, que pueden considerarse dentro del rango de precisión del aparato; salvo en los nodos correspondientes a los entre-ejes E-4₃, F-1, F-7 Y F-7₁, donde existe

diferenciales hasta 8mm, por lo que deberá verificarse por parte del estructurista del proyecto la posible plastificación de estos nodos y emitir las recomendaciones correspondientes.

Fuera del detalle anterior, puede considerarse que el movimiento diferencial del edificio prácticamente ha cesado.

2.6.1 Nivelación sótano 2

De las lecturas registradas entre las referencias topográficas y el lecho inferior de la losa de entrepiso del sótano 1, se obtuvo un diferencial máximo en el sentido largo de 31.0 y 37.9cm, y en el corto de 14cm; en la parte central (entre los ejes 4 y 7, zona de elevadores y cisternas), alcanza valores hasta 29cm; ver el plano No. 4 “referencias topográficas en columnas (palomas) y patrón de fisuramiento en la losa NPT del sótano 2.” Adicionalmente, puede observarse en las gráficas del (anexo V) cambios de pendientes muy pronunciado en la dirección Norte-Sur a partir del eje “4₂” y la Oriente-poniente se percibe a partir del eje “D”; por lo que se puede suponerse que el área ocupada por los pilotes de madera está delimitada entre los ejes 1 a 4₂ y entre los ejes “D” y “G”, y que además el colchón compresible de suelo ha disminuido sustancialmente.

2.6.2 Nivelación de losas de entrepisos

De las selecciones topográficas de las losas de entrepiso del sótano 2, lobby, N-1, N-3 y N-5, se obtuvo un diferencial mayor en el sótano 2 que en el resto de los entrepisos, en donde el valor es muy parecido entre ellos. Lo que hace suponer que durante la excavación y construcción de la cimentación se presentaron movimientos diferenciales, que fueron corregidos por los topógrafos y albañiles en las etapas siguientes.

Las distorsiones angulares máximas, eran mayores a la tolerable de 0.004 para marcos de concreto, se han desarrollado en los partesaguas, que delimitan la zona de los pilotes de madera y que coincide con el cambio de pendiente muy pronunciada en las gráficas correspondientes; que corresponden con la intersección de los ejes “D” y 4₂, 4₃ y 7 hacia el sentido corto y largo, respectivamente.

2.7 Inspección de sótano 2 y celdas de cimentación

De la inspección realizada, se realizaron las siguientes observaciones:

- 1) El piso del sótano 2 (losa tapa de celdas de cimentación) presenta grietas diagonales, haciendo un parteaguas en el eje 4; ver la ilustración No.4; al inspeccionar algunas de las celdas de cimentación, puede observarse que atraviesan la losa, Además existe fisuramiento en las nervaduras de la losa del sótano 1.
- 2) Puede observarse también una distribución de placas metálicas de 35 x 50 x 1.27 cm, pintadas de color rojo, todas ellas fuera de la zona teórica de donde se encuentran los pilotes de madera (entre los ejes "1" a "5" y los "D" y "G"); ellas constituyen parte del reforzamiento de las losas tapa y fondo del cajón, mediante un perfil tipo "C" instalado de piso a techo de 7.30 x 30.48cm (2 7/8" x 12"), que remata las placas ; ver la ilustración No.4.
- 3) Se inspeccionaron las celdas de cimentación (registro y pasos hombre), observándose que algunas se encuentra llenas de arena saturada, otras de agua proveniente del NAF y el resto de bloques de poliestireno, lo que cumple con algunas de las recomendaciones emitidas por ICA; ver la ilustración No. 5 sin embargo en el levantamiento realizado de las celdas inspeccionadas, la distribución real de los lastes se muestra en la ilustración No. 6 "condición actual de celda de cimentación"
- 4) Dado que no existe documento alguno o planos referentes a la posición de los pilotes de madera y de concreto, durante la inspección de las celdas se buscaron indicios de su distribución; desafortunadamente no hay evidencias que pudieran orientar a conocer su posición. Tomando en cuenta la información relativa al tipo de estructuras anteriores al edificio de la CTM, puede suponerse una distribución teórica inicial de los pilotes de madera y de concreto como se muestra en el plano No. 7 "reforzamiento del cajón de cimentación y ubicación de pilotes de madera"
- 5) Considerando el patrón de fisuramiento en el piso del sótano 2, que muestra un parteaguas en el eje 4, podría delimitarse el área ocupada por los pilotes de madera

hasta el eje 4; hecho que deberá verificarse durante la realización de los trabajos de restitución del colchón de suelo debajo del fondo del cajón de cimentación y el enderezado del edificio.

- 6) El edificio cuenta con 4 cárcamos de achique distribuidos uno por cada esquina; se activa únicamente en forma manual el correspondiente a la esquina suroriente, para evitar un tirante de agua en la celda que represente una sobrecarga adicional para la cimentación.

2.8 Condición actual de la cimentación

Tomando en cuenta el efecto del hundimiento regional, la inclinación y desplomos que presenta el edificio y las observaciones obtenidas a partir de la inspección de las celdas de cimentación, se tiene los siguientes comentarios e hipótesis sobre la condición actual de la misma.

Excentricidad del edificio. Entre el centroide geométrico del cajón de cimentación y el centro de cargas, se tiene una excentricidad importante en los sentidos largos y corto; la resultante es hacia esquina suroriente, lo que hace suponer que el edificio desarrollo el diferencial entre las esquinas norponiente y suroriente desde su construcción.

Hundimiento regional. El edificio se construyó en el año de 1982, a partir de entonces comenzó la inclinación entre las esquinas norponiente y suroriente; presentando un desnivel de 45cm en 1986 y como pasaban los años la diferencial era de 70cm y finalmente alcanzo un valor de 85cm. Con esta información, la velocidad de inclinación del inmueble, debido al efecto del hundimiento regional del sitio es la mostrada en la Fig. 3.

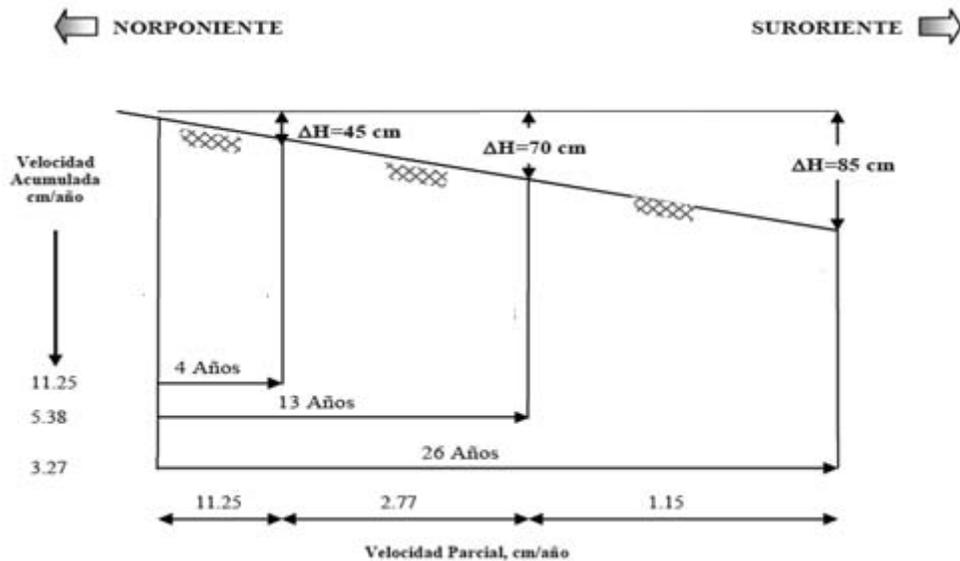


Figura 4 Velocidad de inclinación del edificio con el tiempo

2.8.1 Inspección visual del perímetro del edificio

Físicamente se puede observar la formación de un lomo en la banqueta de la esquina norponiente (plaza de la Republica e Ignacio L. Vallarta); además de existir fisuras paralelas a las banquetas. Lo que denota la reducción del colchón de suelo dejado entre la cabeza de los pilotes y el fondo del cajón, que está provocando la emersión de esta área del edificio.

2.8.2 Nivelaciones Topográficas

De los niveles realizados en el sótano 2, sobre las referencias existentes (palomas), se observó un asentamiento uniforme del orden de 8 y 1 mm, respectivamente; así como desplomos hacia las direcciones Sur y Oriente del orden de 20 y 26cm, respectivamente. Valores similares a los obtenidos durante la inspección geotecnia realizada por Soiltec, lo que hace suponer que el movimiento diferencial del edificio prácticamente ha cesado.

2.8.3 Inspección de celda de cimentación

En la inspección de las celdas pudo constatarse una variación en la ubicación del lastre de arena y poliestireno. Físicamente el lastre de arena ésta cargado en la zona nororiente del edificio, lo que incrementa la excentricidad; del ver la ilustración No. 6 “Condiciones actual de la celda de cimentación”.

2.8.4 Pilotes de Madera

Por el lomo existente en la banqueta en la zona norponiente del edificio, se asume que los pilotes de madera están apoyados en un estrato resistente y que prácticamente están en contacto con el cajón de la cimentación; revisando la estratigrafía determinada a partir de la campaña de exploración geotecnia, se desplantaron probablemente a 25.0 ó 30.0m. Se desconoce su diámetro y distribución.

2.8.5 Pilotes de concreto reforzado

A un se desconoce la distribución de estos pilotes, pero hemos llegado a la conclusión que el colchón del subsuelo de 2 metros que había entre la losa fondo de la cimentación y la cabeza de los pilotes de concreto ha disminuido debido al hundimiento regional que se ha presentado en el inmueble. Por otra parte, los pilotes de madera están prácticamente en contacto con la losa fondo; ver el plano No. 8 “condición de diseño original y actual del edificio de la CTM.”

Capítulo 3. Revisión geotécnica de la cimentación

3.1 Condiciones geotécnicas de la cimentación.

Por lo que se ha mencionado anteriormente la cimentación está trabajando con pilotes de punta, por ello en la tabla No 7, se detallan las razones para recuperar el diseño original consiste en un cajón de cimentación apoyado en la masa de suelo reforzada con pilotes, que satisface los requerimientos del reglamento de construcciones y sus normas técnicas complementarias y que garantiza la estabilidad del edificio (Támez y Holguí, 2007).

Tabla 7 Comportamiento de la cimentación y acciones para garantizar su seguridad y buen funcionamiento

TIPO DE CIMENTACIÓN	FORMA DE TRABAJO	CONCLUSIONES
<p>Pilotes de punta. Ellos están en contacto con el cajón de cimentación, se agotó el cochón de suelo dejado</p>	<p>1.- los pilotes están apoyados en una capa resistente, que no necesariamente es la capa dura</p> <p>2.- Se tienen pilotes de madera en la esquina Norponiente y de concreto en el resto. Se desconoce la distribución y longitud de ambos pilotes</p> <p>3.- El suelo está despegado de la losa fondo del cajón de cimentación. La subpresión que genera el agua del subsuelo vale 6.03 Ton/m² (fuerza ascendente, que disminuirá con el tiempo por la extracción de agua que se realiza para abastecimiento de la ciudad)</p> <p>4.- El peso neto del edificio que tendrá que ser resistido por los pilotes vale la diferencia entre el peso total menos la subpresión, resultado: $W_n = 17.87 - 6.03 = 11.84 \text{ ton/m}^2$</p> <p>5.- Por esta forma de trabajo, es indispensable determinar la capacidad de carga de los pilotes y calcular el factor de seguridad que tienen. Seguramente se tendrá que recimentar el edificio, hincando más pilotes</p>	<p>El grado de incertidumbre que se tiene para la determinación del factor de seguridad es muy alto. Pues ello demanda a) la distribución de los pilotes de madera, su diámetro y su longitud (capa resistente en las que están apoyados); y b) Distribución y longitud de los pilotes de concreto información que se desconoce.</p>
<p>Pilotes de Control. Para recuperar el contacto del suelo con el cajón de cimentación</p>	<p>1. se instalaran mecanismos de control en los pilotes para restituir el contacto del cajón con el suelo de sustentación, reduciendo así la presión neta que deberán resistir los pilotes. Con lo que, para mantener los factores de seguridad admisibles, se requiera un menor número de pilotes adicionales a hincar</p> <p>2.- Este tipo de cimentación requerirá un mantenimiento permanente. Hay que construir los mecanismos de control en el cajón de cimentación, debiendo en ese caso retirar el lastre y poliestireno; se requieran otros espacios para disponer el lastre. La práctica demuestra que se tienen muchos problemas con el sello entre el pilote y la celda, pues los movimientos dañan los sellos y el agua freática entra.</p> <p>3.- en algunos casos habrá que trabajar por debajo de la losa fondo del cajón de cimentación, para construir las celdas e instalar los mecanismos de control.</p>	<p>El grado de incertidumbre para la determinación del factor de seguridad sigue siendo muy alto. Pues demanda la misma información que para los pilotes de punta</p>
<p>Cajón de cimentación. El cajón estará en contacto con el suelo de sustentación (solución de origen) y los pilotes constituyen únicamente un refuerzo de la masa de suelo.</p>	<p>1.- se separan los pilotes de madera y de concreto de la losa fondo del cajón, dejando un colchón suficiente para evitar que en los próximos 25 años, los pilotes entren en contacto con el cajón</p> <p>2.- Todo el peso del edificio será soportado por la masa del suelo reforzada por los pilotes, condición que corresponde con el diseño original. De esta forma se garantiza el contacto del cajón con la masa del suelo</p> <p>3.- para esta forma de trabajo de la cimentación, no se requieren pilotes adicionales.</p> <p>4.- se necesita trabajar por debajo del cajón para demoler la parte alta de los pilotes y restituir el colchón compresible. Esto permitirá llevar a cabo la subexcavación para recuperar la verticalidad.</p>	<p>a partir de las nivelaciones se establece que actualmente el hundimiento regional en el área del edificio es uniforme. Este comportamiento mostrado por las nivelaciones, pudieran cambiar al separar los pilotes del cajón, por lo que será indispensable continuar con el movimiento topográfico, que se realizará dos veces por semana durante los trabajos de corrección y en forma trimestral una vez concluido.</p>

Resulta importante mencionar que adicionalmente es necesario lastrar las celdas para corregir la excentricidad de cargas que tiene el edificio.

Dada la incertidumbre en relación a los pilotes de madera y de concreto, se recomendó restituir las condiciones de diseño originales de la cimentación, consiste en una cimentación “parcialmente compensada”, mediante la utilización del cajón existente, dejando un colchón de suelo compresible de 3.0m, lo que obliga a realizar el descabece de los pilotes de madera y de concreto de las cimentaciones de las estructuras que existía. Esto nos garantiza por lo menos un comportamiento uniforme durante un tiempo aproximado de 25 a 30 años, que nuevamente estén en contacto el cajón de cimentación y los pilotes existentes. Para ello, deberá corregirse la excentricidad del edificio, colocando el lastre de acuerdo con las opciones planteadas (revisar los planos No. 9, 10, 11, 12 y 13).

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en las nivelaciones topográficas, la corrección del edificio no se realizó considerando el diferencial máximo registrado en el sótano 2 (37.9cm), sino el promedio registrado en cada uno de los entresijos, que es el orden de 12.6 y 19.3cm en el sentido corto y de 13.0 y 20.0cm en el sentido largo; ello, con la finalidad de permitir la funcionalidad del inmueble. Se recomienda cuando se inicie los trabajos de descabece de pilotes, se aplique algún método geofísicos para determinar la ubicación y longitud de los pilotes de madera y de concreto.

3.1.1 Cargas y datos del proyecto.

Como ya se ha mencionado anteriormente el edificio cuenta con 3 sótanos, un auditorio, planta baja ó Lobby, 6 niveles y azotea. Para fines de diseño se consideraron las siguientes cargas repartidas por entresijo, proporcionadas por la empresa IOISA ver la Tabla 8.

Tabla 8 Cargas reales del edificio CTM

Entrepiso	cota (m)	Asentamientos (ton/m ²)	Sismo (ton/m ²)	gravitacionales (ton/m ²)
Azotea	35	1.04	0.86	1.135
N-6	31	1.43	1.48	1.58
N-5	27	1.5	1.57	1.65
N-4	23	1.53	1.58	1.68
N-3	19	1.585	1.64	1.735
N-2	15	1.62	1.68	1.77
N-1	11	1.66	1.81	1.81
Planta Baja	6.5	1.195	1.26	1.345
Auditorio	-3.5	1.045	1.255	1.355
Sótano 1	-6.2	1.31	1.37	1.52
Sótano 2	-8.9	1.25	1.31	1.46
Cimentación	-11.9	3.65	3.745	3.86
SUMA		18.82 (ton/m ²)	19.56 (ton/m ²)	20.9 (ton/m ²)

Las cargas citadas para la cimentación, no consideran el lastre actual de arena y poliestireno, ni la sobrecarga por el tirante de agua existente en las celdas de la cimentación.

3.1.2 Coeficiente sísmico

El coeficiente sísmico para el diseño de las estructuras vale 0.45, que corresponde a la denominada Zona de Lago IIIb. Ver la figura 2 “Zonificación Geotécnica de la Ciudad de México” por (Holguín et al., 2003).

3.2 Análisis de estabilidad

Con las características del inmueble y los resultados de los estudios de mecánica de suelo ya mencionado anteriormente, se toman en cuenta los siguientes puntos (Berthelet , 2006).

3.2.1 Excentricidades

Debido a la geometría del edificio y a la concentración de las cargas reales, proporcionadas por el estructurista, existe una excentricidad en el sentido largo y corto del orden de 1.34 y 0.71m,

que el porcentaje representa el 3.56 y 3.60% con la relación a las dimensiones de la base, respectivamente. En esta determinación se considera el cajón estanco; sin embrago, al aceptar las sobrecargas adicionales generadas por la inundación de las celdas de cimentación la ubicación real de lastre de arena y poliestireno, la excentricidad final resulta igual a 0.25 y 0.80m en el sentido largo y corto, que en porcentaje representan el 0.67 y 4.06% respectivamente. Para corregir esta excentricidad y garantizar el adecuado comportamiento del edificio, una vez que se corrija su inclinación, deberá reubicarse y colocarse el lastre de arena ó concreto con material barita y bloques de poliestireno.

3.2.2 Análisis de estabilidad

Presión Total: la presión total generada por las cargas de la estructura y por las correspondientes al lastre seleccionado que resolverá la excentricidad estática, se calculó con la siguiente expresión.

$$(1) \quad w_t = \frac{W_E}{A}$$

Donde:

- w_t Presión total transmitida por la estructura, ton/m²
- W_E carga total de la estructura a nivel de cimentación, 51,590.37 Ton
- A área del cajón de cimentación, 2.887.0 m²

Sustituyendo los valores correspondientes, la presión total es igual a **17.87 ton/m²**

3.2.3 Presión de compensación

la presión de compensación resultado de la remoción del suelo considerando que la losa de fondo del cajón se encuentra a 11.87 m de profundidad, se calculó con la siguiente expresión.

$$P_d = \gamma D_f \quad (2)$$

Donde:

- P_d Presión de compensación, ton/m²
- γ Peso volumétrico del suelo excavado, 1.5 y 1.2 ton/m³
- D_f Profundidad de desplante, 11.87 m

Sustituyendo los valores correspondientes, la presión de compresión vale **16.0 ton/m²**

3.2.4 Presión Neta

La presión neta que se aplica al terreno de cimentación es la diferencia entre la presión que transmite la estructura y la presión de compensación resultado de la excavación calculada:

$$P_n = W_t - P_d \quad (3)$$

Donde:

P_n Presión neta, ton/m²

W_t presión total transmitida por la estructura, 17.87 ton/m²

P_d Presión de compensación, ton/m²

La presión neta que se aplicará a la masa de suelo vale **1.86 ton/m²**

3.2.5 Capacidad de carga Admisible.

De conformidad con la estratigrafía del sitio, la capacidad de carga admisible del terreno de cimentación, se determinó con las siguientes expresiones:

$$q_a = \frac{cN_c}{F_s} + \gamma D_f \quad (4)$$

$$N_c = 5.14 \left[1 + 0.25 \frac{D_f}{B} + 0.25 \frac{B}{L} \right] \quad (5)$$

Donde:

q_a capacidad de carga admisible, ton/m²

c cohesión media del suelo a lo largo de la superficie de falla, 5.72 ton/m²

N_c Factor de capacidad de carga, adimensional, 6.2

γD_f Presión total al nivel de desplante del cajón, 16.0 ton/m²

B, L ancho y largo del cajón de la cimentación, 37.05 y 73.68 m, respectivamente.

F_s factor de seguridad, 3 y 2 para condiciones estáticas y dinámicas, respectivamente.

Sustituyendo los valores correspondientes y aceptando factores de seguridad igual a 3 para condiciones estáticas y 2 para sísmicas, la capacidad de carga admisible vale **27 y 33 ton/m²**, respectivamente.

3.2.6 Momento de volteo sísmico

El momento del volteo provocado por el sismo de diseño, obteniendo mediante el método simplificado, proporcionado por la empresa IOSA es igual a:

$$M_v = 134,467.00 \text{ ton-m}$$

3.2.7 Instrumento de esfuerzos sísmicos

Los esfuerzos que genera el momento de volteo en la base de la cimentación, se evaluaron con la siguiente expresión

$$\Delta\sigma_s = M_v \left[\frac{y_i}{I_x} + \frac{0.3x_i}{I_y} \right] \quad (6)$$

Donde:

x_i, y_i distancia del centroide a las orillas del cajón, en las direcciones larga y corta; 37.53 y 19.75 m, respectivamente.

I_x, I_y momentos de inercia del cajón de cimentación en sentido corto y largo; 392,458 y 1'229,587 m⁴, respectivamente.

Sustituyendo los valores correspondientes, los esfuerzos máximos inducidos por sismo resultan de 8.0 ton/m²

3.2.8 Factor de seguridad en condición sísmica

Este factor de seguridad se determinó comparando la capacidad de carga última del suelo de sustentación con la suma de valor de la presión neta transmitida a la masa de suelo y el incremento de esfuerzos sísmico, utilizando la siguiente expresión

$$FS = \frac{q_u}{P_n + \Delta\sigma_s} \quad (7)$$

Donde:

q_u Capacidad de carga ultima del suelo de cimentación, 51.5 ton/m²

P_n presión neta aplicada al suelo, 1.86 ton/m²

$\Delta\sigma_s$ incremento de esfuerzos sísmicos, 8.0 ton/m²

Sustituyendo los valores respectivos se obtiene un factor de seguridad de 5.2, que resulta mayor al mínimo admisible.

Tensiones inducidas por sismo. Se verifico que en la esquina con mayor esfuerzo sísmico, no se presentaran tensiones; es decir, que el incremento de esfuerzos por sismo sea menor que la presión total estática, condición que se cumple.

3.2.9 Giro máximo de la cimentación

El giro máximo $\vartheta_{m\acute{a}x}$. Que se desarrolla durante un evento sísmico se calculó con las siguientes expresiones:

$$\vartheta_{m\acute{a}x} = \frac{3M_v}{\pi(0.5B)^2 Lk_e} \quad (8)$$

(9)

$$k_e = (1 - m)k_s + mk_i$$

$$m = \frac{K_c}{Ae} \quad (10)$$

Donde:

K_c módulo equivalente de rigidez, considerando suelo y pilotes de madera y concreto, 28,658.10 ton/m²

K_s módulo de rigidez de la masa de suelo, 79.5 Kg/cm²

K_i módulo de rigidez equivalente de los pilotes (madera y concreto reforzado), 118,898.71 Kg/cm²

m coeficiente de áreas, m²

A_i área de pilotes, 67.71 m²

A_e área de masa de suelo, 2,887.0 m²

Al sustituir las literales, el giro máximo de la cimentación resulta del orden de 0.00018 rad, que inducirá una deformación durante el sismo de diseño de 3.3 mm y asumiendo que el 50% de esta deformación será del tipo plástico, el edificio tendrá un asentamiento plástico de 1.67 mm, magnitud que resulta totalmente permisible.

3.3 Asentamientos

Dado que los asentamientos por consolidación de los suelos compresibles característicos de la ciudad de México, se desarrollan en un intervalo de tiempo entre 2 a 3 años, se considera que durante estos años transcurridos desde su construcción por lo que únicamente el inmueble está sujeto al hundimiento regional provocado por la extracción profunda de agua.

3.4 Módulo de reacción vertical (K_v)

El módulo de reacción vertical se define con la presión que se aplica al suelo y el asentamiento que desarrolla, dado por la expresión

$$K_v = \frac{\sigma}{\delta} \quad (11)$$

Donde:

K_v módulo de reacción vertical del suelo de apoyo, Kg/cm²/cm

σ esfuerzo aplicado en el cajón de cimentación, Kg/cm²

δ Asentamiento debido al esfuerzo aplicado, cm

Sustituyendo valores, el módulo de reacción vertical (K_v) recomendado para la interacción suelo-estructuras es de **0.9 Kg/cm³**

Capítulo 4. Aspectos Reglamentarios

A continuación se mencionan algunos artículos del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 2004 en vigor y la comparativa con el reglamento anterior del 1977 con la que fue construido el edificio de la CTM que resultan necesarios para el presente trabajo.

4.1 Artículo 139 (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RDF-2004)

4.1.1 Grupo A

Lo constituyen aquellas estructuras cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana como hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas o de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias flamables o tóxicas, museos o edificios que alojen archivos y registros públicos, y edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios.

4.1.2 Grupo B

Se compone de edificaciones comunes destinadas a vivienda, oficinas o locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A. A su vez, se subdivide en:

4.1.3 Subgrupo B1

Edificaciones de más de 30 metros de altura o con más de 6,000m² de área total construida, ubicadas en la zonas I y II a que se alude en el artículo 170 de este Reglamento, y construcciones de más de 15 metros de altura o 3,000 m² de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un solo cuerpo del edificio que cuente con medios propios de desalojo: acceso y escaleras, incluyendo las áreas de anexos, como pueden ser los propios cuerpos de escaleras.

Al igual edificios que cuenten con salas de espectáculos o reunión que puedan alojar más de 200 personas, templos, así como anuncios auto soportados, de azotea y estaciones repetidoras de comunicación celular y/o inalámbrica.

4.1.4 Artículo 232 (Manual de diseño por Sismo RDF 1977)

De acuerdo al Manual de Diseño por Sismo en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1977 la estructura del edificio de la CTM pertenece al Grupo B.

Construcciones cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como otras plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolineras, comercios, bancos, centros de reunión, edificios de habitación, hoteles, edificios de oficinas, bardas cuya altura exceda de 2.5 m y todas aquellas estructuras cuya falla por movimientos sísmicos pueda poner en peligro otras construcciones de este grupo o del Grupo A.

Por lo tanto, cabe mencionar que el edificio de la CTM pertenece a la clasificación del grupo B según el RDF-77 al ser una estructura destinada a oficinas y al grupo B1 de acuerdo con RDF-2004.

Por otra parte, resulta importante señalar que para este caso las diferencias en los parámetros de diseño entre grupo A y B se muestra en la tabla 9

Tabla 9 Parámetro de diseño entre el grupo A y B

Incremento en el coeficiente sísmico	El coeficiente sísmico se incrementará en 50% para estructuras pertenecientes al grupo A. La estructura se encuentra en zona de IIIb (Iago) que le corresponde un coeficiente sísmico de 0.45
Factor de carga para acciones gravitacionales	Este factor vale 1.4 para estructuras del grupo "B" y 1.5 para las del "A".

4.2 Artículo 1.10 (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RDF-2004)

En este apartado se especifica que toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menor de 50mm, ni menor que el desplazamiento horizontal calculado para el nivel de que se trate, aumentando en 0.001, 0.003 ó 0.006 (0.001 y 0.0015 y 0.002 para el Manual de Diseño por Sismo de 1977) veces la altura de dicho nivel sobre el terreno, en las zonas I, II ó III respectivamente. En este caso deben incluirse los desplazamientos debidos a la flexión de conjunto de la estructura.

En perspectiva con el caso particular del edificio de la CTM, las colindancias cumplen con el artículo 244 del RDF-77 y con el artículo 1.10 de las NTC-RDF-2004- SISMO (DDF, 2004).

4.3 Artículo 3 (Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones del RDF-2004) (DDF, 2004)

La Norma indica que la revisión de cimentación ante estados límite de servicio se realizará tomando en cuenta los límites indicados en la tabla 10.

Tabla 10 Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación

10.a) Movimientos verticales (hundimientos o emersiones)

Concepto	Límite
En la zona III Valor medio en el área ocupada por la construcción: Asentamientos o emersiones	15 cm

10.b) Inclinación media de la construcción

Tipo de daño	Límite	
Inclinación visible	$100/(100+3h_c) \%$	$h_c =$ altura de la construcción en m

10.c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas

Tipo de estructuras	Variable que se limita	Límite
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro	0.006
Marcos de concreto		0.004
Muros de carga de Tabique de barro o Bloque de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.002
Muros con acabados Muy sensibles como yeso, piedra Ornamental, etc.		0.001

En el caso particular del edificio de la CTM, con ayuda de instrumentación topográfica se tomaron los desplomes y niveles del séptimo piso de manera que la Inclinación visible quedo de la siguiente manera, ver tabla 11.

Tabla 11 Inclinación permisible de la CTM

Inclinación visible:	
Porcentaje y magnitud de inclinación media permisible de la construcción:	
$\frac{100}{100 + 3 \times 35} = 0.49\%$	porcentaje de inclinación permisible
$\frac{3500 \times 0.49}{100} = 17.1 \text{ cm}$	magnitud de inclinación permisible

Los valores máximos medidos eran de 18.6 cm en dirección longitudinal (paralelo a la calle Vallarta) y de 24.7 cm en la dirección transversal (paralelo a la cerrada Vallarta). Por lo tanto, en ambas direcciones se sobrepasaban de los valores límite por lo que resultaba necesario realizar trabajos correctivos y monitorear la evolución de la inclinación del inmueble.

4.3.1 Revisión de los hundimientos

Para estimar los asentamientos del edificio se realizaron mediciones en dos fechas con diferencia de 4 meses entre ellas, obteniendo los resultados siguientes tabla 12

Tabla 12 Registro de niveles en columnas y losa del sótano 2

EDIFICIO CTM									
REGISTRO DE NIVELES EN COLUMNAS Y LOSA DEL SÓTANO 2									
Nivel No.	Niv. Inic.		Nivel Losa	Asentamientos	Nivel No.	Niv. Inic.		Nivel Losa	Asentamientos
	may-12	sep-12	sep-12			may-12	sep-12	sep-12	
1	93.897	93.889	94.469	0.0008	28	93.873	93.865	94.567	0.0008
2	93.884	93.876	94.508	0.0008	29	93.888	93.880	94.522	0.0008
3	93.883	93.875	94.448	0.0008	30	93.898	93.89	94.555	0.0008
4	93.875	93.867	94.448	0.0008	31	93.883	93.875	94.601	0.0008
5	93.874	93.866	94.476	0.0008	32	93.888	93.881	94.623	0.0008
6	93.869	93.861	94.546	0.0008	33	93.875	93.882	94.704	0.0008
7	93.877	93.869	94.606	0.0008	34	93.888	93.877	94.784	0.0008
8	93.870	93.862	94.667	0.0008	35	93.891	93.875	94.862	0.0008
9	93.867	93.859	94.882	0.0008	36	93.885	93.868	94.805	0.0008
10	93.878	93.870	94.104	0.0008	37	93.883	93.872	94.823	0.0008
11	93.872	93.864	94.568	0.0008	38	93.867	93.873	94.881	0.0008
12	93.872	93.864	94.536	0.0008	39	93.879	93.871	94.853	0.0008
13	93.873	93.866	94.543	0.0008	40	93.883	93.875	94.862	0.0008
14	93.872	93.864	94.448	0.0008	41	93.876	93.868	94.878	0.0008
15	93.872	93.864	94.559	0.0008	42	93.876	93.868	94.842	0.0008
16	93.874	93.866	94.643	0.0008	43	93.880	93.872	94.756	0.0008
17	93.872	93.864	94.717	0.0008	44	93.883	93.875	94.723	0.0008
18	93.871	93.863	94.734	0.0008	45	93.881	93.873	94.656	0.0008
19	93.870	93.862	94.693	0.0008	46	93.886	93.878	94.666	0.0008
20	93.877	93.869	94.736	0.0008	47	93.884	93.876	94.593	0.0008
21	93.873	93.865	94.761	0.0008	48	93.885	93.877	94.573	0.0008
22	93.875	93.867	94.822	0.0008	49	93.885	93.889	94.564	0.0008
23	93.873	93.865	94.789	0.0008	50	93.897	93.875	94.564	0.0008
24	93.873	93.865	94.831	0.0008	51	93.883	93.877	94.471	0.0008
25	93.871	93.863	94.775	0.0008	52	93.885	93.881	94.564	0.0008
26	93.877	93.861	94.704	0.0008	53	93.889	93.889	94.561	0.0008
27	93.869	93.865	94.618	0.0008					

4.4 Artículo 177

No es necesario revisar la seguridad de edificaciones construidas antes del año 1900 si no han sufrido daños o inclinaciones significativas y siempre que no se hayan modificado sus elementos estructurales ni se hayan incrementado significativamente las cargas originales. Así mismo, no será necesaria la verificación cuantitativa de que cumplan los requisitos de

estabilidad estructural establecidos en el Título Sexto de este reglamento en las edificaciones del Grupo A que satisfacen simultáneamente las siguientes condiciones:

- I. Que haya evidencia de que el edificio en cuestión no tiene daños estructurales ni los ha tenido ni ha sido reparado, y que el comportamiento de la cimentación ha sido satisfactorio; la evidencia se obtendrá de inspección exhaustiva de los elementos principales de la estructura, así como el comportamiento de la cimentación; se verificará que no se hayan efectuado modificaciones que afecten desfavorablemente su comportamiento;
- II. Que no existan defectos en la calidad de los materiales ni en la ejecución de la estructura, según conste en los datos disponibles sobre la construcción de la edificación, en la inspección de la estructura y en los resultados de las pruebas realizadas a los materiales;
- III. Que el sistema estructural sea idóneo para resistir fuerzas sísmicas y en particular, no presente excesivas asimetrías, discontinuadas ni irregularidades en planta o elevación que pudieran ser perjudiciales y que en caso de que presente alguno de los defectos anteriores, éstos puedan eliminarse sin que afecte la resistencia de la estructura y
- IV. Que se trate de una escuela, que no sea de educación inicial, preescolar, primaria, media o media superior, o no aloje a más de cincuenta alumnos.

La verificación de que se cumpla con todos los resultados anteriores deberá asentarse en la constancia expedida por un Corresponsable de Seguridad Estructural.

4.5 Artículo 6 Condiciones de regularidad (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo del RDF-2004) (DDF, 2004)

Estructuras regulares: para que una estructura pueda considerarse regular, debe satisfacer los siguientes requisitos:

- a) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
- b) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5
- c) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5
- d) La planta no tiene entradas ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
- e) En cada nivel tienen un sistema de techo o piso rígido y resistente.
- f) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas no difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área en planta.
- g) El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.
- h) Ningún piso tiene un área delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales mayores que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de esta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. A demás, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.
- i) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes y losas planas.
- j) Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

- k) En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente e_s , excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

Cabe mencionar que toda estructura que no satisfaga uno o más de los requisitos de esta sección será considerada como irregular.

Así mismo, se considera como estructura fuertemente irregular aquellas estructuras que cumplan con alguna de las siguientes condiciones:

- 1) La excentricidad torsional calculada estrictamente e_s excede en algún entrepiso de 20 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralelamente a la excentricidad mencionada.
- 2) La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 100 por ciento a la del piso inmediato inferior.

En el caso particular del edificio de la CTM, se puede analizar que es una estructura irregular ya que para este caso se consideró un factor de reducción de ductilidad por irregularidad de 0.8 según las NTC-RDF-2004. El RDF-77 no considera efectos de irregularidad en el comportamiento sísmico de estructuras.

4.6 Cargas reglamentarias y cargas existentes Reglamento 1977

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1977 las cargas vivas son las siguientes (kg/m^2) (DDF, 1977):

Tabla 13 Carga reglamentaria y cargas existentes reglamento 1977

Destino de piso o cubierta	W	Wa	Wm
a) Habitación (casa-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares), oficinas-despachos y laboratorios.	70	90	420 $120+\sqrt{A}$
b) Comunicaciones para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)			
Cuando sirven a no más de 200 m ² de área habitable	40	150	200 $150+\sqrt{A}$
Cuando sirven a un área habitable superior a 200 m ² y menor a 400 m ²	40	150	400 $150+\sqrt{A}$
Cuando sirvan a más de 400m ² o algún lugar de reunión	40	150	600 $120+\sqrt{A}$
d) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	40	350	450
e) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)	40	250	350
f) Comercios, fábricas y bodegas			
Área tributaria menor a 20 m ²	0.8Wm	0.9Wm	Wm
Área tributaria mayor a 20 m ²	0.7Wm	0.8Wm	Wm
g) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%	15	70	100
h) Cubiertas y azoteas con pendientes mayor de 5%	5	20	60
i) Volados en vía pública (marquesina, balcones y similares)	15	70	300
j) Garages y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)	40	100	150

4.7 Reglamento para Construcciones del Distrito Federal 2004 Cargas Vivas

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 2004 las cargas vivas son las siguientes (kg/m²) (DDF, 2004):

Tabla 14 Cargas vivas

Destino de piso o cubierta	W	Wa	Wm
a) Oficinas, despachos y laboratorios	100	180	250
b) Comunicaciones para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	40	150	350
c) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)	40	250	350
g) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%	15	70	100
h) Cubiertas y azoteas con pendientes mayor de 5%	5	20	40
i) Volados en vía pública (marquesina, balcones y similares)	15	70	300
j) Garages y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)	40	100	150

Tabla 15 Acotaciones

Acotaciones	
Wm	Se deberá utilizar para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en el suelo, así como en el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales
Wa	Se deberá usar para diseño sísmico, por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área
W	Se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas

Para el caso del edificio de la CTM, de acuerdo a la inspección visual y a la información recopilada, el uso de la estructura que se tenía contemplado, desde su construcción a la fecha, es de oficinas. El RDF-77 considera $W=70\text{kg/m}^2$ y $Wm=130\text{ kg/m}^2$ mientras que el RDF-2004 $W=100\text{kg/m}^2$, $Wa=180\text{kg/m}^2$ y $Wm= 250\text{kg/m}^2$. Las cargas vivas accidental y máxima han aumentado un 100% del RDF-77 al RDF2004.

Capítulo 5. Alternativas para corregir la excentricidad estática del edificio

5.1 Opción para corregir la inclinación del edificio.

Para corregir el asentamiento diferencial que tiene el edificio, se presentan 2 opciones:

- a) Levantar el edificio en la zona suroriente hasta alcanzar el nivel de plaza de la república, es decir recuperar del orden de 38cm de diferencial.
- b) Hacer descender el edificio en la zona alta (esquina norponiente), hasta alcanzar el nivel de la cerrada Ignacio L. Vallarta.

La opción más sencilla para recuperar la verticalidad del inmueble es la “b”, utilizando la técnica de subexcavación, que consiste en provocar la plastificación controlada del suelo de cimentación en la parte alta, para que el inmueble descienda a una velocidad baja y controlada.

El procedimiento constructivo para recuperar la verticalidad del edificio y realizar el recorte de los pilotes y así restablecer el colchón de suelo entre el cajón y la cabeza de los pilotes, se realizará siguiendo la secuencia descrita a continuación:

- 1) Bombeo.
- 2) Reubicación y colocación del lastre seleccionado de las 5 alternativas sugeridas.
- 3) Subexcavación.
- 4) Descabece de pilotes y ademes.
- 5) Técnicas geofísicas para determinar la posición y longitud de pilotes
- 6) Restitución de la masa de suelo con lodo fraguante (bentonítico).
- 7) Tapado y sellado de lumbreras y pozos de bombeo.
- 8) Monitoreo topográfico.

5.2 Bombeo

Este proceso servirá para elaborar en seco y abatir la presión de poro por debajo de la losa fondo, se propone la instalación de un sistema de bombeo del tipo eyector para abatir el nivel

de aguas freáticas, que consistirá en 69 pozos, instalados a 8.0 m de profundidad, respecto al nivel de desplante de la losa fondo (20.0 m a partir del nivel de banquetas y 6.0 m respecto al nivel de piso de las trincheras de subexcavación) distribuidos en toda el área de la cimentación. Previo y durante la construcción del bombeo eyector se auxilie con el bombeo de achique, proporcionado por los 4 cárcamos existentes en el edificio. El sembrado de los pozos de bombeo y el detalle de los mismos se presentan en las ilustraciones No. 14 “distribución de pozos de bombeo” y la No.15 “detalle de pozo de bombeo”, respectivamente.

El bombeo se activara dos semanas antes del inicio de cualquier tipo de excavación y opere durante la ejecución de todas las actividades que demanda la corrección del edificio, garantizando la circulación del personal dentro de las trincheras que procesaran el proceso de subexcavación, mediante el monitoreo constante de los pozos de bombeo para mantener el espejo de agua por lo menos a una profundidad de 5.5 m a partir del nivel de losa fondo. Adicionalmente en caso necesario, se implementaran cárcamos de achique para abatir el excedente de agua proveniente de la misma.

5.3 Reubicación y colocación del lastre seleccionado

Para corregir la excentricidad que presenta el edificio, es necesario la colocación y reubicación del lastre actual ya sea con arena ó concreto ciclópeo y bloques de poliestireno, según la alternativa seleccionada de la Tabla 16. Para ello, resultó necesario la demolición de la losa tapa de las celdas para realizar el vaciado ó extracción de arena e introducción de los bloques de poliestireno en las zonas indicadas en la misma figura.

Tabla 16 Alternativas para corregir la excentricidad estática

No.	ALTERNATIVA	EXCENTRECIDAD				Area lastre principal m2	Volumen lastre principal	OBSERVACIONES
		ex		ey				
		m	%	m	%			
12.1	Condicion actual de celdas de cimentación con la adición de un lastre de concreto.	0.00	0.00	0.00	0.00	334.40	819.28	**No requiere el retiro ni la reubicación de los materiales que rellenan actualmente las celdas de cimentación. **La adición del lastre del concreto con barita se realizara de forma rapida y limpia.
12.2	Lastre de arena saturada y bloques de poliestireno.	-0.17	-0.19	-0.03	-0.14	1404.38	3440.73	** Demanda el retiro y reubicacion del arena y los bloques de poliestireno. Ademas del suministro de ambos materiales para cubrir el área solicitada **El volúmen de arena por suministrar impactará considerablemente en el costo de la corrección del edificio.
12.3	lastre de concreto ciclopeo y bloques de poliestireno.	-0.04	-0.11	0.01	0.07	676.95	1658.53	**Demanda el retiro total de arena y la reubicación y suministro de los bloques de poliestireno. ** El volumen de concreto demandado, impactara importantemente en el costo de corrección del edificio.
12.4	Lastre de concreto con barita y bloques de poliestireno.	0.01	0.02	0.02	0.12	310.00	759.90	** demanda el relleno total del arena y de los bloques de poliestireno. ** Es el lastre mas efectivo, aunque deberá realizarse una comparativa de costo-beneficio con las otras alternativas.
12.5	Lastre de concreto con barita y celdas inundadas	-0.01	-0.03	-0.02	-0.09	380.00	931.00	** Demanda el retiro total del arena y los bloques de poliestireno. ** considera un tirante constante del NAF de 1.3 m maximo, por lo que deberan automatizarse los carcamos de bombeo para conservar dicho tirante.

5.4 Subexcavación del edificio

Para realizar la corrección del edificio mediante la técnica de flujo plástico, se construirá el orden de 8 lumbreras, distribuidas proporcionalmente en toda el área del sótano 2 y a partir de la losa tapa, lo que involucró su demolición y en otras, se aprovecharon los accesos ó registros de las celdas de cimentación. Las lumbreras se formaran de sección cuadrada de aproximadamente 1.5 x 1.5 m, hasta alcanzar una profundidad del orden de 2.0 m, a partir del nivel de lecho inferior de la losa fondo.

A partir de estas lumbreras se excavara las trincheras principales, que darán paso al personal que realizará los trabajos, y están trazadas en forma paralela y perpendicular al edificio; posteriormente las secundarias se excavara en forma perpendicular a las trincheras principales, con la finalidad de localizar los pilotes de madera y de concreto, para determinar su distribución y obtener un levantamiento con mayor exactitud de los pilotes.

Se recomendó que dichas actividades se iniciaran en la zona comprendida entre los ejes 4 y 5, que es donde se denotaba el parteaguas de la losa fondo y avanzar simultáneamente hacia el norponiente y hacia el suroriente del edificio, realizando el descabece de los pilotes de madera y concreto. Simultáneamente se trabajara la reubicación y colocación del lastre de arena ó bloques de poliestireno. Adicionalmente, se deberá tomar en cuenta un sistema de ventilación e iluminación durante los trabajos de subexcavación y actividades complementarias.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en las nivelaciones topográficas, la corrección del edificio se realizara considerando el asentamiento diferencial promedio registrado en cada uno de los entresijos, que es del orden de 12.6 y 19.3 cm en el sentido corto y de 13.0 y 20.0 cm en el sentido largo; ello, con la finalidad de permitir la funcionalidad del inmueble.

5.5 Técnicas geofísicas para determinar la posición y longitud de pilotes

Aprovechando las técnicas geofísicas y el espacio que constituyen los corredores para alcanzar los pilotes, se realizaron los trabajos geofísicos necesarios para determinar la longitud de los pilotes de madera y de concreto.

5.6 Descabece de pilotes de madera y de concreto.

Una vez localizados los pilotes de concreto se descabezaran se demolerán con rompedoras eléctricas o neumáticas dejando un colchón aproximadamente tres metros libres del lecho bajo losa de cimentación, En el caso de los pilotes de madera, el descabece se realizó con una sierra eléctrica y, finalmente, en el caso de localizar ademes metálicos de pozo de bombeo anteriores, se emplearan equipos de corte convencionales.

5.7 Restitución de la masa de suelo con lodo fraguante

Ya descabezados los pilotes y recuperada la verticalidad del edificio, se sustituirá el material excavado, mediante lodo fraguante, utilizando material propio de la excavación del lugar, con una dosificación tal que cumpla con las propiedades físicas y mecánicas del suelo excavado. Para ello, se realizaron las pruebas de resistencia para diferentes dosificaciones de suelo-agua-bentonita-cemento.

5.8 Tapado y sellado de lumbreras y pozos de bombeo

Una vez alcanzada la resistencia especificada del lodo fraguante, se suspendera el sistema de bombeo; para ello, se estarán subiendo las puntas eyectoras en forma gradual. Inmediatamente después de suspender el bombeo, se sellaron las lumbreras y pozos alternadamente, con un lodo fraguante, conformado con una mezcla de agua-cemento-silicato de sodio y se restituyó el concreto de las losas fondo y tapa.

Para garantizar que el tapón evitara la entrada del agua, utilizar aditivos como XIPEX de Fester o similar.

5.9 Monitoreo topográfico

Con la finalidad de corregir en forma oportuna y segura, cualquier eventualidad durante los trabajos de corrección, se recomienda instalar puntos de control topográfico (palomas) y líneas de colindancias, adicionales a los existentes en las columnas del sótano 2, para monitorear al nivel de banqueteta, el comportamiento del edificio y estructuras colindantes, que se dispusieron a cada 5.0m en la periferia del inmueble; así como la instalación de plomos en las esquinas del edificio y en ambas direcciones. El monitoreo topográfico durante los trabajos de corrección se realizaran dos veces por semana.

El banco de nivel será el mismo que se utilizó para las nivelaciones de monitoreo. Ya finalizando los trabajos, se mantendrá el control topográfico para establecer el comportamiento general y determinaron las medidas de ajuste que deberán implementarse. Estas nivelaciones se llevaran a cabo con un periodo trimestral.

Conclusiones

De acuerdo con la zonificación del Valle de México el predio se localiza en la zona geotécnica denominada Zona de Lago IIIb, El nivel de aguas freáticas (NAF) se detectó a 3.4 m de profundidad, existiendo un abatimiento piezométrico a partir de 12.5 m de profundidad, con relación a la condición hidrostática original del suelo, alcanzando un máximo de 43.23 ton/m² entre 42.0 y 48.5m.

Esta fuerte reducción de la presión es debida a la extracción de agua del subsuelo para fines de suministro de la Ciudad de México, generando el fenómeno de hundimiento regional por enjutamiento de las arcillas.

El edificio de la CTM tiene un desplomo en las direcciones Sur y Oriente de aproximadamente 0.2 y 0.26 m, respectivamente, teniendo un hundimiento diferencial en el sentido largo de 31 y 37.9 cm; mientras que en el sentido corto es de 14 y 29 cm. El asentamiento diferencial de la calle entre las esquinas norponiente y suroriente es de 85 cm.

Se puede observar en los perfiles longitudinales un cambio de pendiente muy pronunciada a partir del eje "4₂"; mientras que en el sentido corto, el cambio de pendiente se percibe a partir del Eje "D", por lo que puede denotarse que el área rigidizada con los pilotes de madera está delimitada entre los ejes 1 a 5 y entre los ejes "D" y "G". Hecho que deberá verificarse durante los trabajos de corrección del edificio.

Así mismo, se identificó que se construyó en un predio ocupado anteriormente por diversas estructuras, con diferentes cargas y número de niveles, por lo que la masa de suelo bajo la cimentación del edificio actual, cuenta con una condición de preconsolidación diferencial, de acuerdo con la información recolectada se menciona la existencia de pilotes de madera en la zona comprendida entre los ejes 1 a 5 y entre los ejes "D" y "G", que formaban la cimentación de una torre de 10 niveles y del teatro del Músico, localizados en la zona norponiente del actual edificio.

Para corregir y uniformizar el comportamiento de la masa de suelo ante las condiciones del edificio de la CTM, se recomienda el descabece de estos pilotes en una longitud de 2.0 m; en el resto del área, se hincaron pilotes de concreto con sección de 50 x 50 cm y 17.0 m de longitud, desplantados a 31.0 m de profundidad de acuerdo a la información de ISTME. Desafortunadamente no existen registros de dichas actividades, por lo que se desconoce la sección, distribución y nivel de desplante de ambos tipos de pilotes.

Por otra parte, de las revisiones geotécnicas realizada se menciona una excentricidad del edificio hacia las direcciones sur y oriente, pero no se precia la magnitud; por ello, se recomendaron diversas acciones para corregir la excentricidad y el desplome del edificio, que consistente en colocación de un lastre de arena y poliestireno, así como el sellado de las celdas del cajón y la subexcavación para corregir el desplomo de la estructura. Sin embargo, durante la inspección realizada en las celdas consta que la mayor parte de ellas están inundadas y que la ubicación del lastre de arena y poliestireno no corresponde con las zonas recomendadas.

De las nivelaciones realizadas en 4 secciones de las losas: sótano 2, planta baja o lobby, N-1, N-3 y N-5, se observa un diferencial mayor en el sótano 2, que en el resto de los entresijos, en donde es muy parecido entre ellos, lo que hace suponer que la estructura empezó a inclinarse desde su construcción, realizando la corrección durante el avance de la obra; este diferencial seguramente se debió a la excentricidad y a la presencia de los pilotes de madera y de concreto.

Con base a las revisiones geotécnicas del edificio, los resultados obtenidos de las nivelaciones topográficas y a los indicios físicos observados en el perímetro del inmueble, además de los efecto del hundimiento regional, se plantea la condición actual de la cimentación en donde el colchón de suelo compresible de 2.0 m entre la losa fondo del cajón y la cabeza de los pilotes ya no existe, por lo que al menos en la esquina norponiente ya están en contacto los pilotes de madera con la losa fondo del cajón de cimentación.

A partir de la información y procesamiento de los sondeos realizados, se determinó que la resistencia del sondeo localizado en la esquina norponiente (la más alta), es ligeramente menor que en el resto, lo que seguramente se debe al desarrollo de fricción negativa a lo largo de los pilotes de madera que ya están en contacto con el cajón de cimentación. Adicionalmente, la

inclinación del edificio es debida a su geometría, que origina una excentricidad en el sentido corto y largo y que, aunque actualmente cuenta con un lastre de arena y poliestireno, este no se ha colocado en las zonas recomendadas.

En vista de que el edificio presenta un asentamiento diferencial hacia la esquina suroriente, para corregirlo se hará descender la zona alta hasta alcanzar el nivel de la calle Ignacio L. Vallarta. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en las nivelaciones topográficas, la corrección del edificio se realizará considerando el asentamiento diferencial promedio registrado en cada uno de los entresijos, que es del orden de 12.6 y 19.3 cm en el sentido corto y de 13.0 y 20.0 cm en el largo; ello, con el objetivo de garantizar la funcionalidad del inmueble.

El coeficiente sísmico recomendado para la revisión de la estructura equivale 0.45, que corresponde a la denominada Zona de Lago IIIb. Para corregir la excentricidad estática en el sentido largo y corto y garantizar el adecuado comportamiento del edificio, una vez que se corrija su inclinación, deberá reubicarse y colocarse el lastre de arena o de concreto con barita y los bloques de poliestireno, según lo indica cada una de las diferentes opciones de corrección señaladas en la Tabla No. 16 el lastre con arena resulta ser el más ineficiente; mientras que dadas las condiciones actuales de las celdas de cimentación, se recomienda el adicionar un lastre de concreto con barita; sin embargo deberá realizarse un estudio costo-beneficio de las 5 alternativas para determinar la mejor.

Las actividades que se sugieren para restituir las condiciones originales de la cimentación y corregir el edificio, son las siguientes:

- a) Bombeo.
- b) Reubicación y colocación del lastre seleccionado.
- c) Subexcavación del edificio.
- d) Técnicas geofísicas para determinar la posición y longitud de pilotes.
- e) Descabece de: pilotes y ademes.
- f) Restitución de la masa de suelo con lodo fraguante.
- g) Tapado y sellado de lumbreras y pozos de bombeo.
- h) Monitoreo topográfico.

Bibliografía

- Berthelet , P. (2006). *Calculation parameters and reception criteria for the distribution layer of the rigid element, Simposio Inclusiones Rígidas en Condiciones Difíciles de Suelo*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- DDF. (1977). *normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto*. México. D.F. : Gaceta oficial del departamento del distrito federal.
- DDF. (1977). *Reglamento de construcciones para el distrito federal*. México. D.F. : Gaceta oficial del departamento del distrito federal.
- DDF. (2004). *Normas técnicas complementarias para diseño por sismo*. México: Gaceta oficial del Departamento del Distrito Federal.
- DDF. (2004). *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones*. México D.F.: Departamento del Distrito Federal, Gaceta oficial del DDF, Quinta época N° 40.
- DDF. (2004). *Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto*. México. D.F.: Gaceta oficial del departamento del distrito federal .
- Holguín, E., Gutiérrez, C., Cuevas, A., & Segovia, J. (2003). *Diseño Geotécnico de Cimentaciones*. México: TGC Geotecnia.
- ICA. (1995). *Informe sobre las causas de los movimientos del edificio de CTM*. México: ICA.
- ISTME. (1981). *Estudio del subsuelo, edificio CTM*. México: ICA.
- Soiltec. (2006). *Inspección geotécnica*. México.
- Támez, & Holguí, E. (2007). *Algunas consideraciones acerca de los modelos de diseño de pilas, Memorias conmemorativas*. México: SMMS.
- UNAM. (s.f.). *Servicio Sísmico Nacional*. Obtenido de Reportes sísmicos: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/reportes.jsp>

Anexo I. Memoria fotográfica



Fotografía 1 Ubicación del edificio

Fachada Norte del edificio de la CTM (Calle plaza de la república).



Fotografía 2 Vista principal del edificio

Fachada principal del edificio de la CTM (fachada Poniente, calle Ignacio L. Vallarta).



Fotografía 3 Señalización del desplome al sur del edificio

Fachada sur del edificio de la CTM, se observa el desplome hacia la dirección sur.



Fotografía 4 Señalización del desplome al norte del edificio

Otra vista de la fachada sur del edificio de la CTM, se observa el desplome hacia la dirección sur.



Fotografía 5 Vista de formación de lomo

Formación de lomo en la calle Ignacio L. Vallarta, por la presencia inducida de pilotes de madera de las estructuras anteriores.



Fotografía 6 Sondeo

Ejecución de sondeo Mixto SM-1 sobre la calle plaza de la república.



Fotografía 7 Técnica de penetración estándar

Ejecución de la técnica de penetración estándar en el sondeo Mixto SM-3 sobre la banqueta de la calle Ignacio L. Vallarta.



Fotografía 8 Técnica de cono eléctrico

Ejecución de la técnica de cono eléctrico en el sondeo mixto SM-4, sobre cerrada Ignacio L. Vallarta.



Fotografía 9 Sondeo mixto

Ejecución del sondeo Mixto
SM-10.



Fotografía 10 Sondeo de muestreo selectivo

Encerado y protección de
tubo shelby en el sondeo de
muestreo selectivo SM.1.



Fotografía 11 Vista del estacionamiento

Losa plana reticular en
sótano de estacionamiento.



Fotografía 12 Vista del estacionamiento

Rampa vehicular de entrada.



Rampa vehicular y muros en cubo de elevadores.

Fotografía 13 Vista de cubos de elevadores



Muro de concreto en sótano 2, eje 2.

Fotografía 14 Vista de muro en estacionamiento



Zona de interior de rampa de auditorio.

Fotografía 15 Vista del auditorio



Entrada a auditorio desde nivel de calle.

Fotografía 16 Vista principal del auditorio



Vista frontal interior de la estructura. Niveles +19.00 a +35.00.

Fotografía 17 Vista frontal del edificio



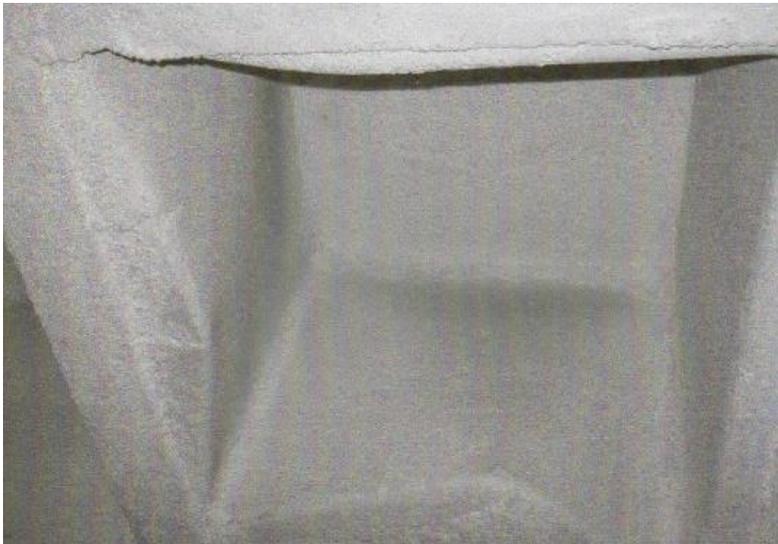
Acceso al edificio nivel +6.50.

Fotografía 18 Vista frontal del edificio



Mal colado y vibrado en capiteles de columnas y muros de sótanos.

Fotografía 19 Fisuras de los muros



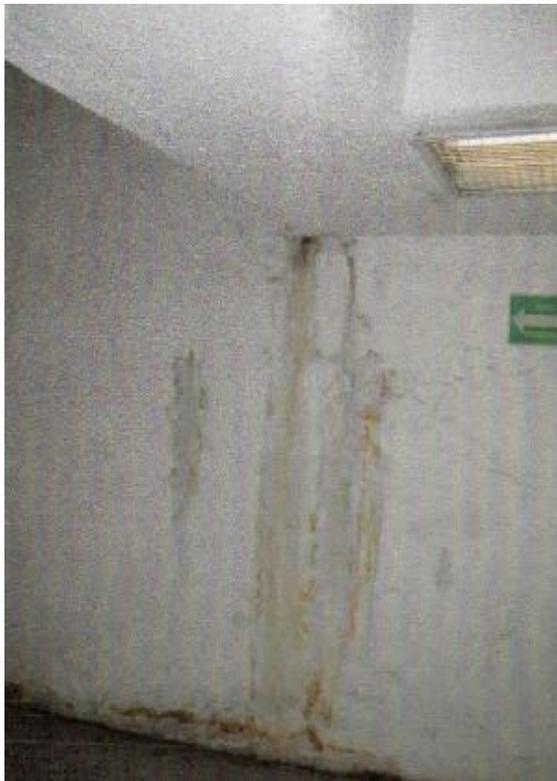
Dimensiones variable en nervaduras en sistema de piso sótanos.

Fotografía 20 Nervaduras del piso



Humedad en nervaduras de sistema de piso de sótano.

Fotografía 21 Vista de problemas en nervaduras



Humedad en muro de concreto en sótano.

Fotografía 22 Vista de muro del sótano



Fisuras en nervaduras de losa plana en sótano.

Fotografía 23 Vista de fisuras en el sótano



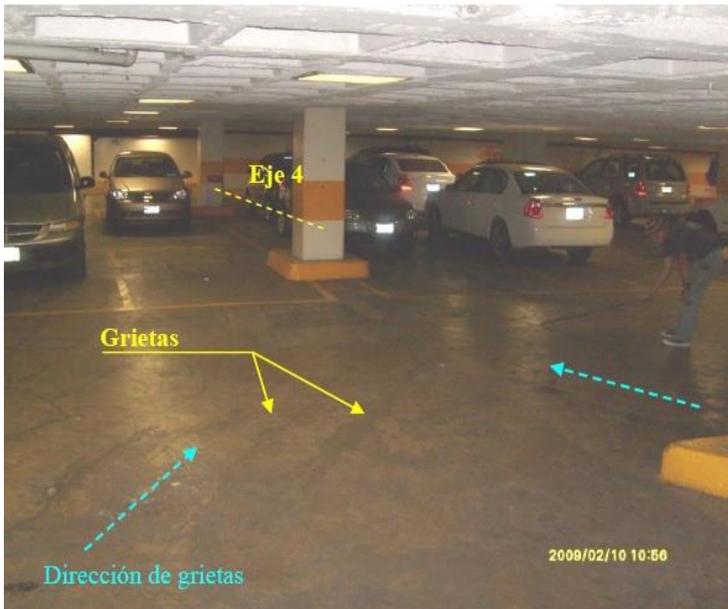
Fisura en losa y nervadura y acero expuesto en sistema de piso en sótano.

Fotografía 24 Vista de fisura expuesta



Humedad y acero expuesto en losa plana de sótano.

Fotografía 25 Problemas de humedad en el sótano



Grietas diagonales en el piso del sótano 2, haciendo un parteaguas en el eje "4".

Fotografía 26 Vista de grietas



Reparación de grietas en losa nervada, sótano 1.

Fotografía 27 Reparación de grietas



Registro de celda de cimentación, donde se puede observarse que fue rellenado con arena.

Fotografía 28 Vista de celda de cimentación



Fotografía 29 Proceso de relleno de celdas de cimentación

Inspección en el interior de la celda de cimentación, rellenas con bloque de Poliestireno.



Fotografía 30 Vista de celdas de cimentación inundadas

Celdas de cimentación inundadas con un tirante de aproximado de 1.3mts.



Celda de cimentación
inundada con arena.

Fotografía 31 Vista de celdas de cimentación

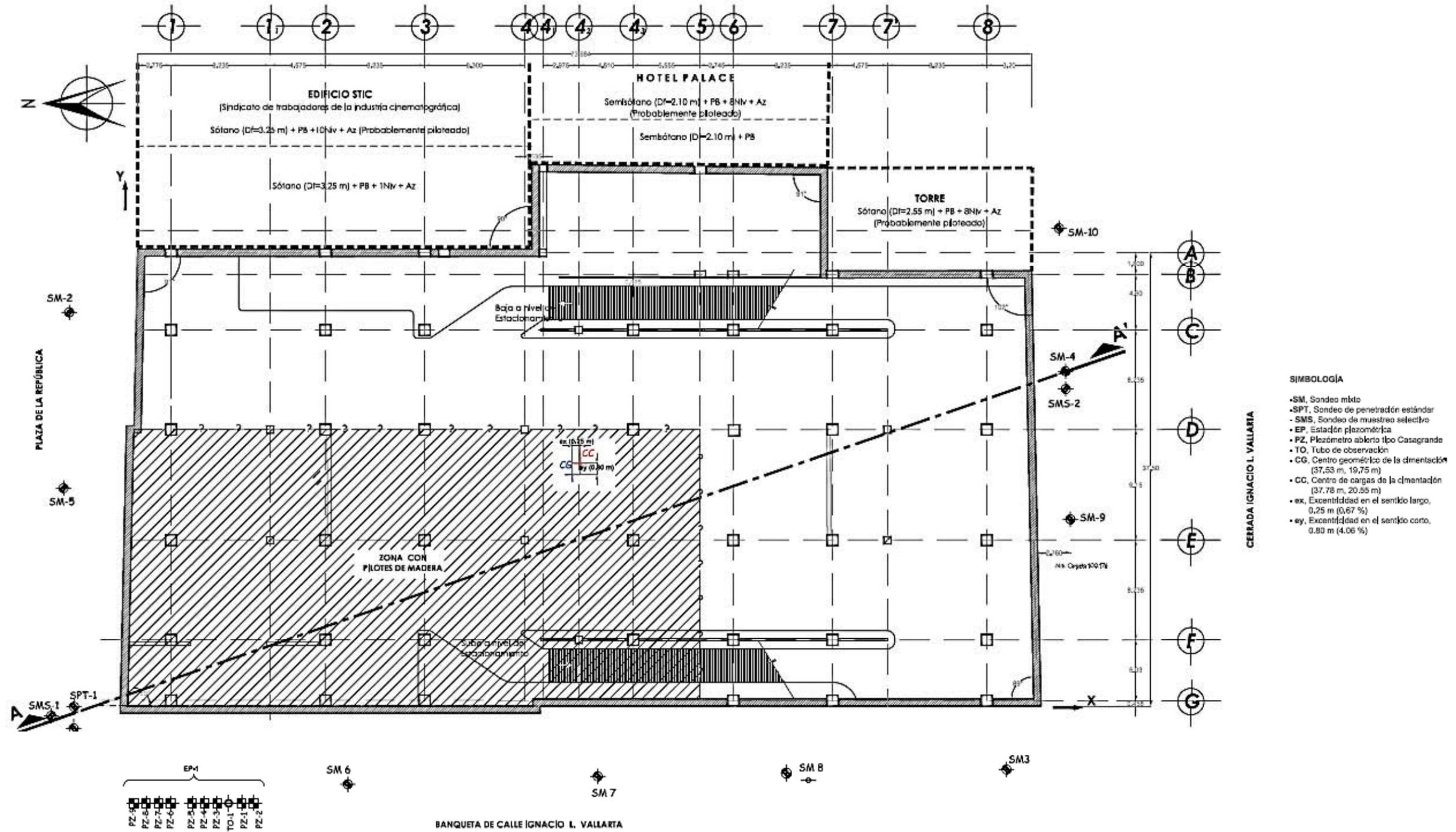


Perfil "C" 2 7/8" x 12"
rematado en losa tapa y losa
fondo con placas metálicas
de 0.35 x 0.50 m.

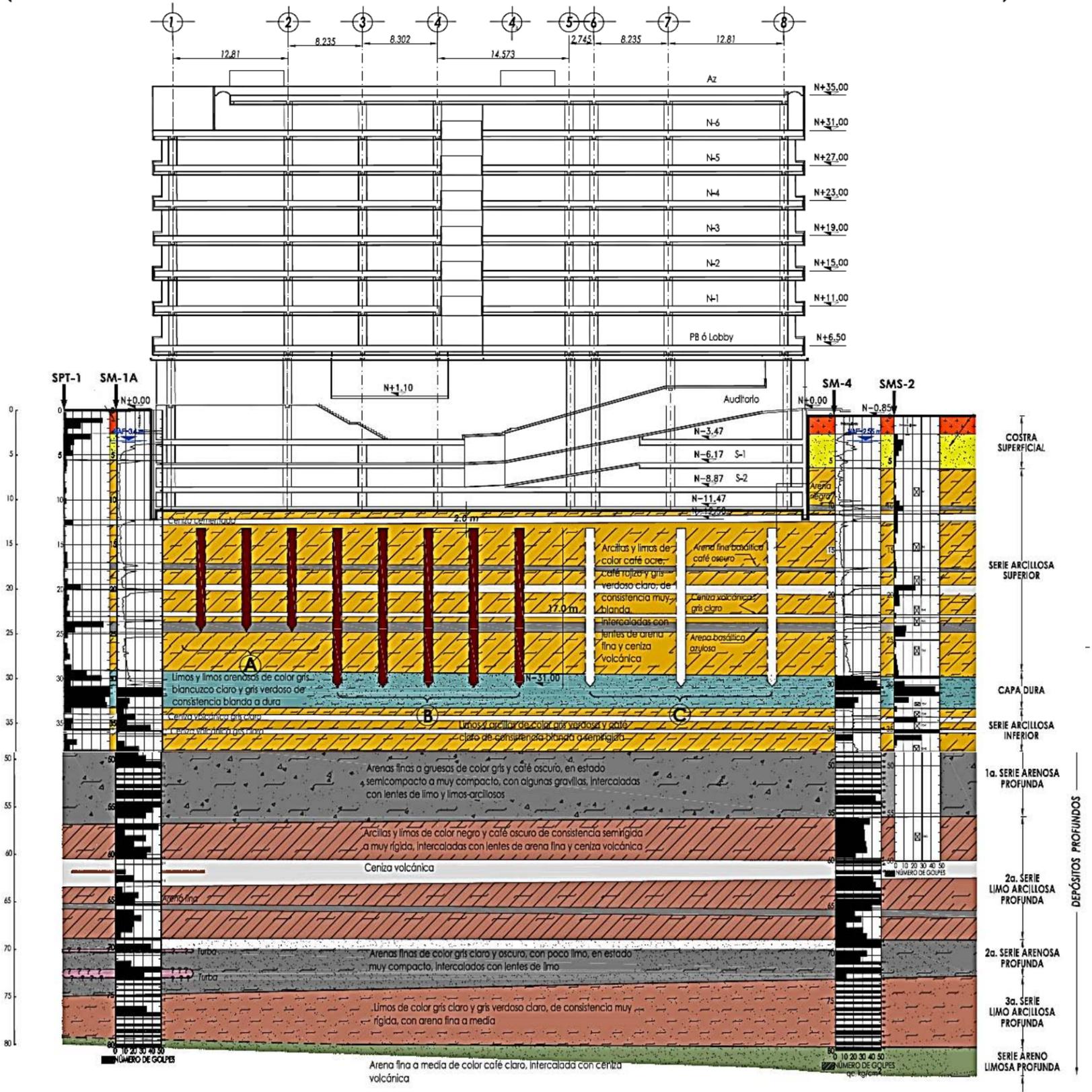
Fotografía 32 Vista de losa tapa y fondo

Anexo II. Planos

Plano 1. Croquis de localización y ubicación de sondeos



Plano 2. Interpretación estratigráfica, corte a-a' y solución de cimentación



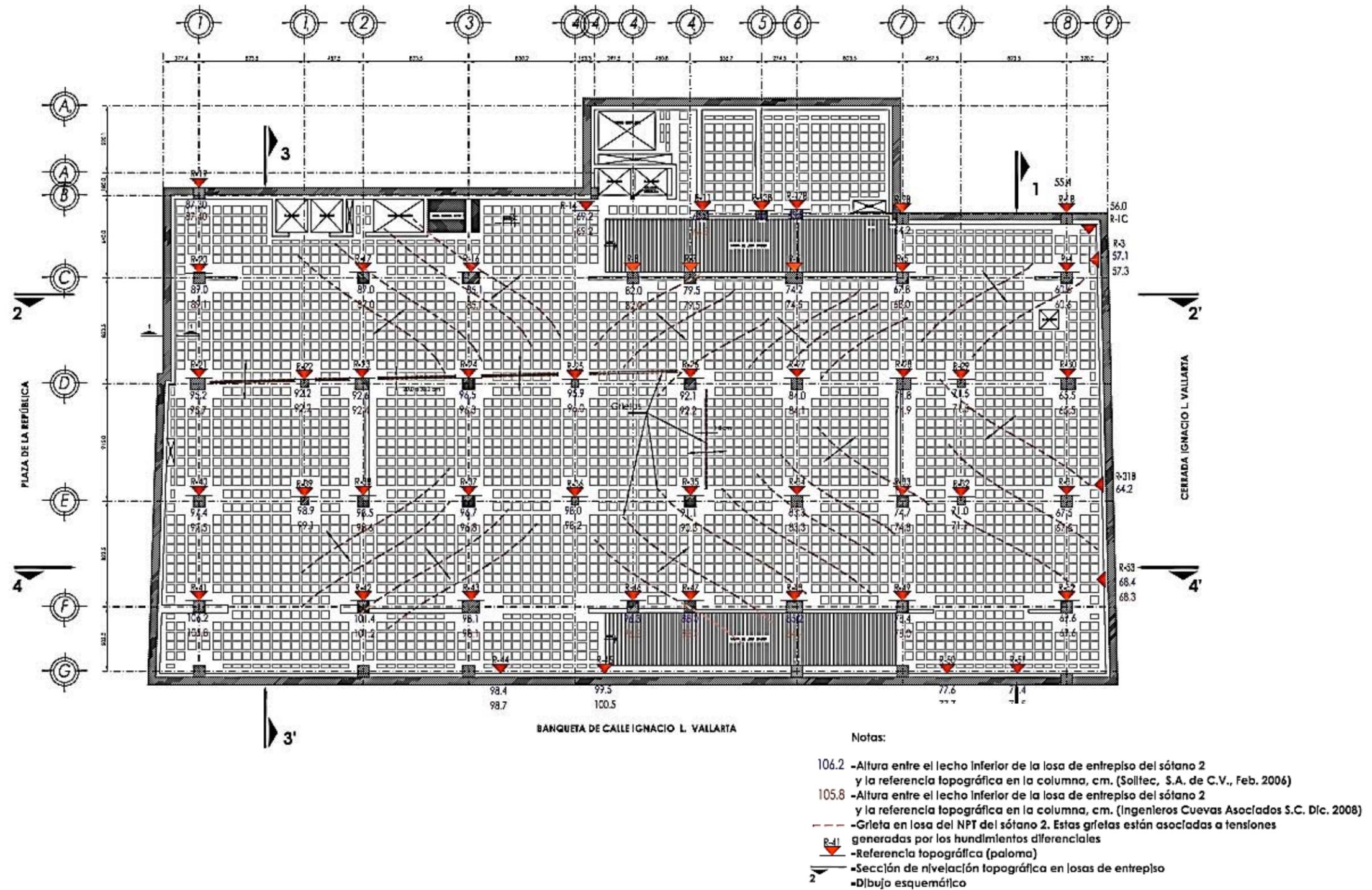
SIMBOLOGÍA

- (A) Pilotes de madera hincados probablemente en arena basáltica
- (B) Pilotes de madera, hincados probablemente en capa dura
- (C) Pilotes de concreto reforzado de 50 x 50 cm de sección y 17.0 m de longitud, hincados probablemente en la capa dura

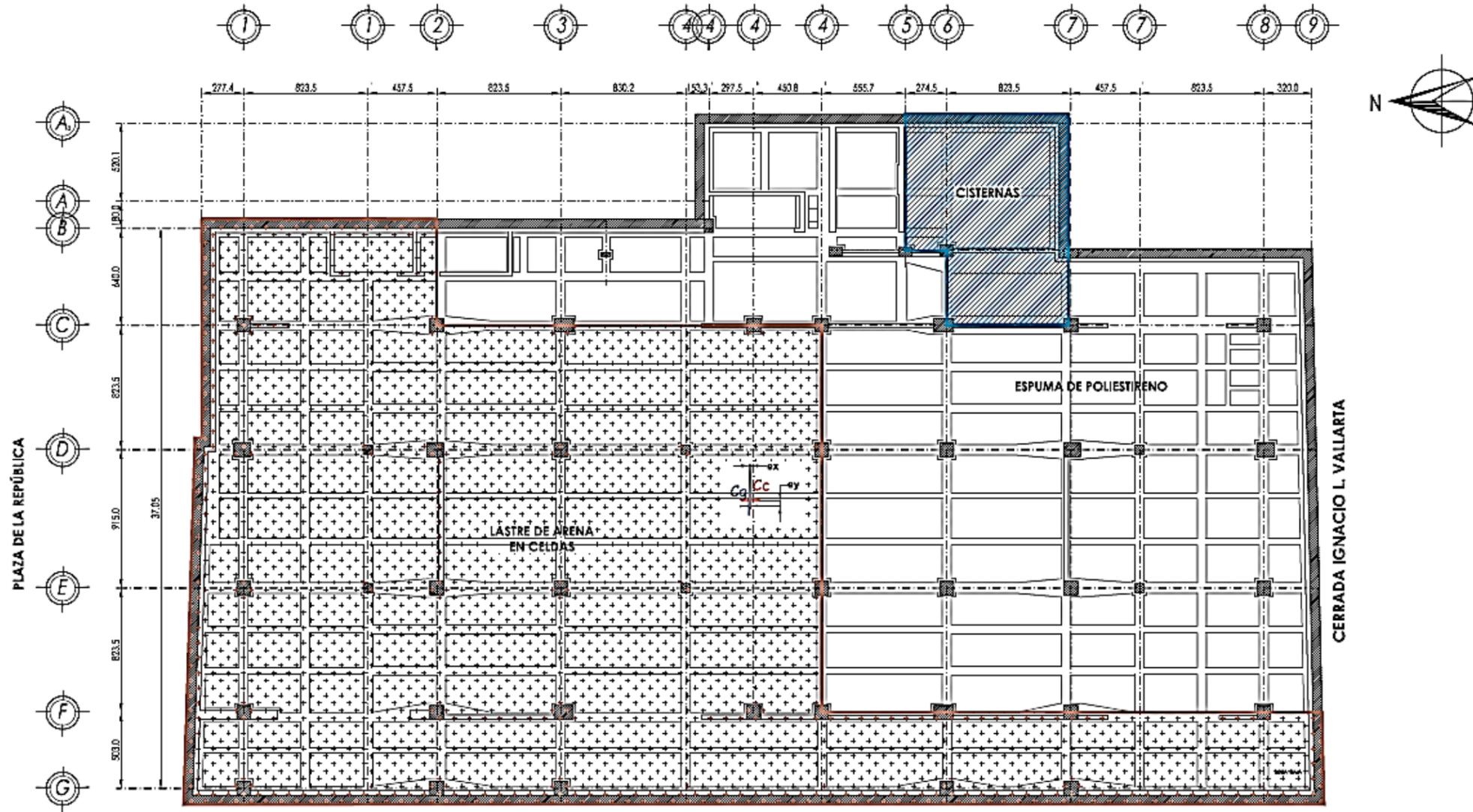
Notas:

- SM, Sondeo Mixto
- SPT, Sondeo de penetración estándar
- SMS, Sondeo de muestreo selectivo
- TS, Tubo shelby
- TD, Tubo dentado
- NAF, Nivel de aguas freáticas
- Esc. 1 : 400

Plano 4. Referencias topográficas en columnas (palomas) y patrón de fisuramiento en la losa npt del sótano 2



Plano5. Recomendaciones para el lastre por ICA en 1995

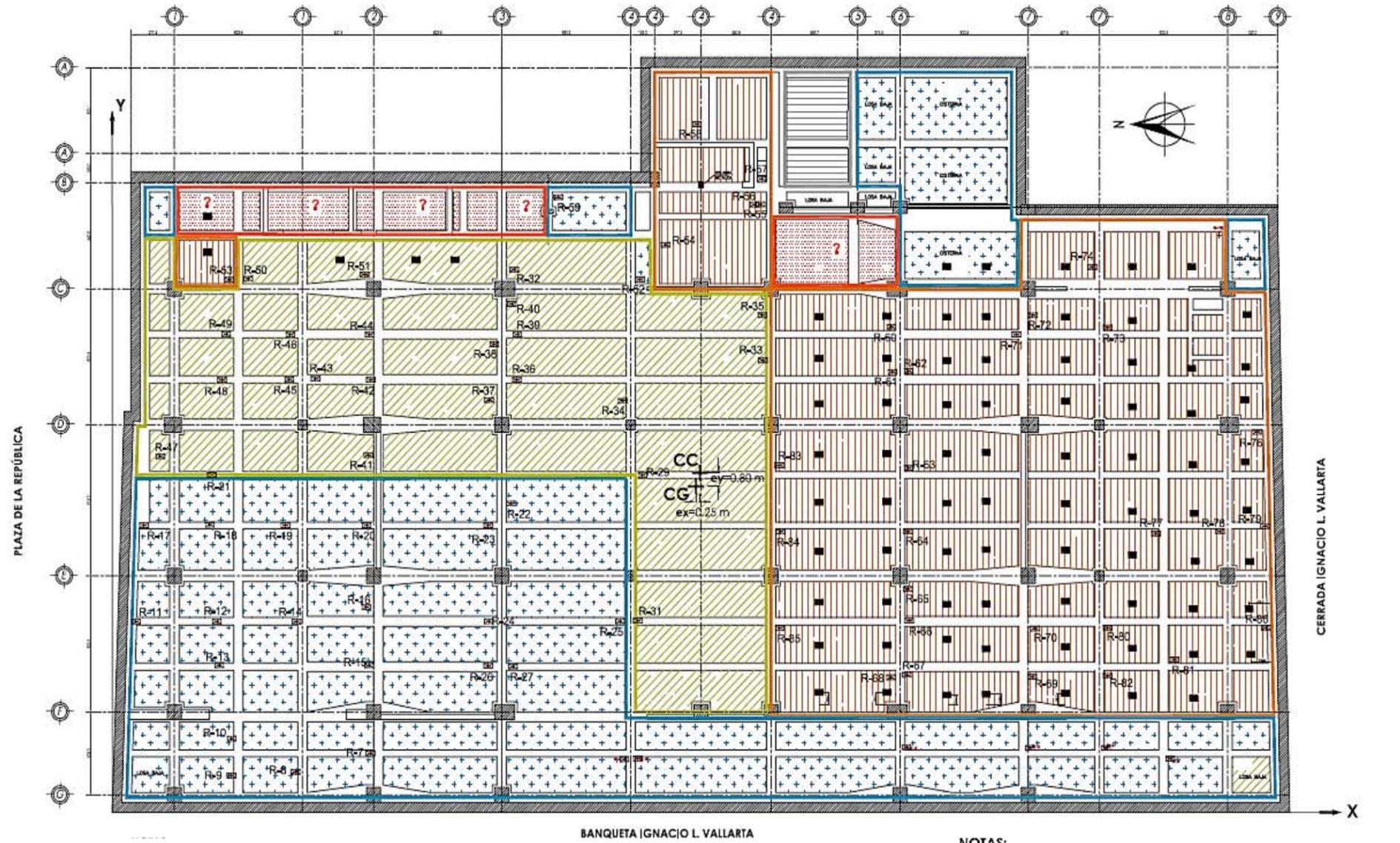


BANQUETA DE CALLE IGNACIO L. VALLARTA

NOTAS:

- Cg, Centro geométrico de la cimentación (37.53 m, 19.75 m)
- Cc, Centro de cargas de la cimentación (37.14 m, 19.93 m)
- ex, excentricidad en el sentido largo, -0.39 m (-1.03 %)
- ey, excentricidad en el sentido corto, 0.18 m (0.91 %)

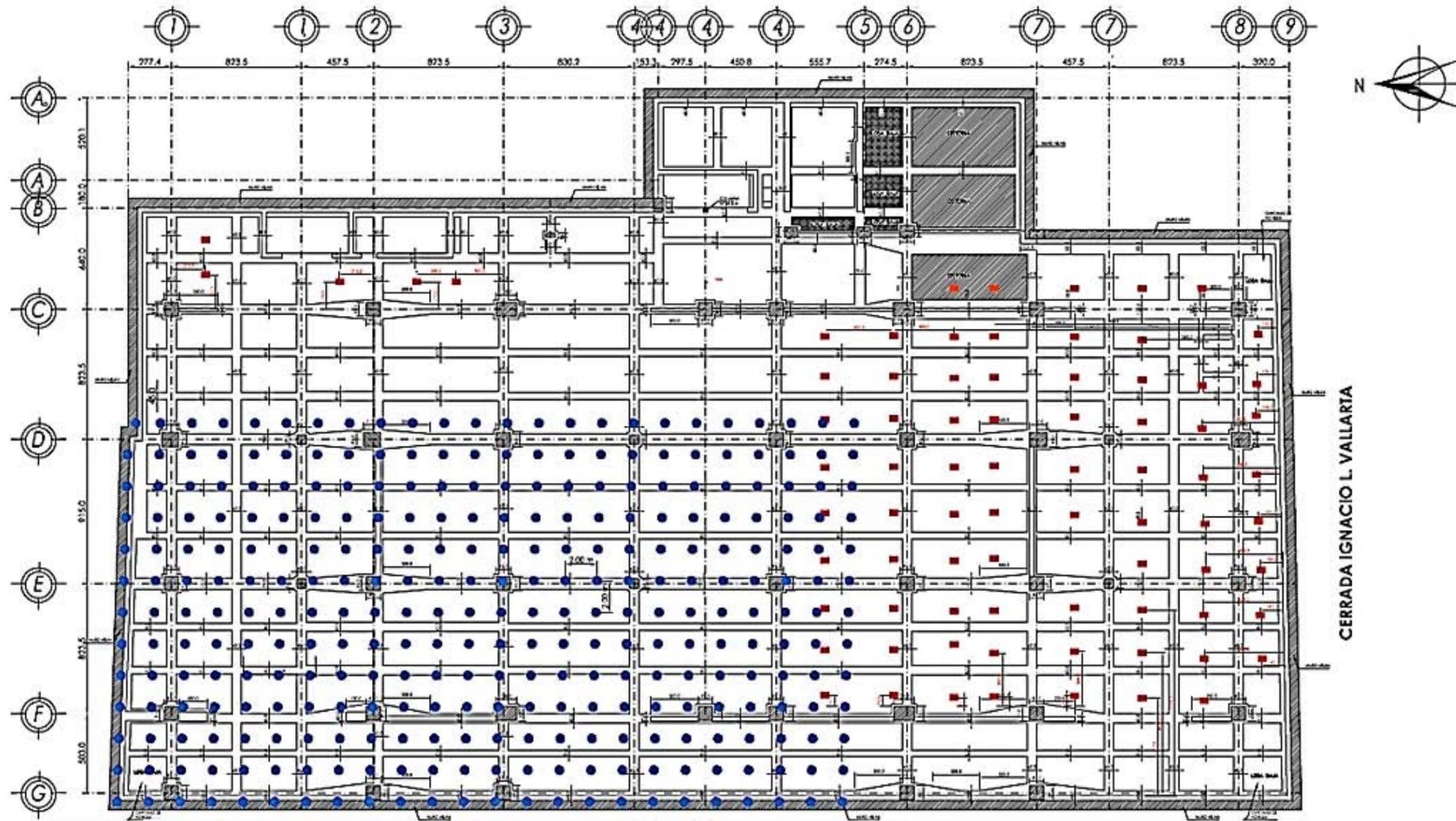
Plano 6. Condiciones actual de las celdas de cimentación



NOTAS:

- Celdas inundadas con tirante de agua entre 1.1 y 1.3 m
- Celdas llenas con arena (lastre). La arena se encuentra saturada
- Celdas con bloques de poliestireno
- Celdas no Inspeccionadas por falta de acceso
- Zona de instalación de bombas de cisterna
- Registro ó acceso a celdas
- Placa metálica de 0.35 x 0.50 m
- C.G, Centro geométrico de la cimentación, (37.53 m, 19.75 m)
- C.C, Centro de cargas de la cimentación, (37.78 m, 20.55 m)
- ex, Excentricidad en el sentido largo, 0.25 m (0.67 %)
- ey, Excentricidad en el sentido corto, 0.80 m (4.06 %)

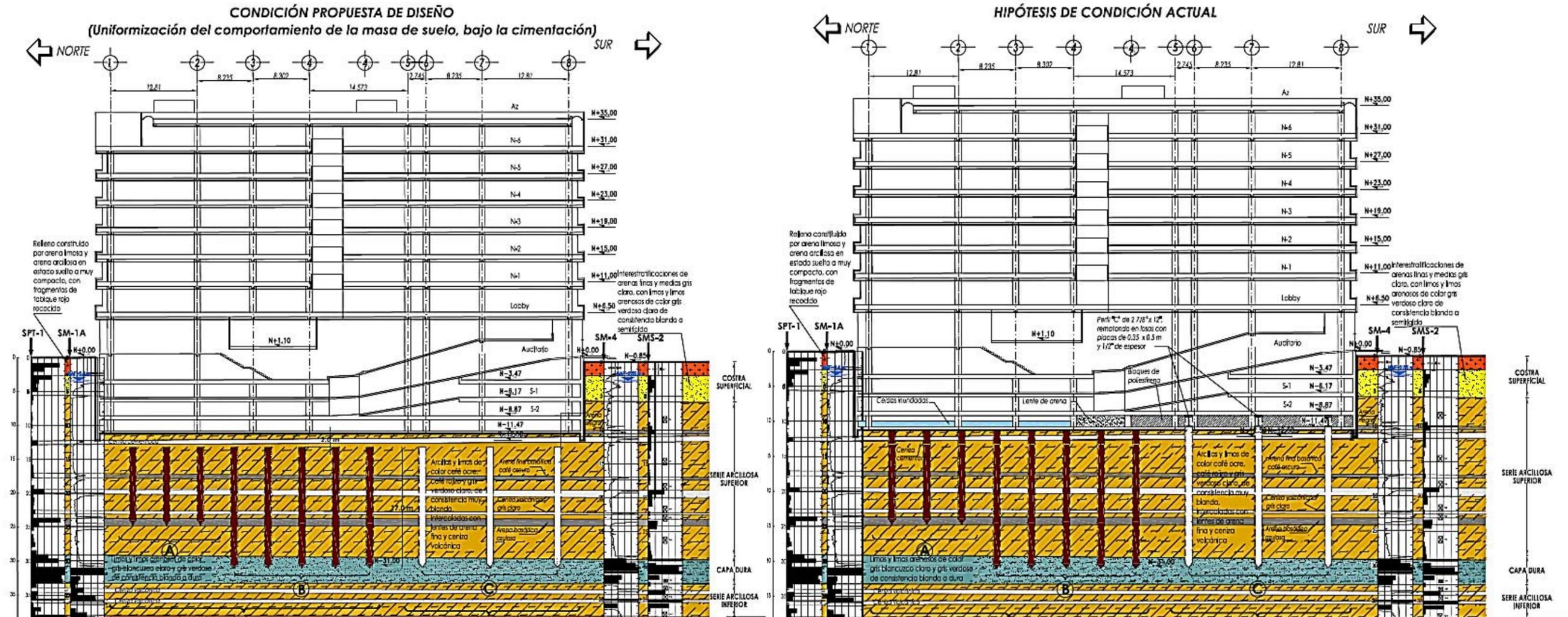
Plano 7. Reforzamiento del cajón de cimentación y ubicación de pilotes de madera



Notas:

- -Pilotes de madera en retícula de 2.0 x 2.0 m en la zona comprendida entre los Ejes "1" a "5" y "D" a "G" (según ISTME)
- -Reforzamiento del cajón de cimentación, con perfil "C" de 2 7/8" x 12", rematando con losa fondo y tapa con placas metálicas de 0.35 x 0.5 m y 1/2" de espesor
- Probablemente la ubicación de los pilotes de concreto reforzado, coincide con la ubicación del reforzamiento del cajón de cimentación
- Dibujo esquemático

Plano 8. Condición de diseño original y actual del edificio de la CTM



CONDICIONES ORIGINALES DE DISEÑO

- 1.-Descabece de Pilotes de madera, una longitud de 2.0 m
- 2.-Hincado de Pilotes de concreto reforzado en zona no piloteada a 31m de profundidad y 17m de longitud
- 3.-Colchón de suelo compresible de 2.0 m entre el lecho inferior de la losa fondo y la cabeza de los Pilotes

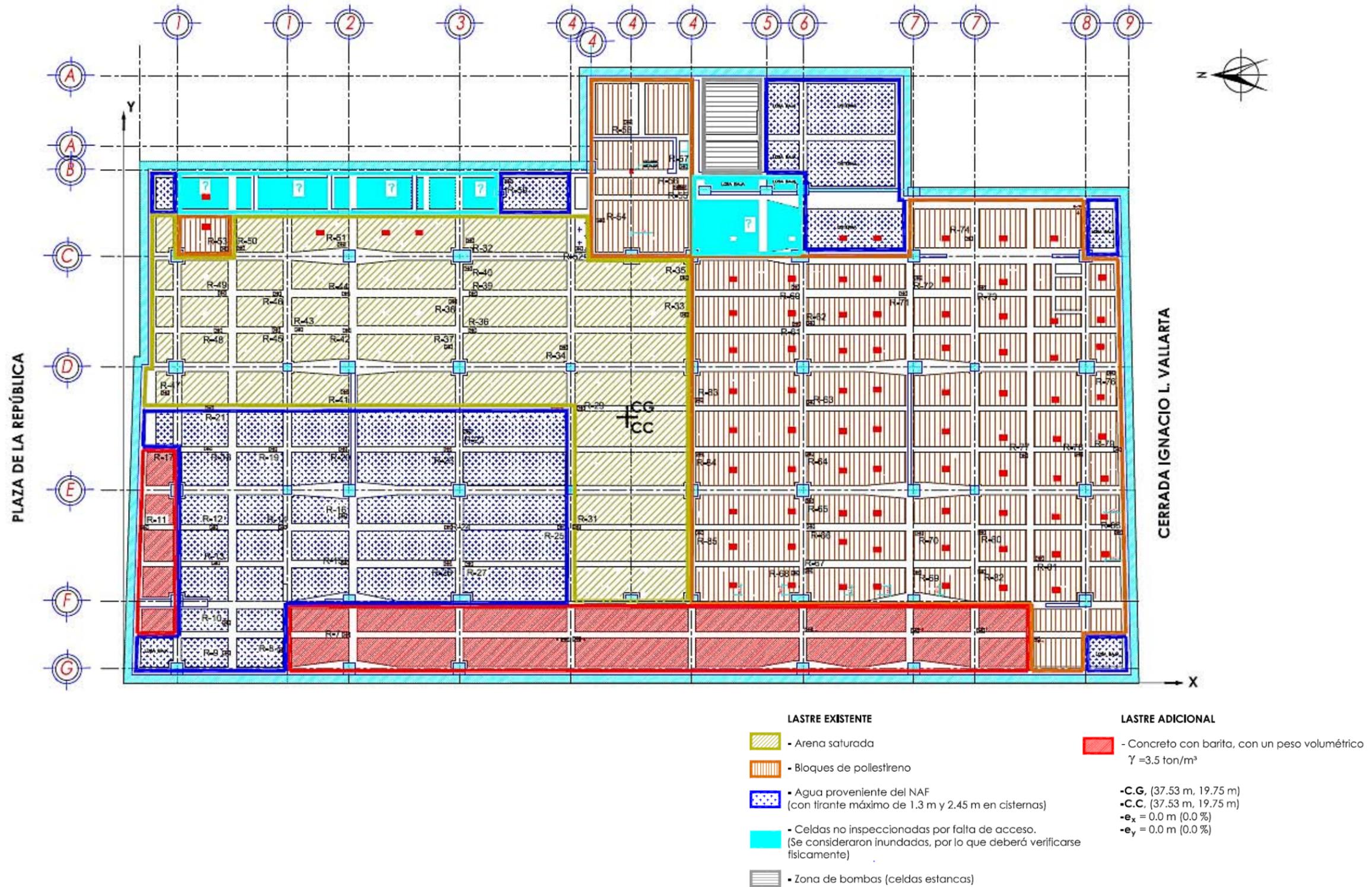
SIMBOLOGÍA

- (A) - Pilotes de madera, hincados probablemente en arena basáltica
- (B) - Pilotes de madera, hincados probablemente en la capa dura
- (C) - Pilotes de concreto reforzado de 50 x 50 cm de sección y 17.0 m de longitud, hincados probablemente en la capa dura

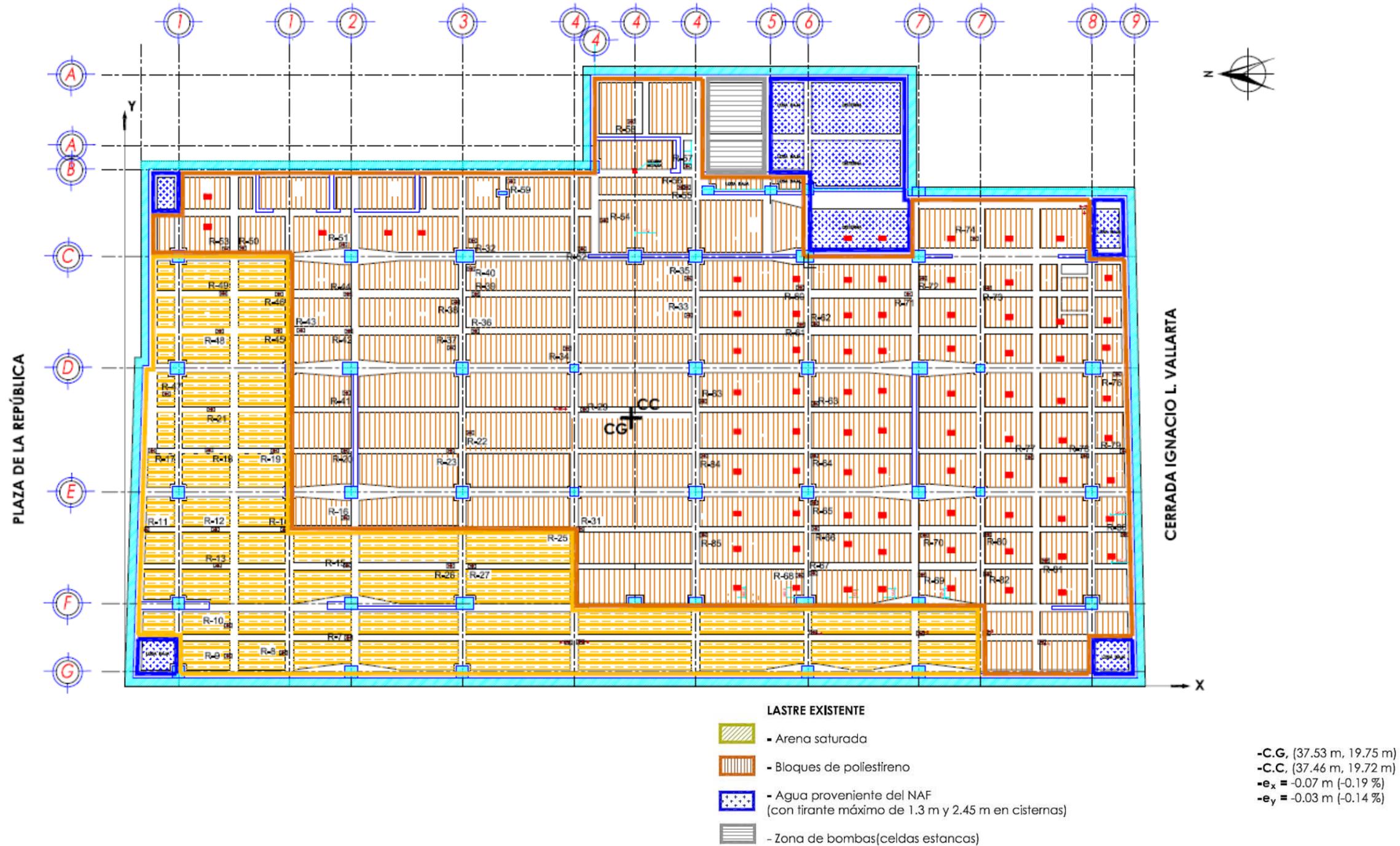
HIPÓTESIS DE CONDICIÓN ACTUAL:

- 1.-Anulación del colchón de suelo compresible entre la losa fondo y los pilotes, por lo que se presupone un contacto entre ambos elementos
- 2.-Por la Inspección realizada en las celdas de cimentación, se determinaron aquellas con lastre de arena, agua y bloques de poliestireno (Febrero 2009, Ingenieros Cuevas Asociados S.C.,)
- 3.- Pilotes de madera. Se desconoce su diámetro, longitud y distribución
- 4.- Pilotes de concreto reforzado. Se desconoce su sección, longitud y distribución

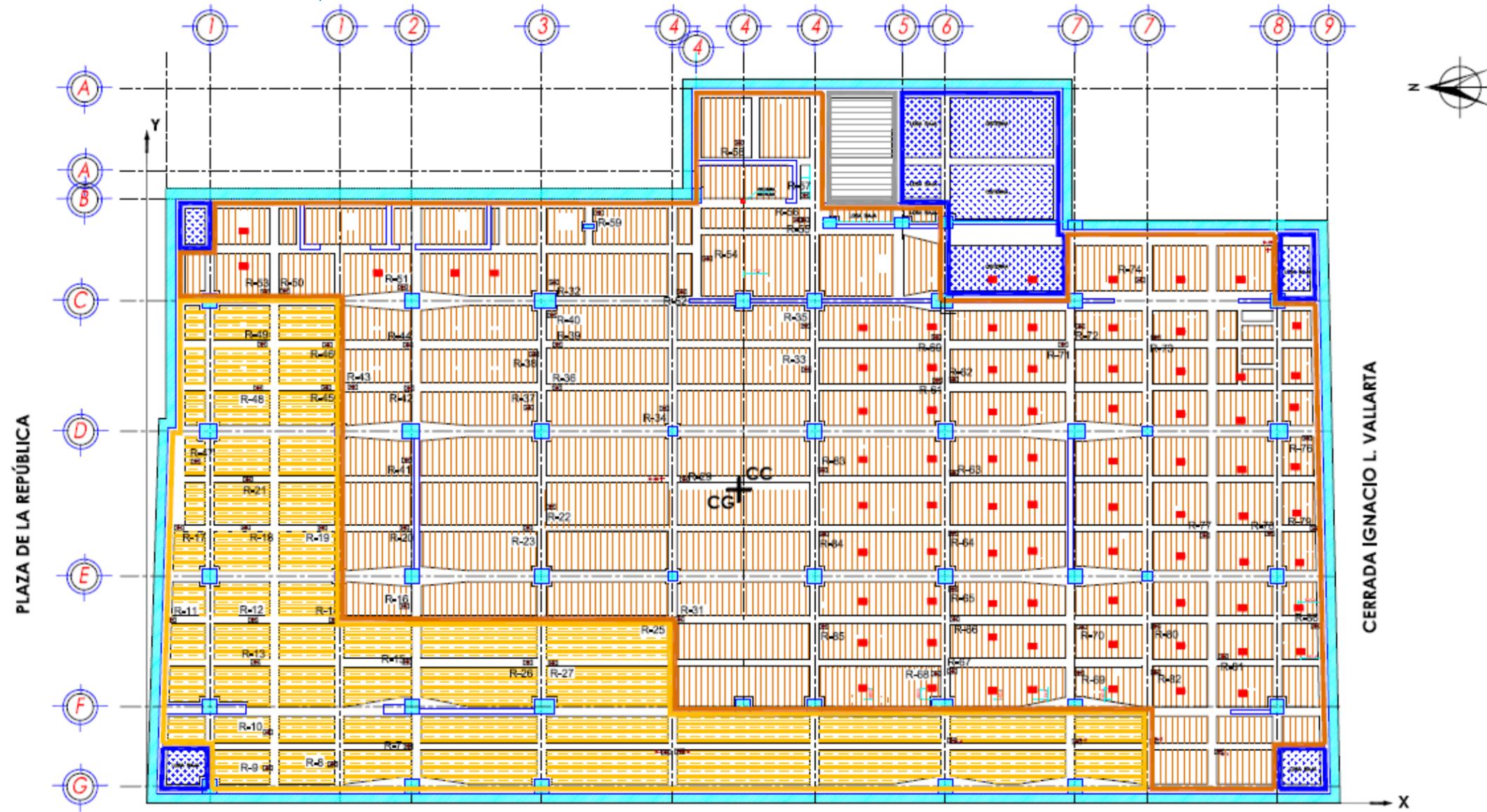
Plano 9. Condición actual de celdas de cimentación, con la adición de un lastre de concreto y barita



Plano 10 Lastre de arena saturada y bloques de poliestireno



Plano 11. Lastre de concreto ciclópeo y bloques poliestireno

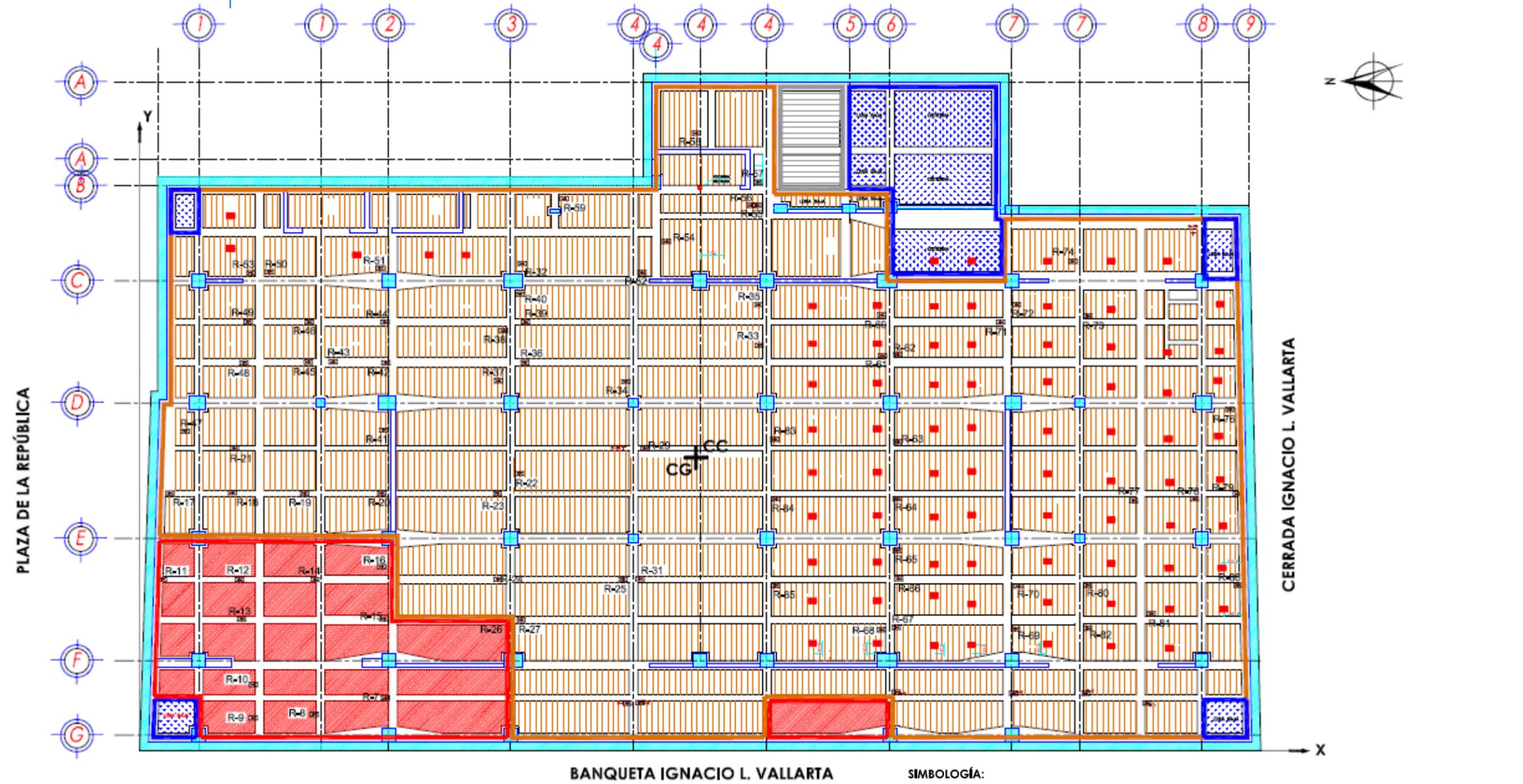


LASTRE EXISTENTE

-  - Concreto ciclópeo, con un peso volumétrico $\gamma=2.2 \text{ ton/m}^3$
-  - Bloques de poliestireno
-  - Agua proveniente del NAF (con tirante máximo de 1.3 m y 2.45 m en cisternas)
-  - Zona de bombas (celdas estancas)

-C.G, (37.53 m, 19.75 m)
 -C.C, (37.49 m, 19.76 m)
 • $e_x = -0.04 \text{ m}$ (-0.11 %)
 • $e_y = 0.01 \text{ m}$ (0.07 %)

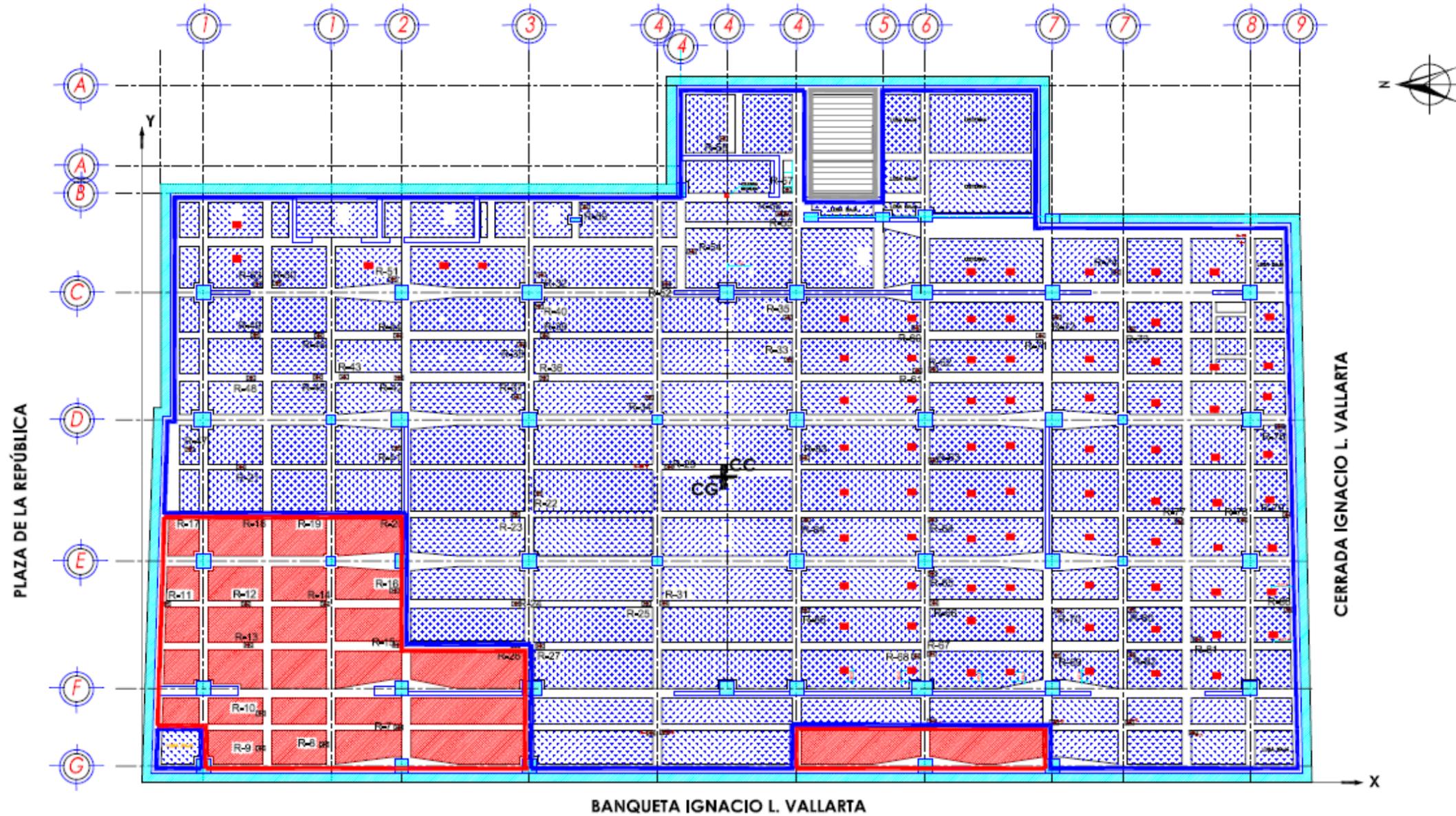
Plano 12. Lastre de concreto con barita y bloques de poliestireno



- SIMBOLOGÍA:**
- Concreto con barita, con un peso volumétrico $\gamma=3.5$ ton/m³
 - Bloques de poliestireno
 - Agua proveniente del NAF (con tirante máximo de 1.3 m y 2.45 m en cisternas)
 - Zona de bombas (celdas estancas)

- C.G, (37.53 m, 19.75 m)
- C.C, (37.54 m, 19.77 m)
- e_x = 0.01 m (0.02 %)
- e_y = 0.02 m (0.12 %)

Plano 13. Lastre de concreto con barita y celdas inundadas

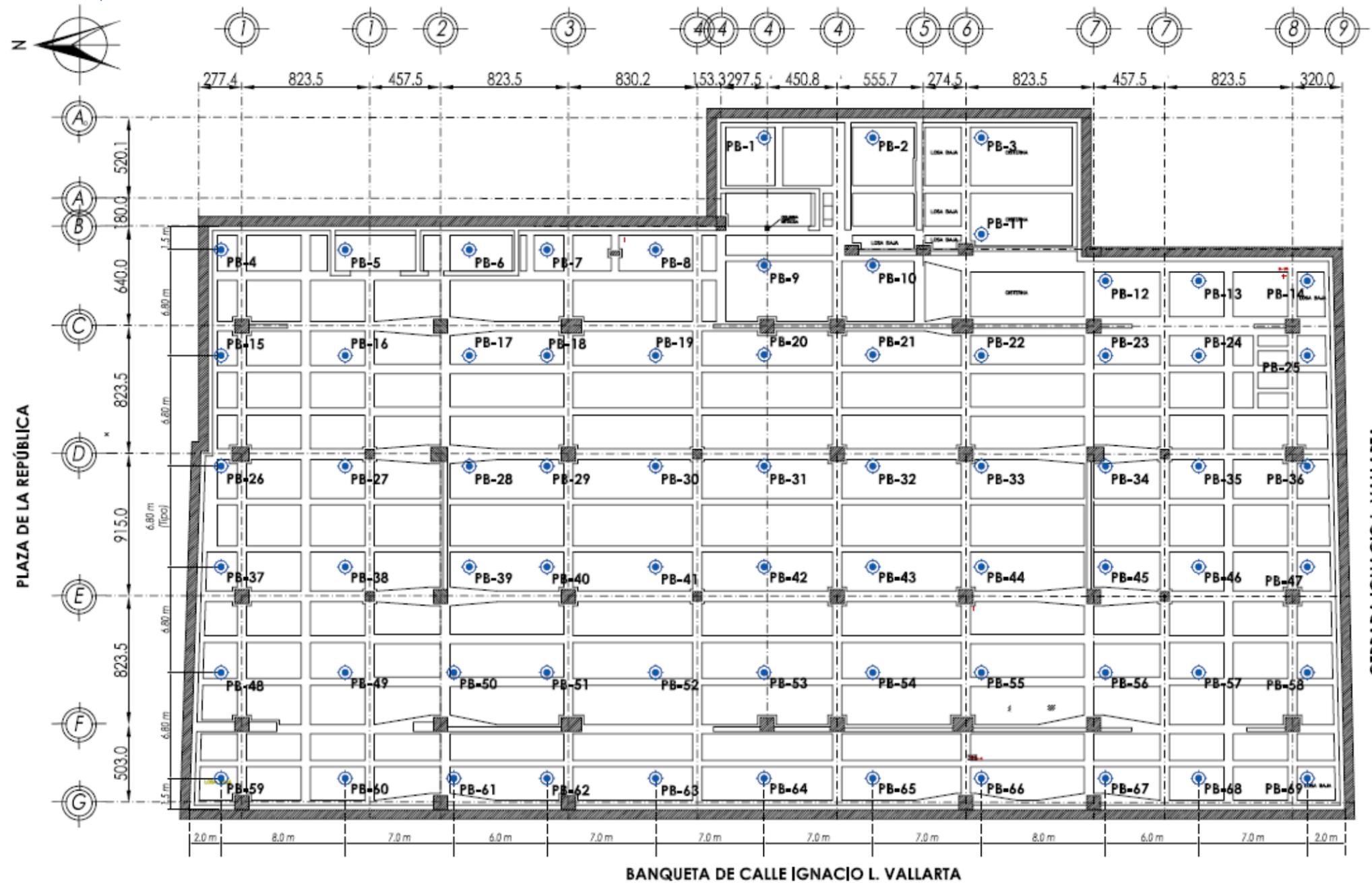


SIMBOLOGÍA:

-  - Concreto con barita, con un peso volumétrico $\gamma=3.5$ ton/m³
-  - Agua proveniente del NAF (con tirante máximo de 1.3 m y 2.45 m en cisternas)
-  - Zona de bombas (celdas estancas)

- C.G. (37.53 m, 19.75 m)
- C.C. (37.52 m, 19.73 m)
- e_x = -0.01 m (-0.03 %)
- e_y = -0.02 m (-0.09 %)

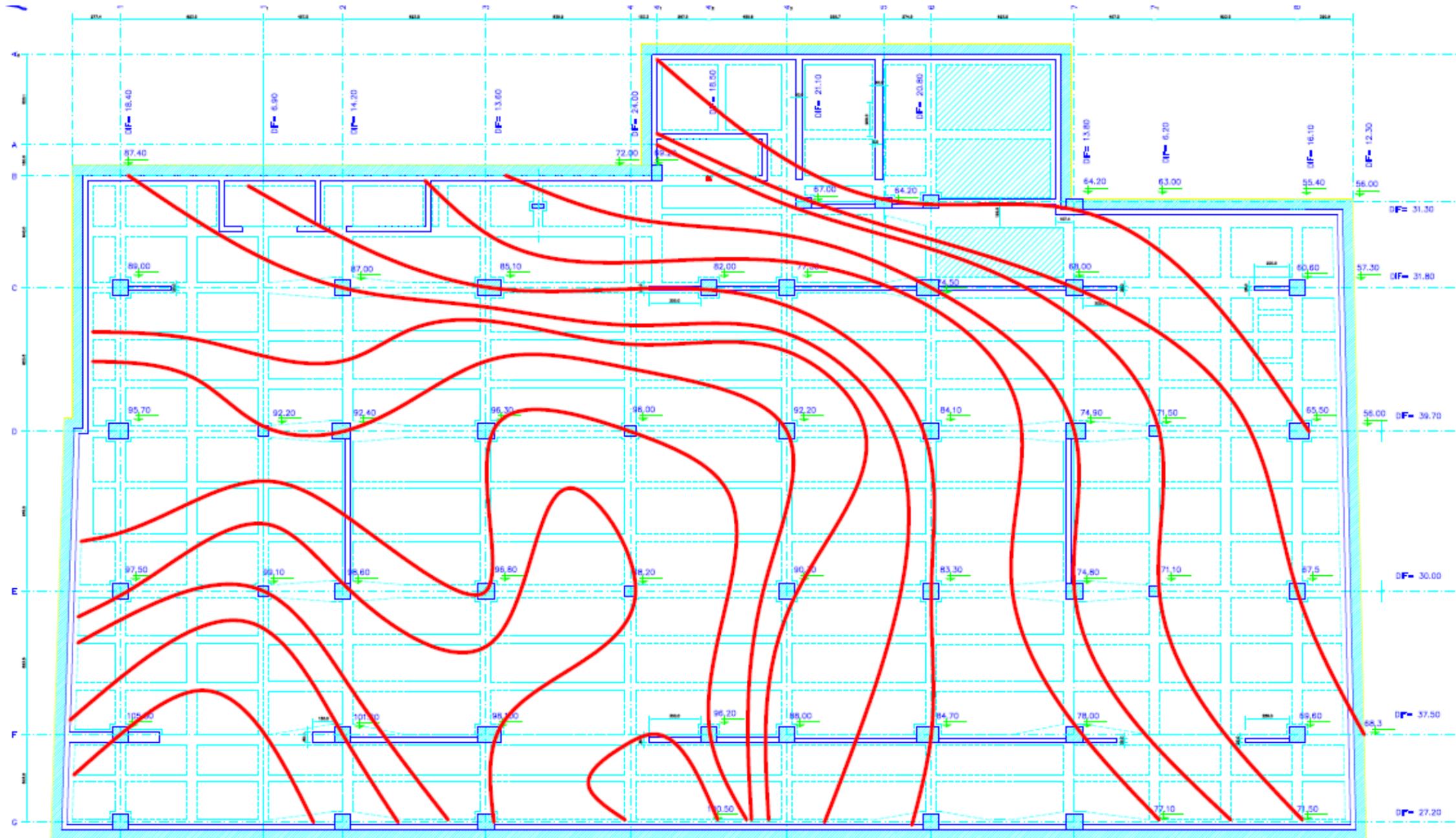
Plano 14. Distribución de pozos de bombeo para realizar los trabajos de enderezado y descabece de pilotes



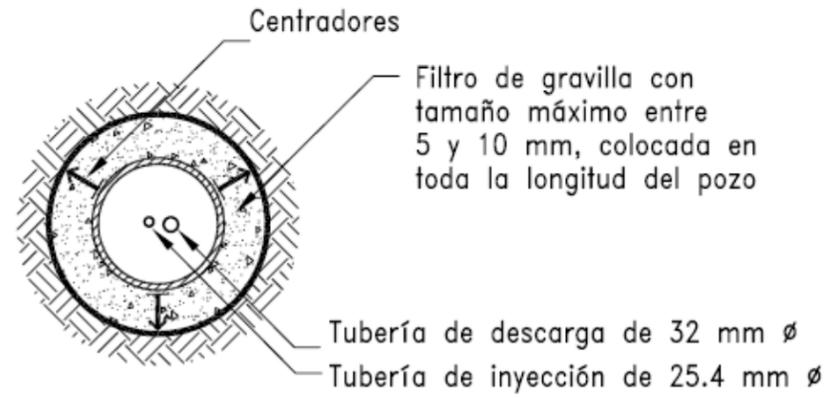
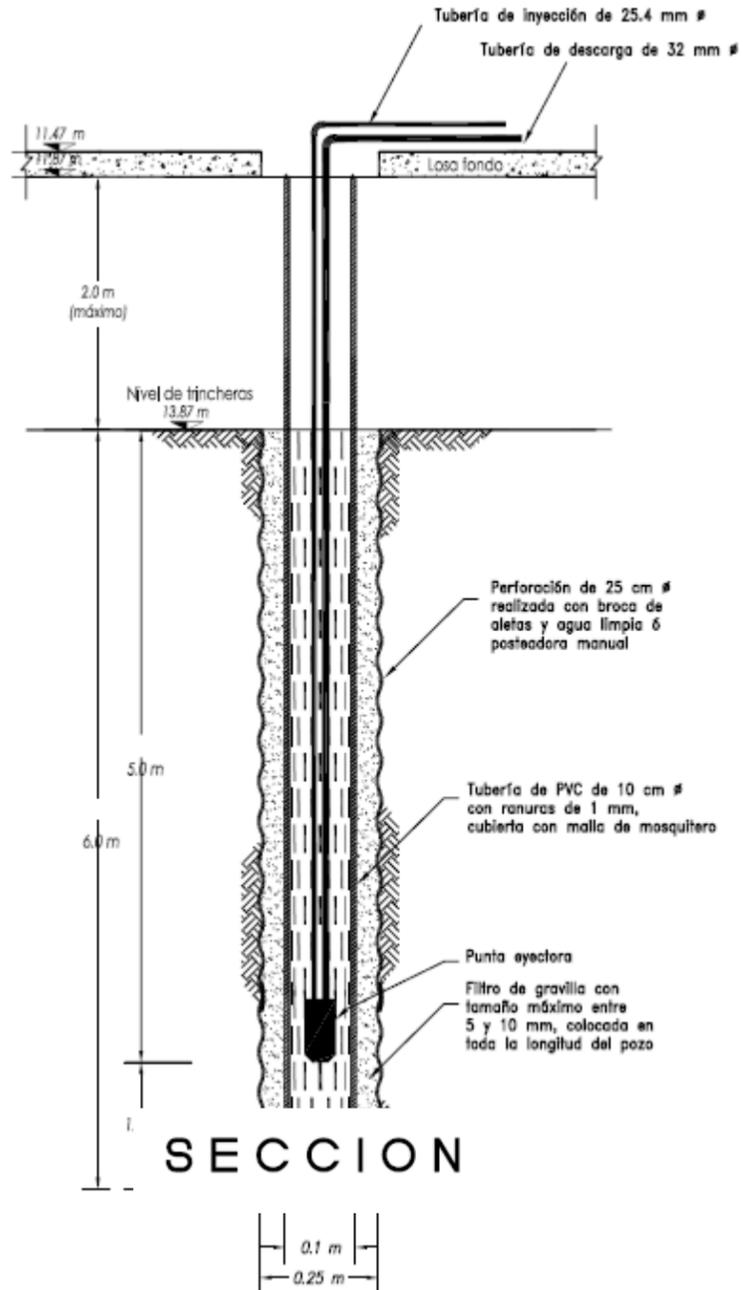
NOTAS:

PB-59 -Pozo de bombeo

Plano 15. Curva de nivel en Sótano No. 2

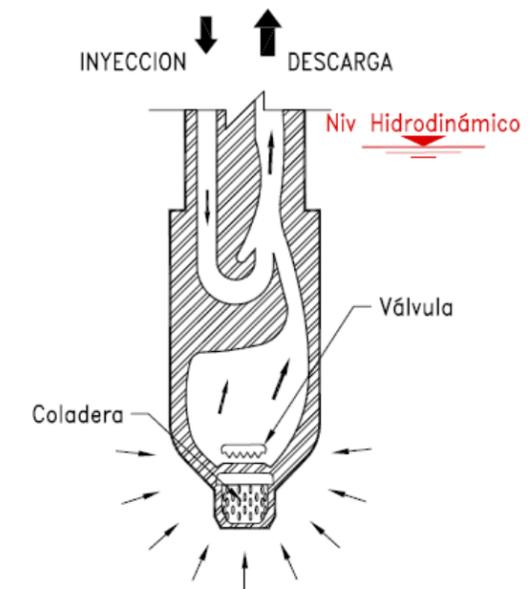


Detalles de pozo de bombeo



NOTAS:

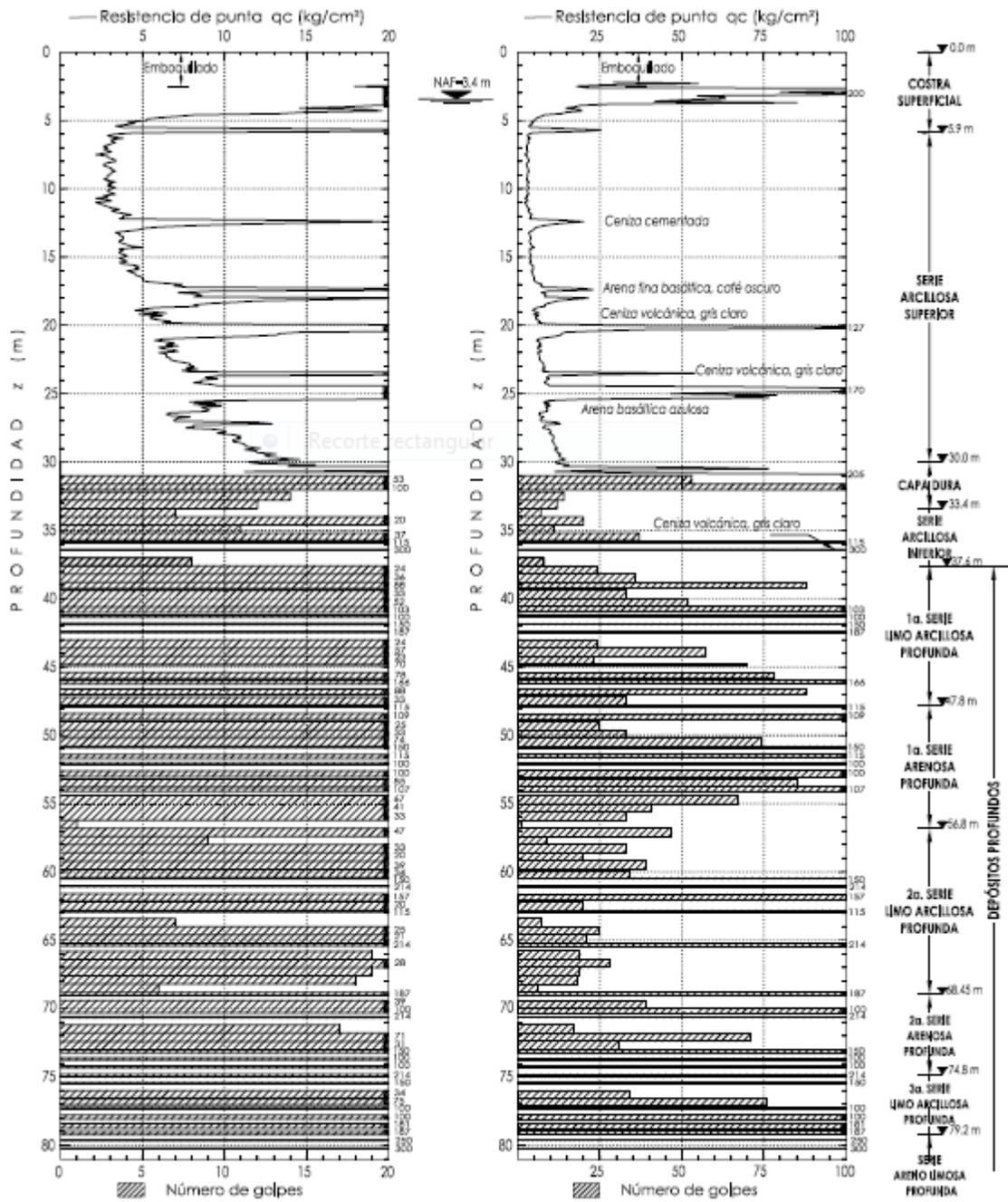
- 1- La perforación se realizará con broca de aletas con inyección de agua limpia, sin empleo de bentonita ó con posteadora manual
- 2- El lavado de la perforación se realizará con agua limpia, manteniendo la inyección hasta que esta retome sin partículas en suspensión (limo-arena)
- 3- Figura esquemática, fuera de escala
- 4- Acotaciones en metros



Anexo III. Sondeos

Sondeo Mixto SM-1A

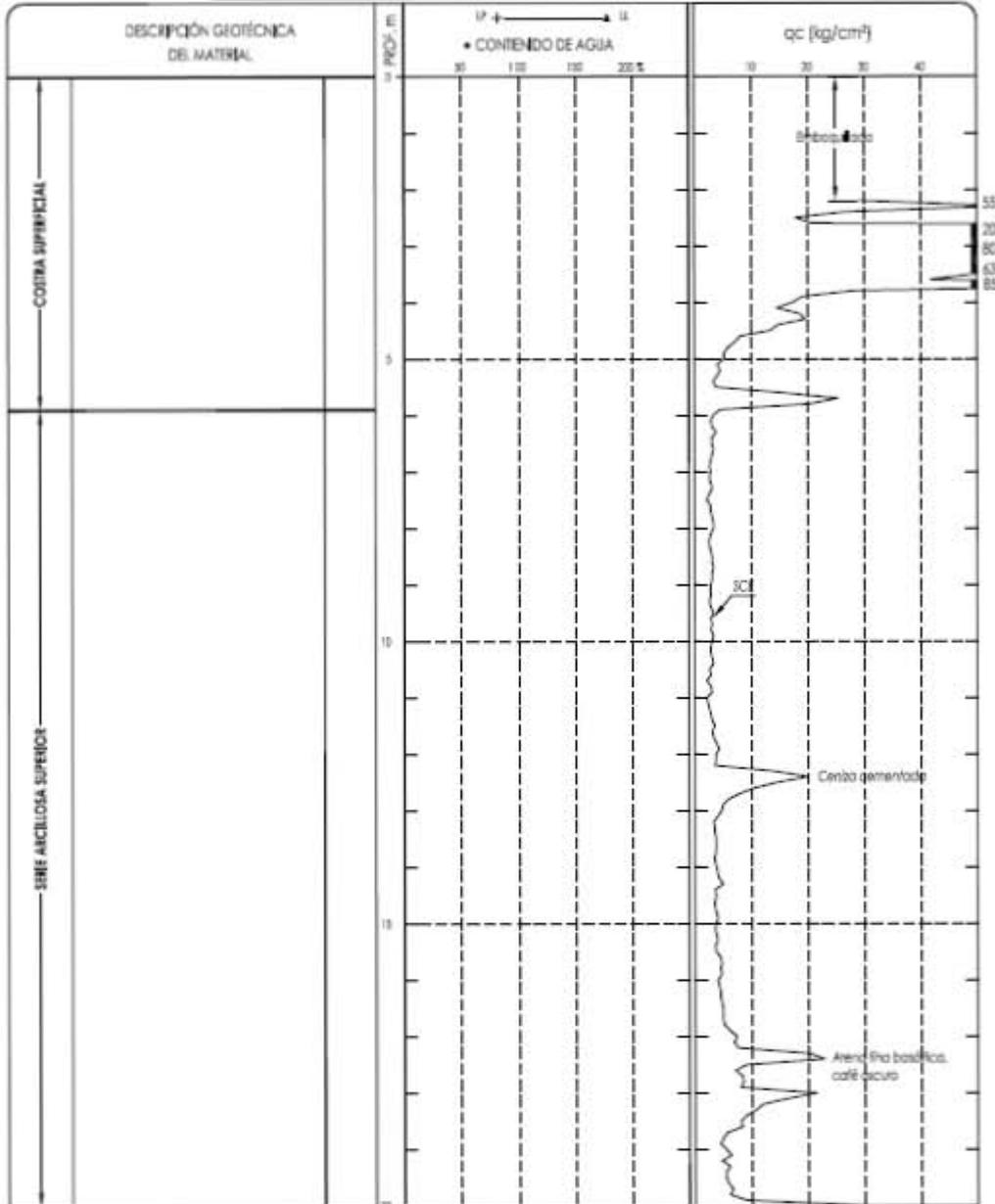
TRABAJOS DE EXPLORACIÓN





SONDEO MIXTO

PROYECTO:	09-941 EDIFICIO CTM	SONDEO:	SM-1A a (continúa...)
LOCALIZACIÓN:	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. PROFUNDA:	80.25 m
		PROF. NAT:	3.39 m



	ARENO		ARELA		GRAVA (S)		ARELA PLASTICA		ARELA CON ARENAS
	ARENA (S)		ARELO		ARELA		ARELA		ARELA
	ARELO		ARELA		ARELA		ARELA		ARELA

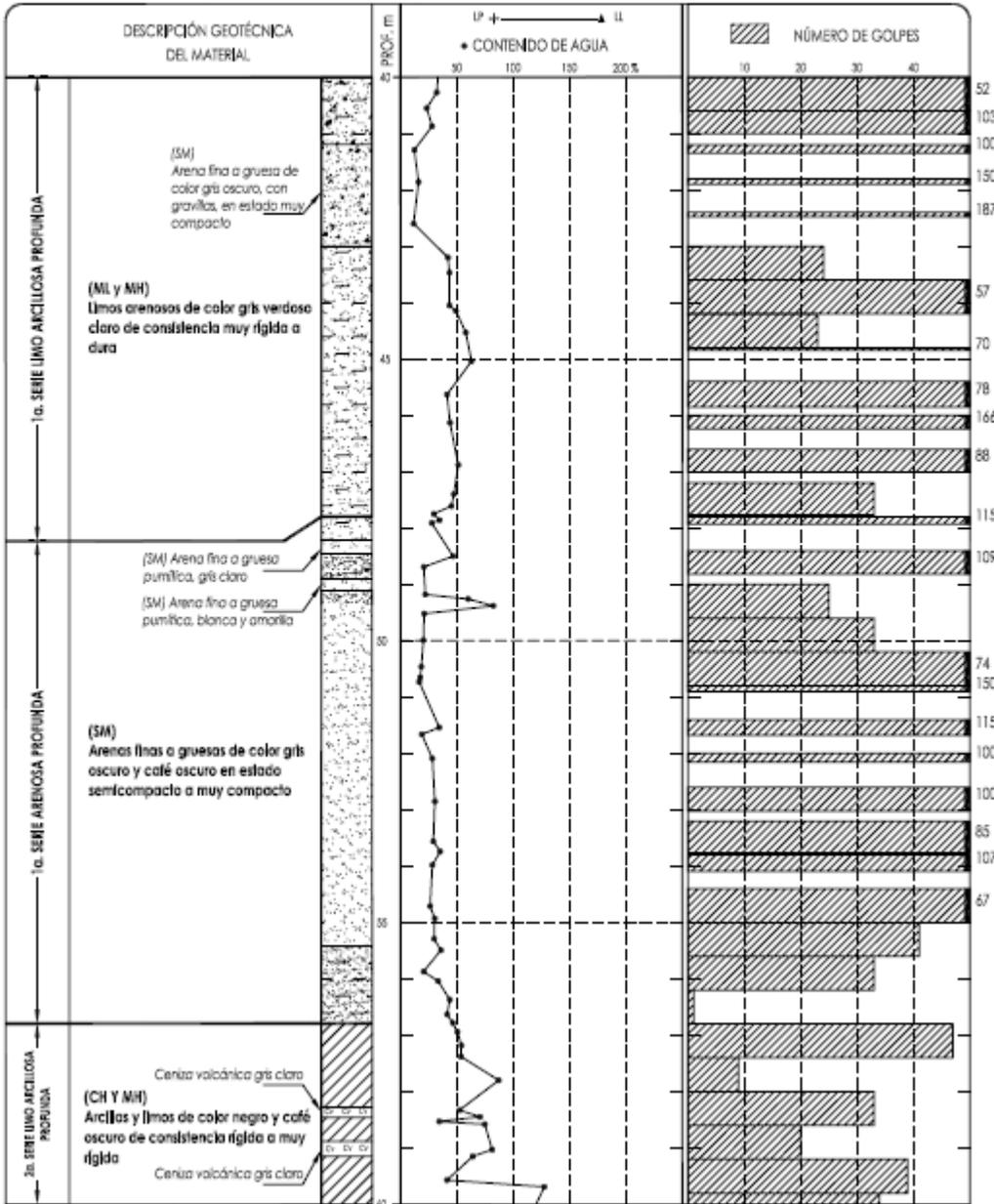
IP = Límite Plástico
 LL = Límite Líquido
 S = Límite Semisólido
 C = Límite Cohesivo

NW = Índice de Agua Residual
 A = Índice de Consistencia
 S = Porcentaje de Arenas
 F = Porcentaje de Arcillas
 G = Porcentaje de Gravias
 SOE = Índice de Cono Estándar



SONDEO MIXTO

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-1A c [...continuación]
LOCALIZACIÓN	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80,25 m
		PROF. NAF	3,39 m

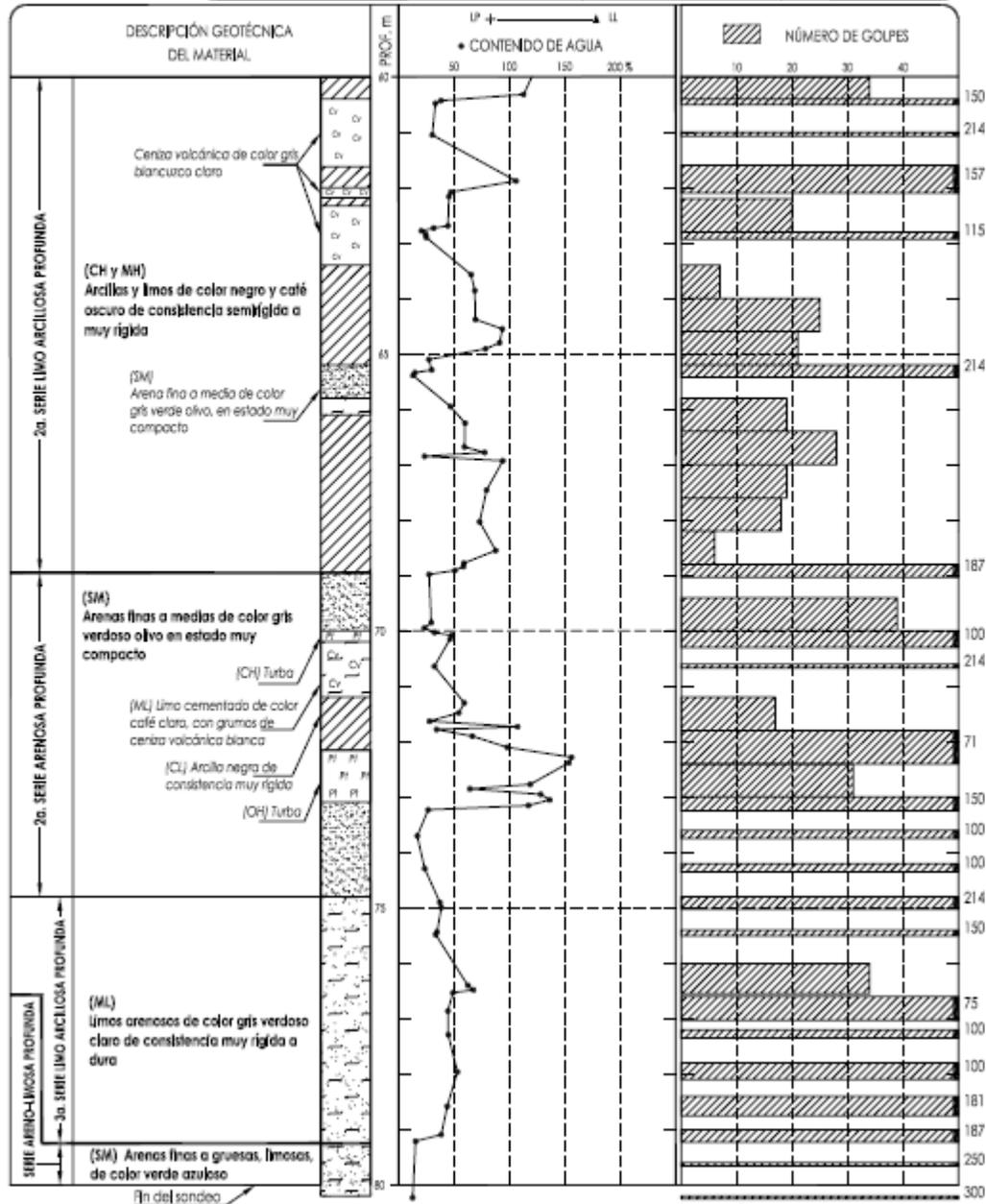


- | | | | | |
|-----------|---------|--------------|--------------------|--------------------------------|
| ARENA (S) | ARCILLA | GRAVA (G) | IP = LINE PLÁSTICO | NA = NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS |
| LIMO | RAÍCES | TUBO SHELBY | LI = LINE LÍQUIDO | A = AVANCE CON BROCA ROTATORIA |
| | | TUBO DENZADO | | S = PORCENTAJE DE ARENAS |
| | | | | F = PORCENTAJE DE FINOS |
| | | | | G = PORCENTAJE DE GRAVAS |
| | | | | SE = SONDEO DE CONO ELÉCTRICO |



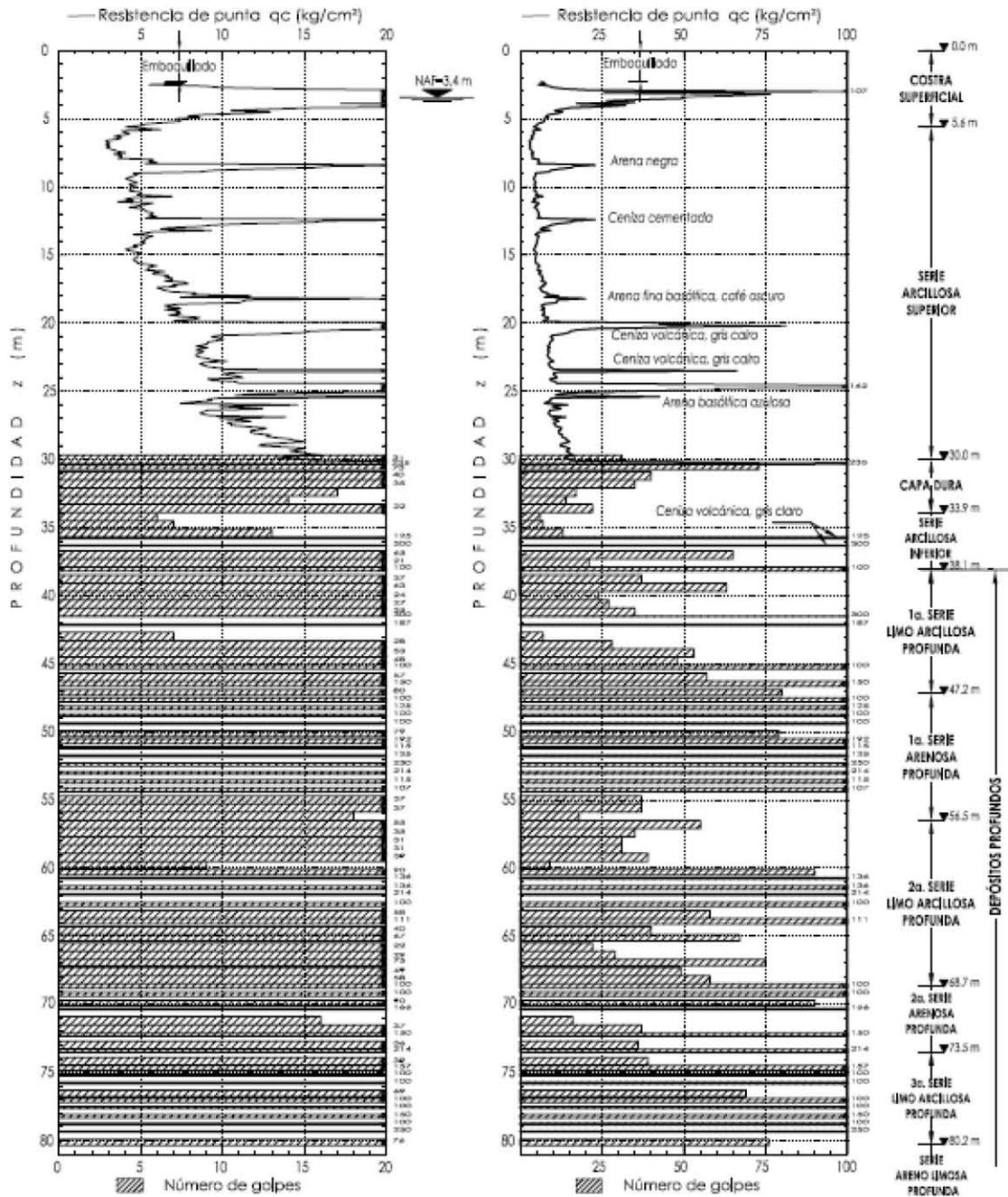
SONDEO MIXTO

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-1A d (...continuación)
LOCALIZACIÓN	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80,25 m
		PROF. NAF	3,39 m



ARELINO	ARCILLA	GRAVA (G)	LÍMITE PLÁSTICO	NAF = NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS
ARENA (S)	LIMO	RAÍCES	LÍMITE LÍQUIDO	A = AVANCE CON BROCA MECÁNICA
			TUBO SHELBY	S = PORCENTAJE DE ARENAS
			TUBO DENTADO	F = PORCENTAJE DE RAÍCES
				G = PORCENTAJE DE GRAVAS
				SPT = SONDEO DE CONO ELÉCTRICO

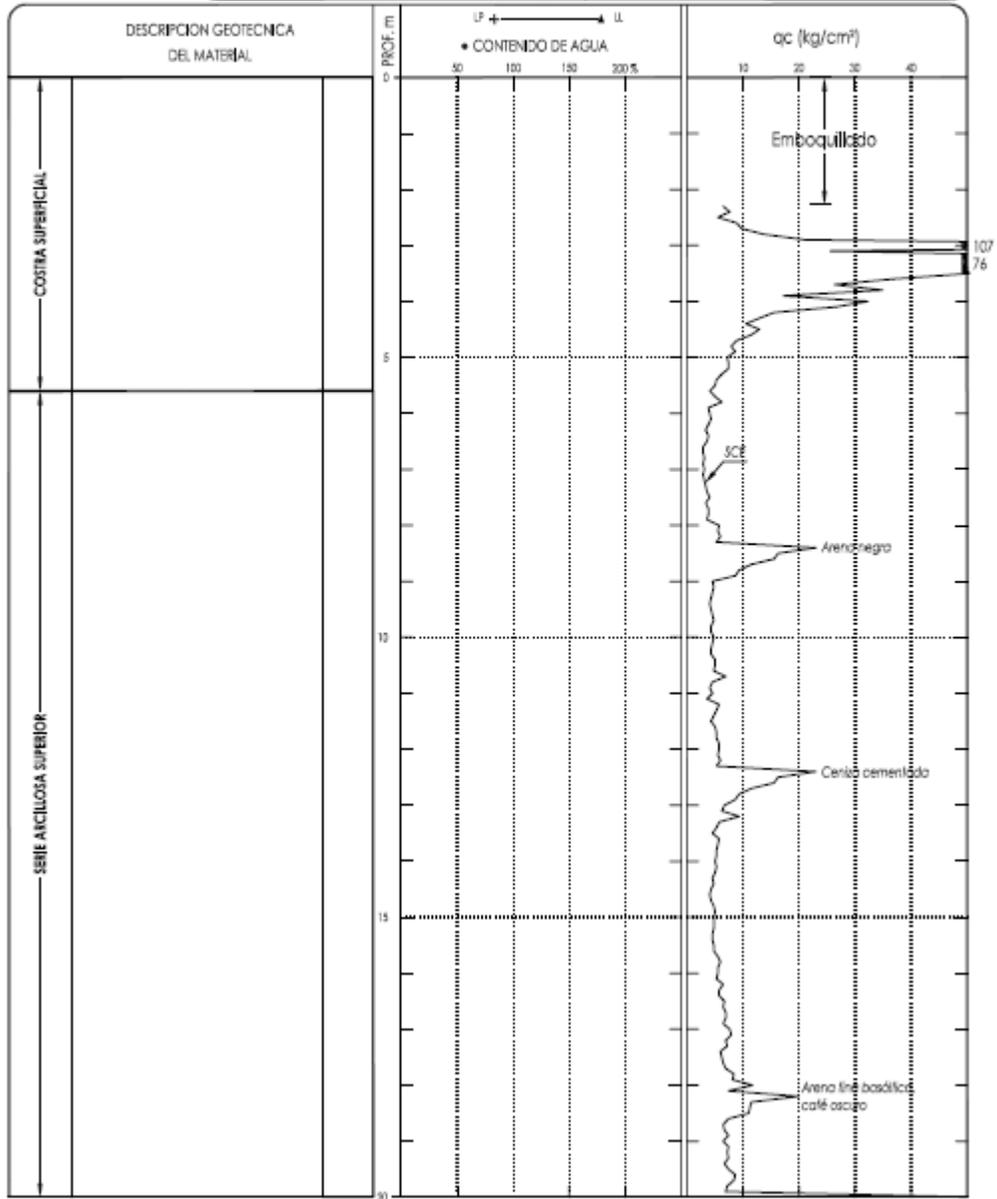
Sondeo Mixto SM-2





SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-2 a (Continúa...)
LOCALIZACION	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80.35 m
DISEÑO GEOTÉCNICO		PROF. NAF	3.39 m



RELLENO	ARCILLA	} (P)	GRAVA (G)	IP = LINE PLÁSTICO	NA = NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS
ARENA (A)	LIMO		RAÍCES	IL = LINE LÍQUIDO	A = AVANCE CON BROCA ROTATORIA
				TS = TUBO SHIELBY	S = PORCENTAJE DE ARENAS
				TD = TUBO DENFADO	F = PORCENTAJE DE FINOS
					G = PORCENTAJE DE GRAVAS
					SCE = SONDEO DE CONO ELÉCTRICO



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

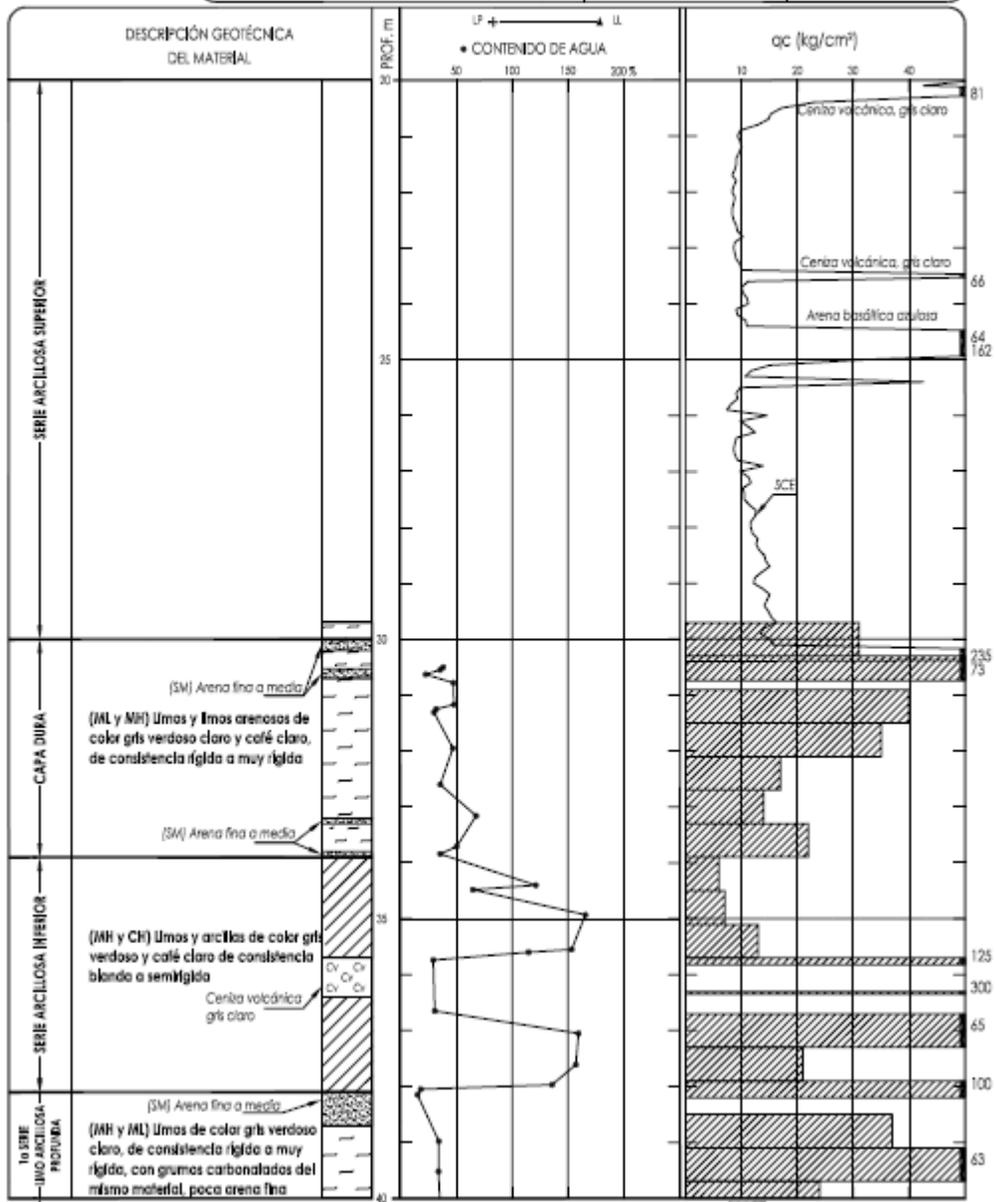
PROYECTO 08-941 EDIFICIO CTM

SONDRO SW2 b (...continuación)

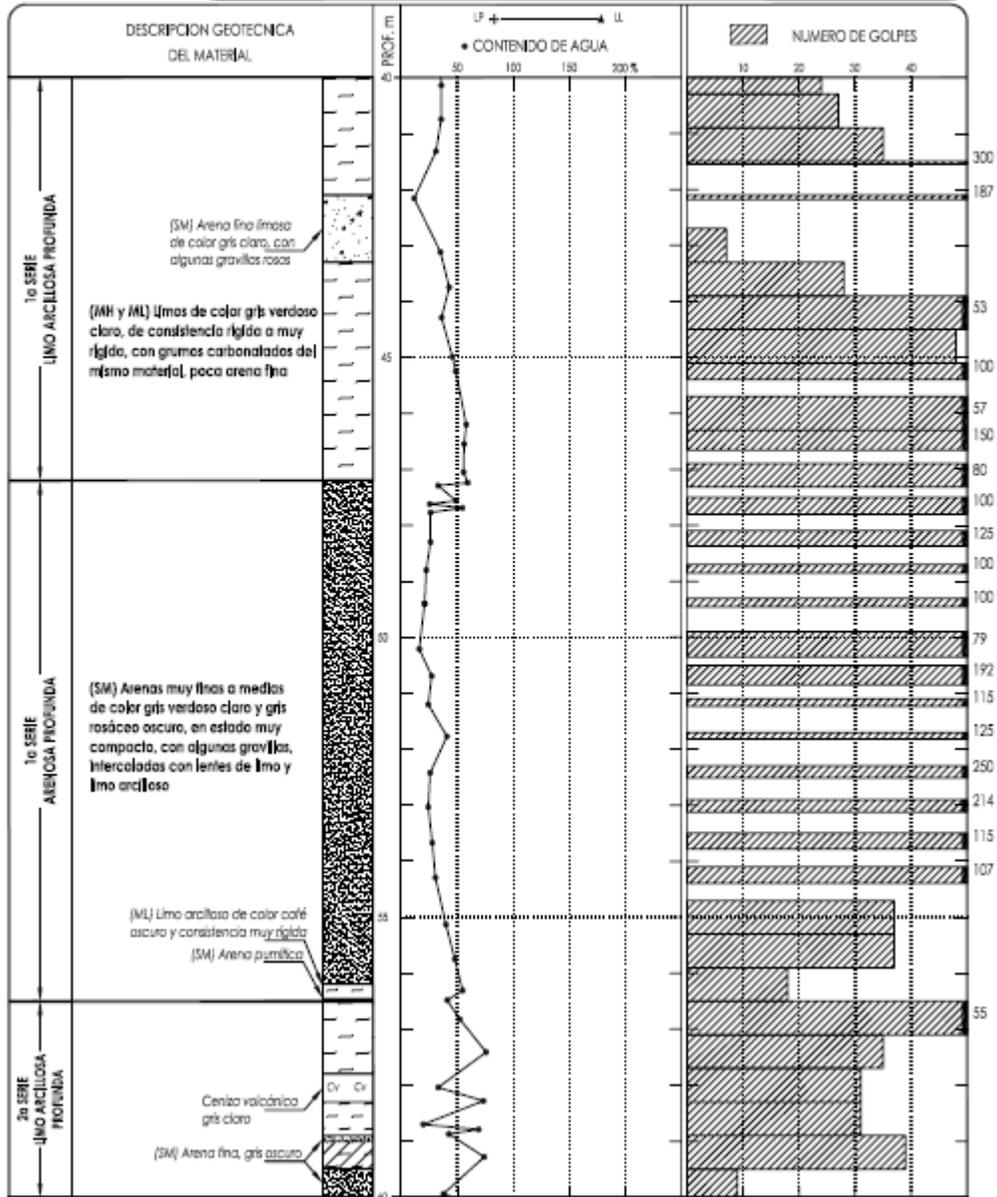
LOCALIZACIÓN Ignacio L. Velazco N° 8, Col. Tabacalera

PROF. EXPLORADA 80.35 m

PROF. NAF 3.39 m



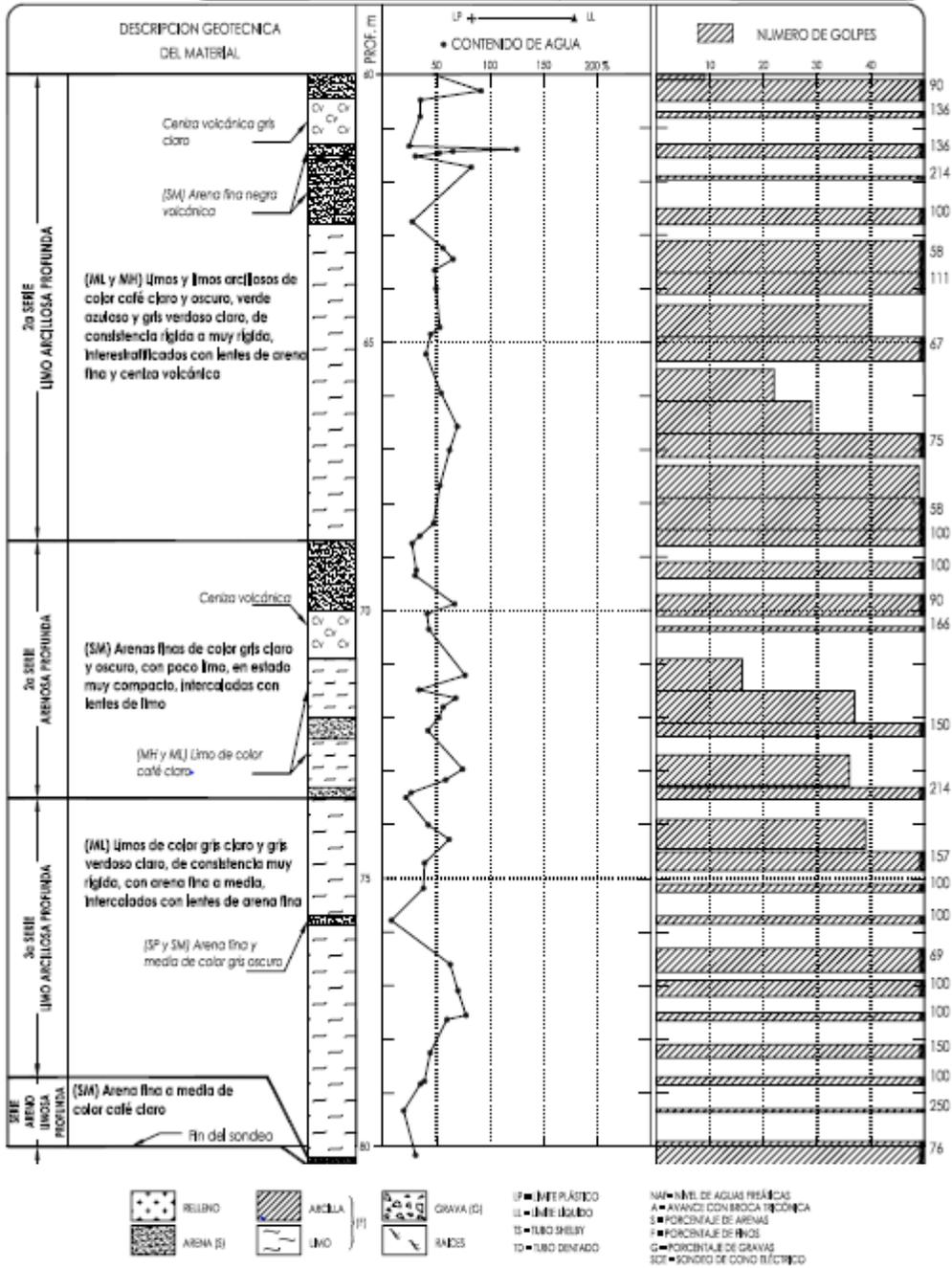
PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-2 c (...continuación)
LOCALIZACIÓN	Ignacio L. Velazco N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80.35 m
		PROF. NAF	3.39 m



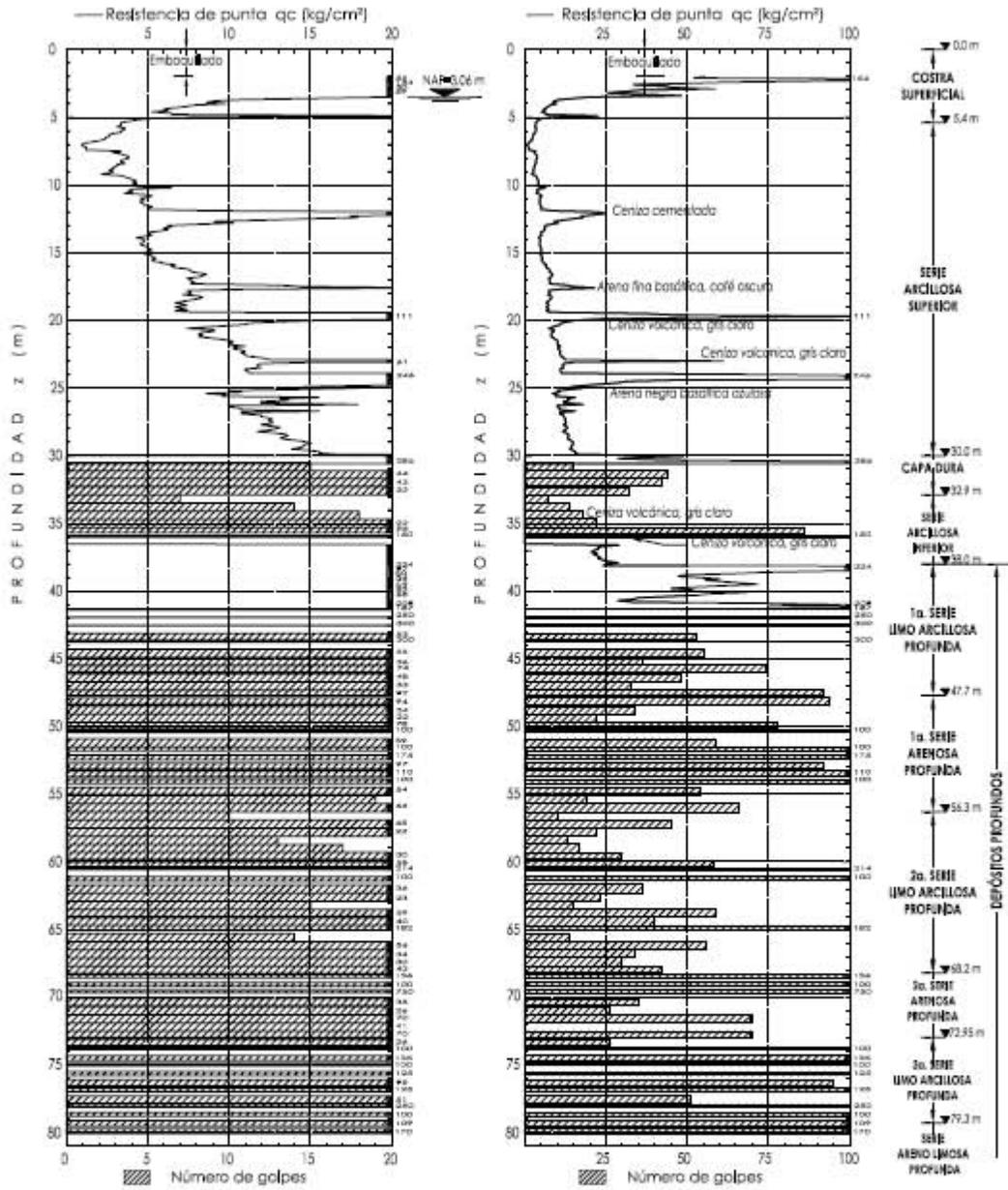


SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDRO	SM-2 d (...continuación)
LOCALIZACIÓN	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80.35 m
		PROF. NAF	3.39 m



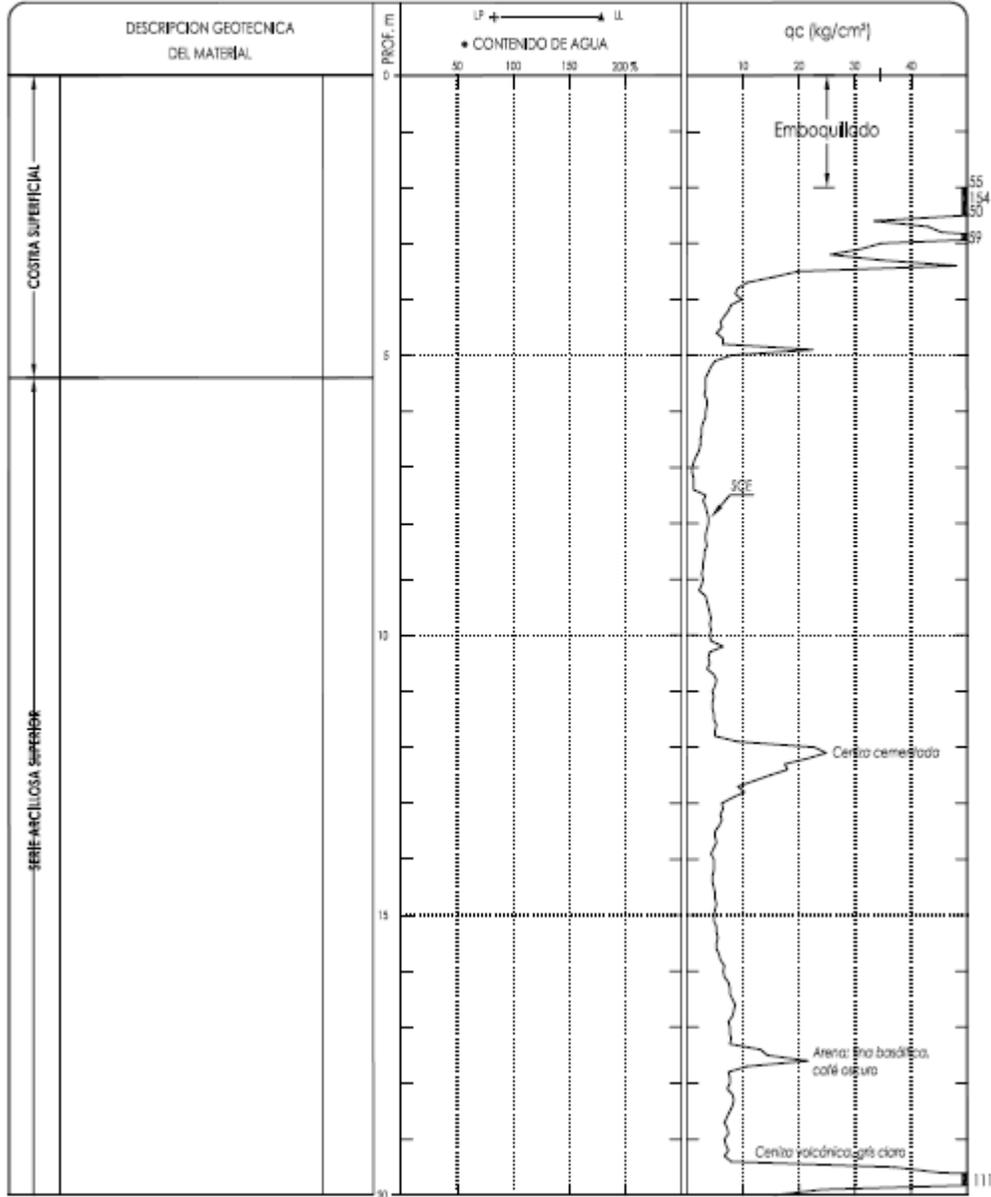
Sondeo Mixto SM-3





SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-3 a (Continúa...)
LOCALIZACION	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80.06 m
DISEÑO GEOTÉCNICO		PROF. NAF	3.06 m

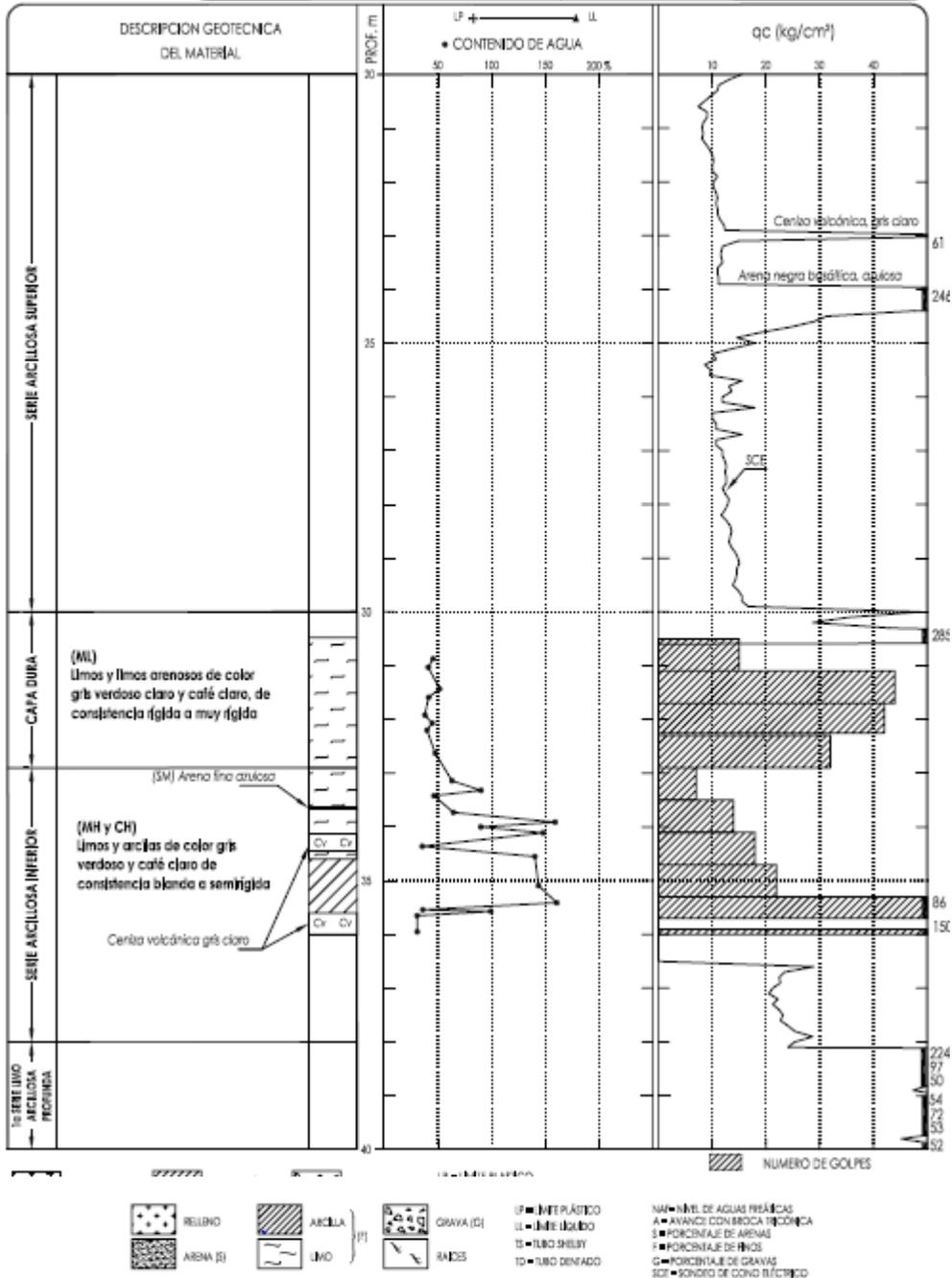


RELINO	ARCILLA	} (P)	GRAVA (G)	UF = UNIFORME PLÁSTICO	NAF = NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS
ARENA (A)	LIMO		RAÍCES	UL = UNIFORME LÍQUIDO	
				T = TUBO SHELBY	S = PORCENTAJE DE ARENAS
				TD = TUBO DENTADO	F = PORCENTAJE DE FIBRAS
					G = PORCENTAJE DE GRAVAS
					SCF = RENDIDO DE CONO ELÉCTRICO



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-3 b (...continuación)
LOCALIZACIÓN	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80.06 m
		PROF. NAV	3.06 m





SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

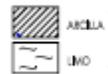
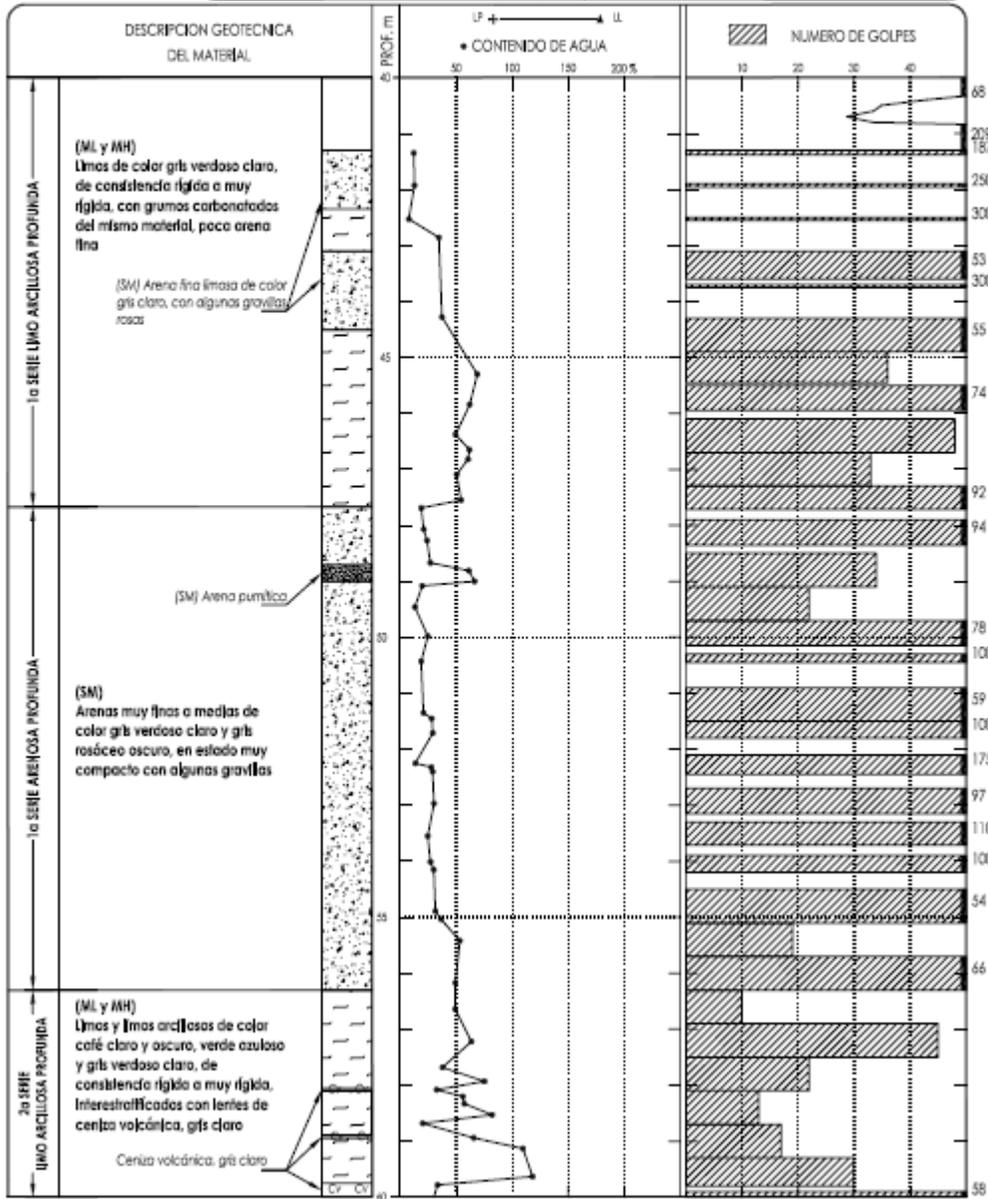
PROYECTO 08-941 EDIFICIO CTM

SONDEO SM-3 c (...continuación)

LOCALIZACIÓN Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera

PROF. EXPLORADA 80.06 m

PROF. NAF 3.06 m



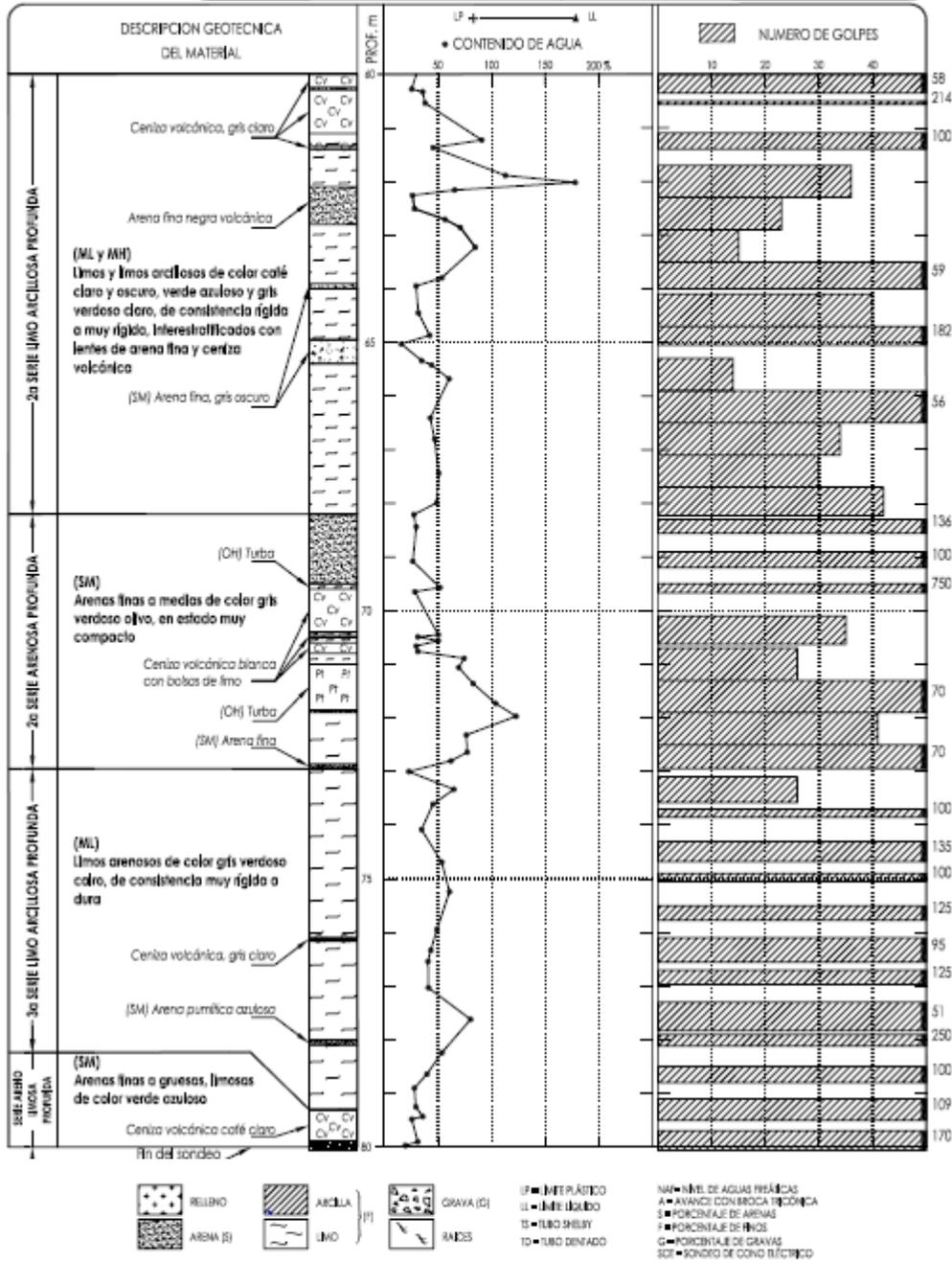
UP = LINE PLÁTICO
 UL = LINE LÍQUIDO
 TS = TUBO SHELBY
 TD = TUBO DENTADO

NAF = NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS
 A = AVANCI CON BROCA MECÁNICA
 S = PORCENTAJE DE ARENAS
 F = PORCENTAJE DE FINOS
 G = PORCENTAJE DE GRAVAS
 SCE = RENDIDO DE CONO ELÉCTRICO



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	08-941 EDIFICIO CTM	SONDEO	SM-3 d (...continuación)
LOCALIZACIÓN	Ignacio L. Vallarta N° 8, Col. Tabacalera	PROF. EXPLORADA	80.06 m
		PROF. NAF	3.06 m

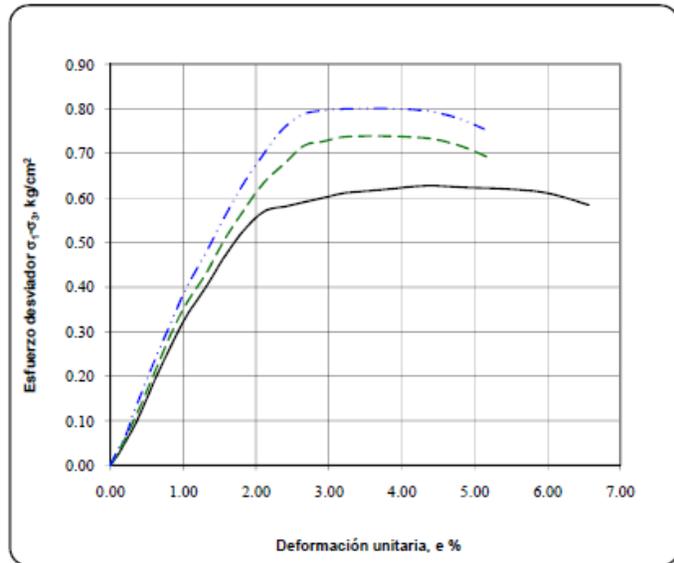


Anexo IV. Ensayes de laboratorio

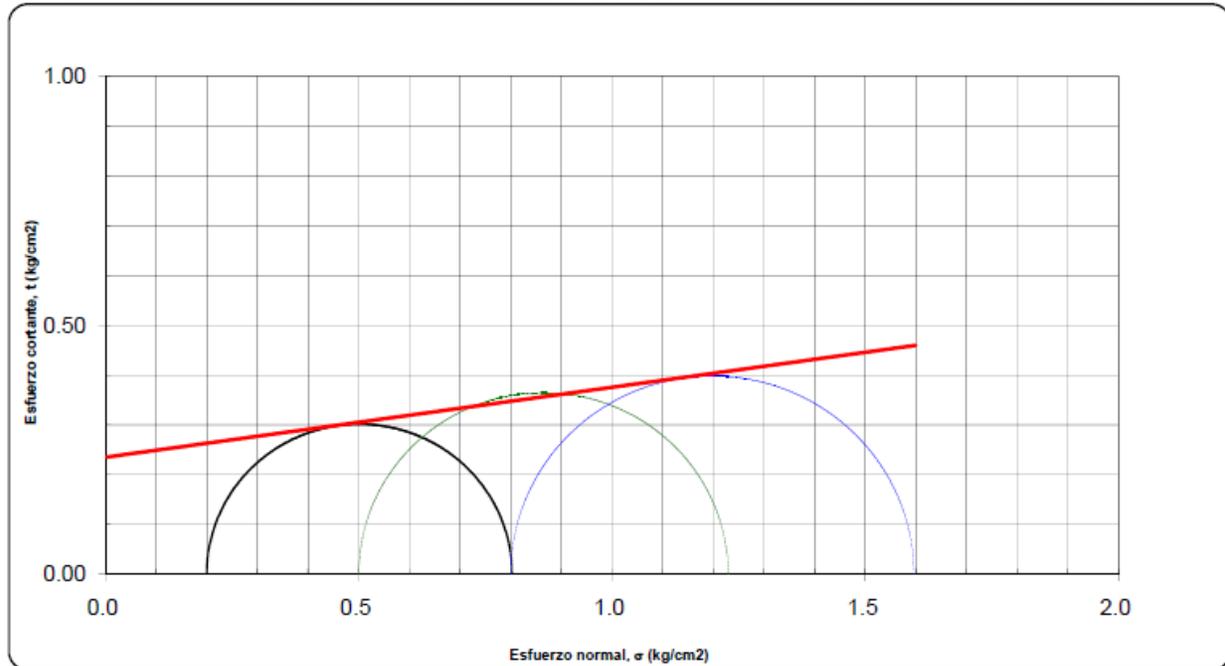
PRUEBA TRIAXIAL UU

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
 (CH) ARCILLA DE COLOR GRIS VERDOSO CLARO,
 CON MANCHAS DEL MISMO CAFÉ AMARILLENTO,
 CON MUY POCA ARENA FINA CUARZOSA Y
 MICROFÓSILES CARBONATADOS

SIMBOLO	σ_3 kg/cm ²	E_{50} kg/cm ²	NOTAS
—	0.20	32.09	
- - -	0.50	34.67	
- . . -	0.80	38.09	



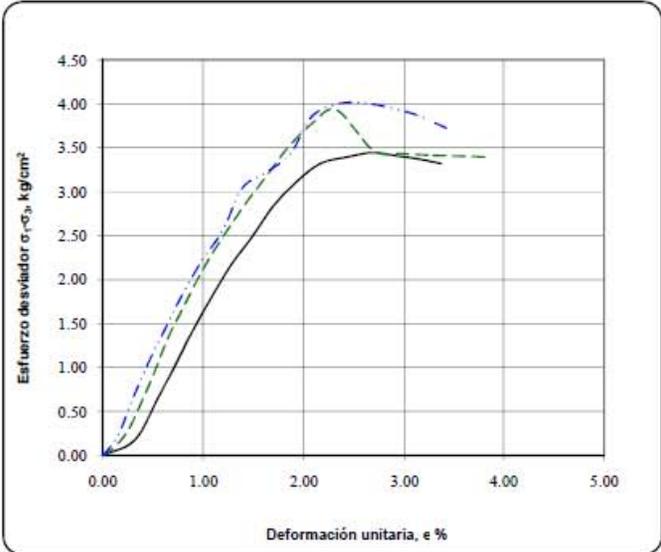
SONDEO	PROF.	MUESTRA	σ_3	σ_d	w_i	w_f	S_s	e_i	G_w	$G_w f$	γ_m	γ_{af}	c	ϕ
--------	-------	---------	------------	------------	-------	-------	-------	-------	-------	---------	------------	---------------	-----	--------



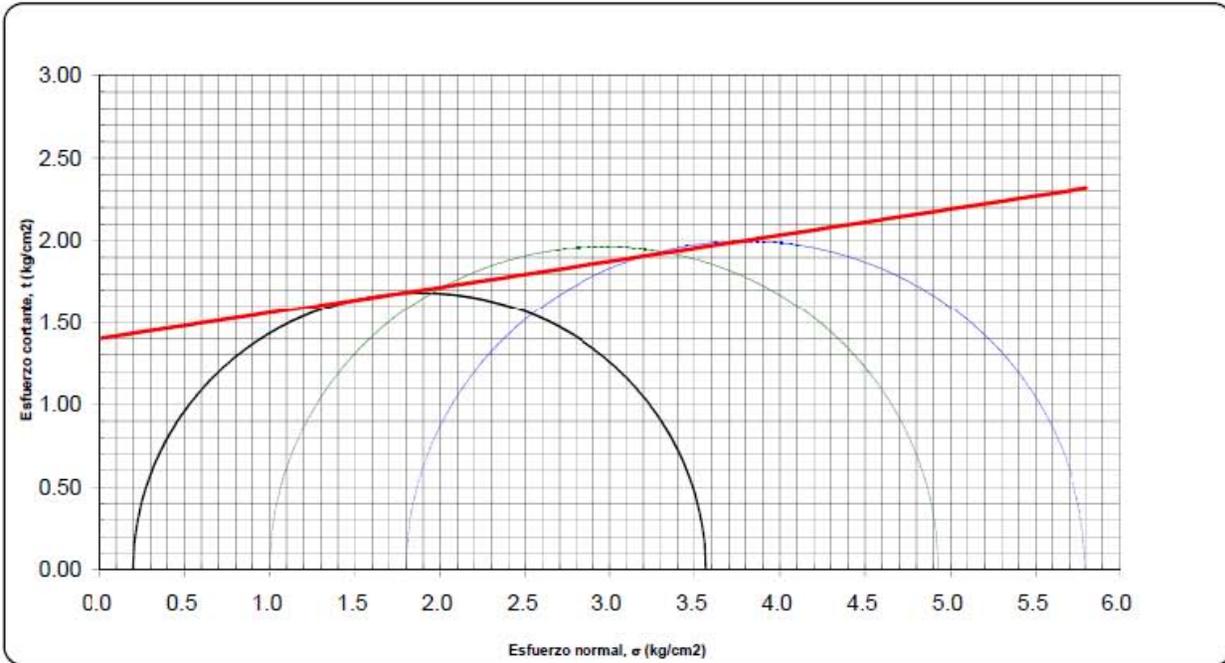
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(MH) LIMO DE COLOR GRIS AZULOSO, CON MUY POCA ARENA FINA CUARZOSA, PUMÍICA Y MICOFÓSILES CARBONATADOS

SIMBOLO	σ_1 kg/cm ²	E_{50} kg/cm ²	NOTAS
—	0.20	163.99	
- - -	1.00	211.40	
- . . -	1.80	227.51	



SONDEO	PROF.	MUESTRA	σ_1 kg/cm ²	σ_3 kg/cm ²	w_l %	w_f %	S_s	e_i	G_w %	G_wf %	γ_{si} ton/m ³	γ_{sf} ton/m ³	c ton/m ²	ϕ grados
SMS-1	33.95 - 34.10 M	7-4	0.20	3.366	160.03	159.38	2.309	3.684	100.00	99.90	1.282	1.279	14.0	9.0
			1.00	3.929	159.84	159.53			99.23	99.03	1.271	1.270		
			1.80	3.995	159.83	159.70			100.00	100.00	1.285	1.285		

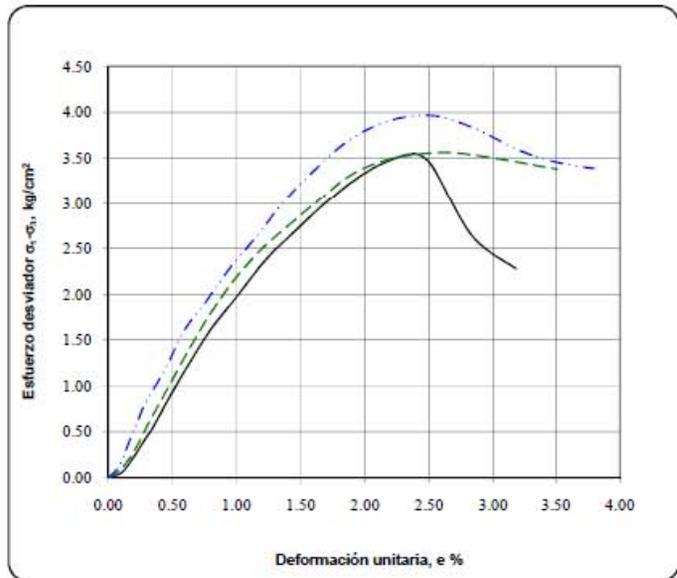


PRUEBA TRIAXIAL UU

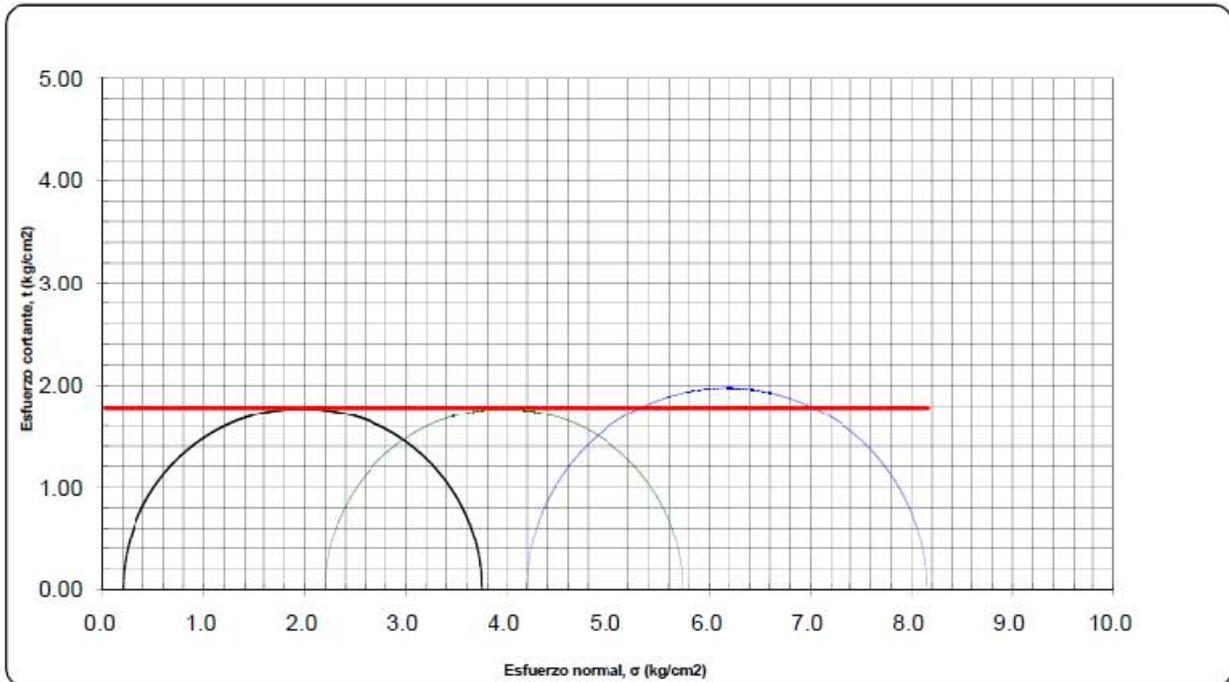
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(MH) LIMO ARCILLOSO DE COLOR VERDE AZULOSO, CON MUY Poca ARENA FINA CUARZOSA, PUMÍTICA, PUNTOS DE CRISTALES NEGROS Y MICA

SIMBOLO	σ_3 kg/cm ²	F_{50} kg/cm ²	NOTAS
—	0.20	199.85	
- - -	2.20	224.79	
- . - .	4.20	250.12	



SONDEO	PROF.	MUESTRA	G_s kg/cm ³	G_d kg/cm ³	w_l %	w_f %	S_s	e_s	G_v %	C_{mf} %	γ_m ton/m ³	γ_{nf} ton/m ³	c ton/m ²	ϕ grados
SMS-1	68.45 - 68.70	12-4	0.20	3.546	68.66	67.35		1.716	99.67	97.77	1.547	1.535		
			2.20	3.536	71.21	70.24	2.491	1.798	98.67	97.33	1.524	1.516	17.8	0.0
			4.20	3.949	70.46	68.95		1.794	97.84	95.74	1.520	1.506		

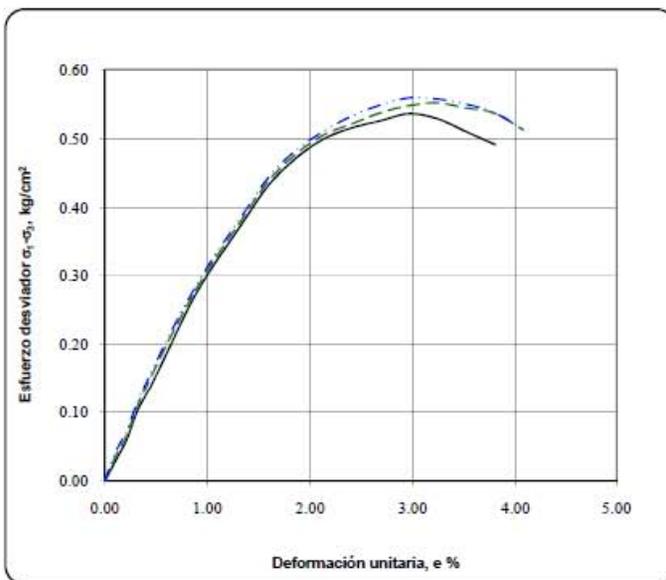


PRUEBA TRIAXIAL UU

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CH) ARCILLA DE COLOR CAFÉ ROJIZO, CON MUY POCA ARENA FINA, CUARZOSA, Y MICROFÓSILES CARBONATADOS

SIMBOLO	σ_3 kg/cm ²	E_{50} kg/cm ²	NOTAS
—	0.20	30.94	
- - -	0.50	31.89	
... ..	0.80	32.35	



SONDEO	PROF.	MUESTRA	σ_3 kg/cm ²	σ_d kg/cm ²	w_i %	w_f %	S_s	e_s	G_w %	G_{wf} %	γ_{ni} ton/m ³	γ_{nf} ton/m ³	c ton/m ²	ϕ grados
SMS-2	8.56 - 8.80 M	1-4	0.20	0.536	353.90	353.60		8.144	100.00	100.00	1.154	1.153		
			0.50	0.547	363.88	363.48	2.324	8.450	100.00	99.97	1.141	1.140	2.8	0.0
			0.80	0.559	368.33	368.06		8.559	100.00	99.94	1.139	1.138		

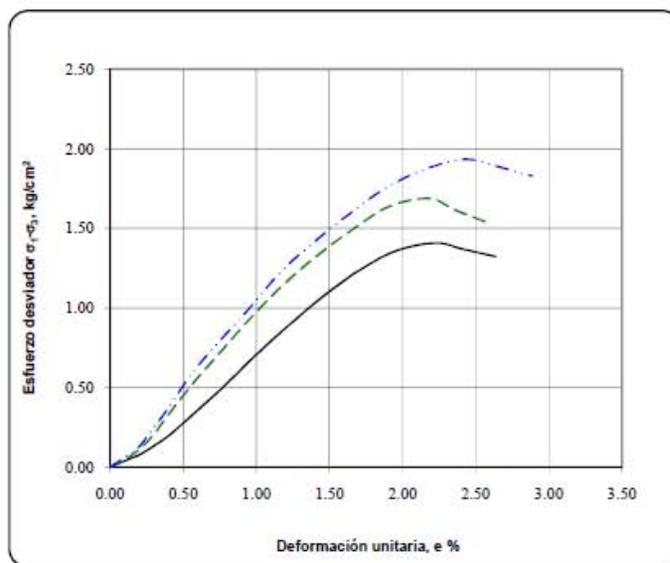


PRUEBA TRIAXIAL UU

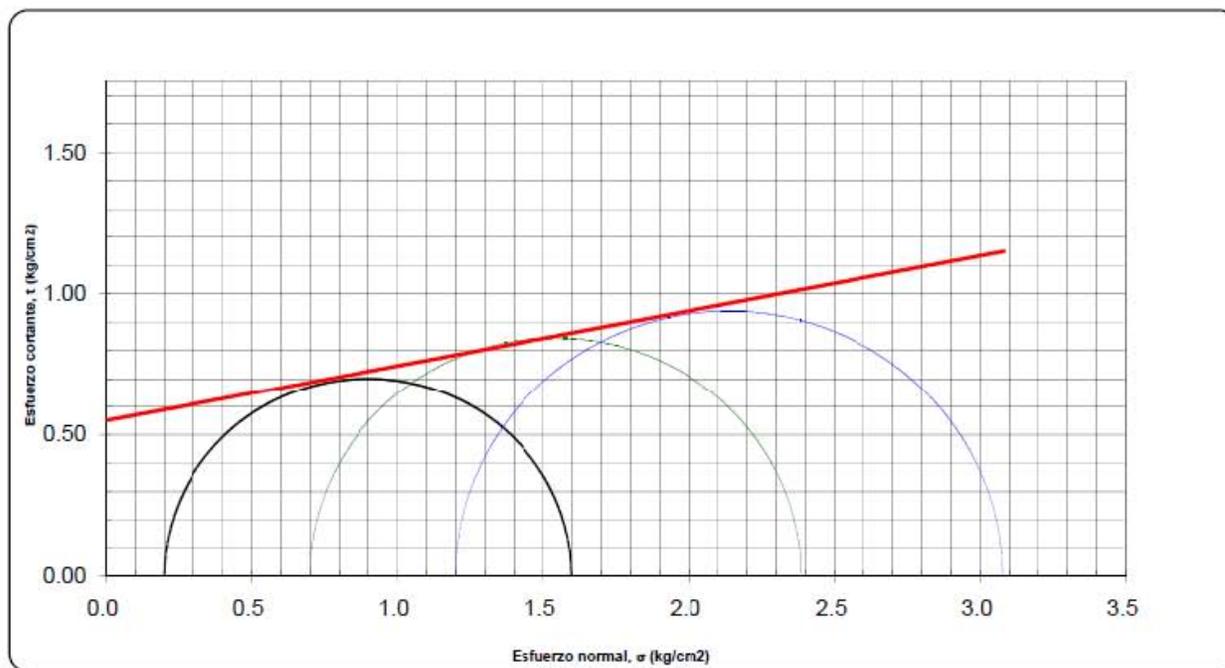
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CH) ARCILLA DE COLOR GRIS VERDOSO, CON MANCHAS DEL MISMO GRIS VERDOSO OSCURO, CON MICROFÓSILES CARBONATADOS, PUNTOS DE CRISTALES NEGROS Y MICA

SIMBOLO	σ_3 kg/cm ²	E_{50} kg/cm ²	NOTAS
—	0.20	70.66	
- - -	0.70	96.94	
- . . -	1.20	104.92	



SONDEO	PROF.	MUESTRA	σ_3 kg/cm ²	σ_d kg/cm ²	w_1 %	w_f %	S_s	e_s	G_w %	$G_w f$ %	γ_{si} ton/m ³	γ_{sf} ton/m ³	c ton/m ²	ϕ grados
SMS-2	21.79 - 22.00 M	4-4	0.20	1.400	292.02	291.09		6.866	97.86	97.55	1.147	1.144	5.5	11.0
			0.70	1.687	278.72	277.95	2.301	6.506	98.57	98.30	1.161	1.159		
			1.20	1.877	322.23	320.20		7.060	100.00	100.00	1.205	1.200		

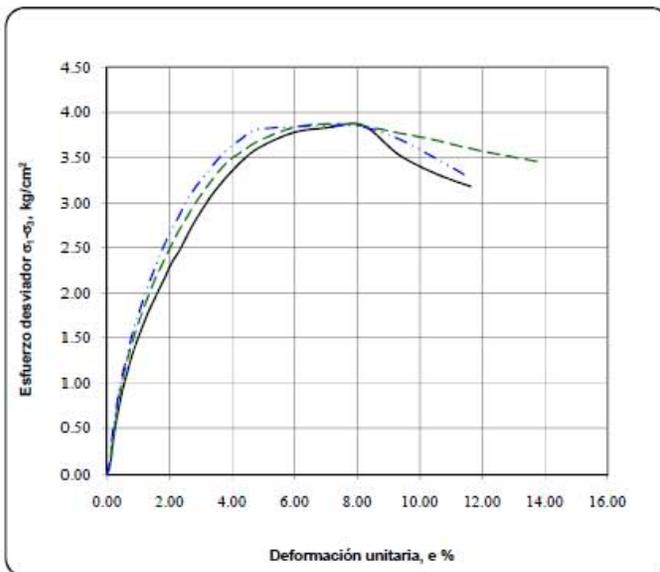


PRUEBA TRIAXIAL UU

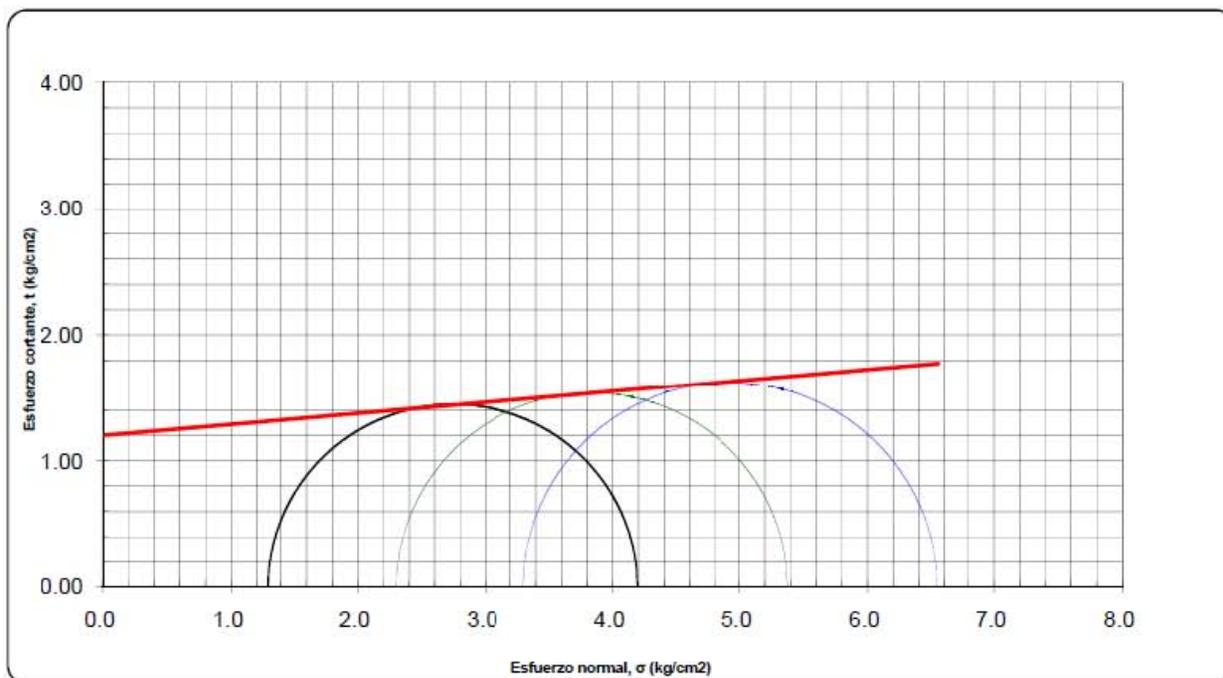
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(OH) LIMO ORGÁNICO DE COLOR CAFÉ OSCURO,
CON POCA ARENA FINA CUARZOSA, PUMÍTICA,
PUNTOS DE MATERIA ORGÁNICA Y CONCHILLAS

SIMBOLO	σ_1 kg/cm ²	E_{50} kg/cm ²	NOTAS
—	1.30	162.63	
- - -	2.30	172.26	
- . . -	3.30	183.78	

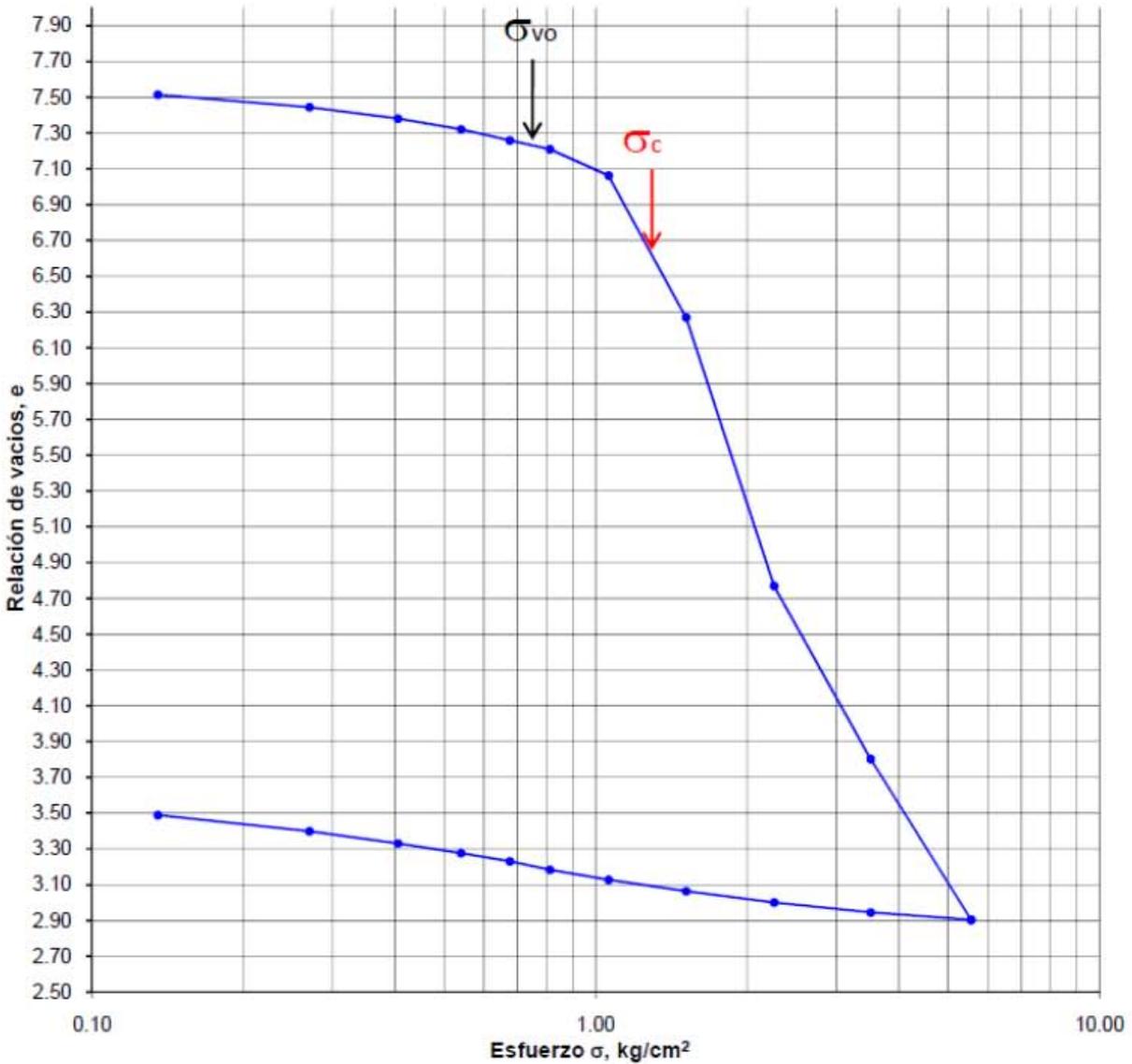


SONDEO	PROF.	MUESTRA	σ_1 kg/cm ²	σ_3 kg/cm ²	w_i %	w_f %	S_s	e_i	$C_w i$ %	$C_w f$ %	γ_{sat} ton/m ³	γ_{af} ton/m ³	c ton/m ²	ϕ grados
SMS-2	72.03 - 72.25 M	16-2	1.30	2.893	100.03	99.45		2.157	97.85	97.27	1.337	1.333	12.0	5.0
			2.30	3.074	98.32	98.65	2.110	2.110	98.33	98.65	1.346	1.348		
			3.30	3.242	102.15	101.65	2.194	2.194	98.26	97.78	1.336	1.332		



CURVA DE COMPRESIBILIDAD

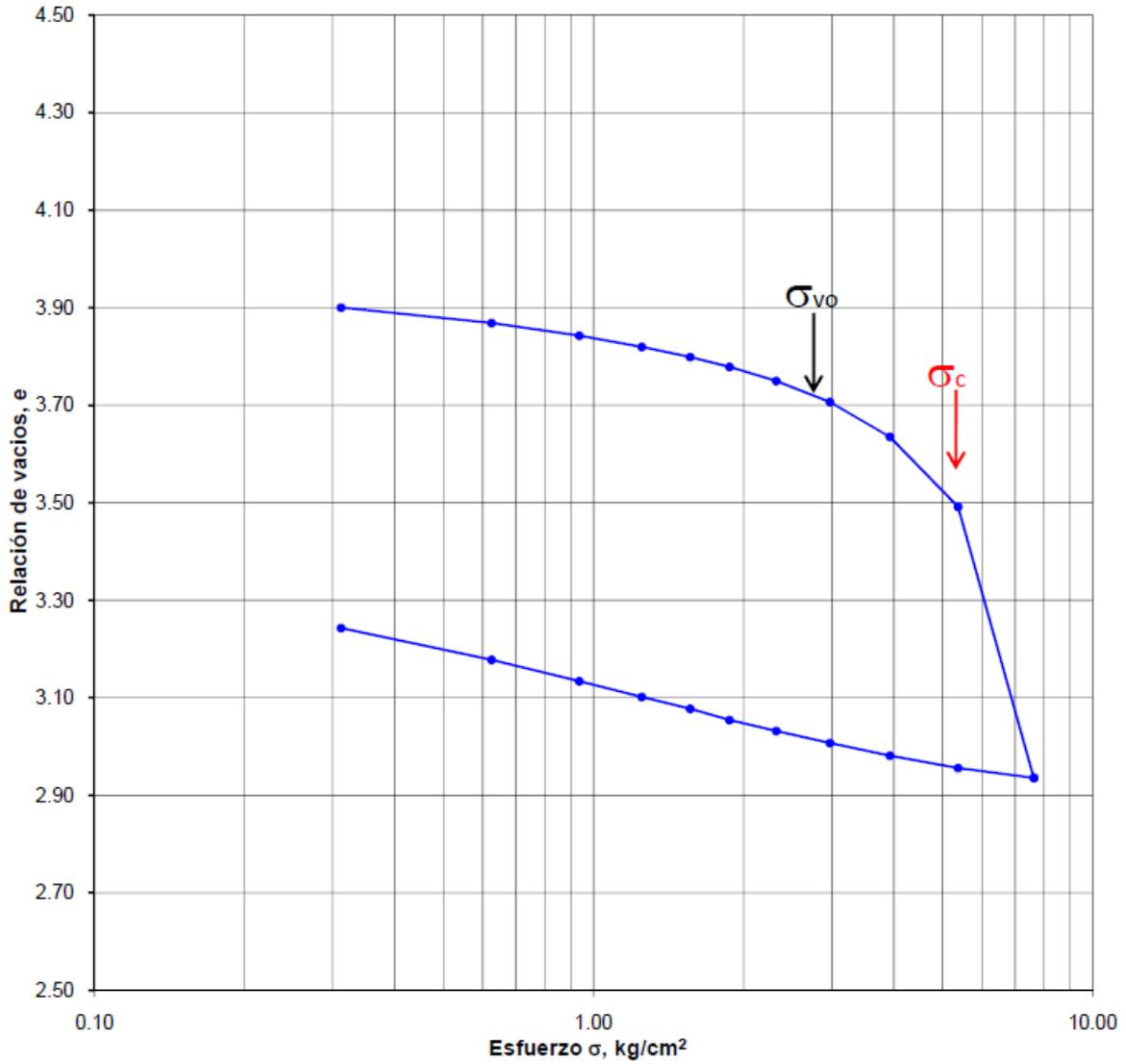
Descripción del suelo		Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	Ss
(CH) ARCILLA GRIS VERDOSO CLARO, CON MANCHAS CAFÉ AMARILLENTO, CON POCA ARENA FINA CUARZOSA, CON MICROFOSILES CARBONATADOS		SMS-1	6.58-6.80	1-4	2.168
G_i (%)	G_f (%)	w_i (%)	w_f (%)	e_i	e_f
100.00	100.00	352.06	192.45	7.528	3.628



γ_m = Peso volumétrico 1,149 kg/m^3
 σ_{vo} = Esfuerzo vertical inicial 0.73 kg/cm^2
 σ_c = Esfuerzo de preconsolidación 1.29 kg/cm^2

CURVA DE COMPRESIBILIDAD

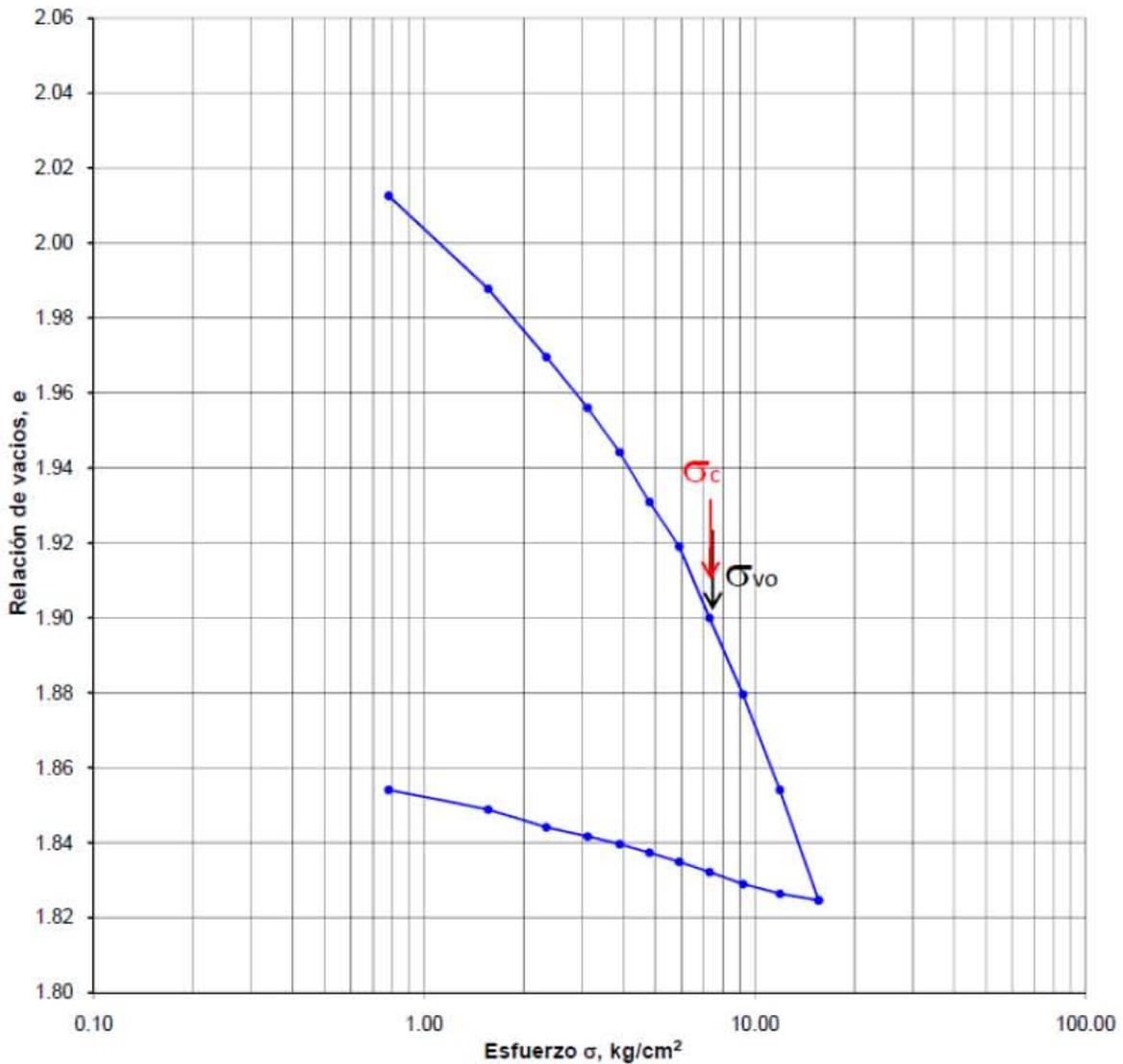
Descripción del suelo		Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	Ss
(CH) ARCILLA GRIS VERDOSO CON MUY POCA ARENA FINA CUARZOSA Y CONCHILLAS		SMS-1	34.80-35.05	8-4	2.404
G_i (%)	G_f (%)	w_i (%)	w_f (%)	e_i	e_f
100.00	100.00	165.86	148.43	3.960	3.361



γ_m = Peso volumétrico	<u>1,289</u>	kg/m ³
σ_{vo} = Esfuerzo vertical inicial	<u>2.72</u>	kg/cm ²
σ_c = Esfuerzo de preconsolidación	<u>5.22</u>	kg/cm ²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD

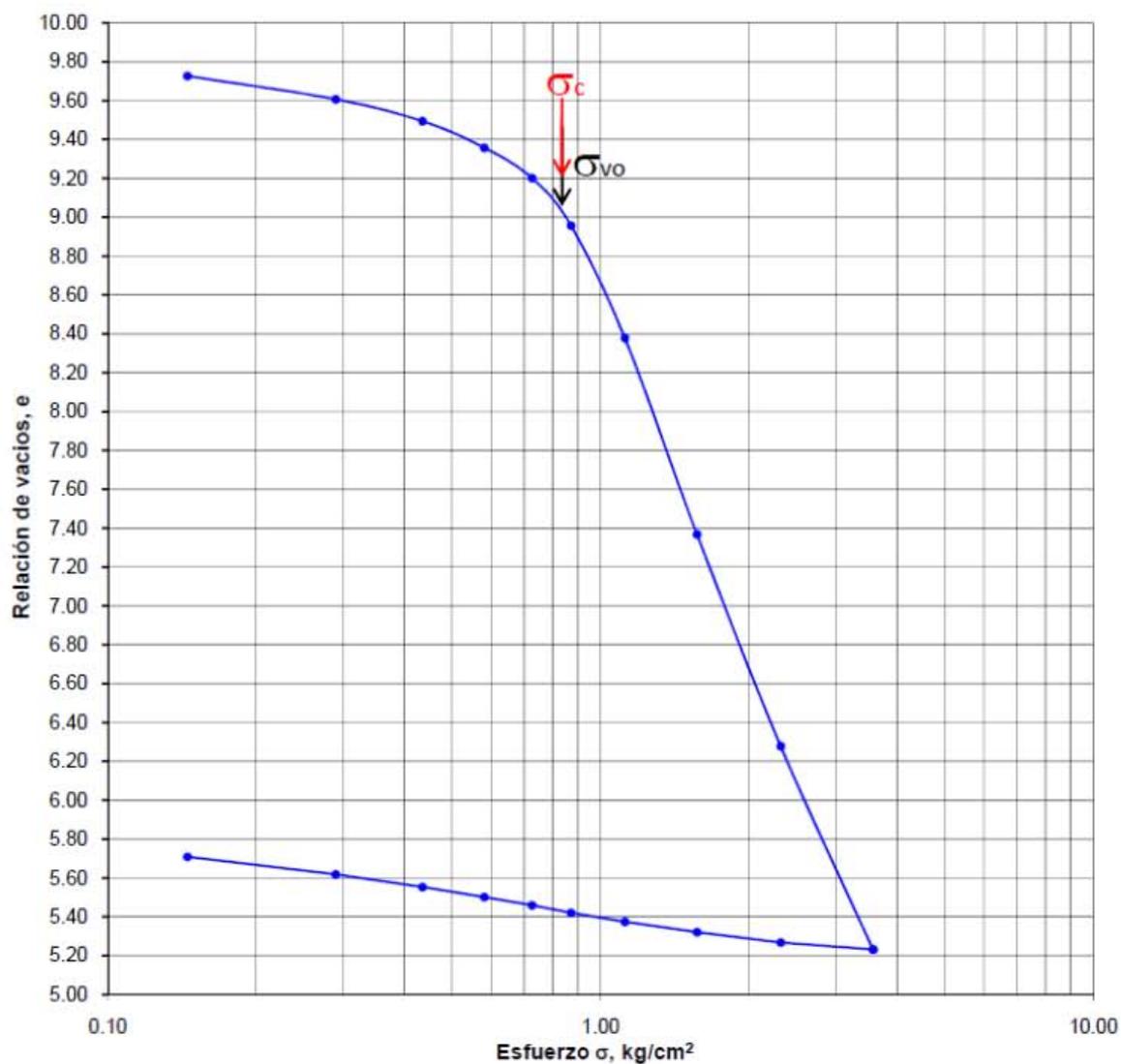
Descripción del suelo		Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	Ss
(MH) LIMO ARCILLOSO CAFÉ VERDOSO CON ARENA MUY FINA CUARZOSA, PUNTOS DE CRISTALES NEGROS Y MICAS		SMS-1	64.13-64.33	11-1	2.649
G_i (%)	G_f (%)	w_i (%)	w_f (%)	e_i	e_f
100.00	100.00	101.80	97.15	2.089	1.887



γ_m = Peso volumétrico	<u>1,731</u>	kg/m^3
σ_{vo} = Esfuerzo vertical inicial	<u>7.48</u>	kg/cm^2
σ_c = Esfuerzo de preconsolidación	<u>7.48</u>	kg/cm^2

CURVA DE COMPRESIBILIDAD

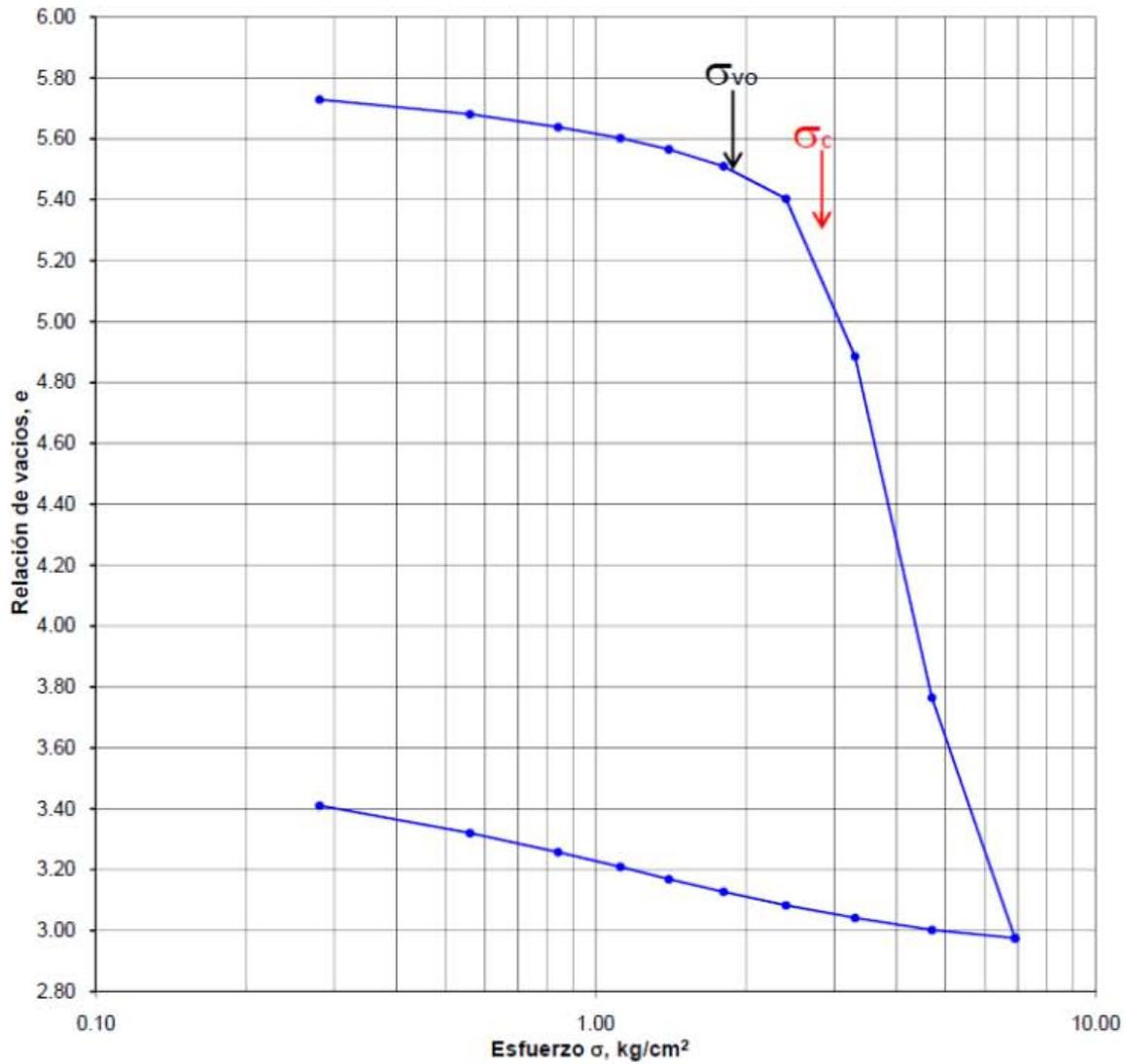
Descripción del suelo		Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	S _s
(CH) ARCILLA CAFÉ AMARILLENTO CON BOLSAS DE CENIZA VOLCANICA Y MICROFOSILES CARBONATADOS		SMS-2	8.56-8.80	1-3	2.324
G _i (%)	G _f (%)	w _i (%)	w _f (%)	e _i	e _f
99.92	100.00	422.04	269.72	9.816	5.874



γ_m = Peso volumétrico	1,122	kg/m^3
σ_{vo} = Esfuerzo vertical inicial	0.83	kg/cm^2
σ_c = Esfuerzo de preconsolidación	0.83	kg/cm^2

CURVA DE COMPRESIBILIDAD

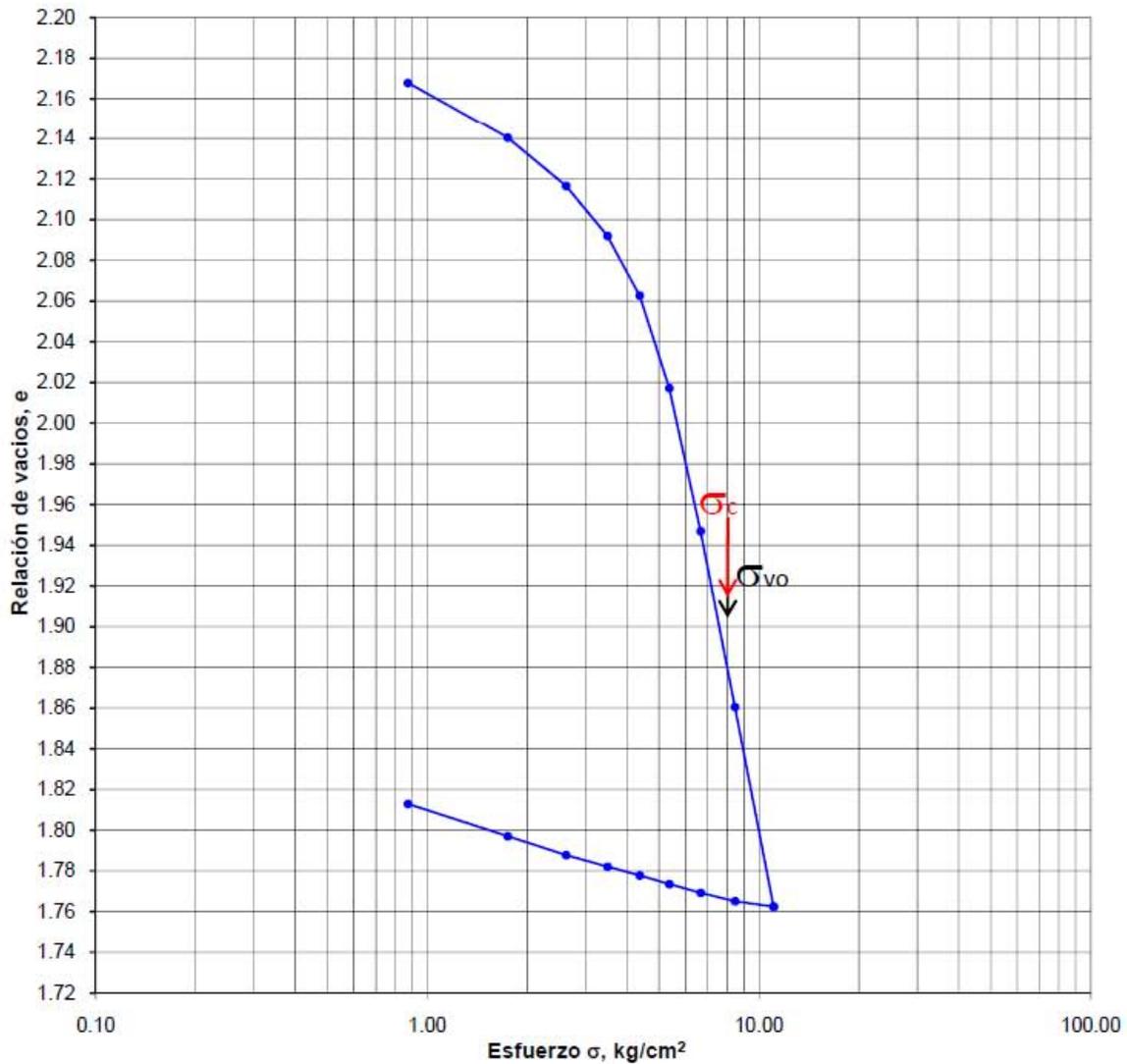
Descripción del suelo		Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	Ss
(CH) ARCILLA GRIS VERDOSO CON MANCHAS OSCURAS, COM MICROFOSILES CARBONATADOS		SMS-2	21.79-22.00	4-4	2.301
		G_i (%)	G_f (%)	w_i (%)	w_f (%)
100.00	100.00	258.01	178.75	5.830	3.588



γ_m = Peso volumétrico	1.206	kg/m ³
σ_{vo} = Esfuerzo vertical inicial	1.87	kg/cm ²
σ_c = Esfuerzo de preconsolidación	2.88	kg/cm ²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD

Descripción del suelo		Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	S _s
(MH) LIMO ORGANICO CAFÉ OSCURO		SMS-2	72.03-72.25	16-2	2.110
G _i (%)	G _f (%)	w _i (%)	w _f (%)	e _i	e _f
100.00	100.00	108.18	101.01	2.247	1.891



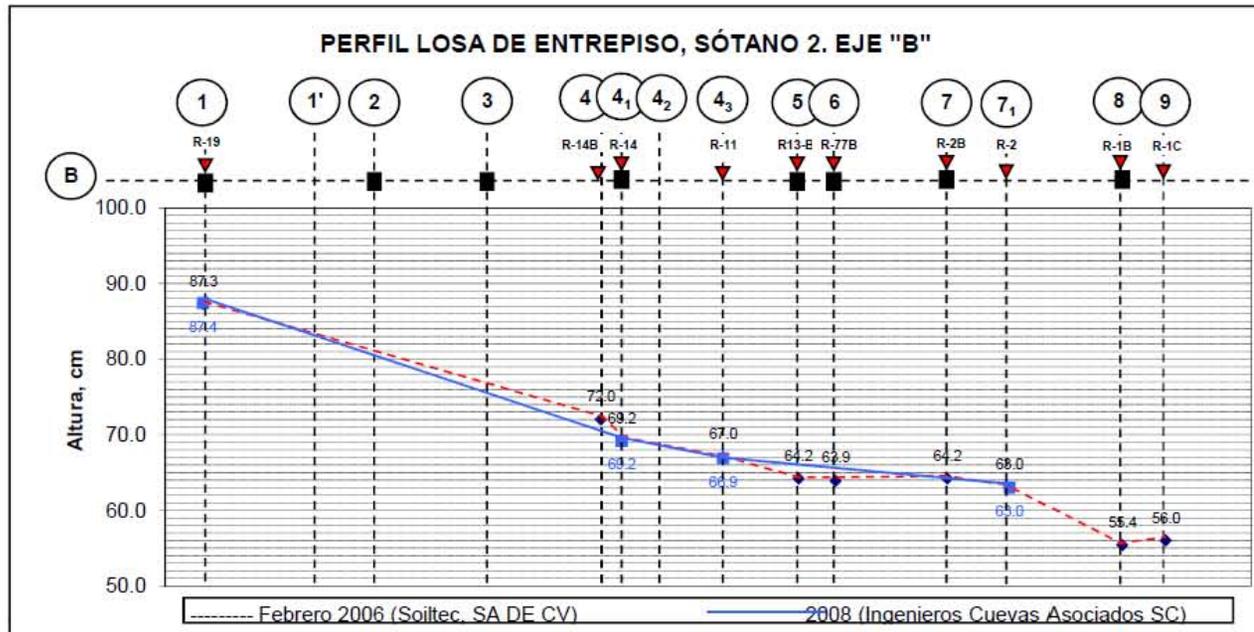
γ_m = Peso volumétrico	1.353	kg/m ³
σ_{vo} = Esfuerzo vertical inicial	7.97	kg/cm ²
σ_c = Esfuerzo de preconsolidación	7.97	kg/cm ²

Anexo V. Nivelaciones topográficas

Losa de entrepiso, sótano 2.

Eje "b"

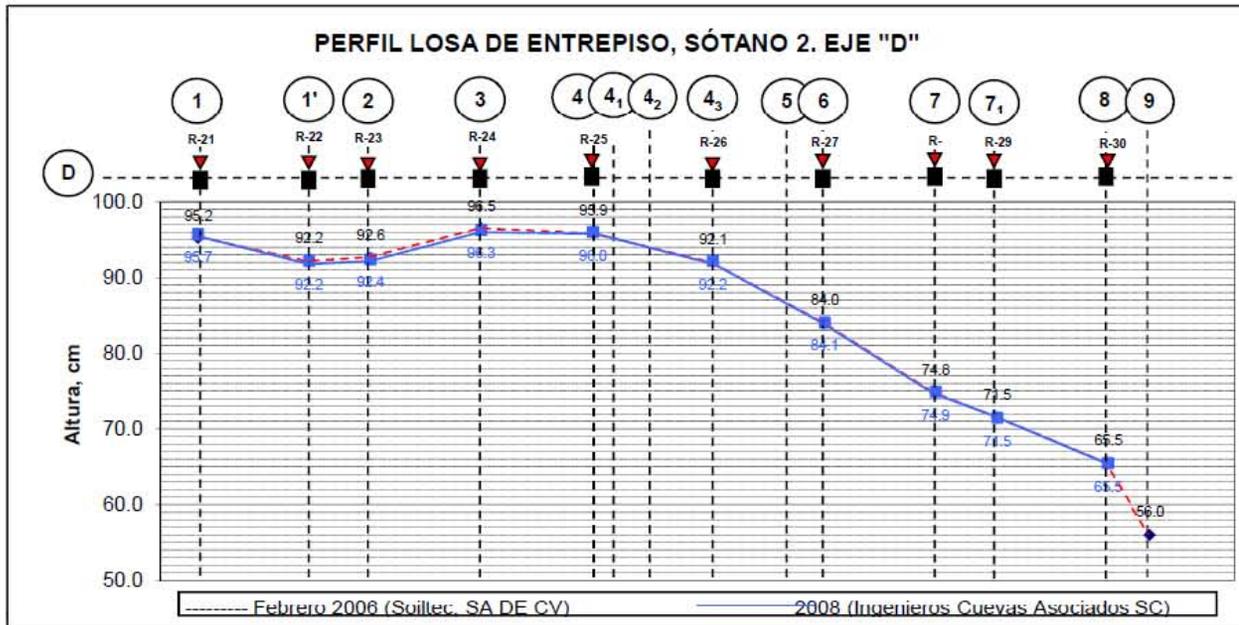
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
Limite									
B-1	19	277.5	87.3	0.00	0.0000	87.4	87.4	0.00	0.0000
B-1 ₁	--	823.5	--			--	--		
B-2	--	457.5	--			--	--		
B-3	--	823.5	--			--	--		
B-4	14B	830.0	72.0	7.20	0.0025	--	--		
B-4 ₁	14	153.6	69.2	2.11	0.0137	69.5	69.2	18.20	0.0059
B-4 ₂	--	297.5	--			--	--		
B-4 ₃	11	451.0	67.0	11.60	0.0155	67.2	66.9	2.30	0.0031
B-5	13B	555.5	64.2	0.50	0.0009	--	--		
B-6	77B	274.5	63.9	2.50	0.0091	--	--		
B-7	2B	823.5	64.2	0.50	0.0006	--	--		
B-7'	2	457.5	63.0	5.90	0.0129	63.2	63.0	3.90	0.0018
B-8	1B	823.5	55.4	3.10	0.0038	--	--		
B-9	1C	320.0	56.0	-0.60	0.0019	--	--		



Losas de entrepiso, sotano 2.

Eje "d"

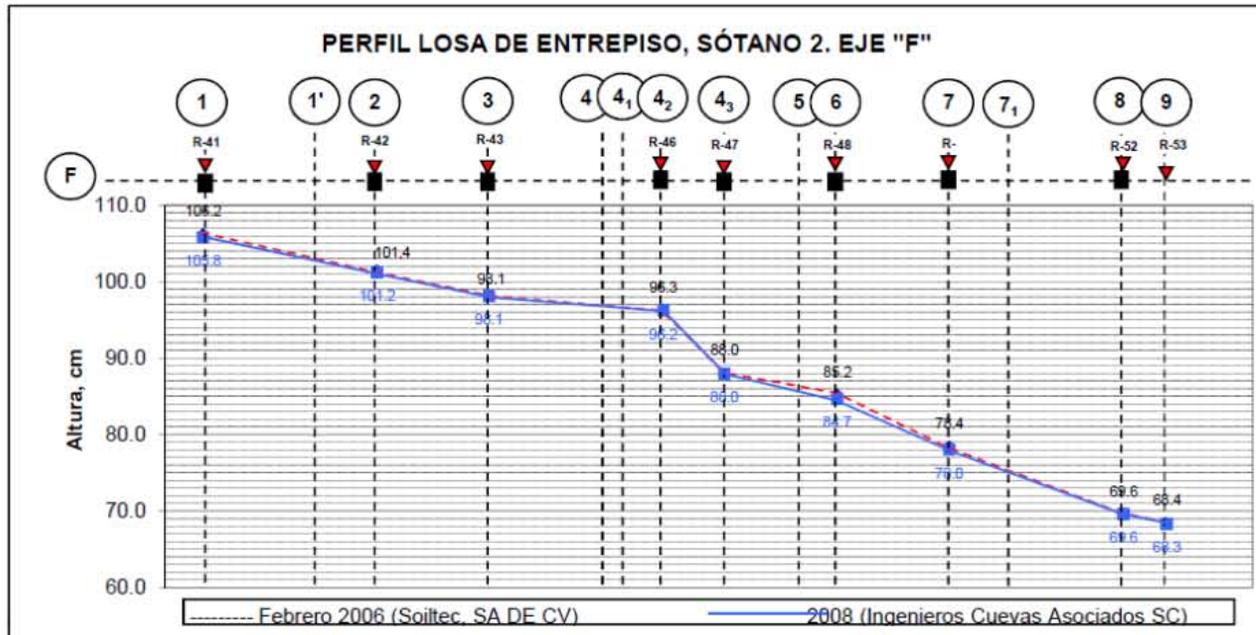
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC				
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)	
						12-Sep-08	19-Dic-08			
Limite										
D-1	21	277.5	95.2			95.7	95.7	-		
D-1 ₁	22	823.5	92.2	1.20	0.0015	92.2	92.2	3.50	0.0043	
D-2	23	457.5	92.6	4.50	0.0098	92.4	92.4	-0.20	0.0004	
D-3	24	823.5	96.5	4.70	0.0057	96.6	96.3	-3.90	0.0047	
D-4	25	830.0	95.9	2.90	0.0035	96.0	96.0	0.30	0.0004	
D-4 ₁	-	153.6	-			-	-			
D-4 ₂	-	297.5	-			-	-			
D-4 ₃	26	451.0	92.1	5.00	0.0055	92.2	92.2	3.80	0.0042	
D-5	-	555.5	-			-	-			
D-6	27	274.5	84.0	1.20	0.0014	84.1	84.1	8.10	0.0098	
D-7	28	823.5	74.8	1.30	0.0016	74.9	74.9	9.20	0.0112	
D-7'	29	457.5	71.5	1.80	0.0039	71.5	71.5	3.40	0.0074	
D-8	30	823.5	65.5	0.90	0.0011	65.7	65.5	6.00	0.0073	
D-9	-	320.0	56.0			-	-			



Losas de entrepiso, sótano 2.

Eje "f"

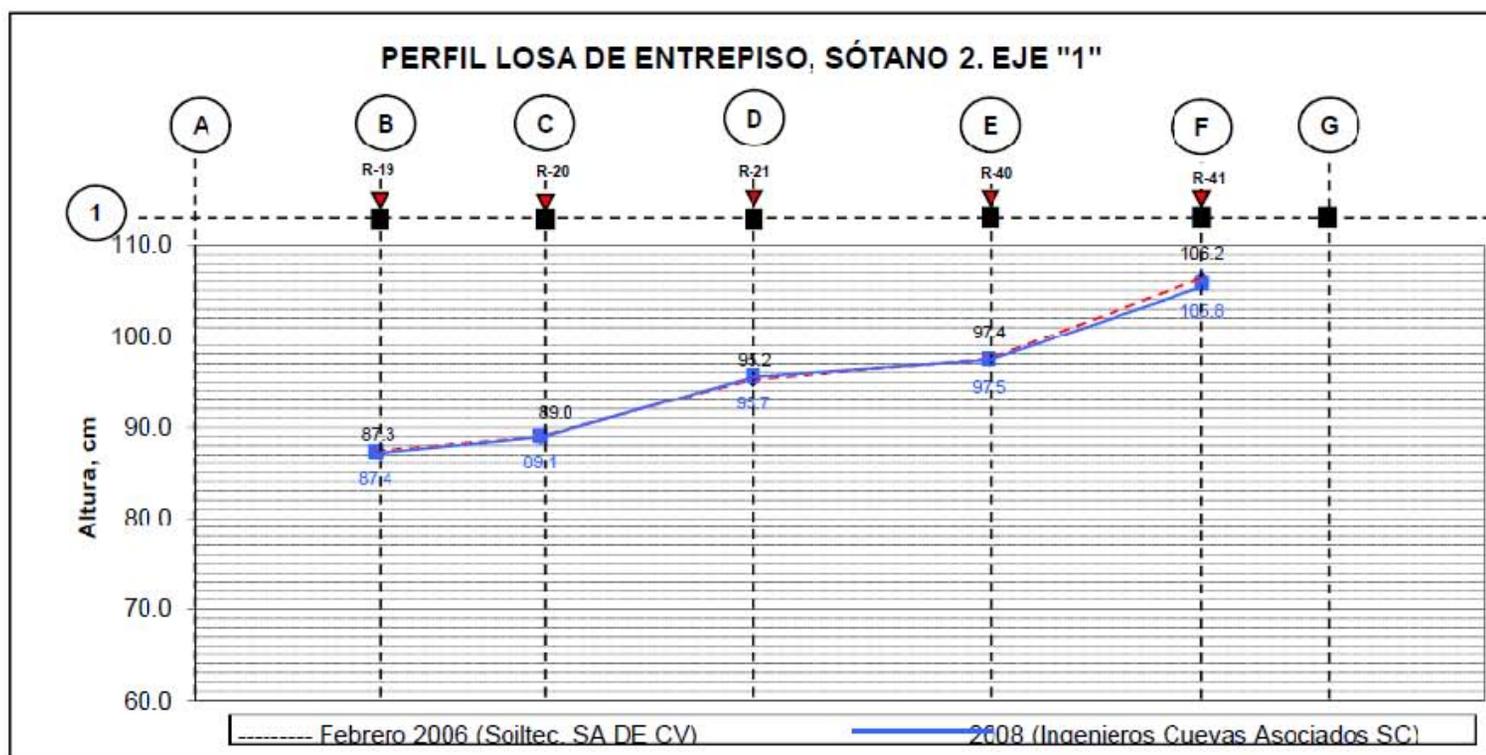
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
Límite									
F-1	41	277.5	106.2	--		105.5	105.8		
F-1 ₁	--	823.5	--			--	--		
F-2	42	457.5	101.4	0.90	0.0007	101.2	101.2	4.60	0.0036
F-3	43	823.5	98.1	3.80	0.0046	98.1	98.1	3.10	0.0038
F-4	--	830.0	--			--	--		
F-4 ₁	--	153.6	--			--	--		
F-4 ₂	46	297.5	96.3	7.40	0.0058	96.2	96.2	1.90	0.0015
F-4 ₃	47	451.0	88.0	14.40	0.0319	88.0	88.0	8.20	0.0182
F-5	--	555.5	--			--	--		
F-6	48	274.5	85.2	7.30	0.0088	84.6	84.7	3.30	0.0040
F-7	49	823.5	78.4	4.60	0.0056	77.9	78.0	6.70	0.0081
F-7'	--	457.5	--			--	--		
F-8	52	823.5	69.6	0.80	0.0006	69.6	69.6	8.40	0.0066
F-9	53	320.0	68.4			68.3	68.3	1.30	0.0041



Losa de entrepiso, sotano 2.

Eje "1"

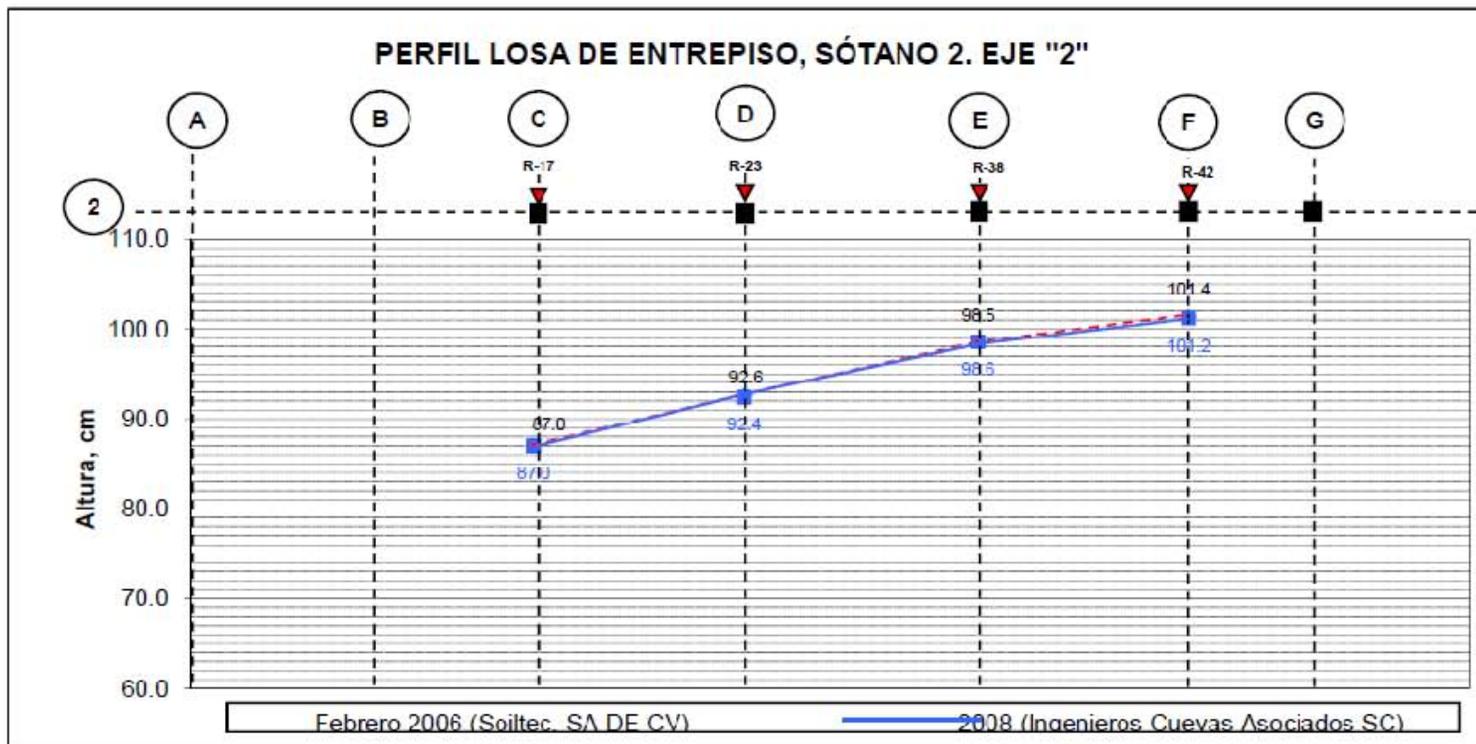
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
1-A	--	0.0	--			--	--		
1-B	19	700.0	87.3	--	--	87.4	87.4	--	
1-C	20	640.0	89.0	--	--	89.1	89.1	-1.70	0.0027
1-D	21	823.5	95.2	3.30	0.0041	95.7	95.7	-6.60	0.0080
1-E	40	915.0	97.4	3.90	0.0043	97.5	97.5	-1.80	0.0020
1-F	41	823.5	106.2	7.10	0.0086	105.5	105.8	-8.30	0.0101
1-G	--	503.0	--			--	--		



Losas de entrepiso, sotano 2.

Eje "2"

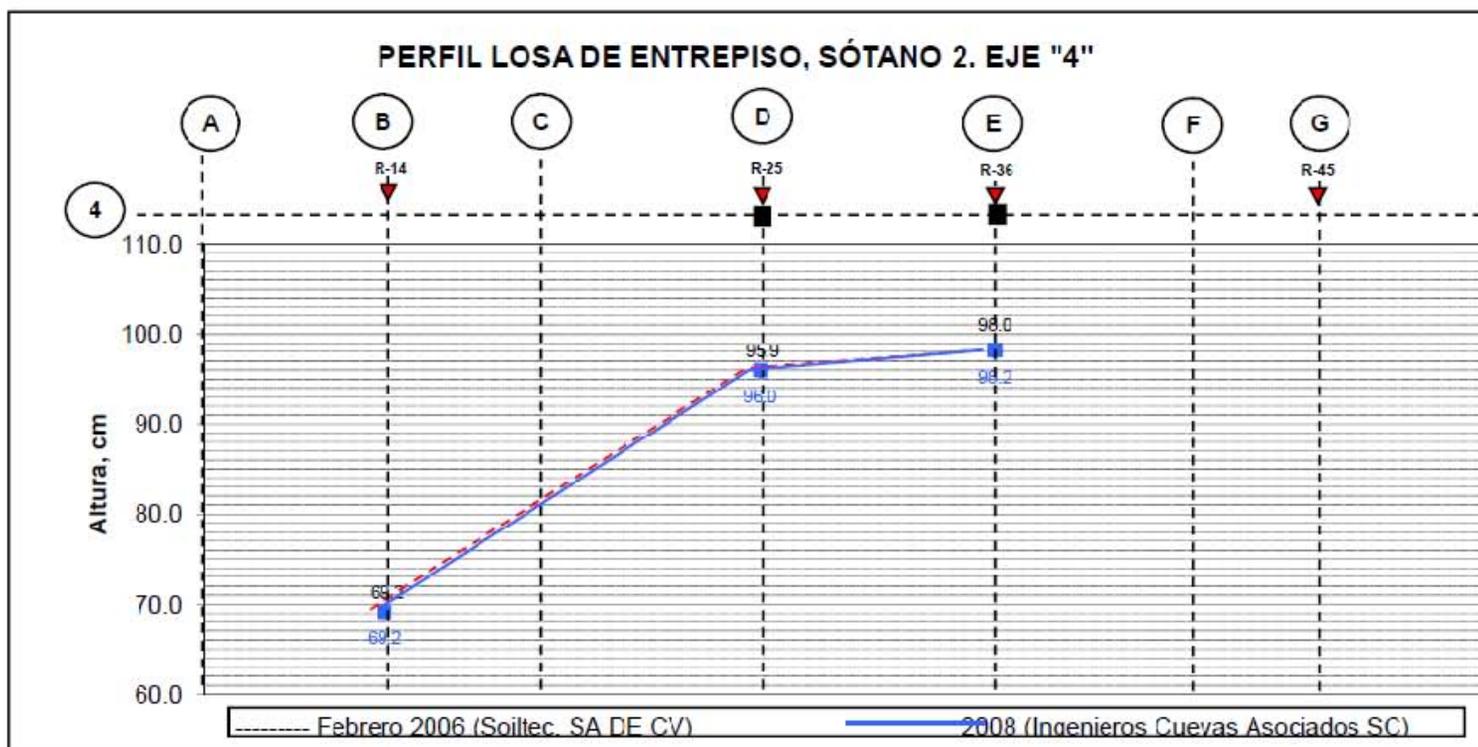
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
2-A	--	0.0	--			--	--		
2-B	--	700.0	--			--	--		
2-C	17	640.0	87.0	--	--	87.0	87.0	--	--
2-D	23	823.5	92.6	1.80	0.0022	92.4	92.4	-5.40	0.0066
2-E	38	915.0	98.5	0.00	0.0000	98.8	98.6	-6.20	0.0068
2-F	42	823.5	101.4	3.60	0.0044	101.2	101.2	-2.60	0.0032
2-G	--	503.0	--			--	--		



Losa de entrepiso, sotano 2.

Eje "4"

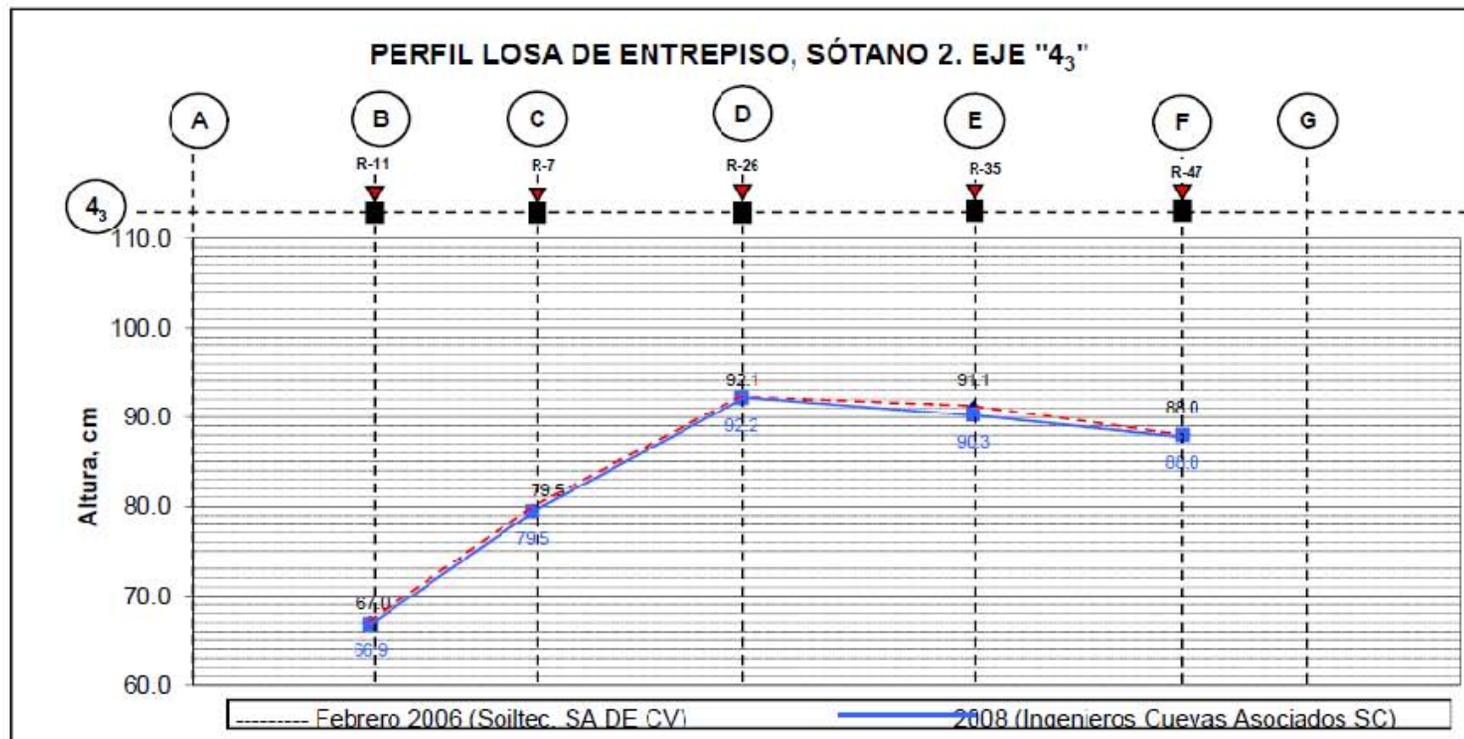
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
4-A	--	0.0	--	--	--	--	--	--	--
4-B	14	700.0	69.2	--	--	69.5	69.2	--	--
4-C	--	640.0	--	--	--	--	--	--	--
4-D	25	823.5	95.9	--	--	96.0	96.0	-26.80	0.0183
4-E	36	915.0	98.0	19.20	0.0210	98.5	98.2	-2.20	0.0024
4-F	--	823.5	--	--	--	--	--	--	--
4-G	--	503.0	--	--	--	--	--	--	--



Losas de entrepiso, sótano 2.

Eje "4₃"

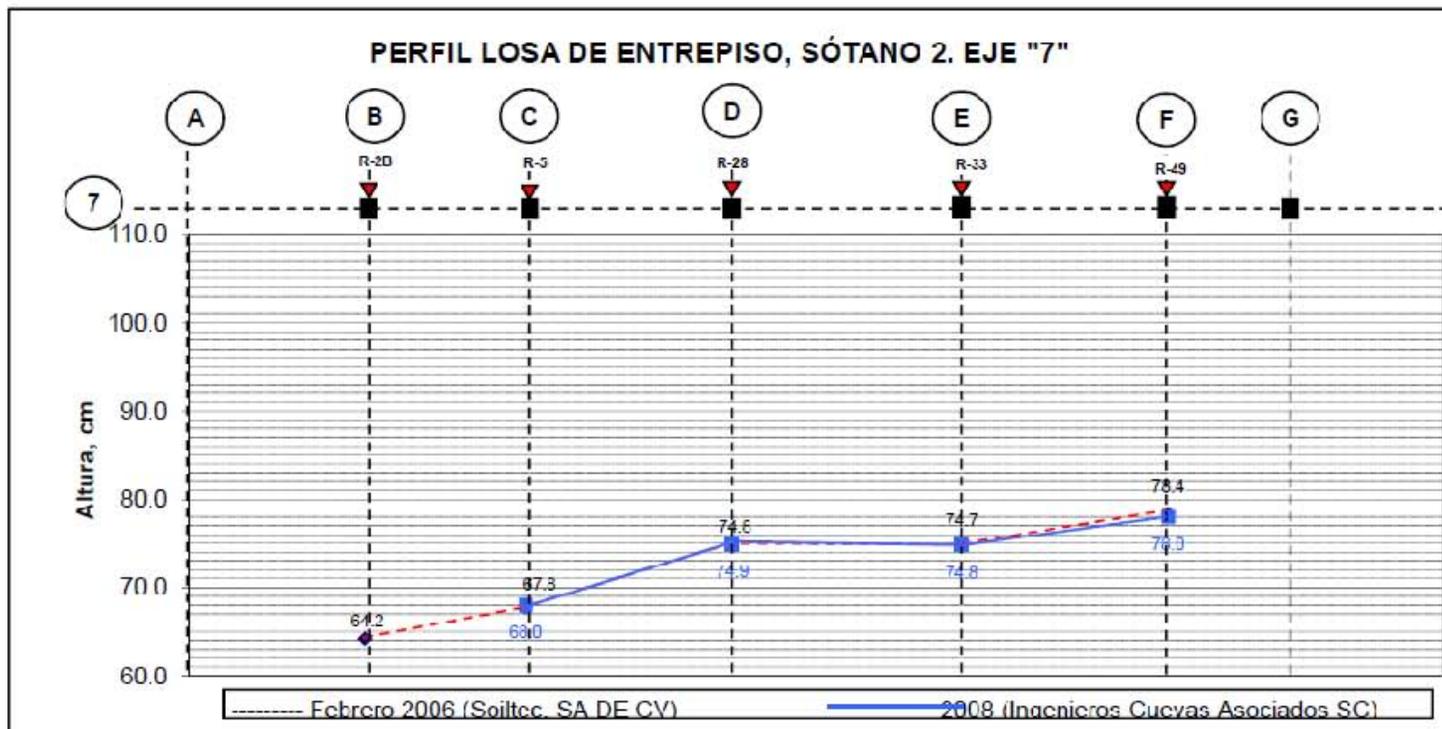
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
4 ₃ -A	--	0.0	--	--	--	--	--	--	--
4 ₃ -B	11	700.0	67.0	--	--	67.2	66.9	--	--
4 ₃ -C	7	640.0	79.5	17.00	0.0266	79.8	79.5	-12.60	0.0197
4 ₃ -D	26	823.5	92.1	2.90	0.0035	92.2	92.2	-12.70	0.0154
4 ₃ -E	35	915.0	91.1	13.40	0.0146	90.2	90.3	1.90	0.0021
4 ₃ -F	47	823.5	88.0	2.30	0.0028	88.0	88.0	2.30	0.0028
4 ₃ -G	--	503.0	--	--	--	--	--	--	--



Losas de entrepiso, sótano 2.

Eje "7"

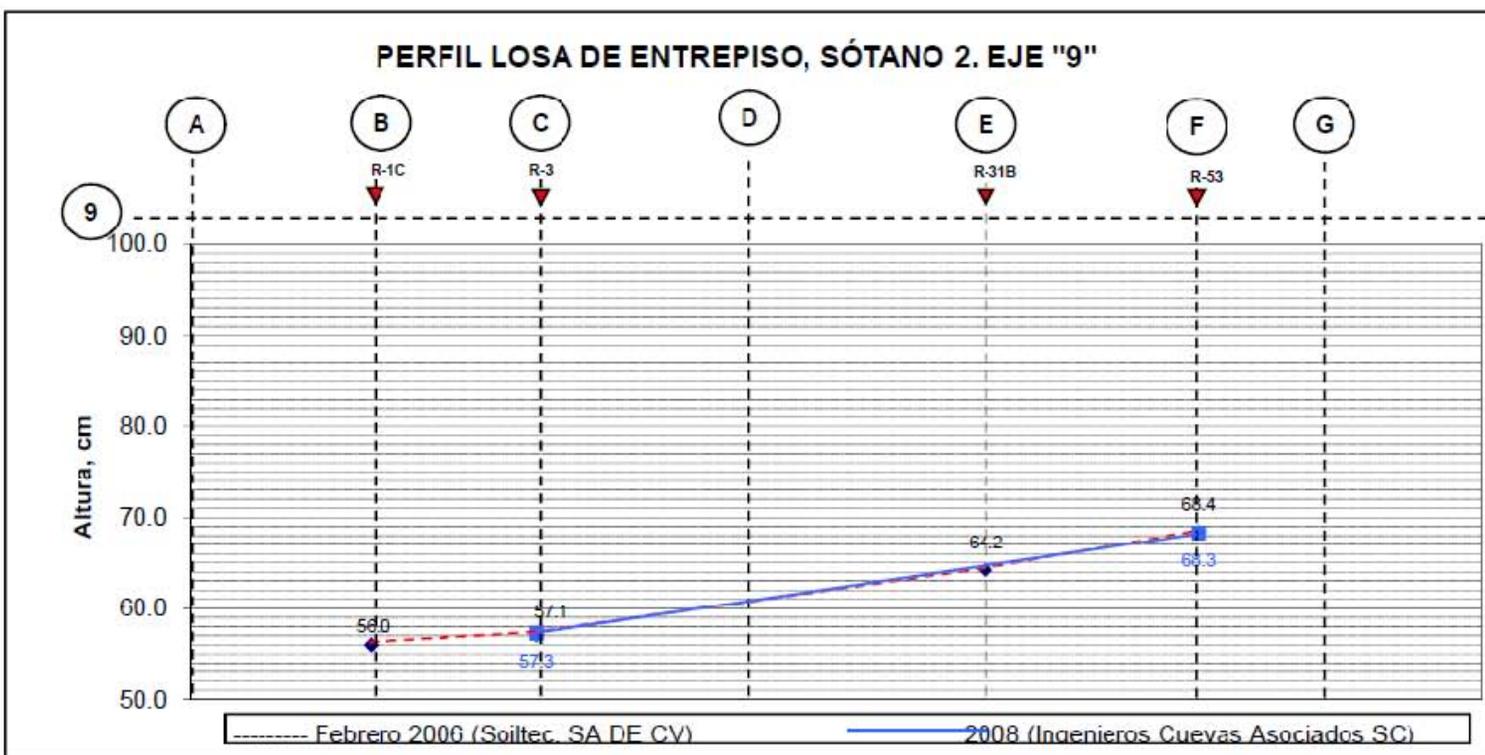
Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
7-A	--	0.0	--			--	--		
7-B	2B	700.0	64.2	--	--	--	--	--	--
7-C	5	640.0	67.8	3.70	0.0058	68.0	68.0	--	--
7-D	28	823.5	74.8	1.90	0.0023	74.9	74.9	-6.90	0.0084
7-E	33	915.0	74.7	6.80	0.0074	74.8	74.8	0.10	0.0011
7-F	49	823.5	78.4	4.50	0.0055	77.9	78.0	-3.20	0.0039
7-G	--	503.0	--			--	--		



Losa de entrepiso, sótano 2.

Eje "9"

Nodo	Referencia	Claro (cm)	SOILTEC, SA DE CV, FEBRERO 2006			INGENIEROS CUEVAS ASOCIADOS SC			
			Altura losa-Referencia (cm)	δ (cm)	θ (rad)	Altura losa-Referencia		δ (cm)	θ (rad)
						12-Sep-08	19-Dic-08		
9-A	--	0.0	--	--	--	--	--	--	--
9-B	1C	700.0	56.0	--	--	--	--	--	--
9-C	3	640.0	57.1	--	--	57.3	57.3	--	--
9-D	--	823.5	--	--	--	--	--	--	--
9-E	31B	915.0	64.2	6.00	0.0035	--	--	--	--
9-F	53	823.5	68.4	2.70	0.0033	68.3	68.3	-11.00	0.0043
9-G	--	503.0	--	--	--	--	--	--	--

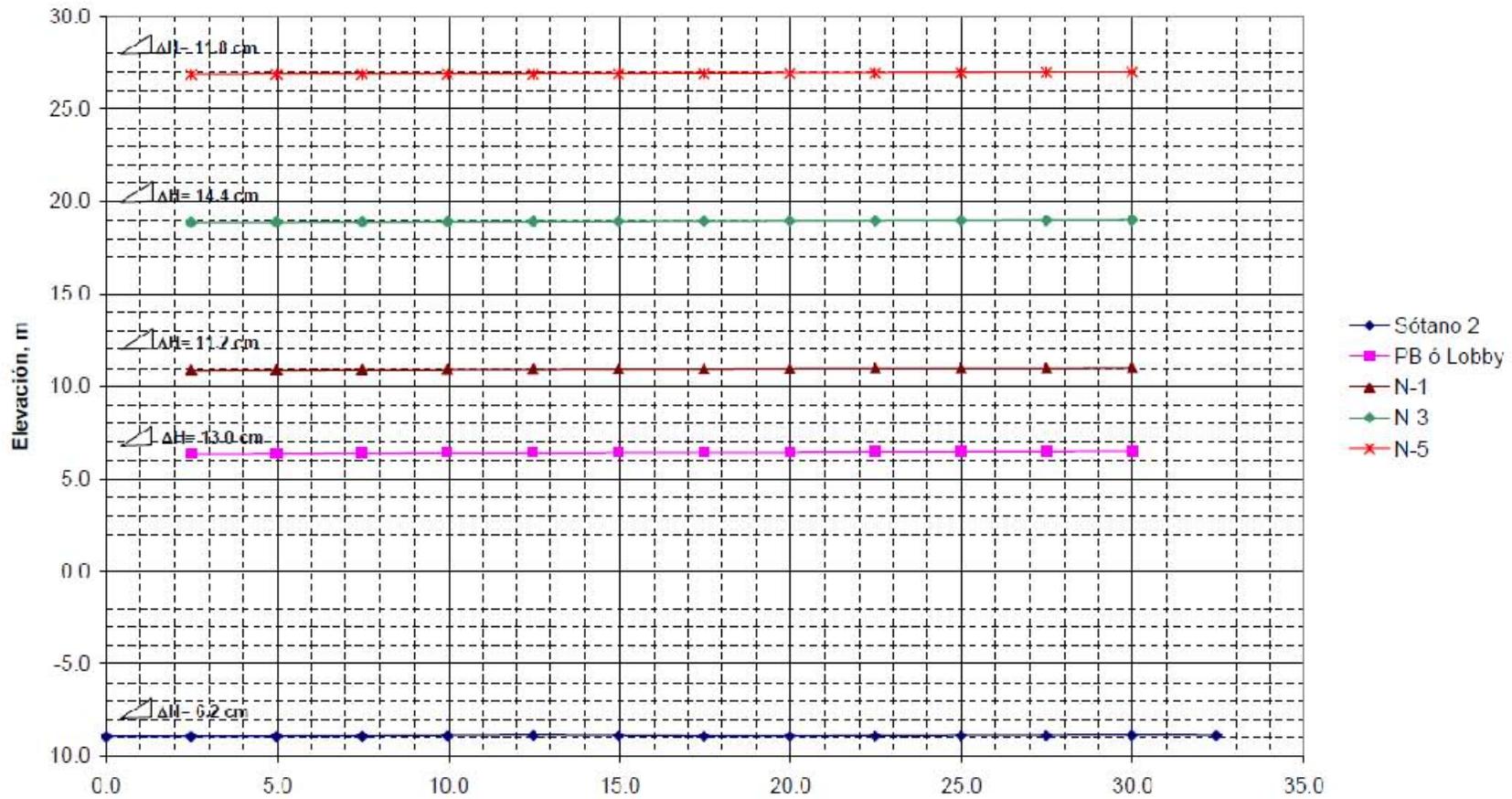


Nivelación de firmes de entrepisos, sección 1.

Distancia (m)	Sótano 2		PB ó Lobby		N-1		N-3		N-5	
	0.000	92.42200	-8.9320							
2.475	92.42562	-8.9284	107.8390	6.3700	112.3240	10.8880	120.3210	18.8560	128.3300	26.8820
4.975	92.42348	-8.9305	107.8500	6.3810	112.3260	10.8900	120.3400	18.8750	128.3310	26.8830
7.475	92.43846	-8.9155	107.8650	6.3960	112.3460	10.9100	120.3500	18.8850	128.3390	26.8910
9.975	92.46908	-8.8849	107.8790	6.4100	112.3580	10.9220	120.3650	18.9000	128.3450	26.8970
12.475	92.49138	-8.8626	107.8890	6.4200	112.3720	10.9360	120.3740	18.9090	128.3530	26.9050
14.975	92.47228	-8.8817	107.8980	6.4290	112.3820	10.9460	120.3890	18.9240	128.3600	26.9120
17.475	92.44809	-8.9059	107.9070	6.4380	112.3890	10.9530	120.4000	18.9350	128.3750	26.9270
19.975	92.44768	-8.9063	107.9090	6.4400	112.4030	10.9670	120.4140	18.9490	128.3830	26.9350
22.475	92.45468	-8.8993	107.9310	6.4620	112.4160	10.9800	120.4280	18.9630	128.3990	26.9510
24.975	92.46771	-8.8863	107.9460	6.4770	112.4180	10.9820	120.4440	18.9790	128.4140	26.9660
27.475	92.47865	-8.8754	107.9600	6.4910	112.4260	10.9900	120.4580	18.9930	128.4350	26.9870
29.975	92.49010	-8.8639	107.9690	6.5000	112.4360	11.0000	120.4650	19.0000	128.4480	27.0000
32.450	92.48400	-8.8700								
ΔH (m)=		-0.0620		-0.1300		-0.1120		-0.1440		-0.1180



EDIFICIO CTM
NIVELACIÓN DE ENTREPISOS
SECCIÓN 1



Nivelación de firmes de entrepisos, sección 2.

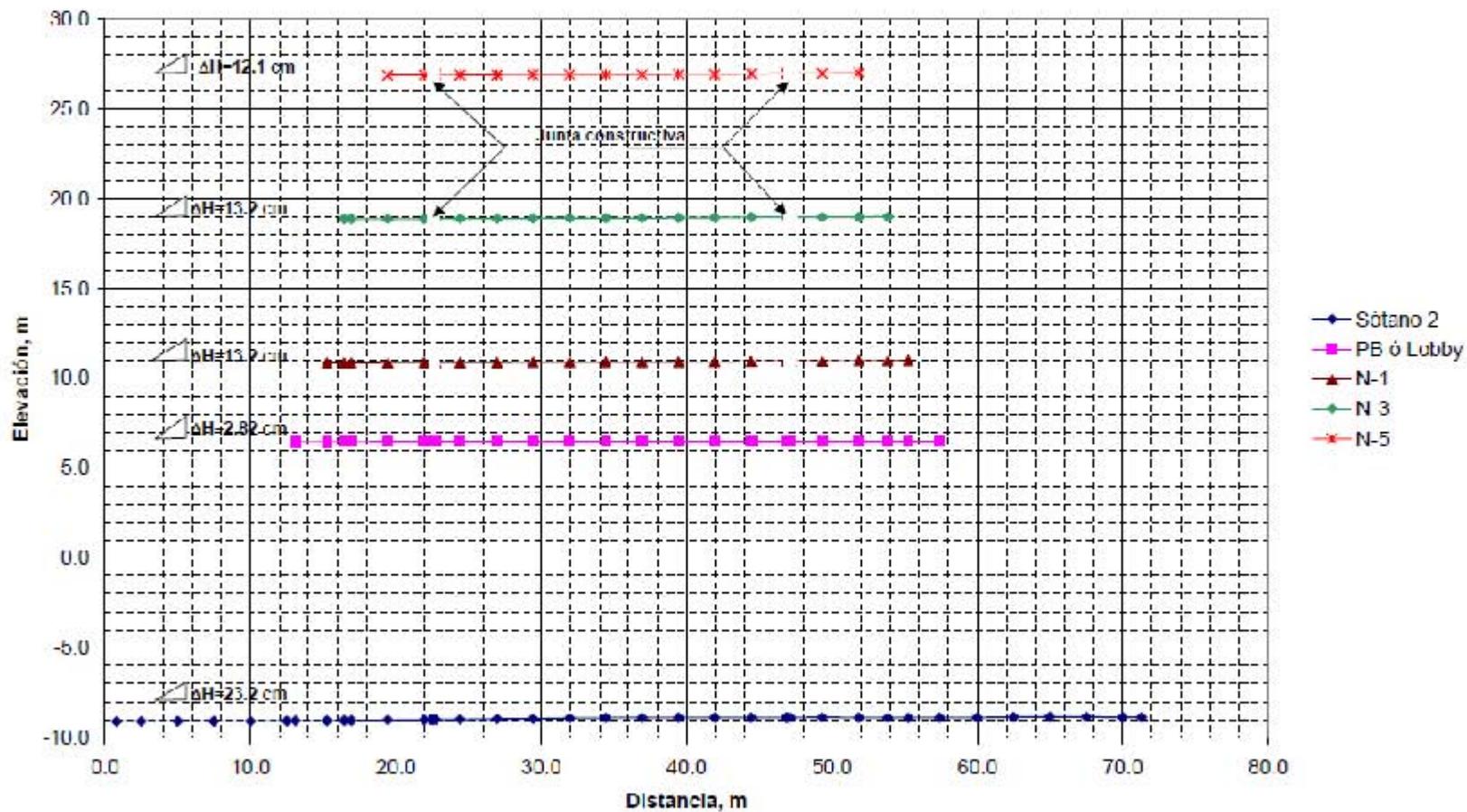
Distancia (m)	Sótano 2		PB ó Lobby		N-1		N-3		N-5	
0.000										
0.800	92.42800	-9.10200								
2.500	92.42800	-9.10200								
5.000	92.43800	-9.09200								
7.500	92.43400	-9.09600								
10.000	92.44100	-9.08900								
12.500	92.45600	-9.07400								
13.100	92.45936	-9.07064	107.8390	6.4718						
15.250	92.47110	-9.05890	107.8387	6.4715	112.3220	10.8680				
16.450	92.47638	-9.05362	107.8408	6.4736	112.3258	10.8718	120.3210	18.8680		
16.950	92.47858	-9.05142	107.8448	6.4776	112.3274	10.8734	120.3228	18.8698		
19.450	92.49816	-9.03184	107.8589	6.4917	112.3378	10.8838	120.3324	18.8794	128.3310	26.8790
21.950	92.52172	-9.00828	107.8666	6.4994	112.3493	10.8953	120.3440	18.8910	128.3520	26.9000
22.450	92.52652	-9.00348	107.8671	6.4999	112.3515	10.8975	120.3460	18.8930	128.3550	26.9030
22.550	92.52742	-9.00258	107.8672	6.5000	112.3520	10.8980	120.3470	18.8940	128.3570	26.9050
22.750	92.52910	-9.00090	107.8672	6.5000	112.3520	10.8980	120.3490	18.8960	128.3600	26.9080
24.450	92.54338	-8.98662	107.8672	6.5000	112.3493	10.8953	120.3518	18.8988	128.3530	26.9010
26.950	92.56126	-8.96874	107.8672	6.5000	112.3534	10.8994	120.3580	18.9050	128.3510	26.8990
29.450	92.58294	-8.94706	107.8672	6.5000	112.3682	10.9142	120.3704	18.9174	128.3670	26.9150
31.950	92.60438	-8.92562	107.8672	6.5000	112.3733	10.9193	120.3722	18.9192	128.3600	26.9080
34.450	92.62538	-8.90462	107.8672	6.5000	112.3737	10.9197	120.3750	18.9220	128.3660	26.9140
36.950	92.63000	-8.90000	107.8672	6.5000	112.3794	10.9254	120.3832	18.9302	128.3710	26.9190
39.450	92.63780	-8.89220	107.8672	6.5000	112.3793	10.9253	120.3862	18.9332	128.3750	26.9230
41.950	92.64156	-8.88844	107.8672	6.5000	112.3882	10.9342	120.4000	18.9470	128.3840	26.9320
44.450	92.64356	-8.88644	107.8672	6.5000	112.4046	10.9506	120.4228	18.9698	128.3990	26.9470
46.850	92.64844	-8.88156	107.8672	6.5000	112.4260	10.9720	120.4360	18.9830	128.4250	26.9730
46.950	92.64848	-8.88152	107.8672	6.5000	112.4270	10.9730	120.4350	18.9820	128.4240	26.9720
47.150	92.64916	-8.88084	107.8672	6.5000	112.4250	10.9710	120.4330	18.9800	128.4220	26.9700
49.350	92.65148	-8.87852	107.8672	6.5000	112.4305	10.9765	120.4376	18.9846	128.4360	26.9840
51.850	92.63794	-8.89206	107.8672	6.5000	112.4394	10.9854	120.4458	18.9928	128.4520	27.0000
53.850	92.63408	-8.89592	107.8672	6.5000	112.4478	10.9938	120.4530	19.0000		
55.250	92.63650	-8.89350	107.8672	6.5000	112.4540	11.0000				
67.400	92.64940	-8.88060	107.8672	6.5000						
60.000	92.64700	-8.88300								
62.500	92.66700	-8.86300								
65.000	92.67800	-8.85200								
67.500	92.68000	-8.85000								
70.000	92.65700	-8.87300								
71.300	92.66000	-8.87000								
ΔH (m)=		-0.23200		-0.0282		-0.1320		-0.1320		-0.1210



SUR

EDIFICIO CTM NIVELACIÓN DE ENTREPISOS SECCIÓN 2

NORTE



Nivelación de firmes de entrepisos, sección 3.

Distancia (m)	Sótano 2		PB ó Lobby		N-1		N-3		N-5	
0.000	92.61600	-9.0560								
3.150	92.63290	-9.0391	107.9740	6.3040	112.4580	10.7910	120.4520	18.7950	128.4490	26.8280
5.650	92.66330	-9.0087	107.9950	6.3250	112.4780	10.8110	120.4740	18.8170	128.4710	26.8500
8.150	92.68036	-8.9916	108.0100	6.3400	112.4940	10.8270	120.4910	18.8340	128.4850	26.8640
10.650	92.67910	-8.9929	108.0340	6.3640	112.5160	10.8490	120.5750	18.9180	128.5040	26.8830
13.150	92.69910	-8.9729	108.0460	6.3760	112.5420	10.8750	120.5280	18.8710	128.5220	26.9010
15.650	92.71202	-8.9600	108.0610	6.3910	112.5630	10.8960	120.5520	18.8950	128.5400	26.9190
18.150	92.72102	-8.9510	108.0610	6.3910	112.5850	10.9180	120.5520	18.8950	128.5550	26.9340
20.650	92.73548	-8.9365	108.1020	6.4320	112.6090	10.9420	120.5910	18.9340	128.5650	26.9440
23.150	92.74758	-8.9244	108.1210	6.4510	112.6360	10.9690	120.6090	18.9520	128.5800	26.9590
25.650	92.76014	-8.9119	108.1400	6.4700	112.6510	10.9840	120.6240	18.9670	128.5930	26.9720
28.150	92.77236	-8.8996	108.1700	6.5000	112.6670	11.0000	120.6450	18.9880	128.6090	26.9880
29.750	92.77878	-8.8932					120.6570	19.0000	128.6210	27.0000
32.900	92.80200	-8.8700								
$\Delta H (m)=$		-0.1860		-0.1960		-0.2090		-0.2050		-0.1720



EDIFICIO CTM
NIVELACIÓN DE ENTREPISOS
SECCIÓN 3

