



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis de la falla de un muro pantalla en una
excavación profunda en la Ciudad de México**

TESINA

Que para obtener el título de
Especialista en Geotecnia

P R E S E N T A

Vo.Bo.

Ing. Bardomiano Soria Castañeda
Octubre 23, 2023

Ing. Frida Itzel Calzada Silva

VO.BO

RIGOBERTO RIVERA C

13/10/2023

DIRECTOR(A) DE TESINA

M.I. Walter I. Paniagua Zavala

Vo. Bo.
Walter Paniagua
13/10/2023



Vo. Bo.

M. I. Juan Luis Umaña Romero
19/octubre/2023

Vo. Bo.

19/10/2023
Ciudad Universitaria, CDMX, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Agradecimientos:

Quisiera agradecer a mis padres, Armando Calzada Hernández y Ma.del Rosario Silva Urbano, y a mi hermana, Lesly Paulette Calzada Silva por el apoyo incondicional en mis años de estudios, así mismo, a mi abuela Aurora Urbano Chávez y a mi abuelo José Francisco Silva por amarme siempre, sin ellos no sería lo que soy hoy.

De igual forma le agradezco a mi pareja Miguel Angel Reyes García y a mi mejor amigo Carlos Andrés Canuto Torres, que siempre me han apoyado y mantenido en pie cada día.

Además, expreso mi gratitud al CONACYT por la retribución económica en mi tiempo de estudio de la especialidad en Geotecnia.

Así mismo, le agradezco todo el apoyo que me ha brindado durante la licenciatura y en la especialidad al Dr. Rigoberto Rivera Constantino, que sin su apoyo y su guía en estos años no hubiera podido lograrlo.

Por ultimo y especialmente M.I. Walter I. Paniagua Zavala por extender sus conocimientos y guiarme durante la especialidad, sin su guía no hubiera sido posible este trabajo de tesina, muchísimas gracias.

Índice

1. Introducción.....	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Objetivos	8
1.3 Alcances	8
2. Caso historia.....	9
2.1 Exploración y muestreo en el sitio	9
2.2 Secuencia estratigráfica	10
2.3 Modelo geotécnico	16
2.4 Cimentación	16
2.5 Proyecto de excavación	19
2.5.1 Contención de la excavación	19
2.5.2 Apuntalamiento de la excavación	21
3. Falla durante la excavación.....	23
3.1. Inspección inicial	23
3.2. Diagnóstico	25
3.2.1 Falla por pateo	27
3.2.2 Falla de fondo	30
3.2.3 Falla por subpresión	32
4. Rescate y reparación de la zona fallada.....	35
4.1 Instrumentación	44
Conclusiones.....	48
Referencias.....	49
Anexo 1 “Resultados de las pruebas de campo”.....	50
Anexo 2 “Resultados de las pruebas de laboratorio”.....	60

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto	5
Figura 2. Zonificación geotécnica	6
Figura 3. Proyecto de edificación	7
Figura 4. Antigua edificación.....	8
Figura 5. Ubicación de los sondeos mixtos.....	9
Figura 6. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1	12
Figura 7. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1	13
Figura 8. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1	14
Figura 9. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1	15
Figura 10. Distribución de las pilas.....	18
Figura 11. Cimentación	18
Figura 12. Planta del muro Milán.....	19
Figura 13. Excavación por medio de almeja de caída libre	19
Figura 14. Izado del acero de refuerzo	21
Figura 15. Apuntalamiento con losa de entepiso.....	22
Figura 16. Falla durante la excavación.....	23
Figura 17. Falla durante la excavación.....	23
Figura 18. Paneles fallados, apuntalados por una losa	24
Figura 19. Paneles fallados, apuntalados por un puntal IR	24
Figura 20. Presiones activas totales	26
Figura 21. Presión activa redistribuida.....	27
Figura 22. Zanja realizada para la construcción de la trabe de liga.....	28
Figura 23. Modelo de la falla por pateo en muro Milán	29
Figura 24. Falla de fondo.....	31
Figura 25. Falla por subpresión	33
Figura 26. Solución propuesta para el rescate del muro Milán colapsado	36
Figura 27. Instalaciones.....	37
Figura 28. Arrope temporal frente a paneles colapsados para actividades de demolición mediante CAT 312 con martillo de 3 t.	38
Figura 29. Plataforma provisional para perforación de pilas en eje P2	38
Figura 30. Excavación temporal vista en planta	39
Figura 31. Excavación temporal vista en corte.....	39
Figura 32 Sistema de bombeo por puntas eyectoras	40
Figura 33. Preparación para la aplicación de precarga en troqueles	41
Figura 34. Excavación del área de trabajo dejando la berma perimetral	41
Figura 35. Construcción de la trabe de liga	42
Figura 36. Construcción de la losa de fondo.....	42
Figura 37. Construcción del muro de contención desplantado en la losa de fondo	43
Figura 38. Relleno de la excavación temporal.....	43
Figura 39. Referencias vistas en obra.....	44
Figura 40. Referencias para el monitoreo de movimientos horizontales y verticales	45
Figura 41. Registro de campo a.....	50
Figura 42. Registro de campo b.....	50

Figura 43. Registro de campo c.....	51
Figura 44. Registro de campo Piezocono a.....	52
Figura 45. Registro de campo Piezocono b.....	53
Figura 46. Registro de Piezocono c.....	54
Figura 47. Registro de Piezocono d.....	55
Figura 48. Ensaye de presi6metro Menard a 30.50 m.....	56
Figura 49. Ensaye de presi6metro Menard a 43.80 m.....	57
Figura 50. Ensaye de presi6metro Menard a 46 m.....	58
Figura 51. Ensaye de presi6metro Menard a 48.15 m.....	59
Figura 52. Determinaci6n del contenido de agua y clasificaci6n visual al tacto a.....	60
Figura 53. Determinaci6n del contenido de agua y clasificaci6n visual al tacto b.....	61
Figura 54. L6mites de plasticidad y humedad natural a 7.85-8.40 m.....	61
Figura 55. L6mites de plasticidad y humedad natural a 15.40-16.30 m.....	62
Figura 56. L6mites de plasticidad y humedad natural a 20.30-21.10 m.....	62
Figura 57. L6mites de plasticidad y humedad natural a 23.50-24.40 m.....	63
Figura 58. L6mites de plasticidad y humedad natural a 27.30-28.0 m.....	63
Figura 59. L6mites de plasticidad y humedad natural 29.80-30.25 m.....	64
Figura 60. L6mites de plasticidad y humedad natural a 32.10-32.70 m.....	64
Figura 61. L6mites de plasticidad y humedad natural a 36.60-37.20 m.....	65
Figura 62. Compresi6n simple a 23.50-24.40 m.....	65
Figura 63. Triaxial R6pida 7.85-8.40 m.....	66
Figura 64. Triaxial R6pida a 15.40-16.30 m.....	66
Figura 65 Triaxial R6pida a 20.30-21.10 m.....	67
Figura 66. Triaxial R6pida 27.30-28.00 m.....	67
Figura 67. Triaxial R6pida 36.60-37.20 m.....	68
Figura 68. Consolidaci6n unidimensional a 7.85-8.40 m.....	69
Figura 69. Consolidaci6n unidimensional a 15.40-16.30 m.....	70
Figura 70. Consolidaci6n unidimensional a 20.30-21.10 m.....	71
Figura 71. Consolidaci6n unidimensional a 23.50-24.40 m.....	72
Figura 72. Consolidaci6n unidimensional a 27.30-28.00 m.....	73
Figura 73. Consolidaci6n unidimensional a 36.60-37.20 m.....	74

Lista de tablas

Tabla 1. Ensaye presiom6trico.....	9
Tabla 2. Pruebas 6ndice.....	10
Tabla 3. Pruebas Mec6nicas.....	10
Tabla 4. Modelo geot6cnico.....	16
Tabla 5. Caracter6sticas de las pilas.....	17
Tabla 6. Caracter6sticas para el control de calidad del lodo polim6rico.....	20
Tabla 7. C6lculo de presiones activas del suelo.....	25
Tabla 8. Resultante del empuje total activo.....	26
Tabla 9. Tabla comparativa de alternativas.....	35
Tabla 10. Resumen de resultados para los mecanismos de falla.....	37
Tabla 11. Precarga en troqueles.....	40
Tabla 12. Monitoreo de movimientos horizontales y verticales.....	47

Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Para la presente tesina se pretende abordar el problema de una falla de 6 paneles de un muro pantalla, con dimensiones aproximadas de 23.0m de largo y 6.2 m de ancho, que se realizó para un proyecto sobre una estructura para uso comercial, la cual se ubica en la intersección de Av. Insurgentes Norte y Av. Ribera de San Cosme, Col. Guerrero, Delegación Cuauhtémoc, CDMX. cerca del metro Revolución (Línea 2).

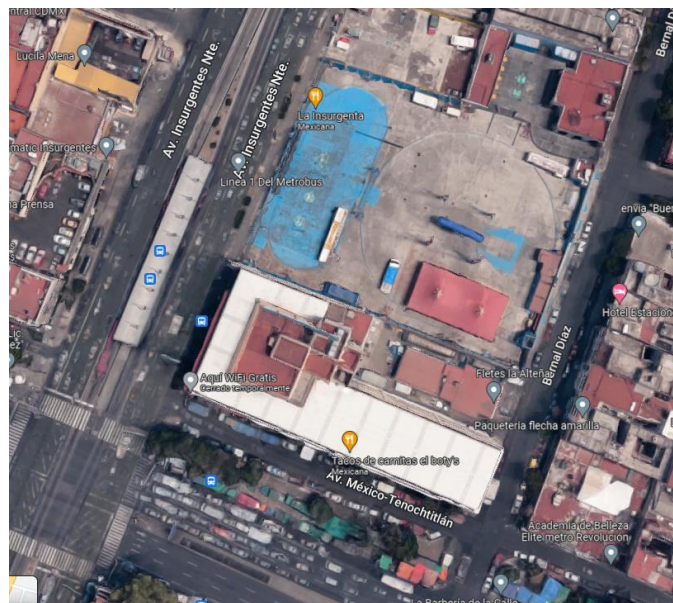


Figura 1. Ubicación del proyecto

El sitio de estudio se encuentra en la Zona III geotécnica de la Ciudad de México, por lo que, se encontrarán depósitos de arcilla altamente compresibles con lentes de limo arenoso intercalados, esto según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones; así que se diseñó una cimentación profunda compuesta por un cajón de cimentación y pilas coladas en sitio.

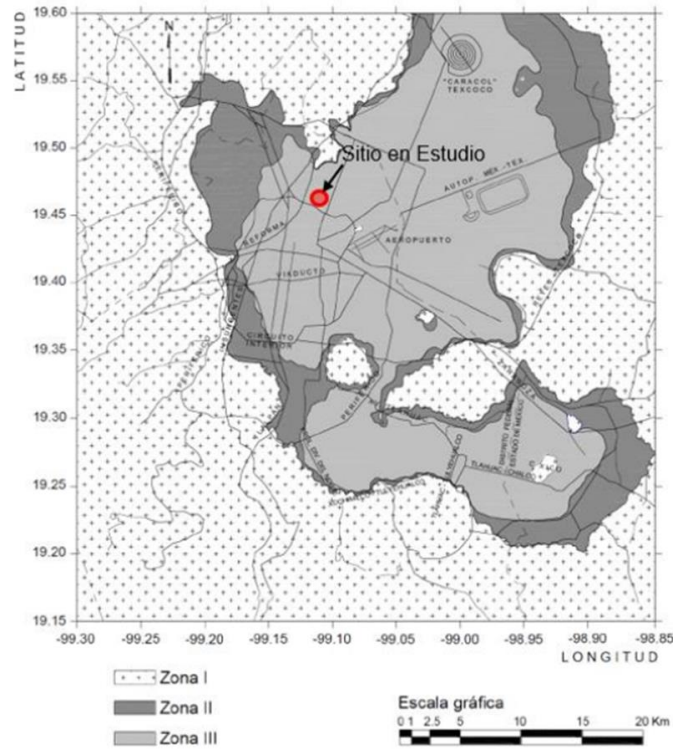


Figura 2. Zonificación geotécnica

Se propuso una secuencia de excavación tipo top-down, por lo que se diseñaron muros pantalla como sistema de contención y un sistema de apuntalamiento por medio de losas que son parte del sistema Top-Down. Al concluir la construcción de los muros pantalla, se comenzó la construcción del cajón, al nivel máximo de excavación, sin embargo, con propósito de construir una trabe de liga se abrió una zanja frente al muro pantalla, lo que resulto en falla en el muro pantalla; esta falla fue provocada por falta de empotramiento o pateo del muro y en consecuencia se movilizó el suelo en su respaldo y por consiguiente el colapso de 6 paneles.

Cabe destacar que, el proyecto de edificación contempla la construcción de un edificio para uso comercial, con una planta baja (NTP ± 0.00 m), 8 niveles de entrepiso (NTP + 42.35 m) y 4 niveles subterráneos para estacionamientos (NTP -13 m). El predio presenta una geometría irregular con superficie de 1,915.8 m² y un perímetro de 215 m.

Estructuralmente, el edificio estará constituido a base de marcos de acero con claros de entre 10 y 12 m, muros perimetrales de mampostería, losas aligeradas de entrepiso y una losa maciza en azotea. Además, se contará con una cimentación profunda a base de un cajón de cimentación desplantado a 13 m de profundidad y pilas de cimentación coladas in situ con columnas de acero estructural.

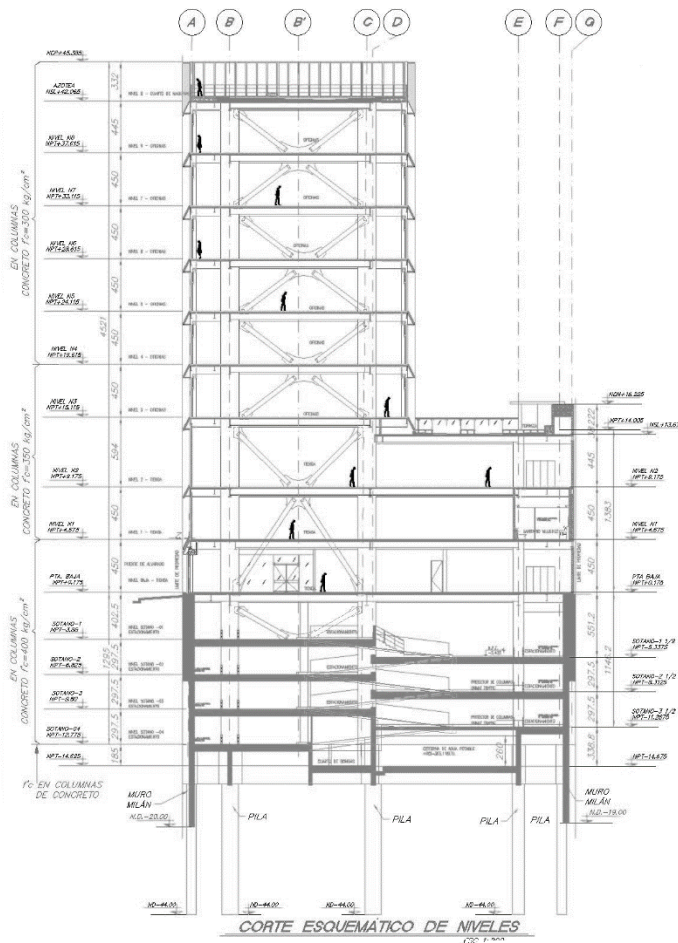


Figura 3. Proyecto de edificación

Sin embargo, se debe recalcar que esta nueva edificación es una modificación de un edificio anterior, el cual sufrió daños por el sismo de 2017, el cual se conformaba por dos cuerpos A y B, donde el cuerpo A contaba con una planta de 34.16 x 31.02 m y el cuerpo B de 36.35 x 15.12 m, la cual no se modificó para la nueva edificación.

El cuerpo A se constituía por 9 niveles y el cuerpo B solo con 6 niveles. Este tenía con un sistema estructural conformado por muros de carga confinados por traveses y columnas en ambas direcciones y la cimentación de esta edificación estaba resuelta en ambos cuerpos por medio de un cajón de concreto armado desplantado a 5.50 m.

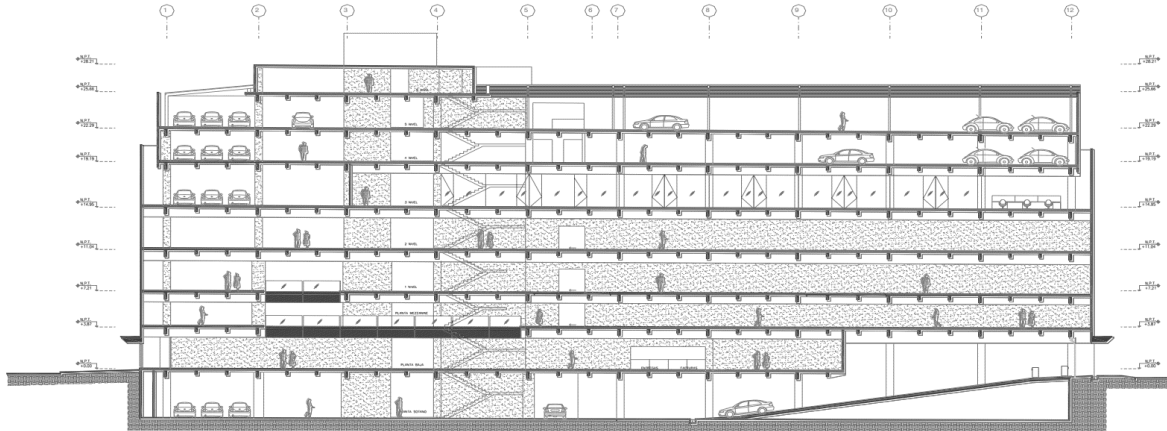


Figura 4. Antigua edificación

1.2 Objetivos

1. Analizar el colapso de un muro pantalla que se realizó para la construcción de una cimentación profunda, compuesta por un cajón de cimentación y pilas coladas en sitio.
2. Estudiar los componentes que llevaron a la falla, lo que conlleva conocer la investigación preliminar que se hizo para definir el diseño geotécnico, así como las acciones que se realizaron para provocar el suceso, esto con la ayuda de la ingeniería geotécnica forense.
3. Conocer cuáles fueron los planes de acción para su reparación y rescate, que se realizaron para este proyecto.

1.3 Alcances

En el capítulo 2 se presenta la información geotécnica recuperada en campo, la cual incluye los sondeos que se realizaron y las profundidades de cada uno, además de, las características de los ensayos presiométricos. Asimismo, se presentan las pruebas realizadas en laboratorio y la normativa que las rigen. Junto con las pruebas realizadas se determinaron la secuencia estratigráfica y el modelo geotécnico, este último tendrá función para los futuros cálculos. Todos los detalles de los estudios se incluyen en el Anexo 1 y el Anexo 2. Por otro lado, en el capítulo 2 se describen las características de la cimentación, en la cual se presentan qué elementos la constituyen. Por consiguiente, se describe el proyecto de excavación que se diseñó, considerando por supuesto la contención de la excavación y el apuntalamiento que se tiene.

En el capítulo 3, se describen las características de la falla y los elementos que se encontraron en la inspección inicial que se realizó al día siguiente. Por ende, se realizó una revisión por falla de fondo, falla por pateo y falla por subpresión.

En el capítulo 4, se mencionan las alternativas que se tomaron en cuenta para encontrar la solución al problema de la restauración del muro fallado, además se describe con detalle el procedimiento constructivo que se realizó sobre la solución elegida. En consecuencia, se presenta la instrumentación que se consideró y los resultados que se tuvieron desde el primero hasta el último día y el desplazamiento observado. En el Anexo 3 se presentan los cálculos que se consideraron para la solución elegida.

2. Caso historia

2.1 Exploración y muestreo en el sitio

Para la exploración y muestreo se realizaron trabajos de campo los cuales consistieron en dos sondeos mixtos a 49.15 m y 46.65 m respectivamente. En los sondeos mixtos se aplicaron técnicas como, la prueba de penetración estándar, para obtener muestras representativas alteradas, además se registraron lecturas continuas de la resistencia por punta con un piezocono digital con el propósito de que permitiera evaluar las condiciones estratigráficas, homogeneidad y detección de la profundidad de depósitos más firmes, oquedades y discontinuidades. Aunado a esto, para los estratos de consistencia blanda se realizó el muestreo a partir del hincado de un tubo a presión por medio de un tubo Shelby de pared delgada para obtener muestras inalteradas. Todos los sondeos se realizaron siguiendo las siguientes normas:

- Para el método de penetración estándar, se realizó de acuerdo con las normas NMX-C-431-ONNCCE-2002 y ASTM-D1586.
- Para el uso de un tubo Shelby se utilizaron las normas NMX-C-431-ONNCCE-2002 y ASTM-D1587.

Así mismo, se realizaron 4 ensayos presiométricos, con los que se registraron respuestas de esfuerzo-deformación. Estos se realizaron a las siguientes profundidades:

<i>Sondeo</i>	<i>Prueba</i>	<i>Profundidad media (m)</i>
SM-2	1	30.5
	2	43.80
	3	46.00
	4	48.15

Tabla 1. Ensaye presiométrico

Para la realización del ensaye presiométrico se realizó conforme a la norma ASTM D4719 – 20. La ubicación de las pruebas anteriores se puede revisar en la siguiente figura:

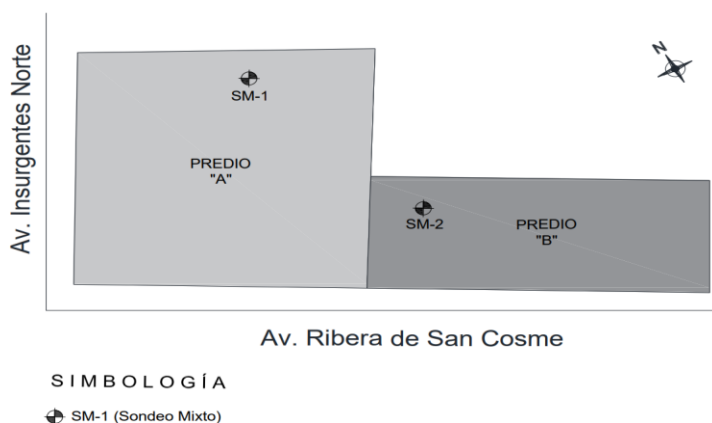


Figura 5. Ubicación de los sondeos mixtos

Los resultados de cada prueba se presentan en el Anexo 1 “Resultados de pruebas de campo”. En cuanto a los trabajos de laboratorio se realizaron a partir de las muestras alteradas e inalteradas obtenidas en los trabajos de campo ya mencionados. Las pruebas de laboratorio comenzaron por una exploración y

clasificación de los materiales de manera macroscópica por lo que se logró determinar: color, textura, olor y resistencia en seco como en estado natural, además se aplicó la prueba de dilatancia.

Así mismo para clasificar el suelo se realizaron pruebas para conocer sus propiedades índices y sus propiedades mecánicas, las cuales fueron:

<i>Propiedades índices</i>	<i>Normativa</i>
<i>Contenido de agua</i>	ASTM D2216
<i>Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)</i>	ASTM D2488
<i>Análisis granulométrico por mallas</i>	ASTM D422 y AASHTO T89
<i>Pruebas para determinar los límites de consistencia</i>	Para determinar los límites de consistencia, se realizaron conforme a las normas ASTM D4318 y AASHTO T89, para determinar el Límite Líquido y ASTM D4318 y AASHTO T90, para determinar el Límite Plástico
<i>Peso específico de los suelos</i>	ASTM D854 y AASHTO T100

Tabla 2. Pruebas Índice

<i>Propiedades mecánicas</i>	<i>Normativa</i>
<i>Prueba de compresión triaxial no consolidada, no drenada (UU)</i>	ASTM D2850
<i>Prueba de consolidación unidimensional</i>	ASTM D2435

Tabla 3. Pruebas Mecánicas

Los resultados de cada prueba se presentan en el Anexo 2 “Resultados de pruebas de laboratorio”.

2.2 Secuencia estratigráfica

Las pruebas mencionadas en el punto anterior dieron pie para conocer por medio de las muestras extraídas la estratigrafía general del suelo la cual es:

- I. Relleno. Se detecto a la profundidad de 0.00 m a 2.00 m un relleno conformado por arena limosa y desperdicio de construcción con resistencia a la penetración estándar de 5 golpes y contenido de agua promedio de 40 %.
- II. Costra Superficial. Se detecto a la profundidad de 2.00 m a 5.00m se detectó una costra seca de arcillas arenosas con resistencia de penetración de cono de 10 kg/cm² y contenido de agua promedio de 90%
- III. FAS (Formación arcillosa Superior). Se detecto a la profundidad de 5.0 m hasta 28.50 m en el SM-1 y 28.60 m SM-2, integrado por una sucesión de arcillas de alta plasticidad, con arena fina e intercalación de lentes de arena fina con arcilla o limos, de color gris con tonos verdes y café, café oscuro, con tonalidades rojas y verdes. Su consistencia es blanda a muy blanda, dado la resistencia qc, del piezocono de 5 kg/cm², y los lentes presenta una resistencia de 30 a 71 kg/cm². En el sondeo mixto SM-2, a la profundidad de 21.90 a 23.50 m aparecen arenas con arcillas, de compacidad media, dado la resistencia de punta qc, del piezocono de 17 a 37 kg/cm². Esta capa posee un contenido de agua promedio de 200%.

- IV. CD (Capa Dura). Subyaciendo a lo anterior y con espesor entre los 3.10 m a 3.40 m, respectivamente en los sondeos SM-1 y SM-2, se detectan limos de baja compresibilidad, con arena fina, de color café claro a oscuro y gris. El Índice de Resistencia a la Penetración Estándar (IRPE) registrado con valores extremos de 11 a más de 50 golpes, por lo tanto, su consistencia es media a dura.
- V. FAI (formación arcillosa Inferior). Posteriormente y hasta los 46.00 a 47.30 m, en el sondeo SM-1 y SM-2, se aprecia una sucesión errática de arcilla de alta compresibilidad y limos de baja y alta compresibilidad, con arena fina con intercalación de lentes de arena, su color gris con tonos verdes y gris oscuro.
La resistencia qc, con valores extremos va de 1 a 168 kg/cm² y el IRPE registrado dentro de esta formación va de 1 a más de 50 golpes, de consistencia muy blanda a dura.
- VI. DP (Depósitos profundos). Finalmente, y hasta la máxima profundidad explorada, entre los 49.15 m a 49.65 m se detectaron áreas con limos, en estado muy compacto, su color es café oscuro a gris. El IRPE de más de 50 golpes.

En cuanto al nivel freático, al momento de la exploración geotécnica, se tenía un sótano preexistente de la edificación anterior por lo que se consideró que el nivel freático debía coincidir con el nivel dinámico el cual se encontraba a -5 a -5.60 m, sin embargo, en el predio vecino se registró que este nivel era de -2.80 m, a partir del nivel de banqueta.

En la siguiente figura se muestra el perfil estratigráfico, a partir de los resultados de las mediciones de campo y resultados de laboratorio.

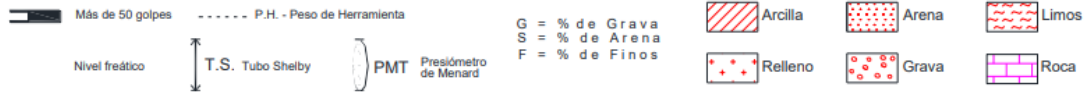
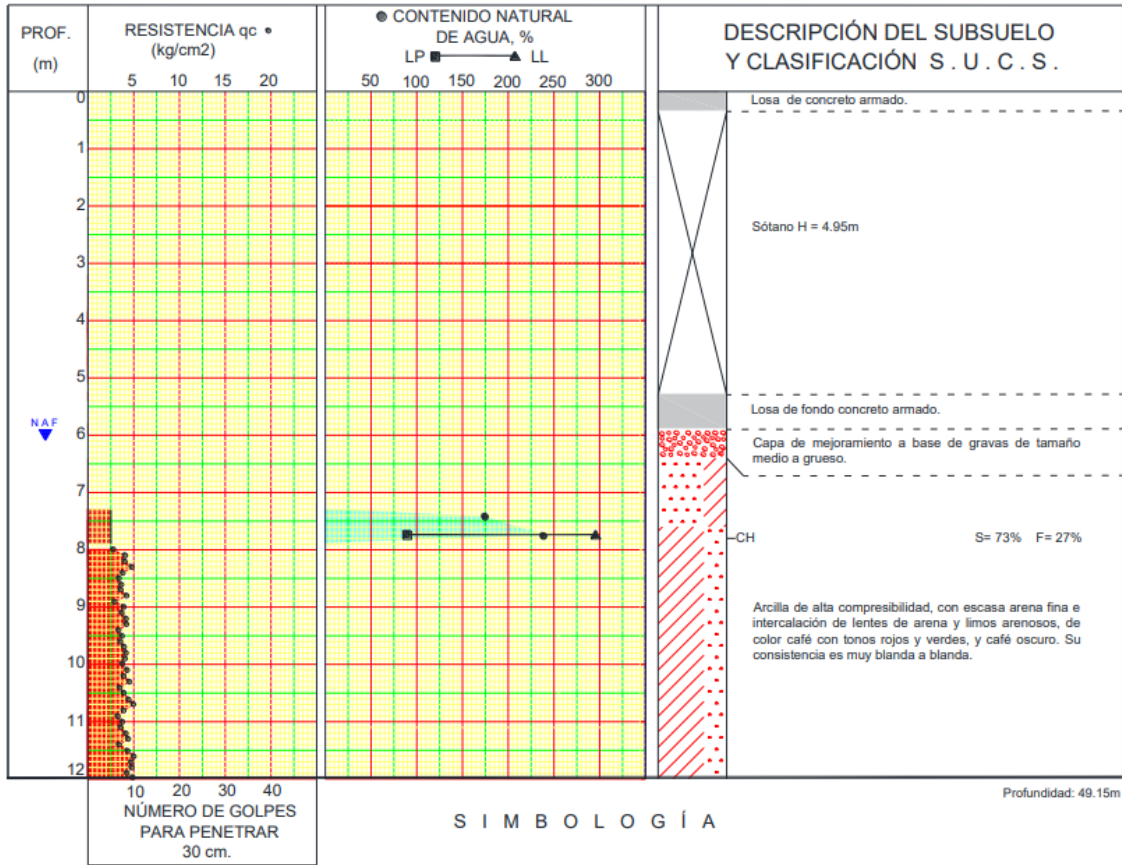


Figura 6. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1

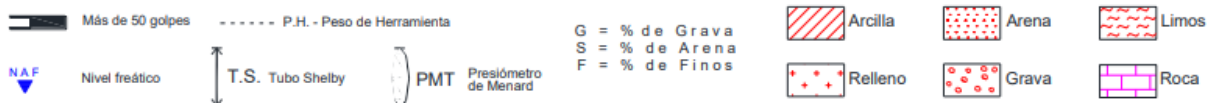
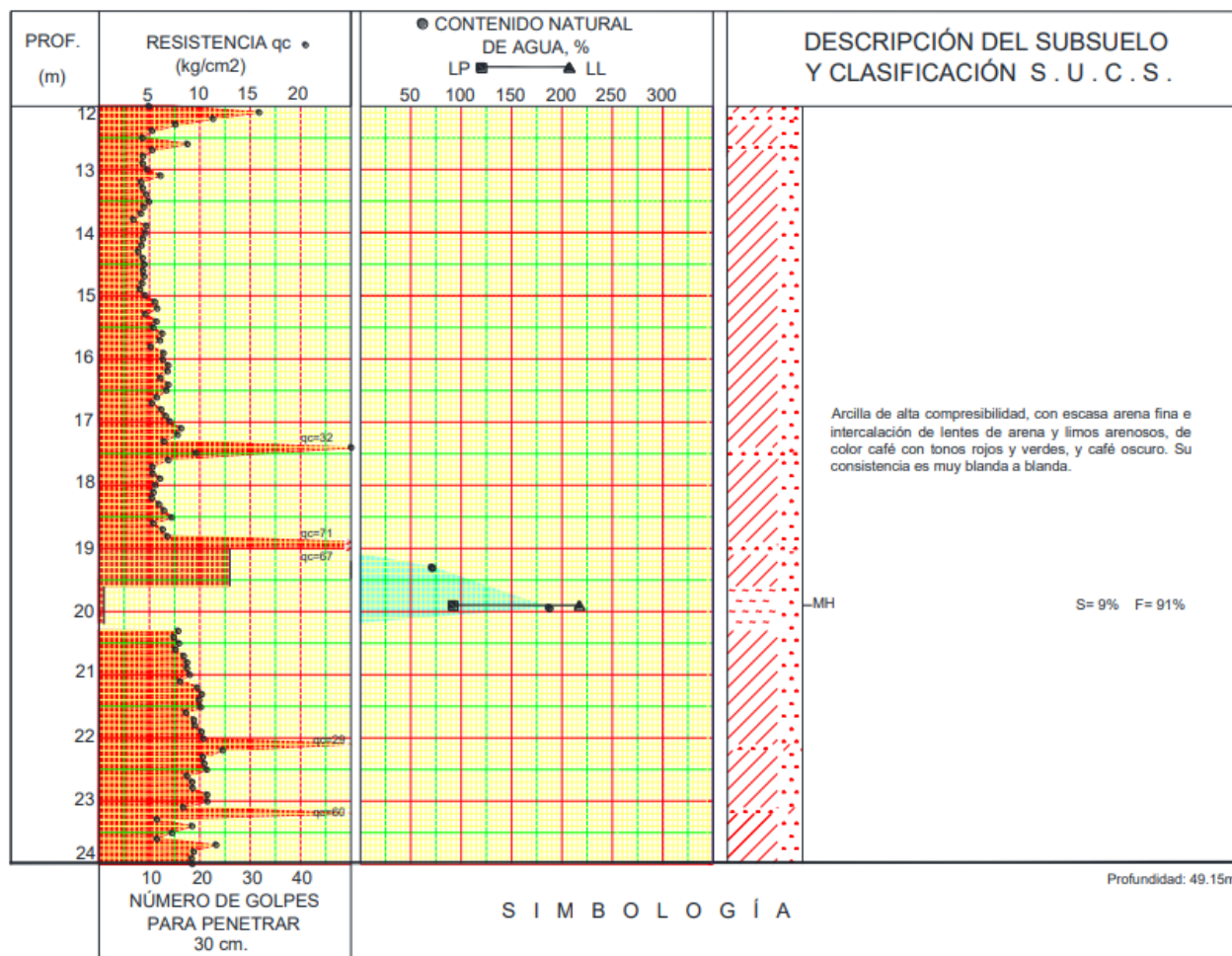


Figura 7. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1

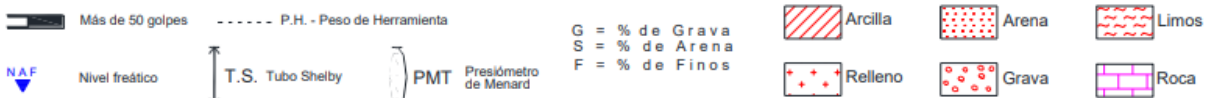
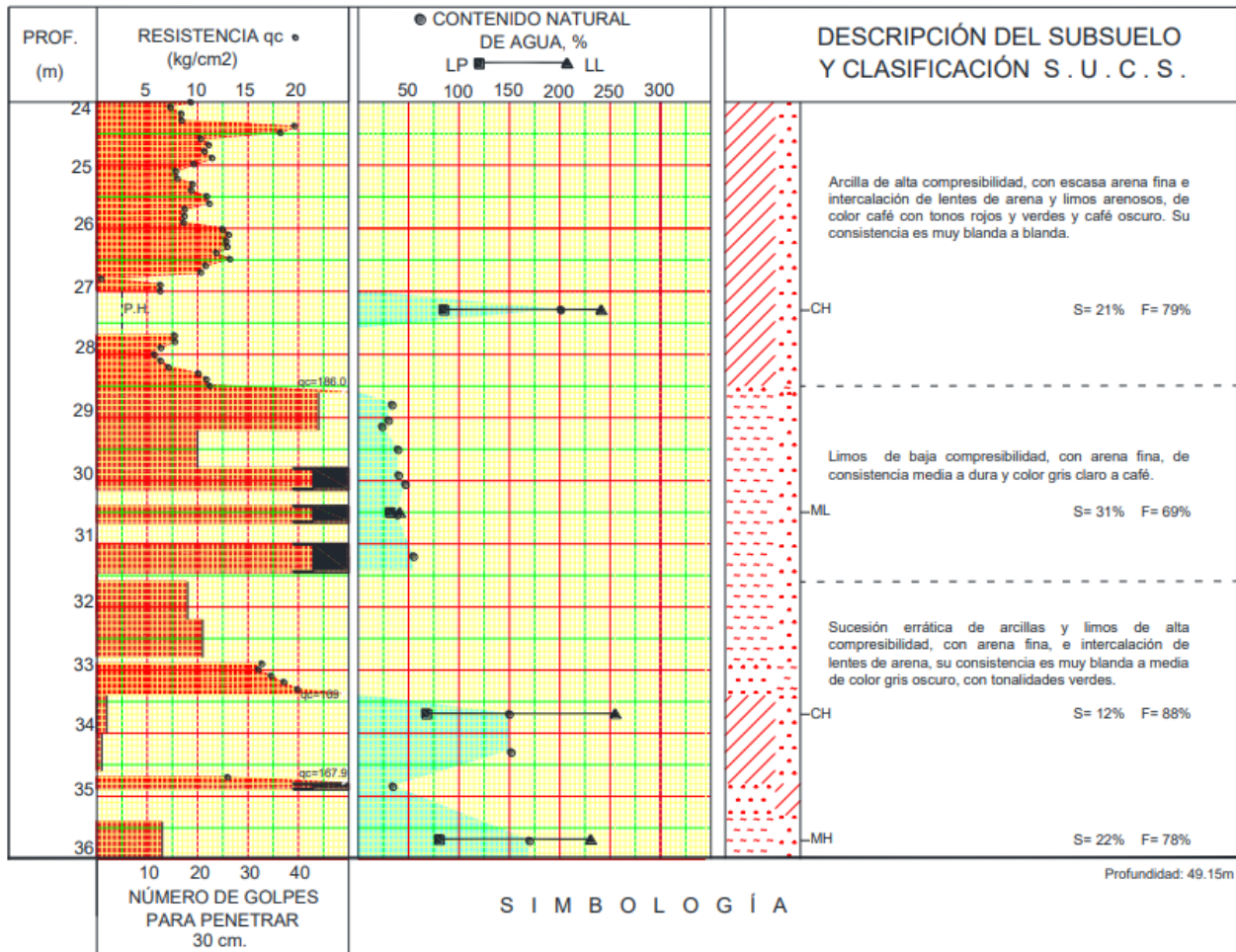


Figura 8. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1

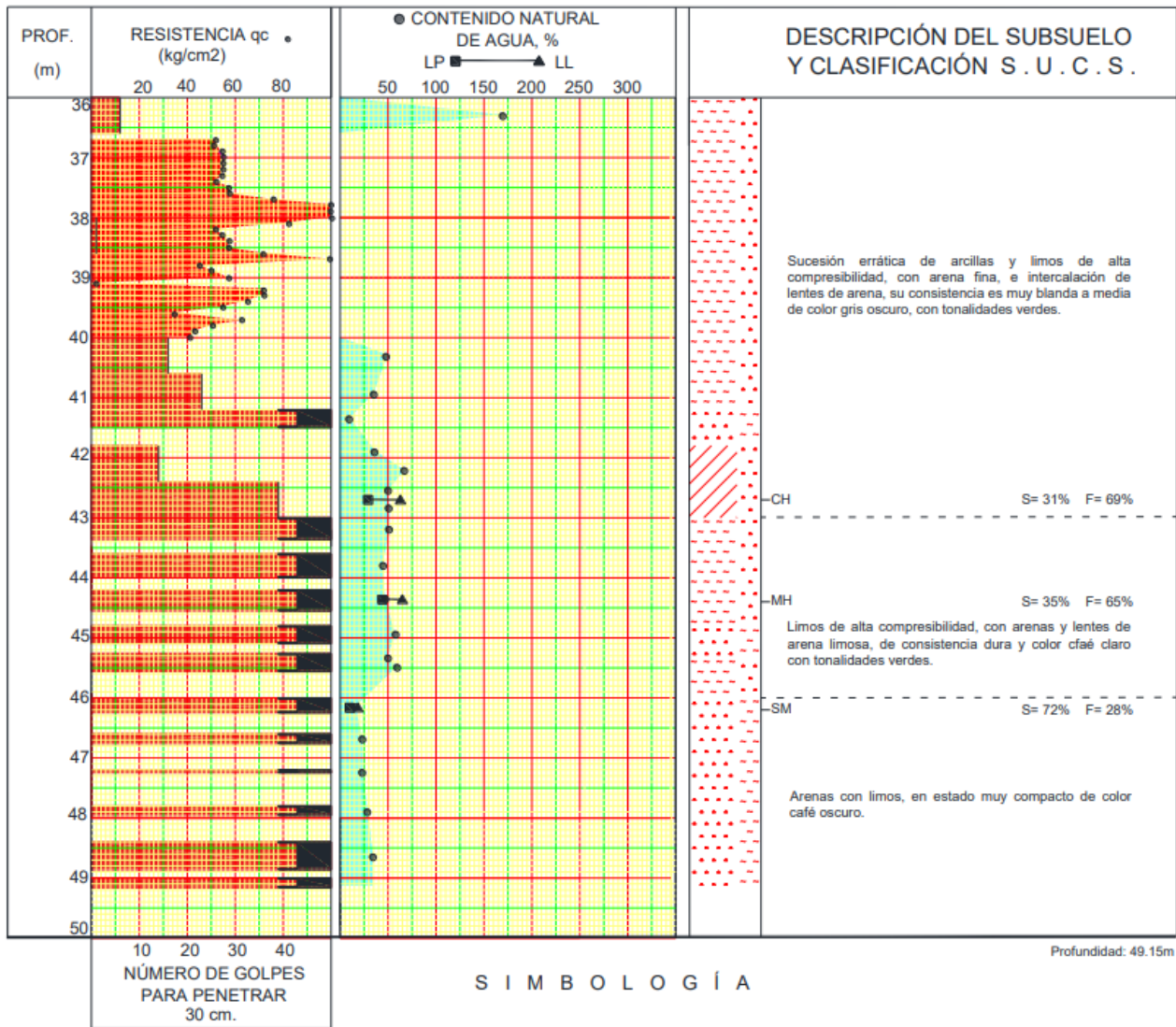


Figura 9. Perfil estratigráfico del sondeo SM-1

2.3 Modelo geotécnico

En la siguiente tabla se muestra el modelo geotécnico del sitio, el cual es esencial en los datos de entrada para el diseño geotécnico.

<i>Profundidad (m)</i>	<i>γ (t/m³)</i>	<i>Su (t/m²)</i>	<i>Φ (°)</i>	<i>Clasificación SUCS</i>	<i>Descripción del estrato</i>
0.0-2.0	1.60	1.0	27	SM	Relleno conformado por arenas limosas
2.0-5.0	1.45	5.50		CL	Costra seca de arcillas limosas y arcillas arenosas
5.0-8.0	1.12	2.40		CH	Arcilla lacustre de alta plasticidad
8.0-11.0	1.15	3.00		CH	Arcilla lacustre de alta plasticidad
11.0-13.5	1.25	3.50		CH	Arcilla lacustre de alta plasticidad
13.5-22.5	1.12	4.60		CH	Arcilla lacustre de alta plasticidad

Tabla 4. Modelo geotécnico

Donde:

γ , peso volumétrico

Su, resistencia no drenada

2.4 Cimentación

Con base en las características estructurales y la investigación tanto en campo como en laboratorio, se diseñó una cimentación compensada con pilas coladas in situ de sección circular y fuste recto, apoyadas en depósitos de arena limosa en estado muy compacto.

El cajón de cimentación se desplantó hasta los 13 m de profundidad, sin embargo, para la construcción de este, se realizó un muro Milán definitivo de 50 cm de espesor desplantado a 20 m de profundidad, concreto de $f'c=300$ kg/cm², reforzado con varillas de acero corrugadas grado 42 del #8 en sentido vertical y #5 a cada 15 cm en sentido horizontal.

Este cajón de cimentación o cimentación compensada es un tipo de cimentación es utilizado en suelos altamente compresibles. Este tipo de cimentación consiste en un sótano o cajón, que se desplanta a cierta profundidad, el cual busca la reducción de carga que sentirá el suelo debido al peso de la estructura y el peso propio, por lo que se puede explicar, que el peso de la estructura más el peso propio del sótano sustituirán al peso excavado del suelo y si se tiene éxito el peso excavado del suelo será el mismo que el peso de la estructura y el peso propio, es decir será una cimentación totalmente compensada. Este tipo de cimentación puede venir acompañada por pilas o pilotes, que para este caso de estudio se unieron con pilas.

Las pilas que se consideraron en el proyecto se ligan a la losa de fondo del sótano 4, la cual se encuentra a 13 m de profundidad, que transmitirá la carga al estrato resistente, lo que conlleva que, para el diseño estructural y distribución de éstas deberá de considerarse el peso total de la estructura, sin considerar la compensación.

Cabe mencionar que el desplante que tuvieron estas pilas fue hasta el nivel -44 m, lo cual nos da una longitud de empotramiento de 2.8 m, ya que estas se encuentran desplantadas a 41.20 m de profundidad.

A continuación, se muestran una tabla resumen, sobre las características de estas:

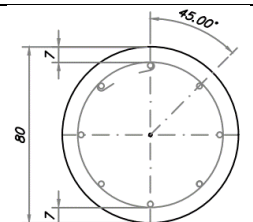
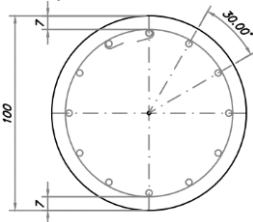
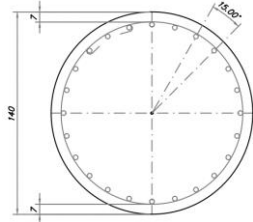
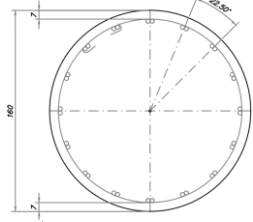
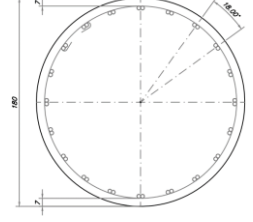
<i>Pila</i>	<i>Acero de refuerzo</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Resistencia del concreto (kg/cm²)</i>	<i>Elementos</i>
	8 varillas de # 8, estribos del # 3 @ 15 cm en espiral	80	350	12
	12 varillas de # 8, estribos del # 3 @ 15 cm en espiral	100	350	6
	24 varillas de # 8, estribos del # 3 @ 15 cm en espiral	140	350	6
	32 varillas de # 8, estribos del # 3 @ 15 cm en espiral	160	350	4
	40 varillas de # 8, estribos del # 3 @ 15 cm en espiral	180	350	6

Tabla 5. Características de las pilas

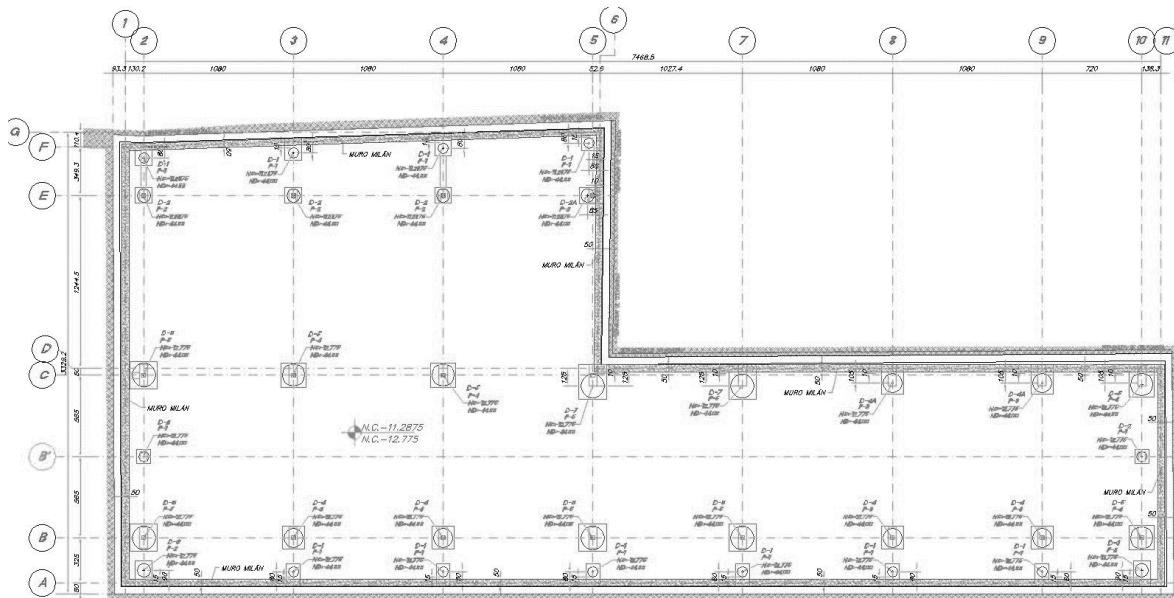


Figura 10. Distribución de las pilas

Dicho lo anterior y con la noción de los componentes que tiene esta cimentación profunda se tiene el siguiente diagrama que representa la estructura que está en construcción la cual se representa en la siguiente figura:

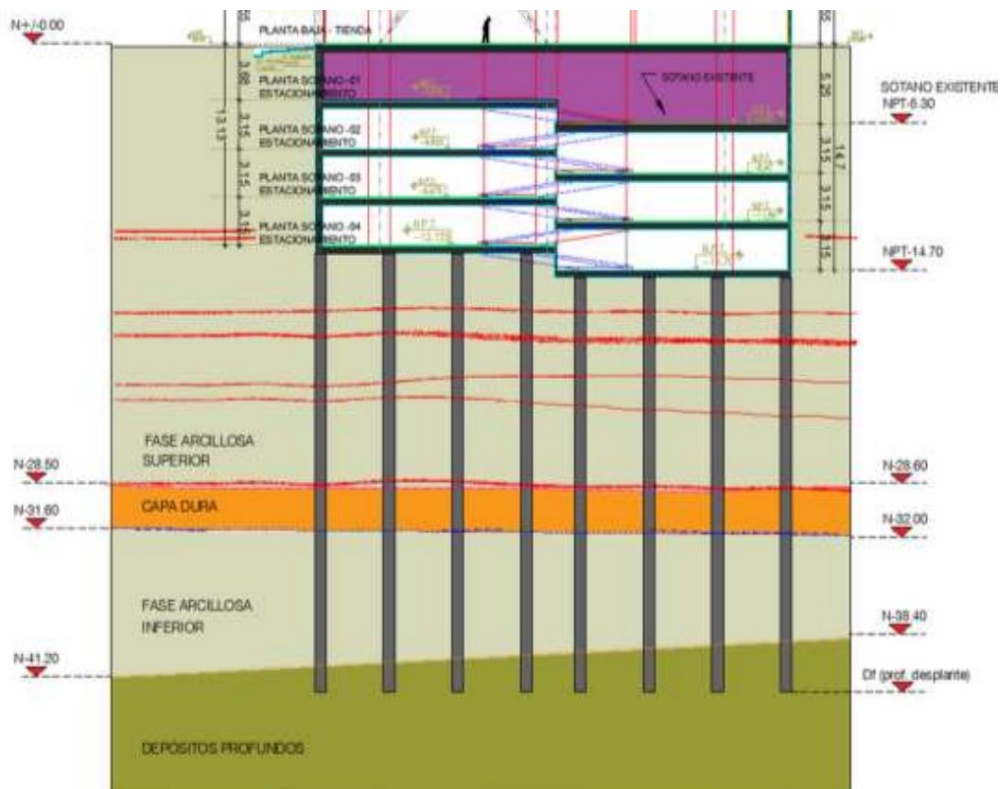


Figura 11. Cimentación

2.5 Proyecto de excavación

2.5.1 Contención de la excavación

Para la contención de la excavación se diseñó un muro pantalla perimetral de 50 cm de espesor con un revestimiento de 5 cm, desplantado a 20 m de profundidad, con una resistencia del concreto de $f'c=300$ kg/cm², reforzado con varillas de acero corrugadas grado 42 del #8 en sentido vertical a cada 30 cm y #5 a cada 15 cm en sentido horizontal.

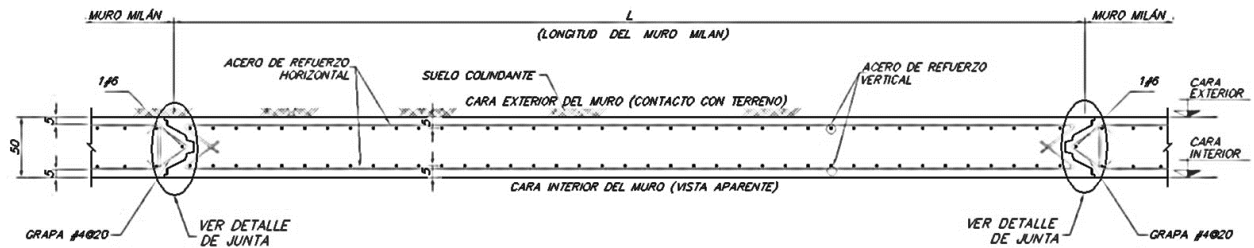


Figura 12. Planta del muro Milán

Para su construcción se realizó la apertura de la zanja guía, mediante el uso de una retroexcavadora, la cual tenía una profundidad de 1.5 m de profundidad. Por consiguiente, se comenzó por construir los brocales de concreto reforzado con una malla electrosoldada, estos fueron colocados a los lados de la zanja guía, su función era reforzar la parte superior de la excavación y evitar que haya caídos dentro de la zanja, además de apoyar en el caso de soportar la maquinaria pesada en la obra.

La construcción de la zanja guía, se hizo por métodos convencionales, por lo que se comenzó con la excavación para un tablero del muro Milán por medio de una almeja de caída libre, la cual comenzó por los extremos laterales del tablero para finalizar en el centro, esto se realiza con el fin de que se obtenga la forma requerida y garantizar la verticalidad de estos. Después de la excavación del primer tablero, se procede a una segunda etapa la cual será alternar la excavación de los tableros durante todo el perímetro requerido.

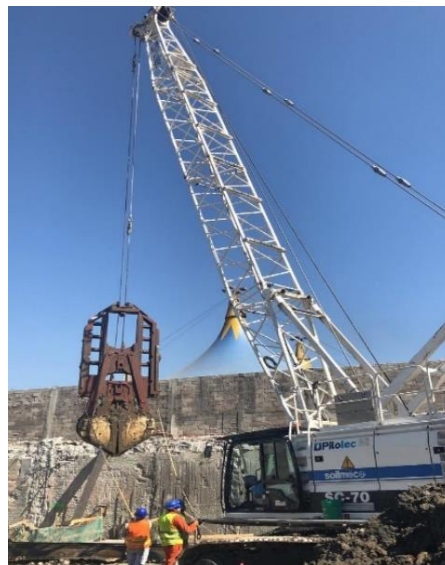


Figura 13. Excavación por medio de almeja de caída libre

Al terminar la excavación de los tableros, se realizó la limpieza al fondo de la zanja de cualquier caído o incluso detritus que se pudieron desprender de la maquinaria, ya que, de no ser así, estos pueden flotar después de la colocación del concreto, lo que conllevaría a la contaminación del concreto.

Para la estabilización de las paredes de la excavación y evitar los caídos, se utilizó un lodo polimérico, el cual en cada nuevo mezclado y se realizaron pruebas de calidad para verificar sus propiedades, como:

- La densidad, la cual se realiza mediante una balanza.
- La viscosidad que se mide por medio de un embudo viscosímetro Marsh
- El contenido de arena se determina pasando el lodo por la malla No. 200 y expresando el porcentaje del volumen de arena con respecto al volumen de lodo
- El potencial de hidrogeno, el cual se obtiene por medio de un papel reactivo especial para la obtención de pH

Los resultados de las pruebas de control de calidad para el lodo polimérico usado se reflejan en la tabla siguiente:

<i>Propiedad</i>	<i>Condición fresca</i>	<i>Condición reutilizada</i>	<i>Previo al colado</i>
<i>Densidad (g/cm³)</i>	< 1.10	< 1.25	< 1.15
<i>Viscosidad Marsh (s)</i>	32 a 50	32 a 60	32 a 50
<i>pH</i>	7 a 11	7 a 12	No aplica
<i>Contenido de arena (%)</i>	No aplica	No aplica	< 4%

Tabla 6. Características para el control de calidad del lodo polimérico

Además, se controló el nivel del lodo dentro de la excavación, para que al menos se encontrara 1.5 m por encima del NAF, esto con motivo de evitar caídos durante el proceso de colado.

Por consiguiente, se colocaron las juntas, las cuales son piezas de acero temporales y funcionan como moldes para el vaciado del concreto, estas se colocaron a los extremos de donde se vaciaría el concreto, las cuales tenían como finalidad de poder concretar un machihembrado con el siguiente tablero, que se colaría posteriormente y así permitir una buena unión estructural. El tipo de juntas que se utilizó en este proyecto fueron de tipo semicirculares.

En cuanto al acero de refuerzo, se colocó verificando todos los procedimientos, especificaciones del proyecto y la calidad de los materiales que se utilizarían, así mismo, al momento del izado se contó con una jaula de acero de refuerzo, la cual se colocó con el fin de que los armados de acero no sufrieran distorsiones y deformaciones.

Por otro lado, para el izado se utilizaron accesorios especiales, como ganchos de izaje, ganchos de sujeción, rigidizadores y placas de poliestireno. Además, este izado se realizó mediante una grúa de servicio a cargo de personal calificado para no dañar estas jaulas. Al momento del descenso, la maniobra se realizó lentamente haciendo coincidir los centros de zanjas con la parrilla con ayuda de los centradores de refuerzo que se agregaron al momento en las jaulas.

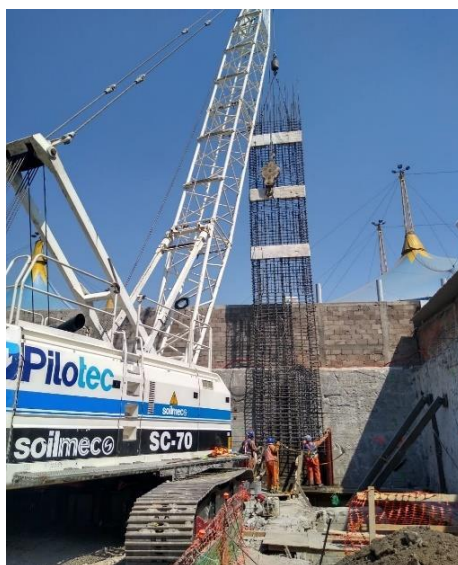


Figura 14. Izado del acero de refuerzo

Consecuentemente, se colocó el concreto fresco por medio de un tubo tremie, donde se hizo uso de una esfera de polipropileno que separó al concreto del lodo bentónico, después este se izó gradualmente para que el concreto siempre este en contacto con el tubo, de esta manera se evita cualquier contaminación posible.

Al momento del asenso gradual del concreto, se monitoreo constantemente, a través de una sonda, donde el nivel de tope de colado fue 50 cm por encima del lecho bajo la trabe de coronamiento.

Para finalizar el muro pantalla se procedió tanto a la demolición de los brocales como al concreto contaminado de los paneles por medio mecánicos y los últimos 20 cm de forma manual. Así mismo, se construyó la trabe de coronamiento por métodos convencionales.

2.5.2 Apuntalamiento de la excavación

Por otro lado, el apuntalamiento de la excavación, se daría por un método top-down, el cual consiste ir construyendo de arriba hacia abajo, es decir que primero se construye un método de contención, para después colocar columnas de acero donde se construirán las pilas, e iniciar con la colocación del acero de refuerzo para la primer losa del sótano, y finalmente se rellenaría con el concreto premezclado; en este primer nivel se deja un hueco según defina el proyecto, después se excavará a través del hueco, donde entrará maquinaria para poder excavar el primer piso del sótano y de la misma manera que la primer parte, se construirá la losa que constituirá parte del segundo nivel. Este proceso se repetirá las veces necesarias con el fin de terminar el sótano.

Continuando con lo anterior, el método top-down se usaría como método de apuntalamiento para el método de contención que sería el muro pantalla, sin embargo, al momento de la construcción de las losas del método top-down, los paneles del muro pantalla se habían apuntalado por medio de perfiles de acero IR 305 mm x 106.9 kg/m, los cuales posteriormente se sustituirían por medio de las propias losas del cajón.



Figura 15. Apuntalamiento con losa de entrepiso

3. Falla durante la excavación

Después de la construcción del muro pantalla, se procedió con la construcción de una trabe de liga que se colocaría frente al muro, esta tenía dimensiones de 3.40 m de profundidad, 2.0 m de ancho y 30 metros de longitud, reduciendo el empotramiento hasta en un 50%. Finalmente, días después de la excavación, por la tarde del 25 de febrero del año 2022 los trabajadores escucharon ruidos que provenían del muro pantalla, por lo que se decidió evacuar la zona a tiempo y por la noche el muro colapso a la altura del segundo nivel de entepiso, movilizándolo el suelo en su respaldo y llevando consigo la zona de peatones, la barda que rodeaba la construcción y se llevó consigo un poste de luz.



Figura 16. Falla durante la excavación

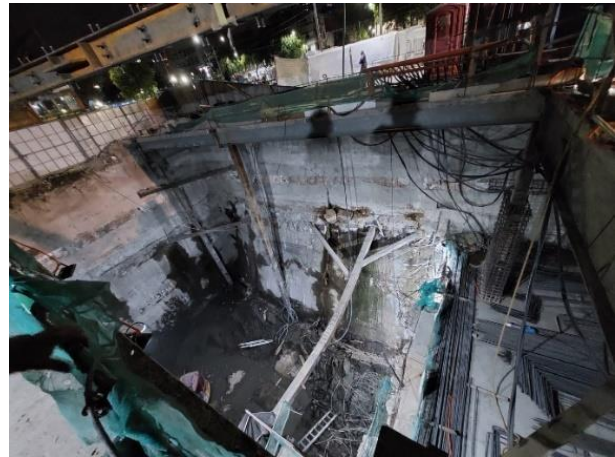


Figura 17. Falla durante la excavación

3.1. Inspección inicial

Por consiguiente, se realizó una inspección inicial, para inspeccionar el sitio donde se produjo la falla. Lo que se observó fue el daño que se produjo en 6 paneles del muro Milán No. 46, 47, 48, 49, 50 y 51. En 3 de estos paneles dañados que se encontraban apuntalados por las mismas losas del cajón, se detectó que el punto de plastificación del panel fallado coincidía con el último nivel de losa construido y se perdió la unión estructural entre la junta de los paneles, cabe recalcar que la losa no sufrió ningún tipo de daño.



Figura 18. Paneles fallados, apuntalados por una losa

Por otro lado, los otros paneles que habían fallado se encontraban apuntalados con perfiles IR, los cuales también presentaban la misma falla estructural por flexión, donde el punto de plastificación aproximadamente coincide con el nivel de apuntalamiento de los 3 paneles anteriores. Así mismo se presentó una falla del troquelamiento visiblemente, provocando un pandeo del perfil de acero. Por lo que, al final de la inspección y dado los fenómenos encontrados, la forma en que fallaron los paneles correspondería a una falla por pateo.

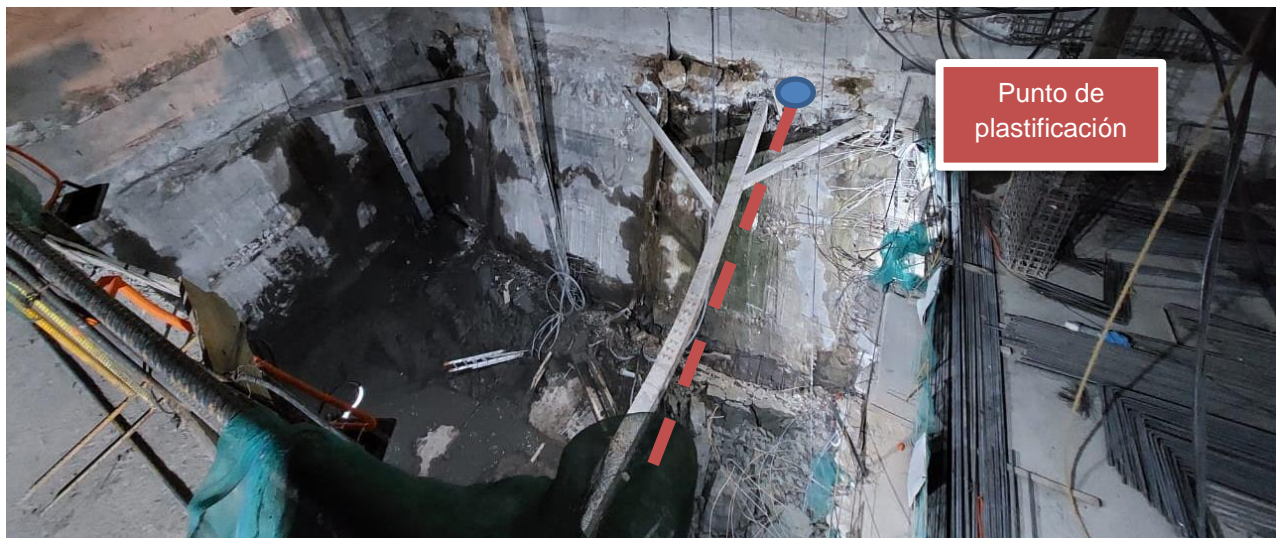


Figura 19. Paneles fallados, apuntalados por un puntal IR

3.2. Diagnóstico

A continuación, este caso se revisará por falla por pateo, falla por subpresión y falla de fondo:

Para comenzar se considera el modelo geotécnico expresado en la “Tabla 2. Modelo geotécnico”, por consiguiente, se calcula el diagrama de presiones activas totales de tierra en base al criterio de Tamez (2001). Para iniciar se obtiene el diagrama de presiones activas totales con la teoría de Rankine en un estado previo a la excavación, a través de la siguiente expresión:

$$Pa = Ka(\sigma' + q) + u - 2c * \sqrt{Ka} \dots (1)$$

Teniendo en cuenta que el cálculo de Ka se tiene como:

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \dots (2)$$

Por consiguiente, se aplica la expresión anterior, por lo que las presiones activas quedan como:

Profundidad (m)	H (m)	Z (m)	Esfuerzos totales (t/m ²)	Presión hidrostática (t/m ²)	Esfuerzos efectivos (t/m ²)	q (t/m ²)	Ka	Pa total (t/m ²)
0-2.0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.50	0.38	-0.66
	2	2	3.20	0.00	3.20	1.50	0.38	0.54
2.0-5.0	2.00	2.00	3.20	0.00	3.20	1.50	1.00	-6.30
	2.80	0.80	4.36	0.00	4.36	1.50	1.00	-5.14
	5.00	2.20	7.55	2.20	5.35	1.50	1.00	-1.95
5.0-8.0	5.00	3.00	7.55	2.20	5.35	1.50	1.00	4.25
	8.00	3.00	10.91	5.20	5.71	1.50	1.00	7.61
8.0-11.0	8.00	3.00	10.91	5.20	5.71	1.50	1.00	6.41
	11.00	3.00	14.36	8.20	6.16	1.50	1.00	9.86
11.0-13.5	11.00	2.50	14.36	8.20	6.16	1.50	1.00	8.86
	13.50	2.50	17.49	10.70	6.79	1.50	1.00	11.99
13.5-20.0	13.50	6.50	17.49	10.70	6.79	1.50	1.00	9.79
	20.00	6.50	24.77	17.20	7.57	1.50	1.00	17.07

Tabla 7. Cálculo de presiones activas del suelo

Como ya se había mencionado anteriormente el NAF se consideró a -2.8 m.

Gráficamente queda como:

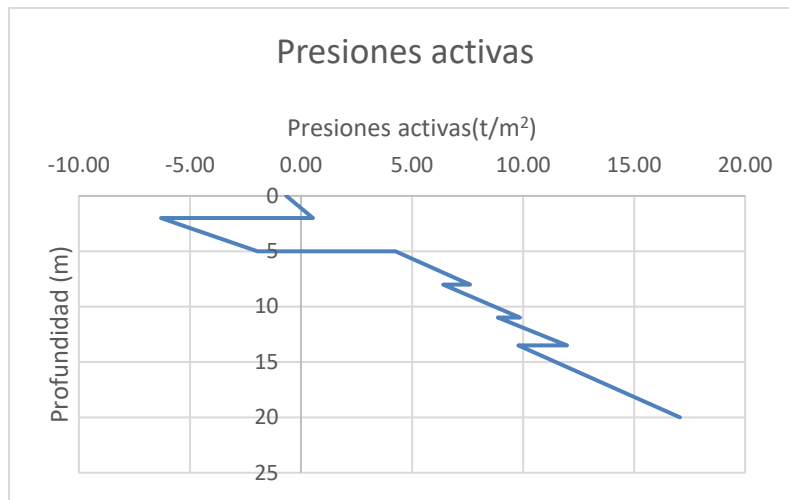


Figura 20. Presiones activas totales

Por consiguiente, el empuje total activo se calcula al sumar todas las áreas positivas que se forman por estrato, por lo que da como resultado:

Profundidad (m)	Ea t/m
5.0-8.0	17.79
8.0-11.0	24.41
11.0-13.5	26.06
13.5-20.0	87.26
Σ	155.51375

Tabla 8. Resultante del empuje total activo

Finalmente, se calcula la presión activa redistribuida del suelo mediante el criterio de Tamez (2001), el cual utiliza envolventes de empujes propuestos por Terzaghi y lo iguala al empuje activo de Rankine incrementando en un 28%, es decir:

$$Prm = \frac{1.28 Eat}{0.775 Ht} \dots (3)$$

$$Prm = \frac{1.28 (155.51)}{0.775 (20)} = 12.84 \frac{t}{m^2}$$

Gráficamente se comporta como:

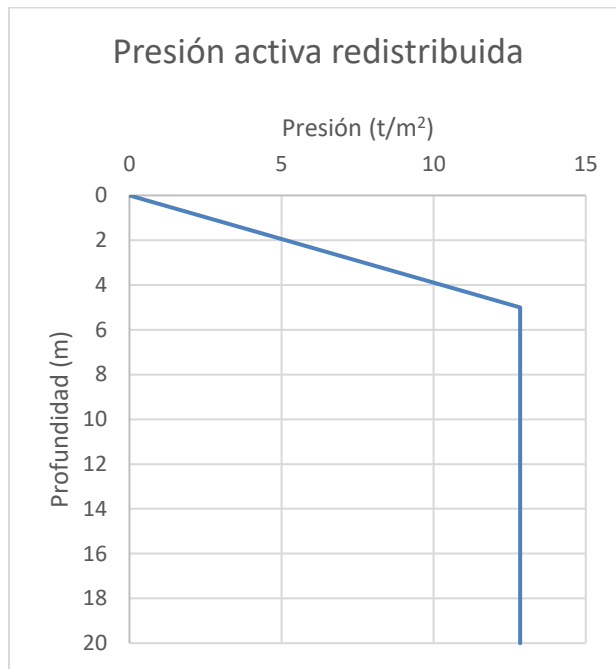


Figura 21. Presión activa redistribuida

3.2.1 Falla por pateo

La falla por pateo se produce cuando se vence la resistencia del suelo que se encuentra frente al muro, la cual se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$FS\ pata = \frac{C_u * L * r + W * l + M_p}{\frac{pD^2}{2}} \dots (4)$$

Donde:

C_u es la resistencia no drenada en la superficie de falla L (t/m^2)

L es la superficie de falla (m)

r es el radio de giro de la pata respecto al último puntal colocado

W es el peso del suelo dentro de la superficie de falla

l es la distancia horizontal del centroide del área W al muro

M_p es el momento plástico resistente del muro Milán

p es la presión redistribuida del empuje de tierras

D es la distancia del último puntal colocado a la pata del muro Milán

Momento plástico. El momento plástico resistente del muro Milán se obtiene de acuerdo con las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, en el apartado “5.1.3 Resistencia a flexión”, las cuales mencionan que, para secciones rectangulares sin acero de compresión, así que, se utiliza la siguiente expresión:

$$M_p = FR b d^2 f'' c q (1 - 0.5 q) \dots (5)$$

Donde:

M_p es el momento resistente del muro Milán en t-m

FR se tomará igual a 0.9

b es el ancho de la sección

d es el peralte efectivo

f'_c es igual a 0.85 f'_c

q es el índice de refuerzo a tensión, el cual se obtiene por la siguiente expresión:

$$q = \frac{p f_y}{f'_c} \dots (6)$$

p es la cuantía del acero de refuerzo longitudinal a tensión, la cual se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$p = \frac{A_s}{b d} \dots (7)$$

A_s es el área de acero de refuerzo

r es el recubrimiento

A continuación, se modela el estado previo a la falla, donde el punto plástico se encuentra a NTP -6.82 m, por lo que el modelo de la falla que se muestra a continuación se basó en comentarios del Arquitecto encargado de la obra y fotos como la Figura 22, la cual muestra la zanja que se realizó para la construcción de la trabe de liga.



Figura 22. Zanja realizada para la construcción de la trabe de liga.

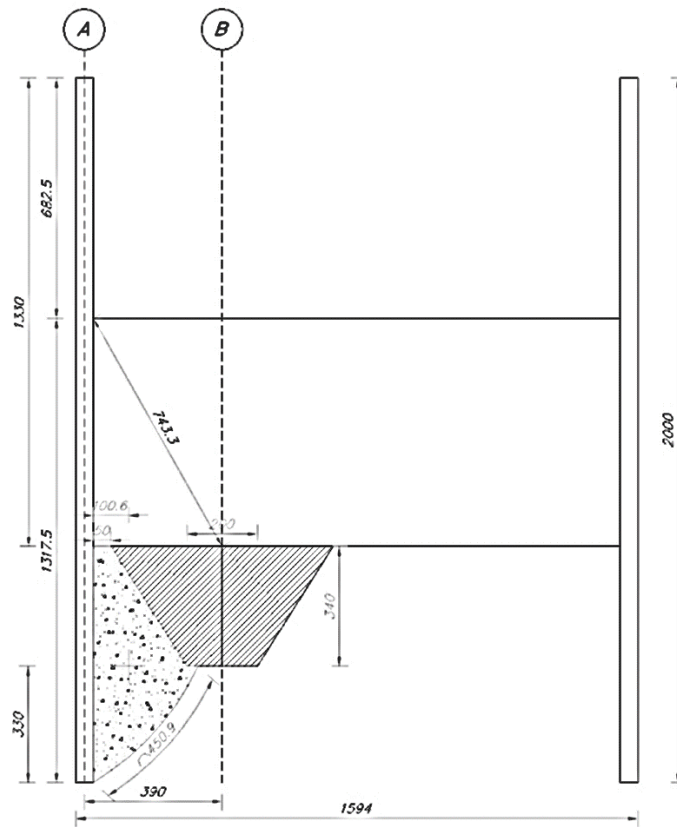


Figura 23. Modelo de la falla por pateo en muro Milán

Datos:

$$C_u = 4.60 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$L = 4.51 \text{ m}$$

$$r = 7.43 \text{ m}$$

$$l = 1.006 \text{ m}$$

$$P = 12.84 \text{ t/m}^2$$

$$D = 13.17 \text{ m}$$

$$W = 1.12 \text{ (t/m}^3\text{)} * 11.26 \text{ (m}^2\text{)} * 6 \text{ (m)} = 75.67 \text{ t}$$

Cálculo del momento plástico resistente.

Datos:

El área de acero para un muro de 6 m, con varillas del #8 a cada 30 cm, se tienen 20 varillas a cada lado, por lo que, el área de acero es:

$$A_s = 202.80 \text{ cm}^2$$

$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 = 0.3 \text{ t/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 600 \text{ cm}$$

$$d = 50 \text{ cm} - 2r = 50 \text{ cm} - 2(5 \text{ cm}) = 40 \text{ cm}$$

Cuantía del acero de refuerzo longitudinal a tensión

$$p = \frac{A_s}{b d} = \frac{202.80}{600 * 40} = 0.00845$$

Índice de refuerzo a tensión

$$q = \frac{P f_y}{f'' c} = \frac{0.00845 * 4200}{0.85 * 300} = 0.139$$

Sustitución:

$$M_p = FR b d^2 f'' c q (1 - 0.5 q) = 0.9 * 600 * 40^2 * (0.85 * 300) * 0.139(1 - 0.5 * 0.139)$$

$$M_p = 284.96 \text{ t - m}$$

Cálculo del factor de seguridad para falla por pateo.

$$FS \text{ pata} = \frac{C_u * L * r + W * l + M_p}{\frac{\rho D^2}{2}} = \frac{4.60 * 4.51 * 7.43 + 75.67 * 1.006 + 284.96}{\frac{12.84 * 13.17^2}{2}}$$

$$FS \text{ pata} = 0.463$$

3.2.2 Falla de fondo

La falla de fondo ocurre cuando el abatimiento del nivel piezométrico es insuficiente, las fuerzas de filtración pueden provocar inestabilidad en el fondo. Esta se revisa a través de la siguiente expresión:

$$FS \text{ fondo} = C_u \left(\frac{N_c + 2 \frac{H_p}{B}}{\gamma H + q} \right)$$

Donde:

C_u es la resistencia no drenada media bajo el fondo de la excavación y hasta el estrato resistente, en t/m^2

N_c es el factor de capacidad de carga

H_p Longitud de la pata del muro Milán, en m

B Anchura del mecanismo de falla, igual a $1.41 z$ donde z es el espesor del estrato arcilloso hasta la capa dura, en m

γ es el peso volumétrico medio del suelo por arriba del nivel de excavación H , en t/m^3

H es la profundidad máxima de la excavación en m

q es la sobrecarga en la superficie, en t/m^2

Para el cálculo del N_c se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$N_c = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{H_p}{B} \right) \left(1 + 0.2 \frac{B}{L} \right)$$

Donde:

H_p es la profundidad de desplante de la pata del muro Milán, en m

B anchura del mecanismo de la falla, igual a $1.41z$, donde z es el espesor del estrato arcilloso hasta la capa dura en m

L longitud del tramo excavado en el sentido largo, en m

En la siguiente figura, se presenta el modelo del cual se basa la expresión ya mencionada:

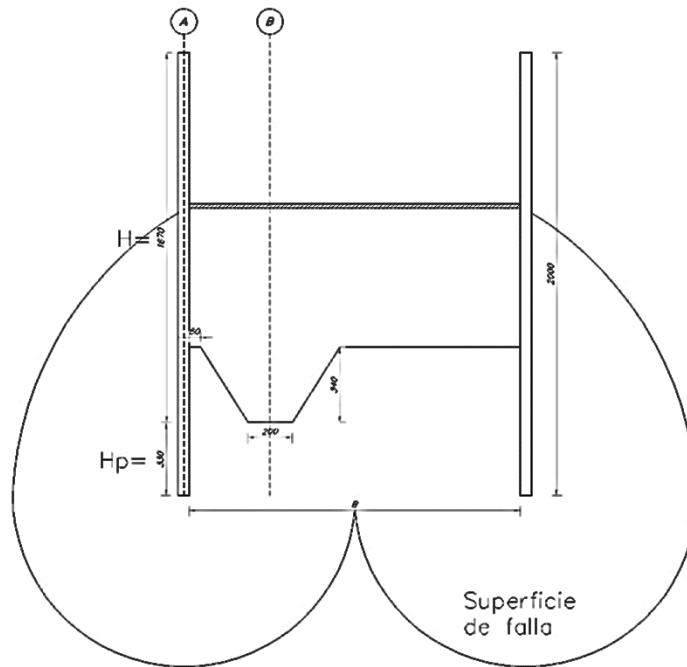


Figura 24. Falla de fondo

Datos:

$$C_u = 4.60 \text{ t/m}^2$$

$$H_p = 3.30 \text{ m}$$

Revisión a 17.5 m, primer lente de arena bajo la losa

$$Z_1 = 17.5 - 16.70 = 0.80 \text{ m}$$

$$B = 1.41z = 1.13 \text{ m}$$

Revisión a 19 m, segundo lente de arena bajo la losa.

$$Z_2 = 19 - 16.70 = 2.30 \text{ m}$$

$$B = 1.41z = 3.24 \text{ m}$$

Revisión a 22 m, tercer lente de arena bajo la losa

$$Z_3 = 22 - 16.70 = 5.30 \text{ m}$$

$$B = 1.41z = 7.47 \text{ m}$$

$$q = 1.5 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = \frac{1.60(2) + 1.45(3) + 1.12(3) + 1.15(3) + 1.25(2.3)}{13.30} = 1.30 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$H = 16.70 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

Revisión a 17.5 m, primer lente de arena bajo la losa:

1. Cálculo del factor de carga N_c .

$$N_c = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{H_p}{B} \right) \left(1 + 0.2 \frac{B}{L} \right) = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{3.30}{1.13} \right) \left(1 + 0.2 \frac{3.30}{30} \right) = 8.20$$

2. Cálculo del factor de seguridad.

$$FS_{\text{fondo}} = C_u \left(\frac{N_c + 2 \frac{H_p}{B}}{\gamma H + q} \right) = 4.60 \left(\frac{8.20 + 2 \frac{3.30}{1.13}}{1.30 * 16.70 + 1.5} \right) = 2.78$$

Revisión a 19 m, segundo lente de arena bajo la losa:

1. Cálculo del factor de carga N_c .

$$N_c = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{Hp}{B}\right) \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{3.30}{3.24}\right) \left(1 + 0.2 \frac{3.24}{30}\right) = 6.32$$

2. Cálculo del factor de seguridad.

$$FS \text{ fondo} = C_u \left(\frac{N_c + 2 \frac{Hp}{B}}{\gamma H + q} \right) = 4.60 \left(\frac{6.32 + 2 \frac{3.30}{3.24}}{1.30 * 16.70 + 1.5} \right) = 1.66$$

Revisión a 22 m, primer lente de arena bajo la losa:

1. Cálculo del factor de carga N_c .

$$N_c = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{Hp}{B}\right) \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{3.30}{7.47}\right) \left(1 + 0.2 \frac{7.47}{30}\right) = 5.87$$

2. Cálculo del factor de seguridad.

$$FS \text{ fondo} = C_u \left(\frac{N_c + 2 \frac{Hp}{B}}{\gamma H + q} \right) = 4.60 \left(\frac{5.87 + 2 \frac{3.30}{7.47}}{1.30 * 16.70 + 1.5} \right) = 1.34$$

Por lo que, la falla de fondo se puede provocar después de los 19 m.

3.2.3 Falla por subpresión

La falla de subpresión ocurre cuando la presión hidrostática levanta la arcilla del fondo de la excavación y pierde el empuje pasivo de la pata, lo que produce la falla.

$$FS \text{ sub} = \frac{(\gamma * hf * B * L + 2C_u(B * hf + L * hp))}{\gamma_w * hw * B * L}$$

Donde:

γ es el peso volumétrico del suelo bajo el fondo

hf es la distancia del fondo al estrato drenante

hp es la distancia de la pata al estrato drenante

B es el ancho de la excavación

L es la longitud del tramo excavado

γ_w es el peso volumétrico del agua (1 t/m^3)

hw es el tirante de agua en el estrato drenante

C_u es la resistencia no drenada media bajo el fondo de la excavación y hasta el estrato resistente

En la siguiente figura, se presenta el modelo del cual se basa la expresión ya mencionada:

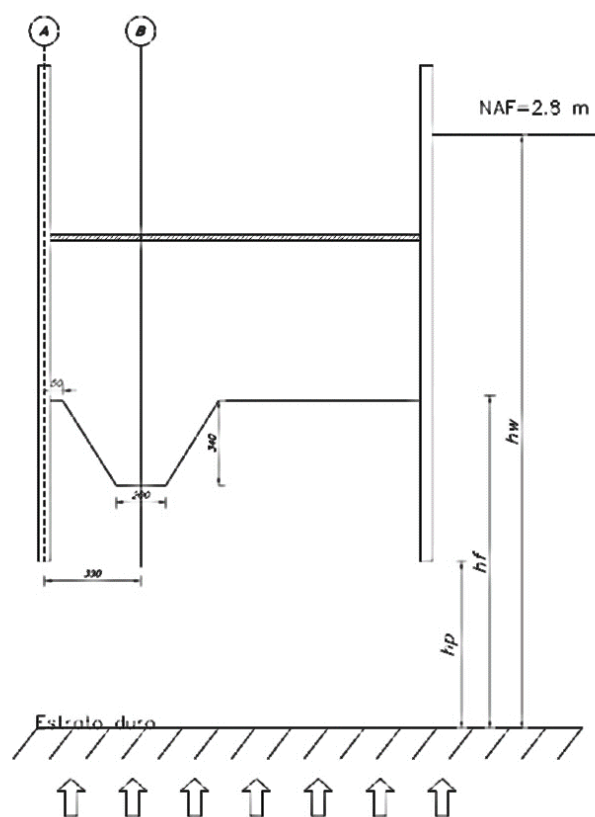


Figura 25. Falla por subpresión

Datos:

$$\gamma \text{ de } 13.5 \text{ a } 22.5 \text{ m} = 1.12 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma \text{ de } 22.5 \text{ a } 28.5 \text{ m} = 1.2 \text{ t/m}^3$$

$$h_p \text{ a } 17.5 \text{ y } 19 \text{ m} = 0 \text{ m}$$

$$h_p \text{ a } 22 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$h_p \text{ a } 28.5 \text{ m} = 8.5 \text{ m}$$

$$B = 15.94 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$C_u = 4.60 \text{ t/m}^2$$

$$h_f \text{ a } 17.5 \text{ m} = 17.5 - 16.7 = 0.80 \text{ m}$$

$$h_f \text{ a } 19 \text{ m} = 19 - 16.70 = 2.30 \text{ m}$$

$$h_f \text{ a } 22 \text{ m} = 22 - 16.70 = 5.30 \text{ m}$$

$$h_f \text{ a } 28.5 \text{ m} = 28.5 - 16.70 = 11.80 \text{ m}$$

$$h_w \text{ a } 17.5 \text{ m} = 17.5 - 2.8 = 14.70 \text{ m}$$

$$h_w \text{ a } 19 \text{ m} = 19 - 2.8 = 16.20 \text{ m}$$

$$h_w \text{ a } 22 \text{ m} = 22 - 2.8 = 19.20 \text{ m}$$

$$h_w \text{ a } 28.5 \text{ m} = 28.5 - 2.8 = 25.70 \text{ m}$$

Revisión a 17.5 m

$$FS_{sub} = \frac{(\gamma * h_f * B * L + 2C_u(B * h_f + L * h_p))}{\gamma_w * h_w * B * L}$$

$$FS_{sub} = \frac{1.12 * 0.80 * 15.94 * 30 + 2 * 4.60(15.94 * 0.80 + 30 * 0)}{1 * 14.70 * 15.94 * 30} = 0.08$$

Revisión a 19 m

$$FS_{sub} = \frac{(\gamma * hf * B * L + 2C_u(B * hf + L * hp))}{\gamma_w * h_w * B * L}$$

$$FS_{sub} = \frac{1.12 * 2.30 * 15.94 * 30 + 2 * 4.60(15.94 * 2.30 + 30 * 0)}{1 * 14.70 * 15.94 * 30} = 0.22$$

Revisión a 22 m

$$FS_{sub} = \frac{(\gamma * hf * B * L + 2C_u(B * hf + L * hp))}{\gamma_w * h_w * B * L}$$

$$FS_{sub} = \frac{1.12 * 5.30 * 15.94 * 30 + 2 * 4.60(15.94 * 5.30 + 30 * 2)}{1 * 14.70 * 15.94 * 30} = 0.59$$

Revisión a 28.5 m

$$FS_{sub} = \frac{(\gamma * hf * B * L + 2C_u(B * hf + L * hp))}{\gamma_w * h_w * B * L}$$

$$FS_{sub} = \frac{1.2 * 11.80 * 15.94 * 30 + 2 * 4.60(15.94 * 11.80 + 30 * 8.5)}{1 * 14.70 * 15.94 * 30} = 1.54$$

Por lo que se recomienda bombeo a 23 m, abajo del nivel del último lente de arena que responde a un factor de seguridad menor a 1.5.

Por las condiciones encontradas en la inspección inicial, se deduce que la falla del muro Milán fue producida por una falta de empotramiento o pateo a causa de la excavación de la zanja que se realizó para la trabe de liga redujo la distancia de empotramiento hasta en un 50 %, provocando que el empuje pasivo que se tenía frente al muro no fuera suficiente para soportar el empuje redistribuido del suelo en su respaldo.

4. Rescate y reparación de la zona fallada

Dado que los 6 paneles fallaron, se requería una rehabilitación completa para estos, mediante demolición del muro colapsado, así que se proporcionó una solución la cual requería un área libre de trabajo detrás del muro colapsado para lo cual se propuso un área de excavación temporal con un área de planta de 33.4 m de largo y 8.0 m de ancho, con para la construcción de un muro de contención con una profundidad de 13m de altura. Por esto, se analizaron las diferentes alternativas, las cuales fueron un muro Milán, un muro Berlín y pilas tangentes, por lo que a continuación se presenta un cuadro comparativo:

<i>Elemento de contención</i>	<i>Rigidez</i>	<i>Impermeabilidad</i>	<i>Costo relativo</i>	<i>Instalación</i>	<i>Suelos</i>
<i>Muro Milán</i>	Muy buena	Si	Alto	Difícil	Todos
<i>Muro Berlín</i>	Baja	No	Medio	Fácil	Todos
<i>Pilas tangentes</i>	Media	No	Medio	Fácil	Todos

Tabla 9. Tabla comparativa de alternativas

Por lo cual, se concluyó que:

- Un muro Milán: Aunque este sistema es rígido y proporciona una de las alternativas con mayor grado cualitativo de seguridad, se descarta esta opción, ya que, requiere el uso de maquinaria pesada que no es posible posicionar en el espacio de trabajo.
- Un muro Berlín con revestimiento de madera entre viguetas: Este sistema requiere el uso de maquinaria de menores dimensiones comparados con el muro Milán, sin embargo, este es un sistema flexible, por lo cual, no resulta ser adecuado para la consideración de la sobrecarga ejercida por la excavadora CAT 320 y la altura del corte.
- Un muro de pilas con revestimiento intermedio de concreto lanzado. Dependiendo del diámetro diseñado de las pilas, este sistema puede requerir el uso de maquinaria de menores dimensiones comparados con el muro Milán, además, es un sistema más rígido que el muro Berlín, por lo que se visualiza que es más adecuado para la sobrecarga y altura del corte por realizar.

Al comparar las posibles soluciones, por lo que, se optó por seleccionar un muro de pilas con revestimiento intermedio de concreto lanzado, que cuenta con los siguientes requerimientos:

- a) Muro perimetral de pilas coladas in situ de 50cm de diámetro y desplantadas a 22.50m de profundidad, separadas a cada 80cm centro a centro; concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, T.M.A 3/8" y Rev.22cm, reforzadas con varillas grado 42 8#6 y zuncho #3 a cada 20cm.
- b) Concreto lanzado entre las pilas de 12cm de espesor, reforzado con doble malla electrosoldada 6x6 6/6. Incluye la instalación de drenes cortos en los niveles -3.00, -5.00 y -7.00, separados a cada 160cm horizontales.
- c) Dos niveles de troquelamiento: el primer nivel ubicado a 3.25m de profundidad mediante vigas mdrinas A-36 IR 12" X 136 lb/ft y cuatro troqueles A-36 OC 12.7" X 0.50", el segundo nivel ubicado a 6.50m de profundidad mediante vigas mdrinas A-36 IR 12" X 210 lb/ft y cuatro troqueles A-36 OC 16" X 0.62"
- d) Se contempla excavar el área dejando una berma perimetral frente al muro de pilas con un talud de 36° y 33° de inclinación, con una corona de 50cm de ancho y al nivel -7.5m, además, se incluye su protección temporal mediante una cubierta de concreto lanzado simple $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ de 3cm de espesor.
- e) Operación de cuatro pozos de bombeo con puntas eyectoras, alojados en perforaciones de 30cm de diámetro y hasta una profundidad de 23m.

- f) Relleno del área de la falla mediante tepetate colocado a volteo, esto permitirá preparar la zona para perforación de las pilas del eje P2, desde el nivel de banqueteta.
- g) Colocación de un arroje temporal frente a los paneles por demoler, mediante tepetate colocado a volteo con un nivel de corona de -7.00m. Esto permitirá realizar las actividades de demolición con maquinaria tipo CAT 312 o menor, así como estabilidad de los muros durante los trabajos de perforación de pilas en eje P2.

La solución propuesta con la excavación aledaña se veía de la siguiente forma:

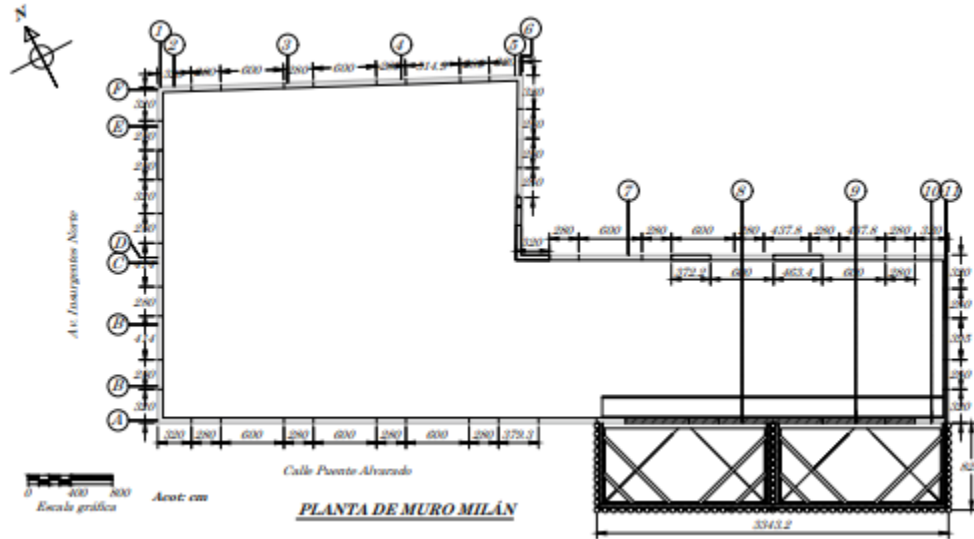


Figura 26. Solución propuesta para el rescate del muro Milán colapsado

Para lo cual se realizó una revisión de los mecanismos de falla posibles para cada fase de la solución, por lo que, a continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados:

Análisis	Mecanismo de falla	Calculo		Criterio de diseño	Revisión	
		Numérico	Analítico			
Muro de pilas troquelado y con berma perimetral	Falla de fondo por esfuerzos cortantes	FS=1.75	FS=1.50	$FS \geq 1.50$	Cumple	
	Falla por pateo	FS=1.66	FS=1.55	$FS \geq 1.50$	Cumple	
	Falla de fondo por subpresión	-	$h_i = 5.00m$ $\left(\frac{\gamma_\omega}{\gamma_m}\right) h_\omega = 14.30m$	$p_v + \sum qF_C = 21.54$ $c_u N_c F_R = 24.40$	$p_v + \sum qF_C < c_u N_c F_R$	No cumple
	Falla local	FS=1.59	-	$FS \geq 1.30$	Cumple	
Excavación temporal rellena con mortero fluido o suelo cemento y excavación para contratrabe	Falla rotacional	FS=2.33	-	$FS \geq 1.30$	Cumple	
Berma perimetral						

<i>Plataforma provisional para construcción pilas eje P2</i>	Falla rotacional	FS=2.06	-	FS \geq 1.30	Cumple
<i>Arrope frente a muro para actividades de demolición</i>	Falla rotacional	FS=2.03	-	FS \geq 1.30	Cumple
<i>Estabilidad general plataforma para construcción pilas P2 y arrope frente a muro para actividades de demolición</i>	Falla compuesta	FS=1.22	-	FS \geq 1.30	No cumple

Tabla 10. Resumen de resultados para los mecanismos de falla

Para comenzar con las medidas de mitigación se iniciaron con las preparaciones para comenzar con el procedimiento constructivo de la excavación, las cuales fueron:

- Retiro de banquera, escombros, guarnición y otros elementos de concreto.
- Retiro o “colgante” de instalaciones en banqueta: fibra óptica, drenaje, agua, luz, etc.

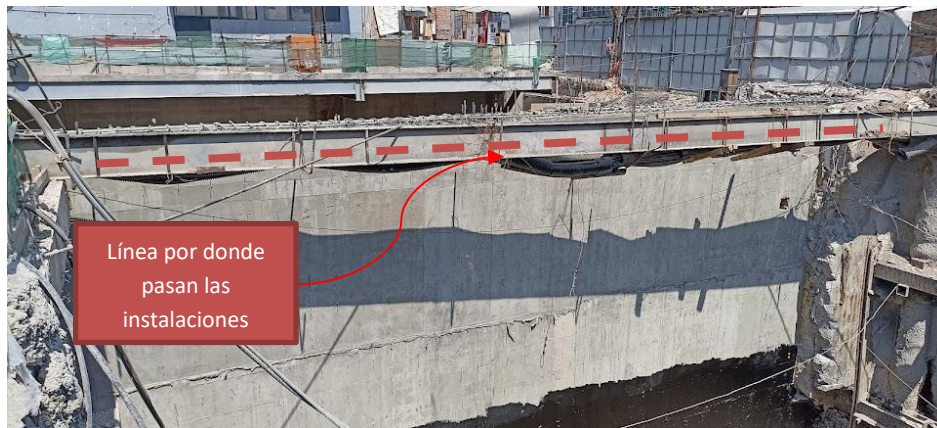


Figura 27. Instalaciones

- Confirmación de arrope temporal frente a paneles colapsados, para preparar zona desde donde se realizará la demolición con maquinaria pesada (desde el área interna del cajón).
- Conformación de plataforma provisional, para preparar la zona de construcción de pilas eje P2, a nivel de banqueta, mediante tepetate colocado a volteo.

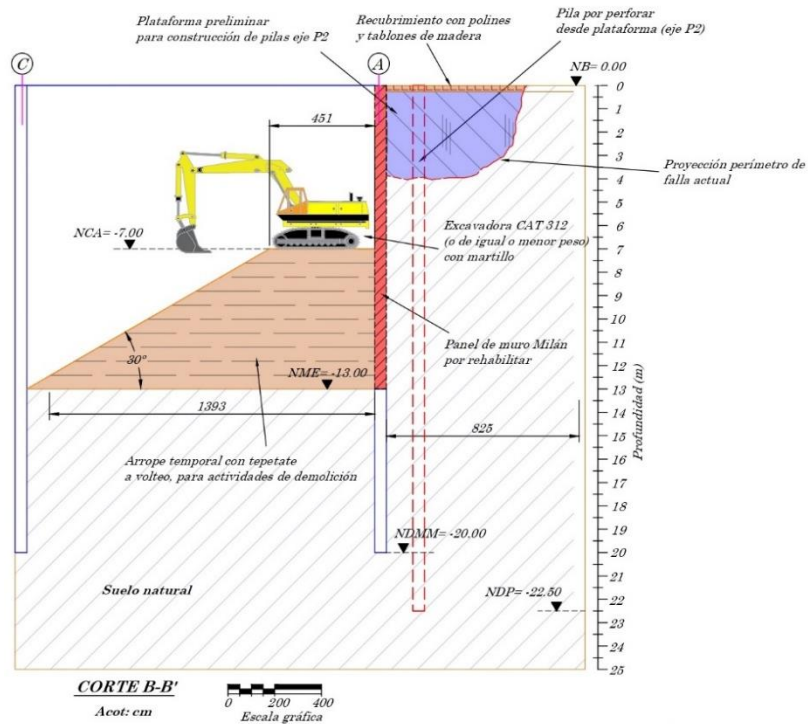


Figura 28. Arroyo temporal frente a paneles colapsados para actividades de demolición mediante CAT 312 con martillo de 3 t.

- Construcción de pilas en el eje P2. Pilas de 50 cm de diámetro, 22.50 m de longitud y con separación de 80 cm centro a centro, concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, T.M.A. 3/8" y rev. 22 cm, reforzado con varillas corrugadas grado 42 8 #6 y estribos #3 a cada 20 cm.

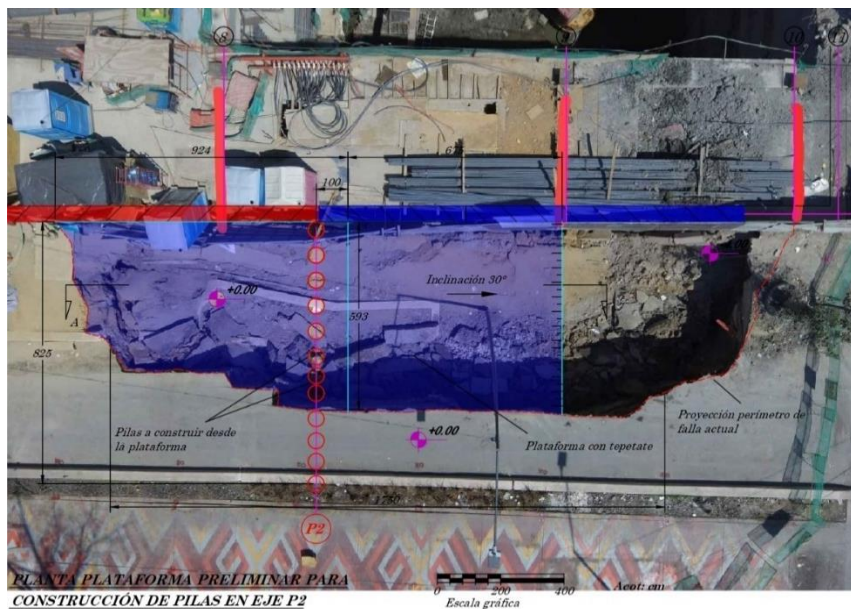


Figura 29. Plataforma provisional para perforación de pilas en eje P2

- Construcción de pilas en eje P1, P3 y P4.

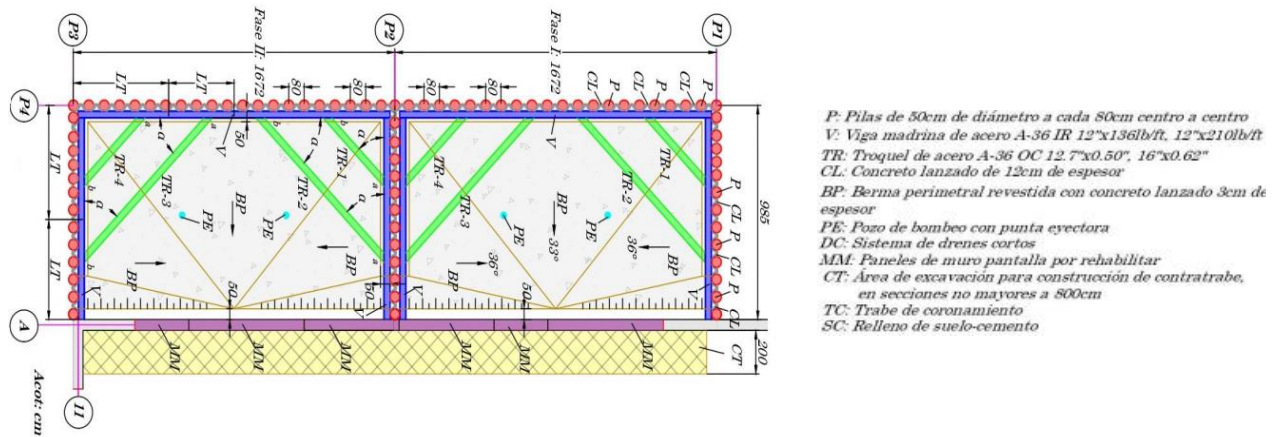


Figura 30. Excavación temporal vista en planta

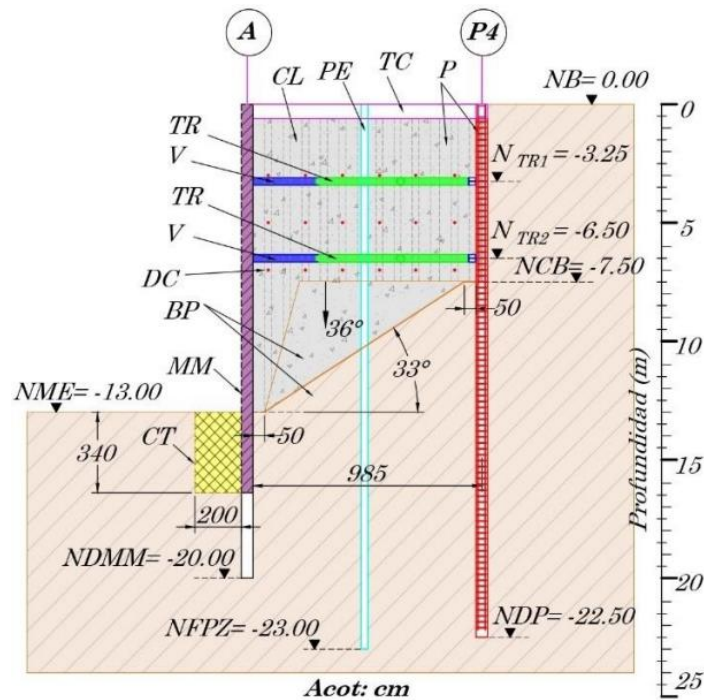


Figura 31. Excavación temporal vista en corte

- Perforación e instalación de pozos de bombeo con puntas eyectoras. Perforaciones de 30 cm de diámetro hasta 23 m de profundidad, ademe ranurado de PVC de 4" de diámetro.
- Construcción la trabe de coronamiento
- Operación de los pozos de bombeo con puntas eyectoras; además de la operación de un bombeo de achique para captar, conducir y desalojar los escurrimientos temporales dentro de la excavación.

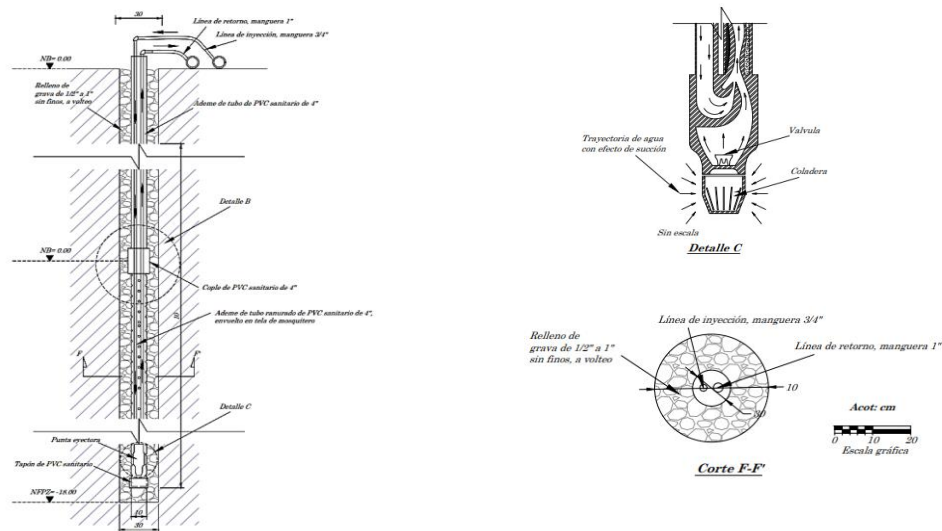


Figura 32 Sistema de bombeo por puntas inyectoras

Por consiguiente, se procedió con la siguiente fase de construcción, la cual conlleva:

- Excavación general del área de trabajo hasta el nivel -4.0m. Una vez descubierto el suelo entre las pilas, se procederá a la colocación de doble capa de malla electrosoldada 6x6 6/6 y lanzado de concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ en un espesor de 12cm. Incluye la instalación de drenes cortos en el concreto lanzado, de 2" de diámetro de perforación y con tubería ranurada de PVC de 1 1/2" de diámetro y 20cm de longitud, ubicados en el nivel -3.00 y separados a cada 160cm horizontalmente.
- Colocación de vigas mdrinas IR 12" X 136 lb/ft, así como colocación y precarga del nivel de troquelamiento -3.25m.
- Demolición de panel de muro Milán por medios mecánicos y manuales, desde el nivel 0.00 a -4.00.
- Excavación general del área de trabajo hasta el nivel -7.50m. Una vez descubierto el suelo entre las pilas, se procederá a la colocación de doble capa de malla electrosoldada 6x6 6/6 y lanzado de concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ en un espesor de 12cm. Incluye la instalación de drenes cortos en el concreto lanzado, de 2" de diámetro de perforación y con tubería ranurada de PVC de 1 1/2" de diámetro y 20cm de longitud, ubicados en el nivel -3.00 y -7.00, separados a cada 160cm horizontalmente.
- Colocación de vigas mdrinas IR 12" X 210lb/ft, así como colocación y precarga del nivel de troquelamiento -6.50m.

Nivel	Troquel No.	Perfil A-36 tipo	Precarga (t)
-3.25	TR-1	OC 12.7"X0.5"	40
-3.25	TR-2	OC 12.7"X0.5"	25
-3.25	TR-3	OC 12.7"X0.5"	25
-3.25	TR-4	OC 12.7"X0.5"	40
-6.50	TR-1	OC 16"X0.62"	50
-6.50	TR-2	OC 16"X0.62"	50
-6.50	TR-3	OC 16"X0.62"	50
-6.50	TR-4	OC 16"X0.62"	52

Tabla 11. Precarga en troqueles

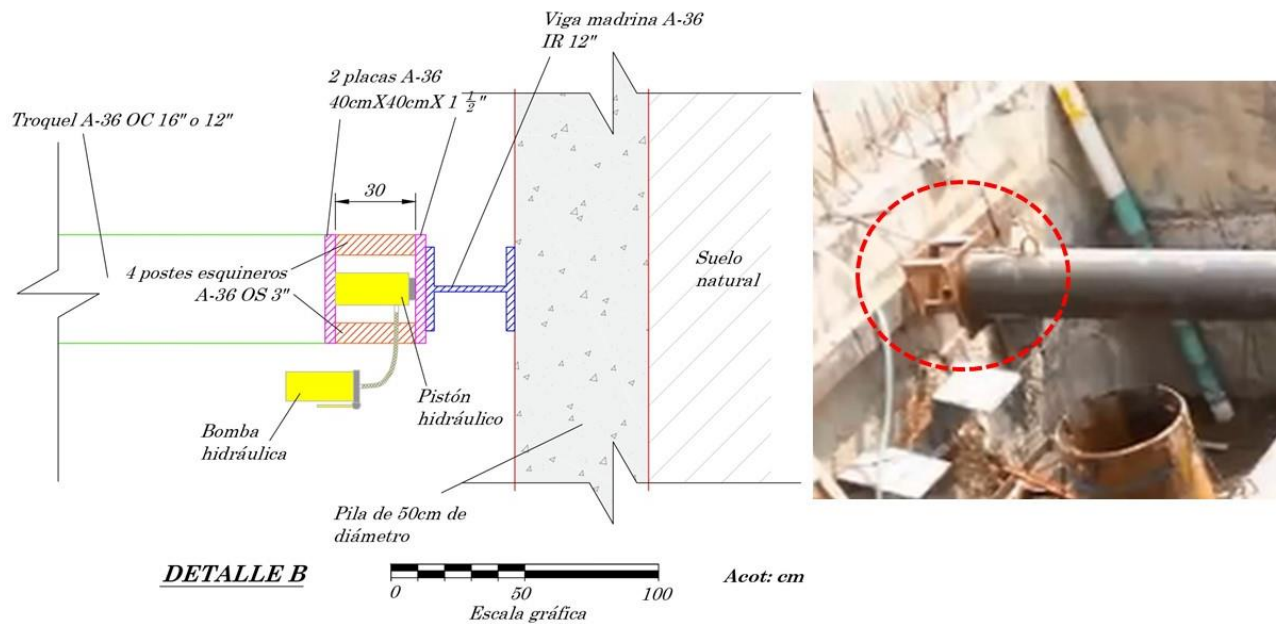


Figura 33. Preparación para la aplicación de precarga en troqueles

- Demolición de panel por medios mecánicos y manuales, desde el nivel -4.00 a -7.50.
- Excavación de toda el área de trabajo hasta el nivel -13.00m, dejando la berma perimetral con una corona de 50cm de ancho a nivel -7.50 y talud con 36° de inclinación. Incluye el recubrimiento de la berma con un concreto lanzado $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ sin acero de refuerzo y de 3cm de espesor. Simultáneamente se realizará la demolición de panel por medios mecánicos o manuales.



Figura 34. Excavación del área de trabajo dejando la berma perimetral

Finalmente se realizó la rehabilitación del Muro, el cual se decidió que fuera un muro de contención desplantado en la losa de fondo por lo que se siguieron los siguientes pasos:

- Construcción de las traves de liga faltantes, en tramos de 8 m de largo.



Figura 35. Construcción de la trabe de liga

- Construcción de la losa de fondo.



Figura 36. Construcción de la losa de fondo

- Construcción del muro de contención de 50 cm de espesor con un revestimiento de 5 cm, desplantado en la losa de fondo, con una resistencia del concreto de $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$, reforzado con varillas de acero corrugadas grado 42 del #8 en sentido vertical a cada 30 cm y #5 a cada 15 cm en sentido horizontal.



Figura 37. Construcción del muro de contención desplantado en la losa de fondo

Después de la construcción del muro se procede a la tercera fase de construcción, la cual conlleva los siguientes puntos:

- Relleno de excavación temporal mediante relleno fluido de resistencia $f'c=15 \text{ kg/cm}^2$ o suelo-cemento. Para su colocación se procederá en capas graduales de 50cm a 100cm de altura desde el nivel -13.00 hasta el -2.00.
- Rehabilitación de obras inducidas y otros trabajos superficiales complementarios que se requieran.
- Colocación de capa final de relleno con mortero fluido o suelo-cemento, desde el -2.00 al nivel de banquetta 0.00.



Figura 38. Relleno de la excavación temporal

- Una vez finalizado el proceso completo de la colocación del relleno, se podrá suspender el sistema de bombeo.

4.1 Instrumentación

Para verificar el funcionamiento de la solución propuesta, se realizaron medidas correctivas de forma oportuna, se implementó un sistema de instrumentación para verificar los movimientos del terreno.

Las referencias que se tienen son puntos fijos en la superficie del terreno cuyo propósito es registrar los movimientos horizontales y verticales que ocurran en el perímetro de la excavación, estos se instalan definiendo líneas de colimación paralelas a los ejes de la excavación que se observan con un tránsito para detectar los desplazamientos horizontales que ocurren, mientras que con un nivel óptico y estadales se determinan los desplazamientos verticales.



Figura 39. Referencias vistas en obra

A continuación, se presenta un gráfico de la ubicación de cada referencia para su monitoreo:

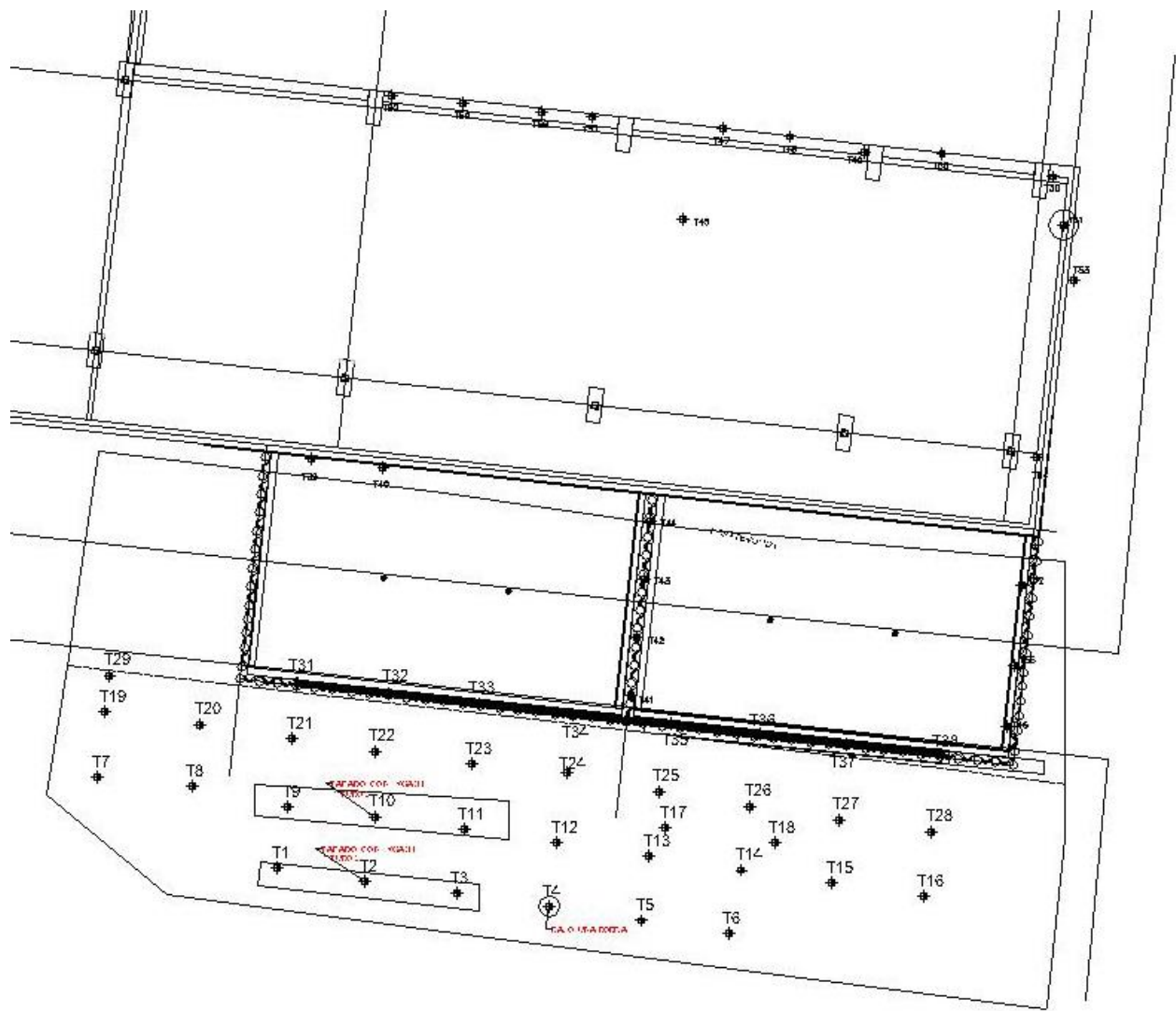


Figura 40. Referencias para el monitoreo de movimientos horizontales y verticales

Asimismo, se presentan las mediciones que se tuvieron el primer día (01/09/2022) y el último día de medición (31/01/2023), con motivo de observar cuanto se movieron cada punto de referencia expresado en la Figura 31.

NÚMERO	01/09/2022 9:00			NÚMERO	31/01/2023 9:00			DESPLAZAMIENTO		
	X	Y	Z		X	Y	Z	X	Y	Z
T1	4995.77	9981.79	-0.14	T1	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T2	4999.52	9981.21	-0.17	T2	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T3	5003.49	9980.70	-0.19	T3	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T4	0.00	0.00	0.00	T4	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T5	5011.42	9979.54	-0.18	T5	5011.42	9979.53	-0.18	0.003	-0.008	-0.002
T6	5015.14	9978.98	-0.17	T6	5015.15	9978.97	-0.17	0.005	-0.009	-0.002

T7	4988.04	9985.70	-0.19	T7	4988.04	9985.70	-0.19	0.001	-0.006	-0.001
T8	4992.08	9985.31	-0.23	T8	4992.08	9985.31	-0.23	-0.003	0	0.001
T9	4996.21	9984.42	-0.24	T9	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T10	4999.95	9983.99	-0.26	T10	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T11	5003.80	9983.46	-0.27	T11	0.00	0.00	0.00	0	0	0
T12	5007.77	9982.88	-0.28	T12	5007.77	9982.88	-0.28	-0.003	-0.003	-0.003
T13	5011.74	9982.30	-0.29	T13	5011.75	9982.30	-0.29	0.008	-0.005	-0.001
T14	5015.73	9981.71	-0.32	T14	5015.73	9981.72	-0.32	0.005	0.007	0.001
T15	5019.60	9981.15	-0.32	T15	5019.60	9981.14	-0.32	0.001	-0.008	0.001
T16	5023.52	9980.61	-0.33	T16	5023.52	9980.61	-0.34	0.004	0.005	-0.012
T17	5012.44	9983.53	-0.33	T17	5012.43	9983.53	-0.34	-0.004	-0.001	-0.009
T18	5017.15	9982.89	-0.36	T18	5017.15	9982.89	-0.37	-0.003	0.007	-0.014
T19	4988.35	9988.52	-0.28	T19	4988.34	9988.52	-0.28	-0.001	-0.001	-0.006
T20	4992.45	9987.97	-0.31	T20	4992.45	9987.98	-0.33	0.002	0.005	-0.016
T21	4996.39	9987.35	-0.33	T21	4996.39	9987.36	-0.35	0.005	0.006	-0.02
T22	4999.95	9986.81	-0.37	T22	4999.95	9986.81	-0.37	0.001	-0.0021	-0.003
T23	5004.12	9986.44	-0.42	T23	5004.12	9986.45	-0.42	0.003	0.013	-0.002
T24	5008.19	9985.89	-0.45	T24	5008.19	9985.91	-0.48	0.007	0.012	-0.034
T25	5012.09	9984.72	-0.39	T25	5012.09	9984.73	-0.41	0.005	0.013	-0.02
T26	5016.08	9984.45	-0.43	T26	5016.08	9984.46	-0.45	0.003	0.008	-0.017
T27	5019.89	9983.88	-0.43	T27	5019.90	9983.88	-0.44	0.0091	0.0041	-0.009
T28	5023.87	9983.36	-0.44	T28	5023.86	9983.36	-0.45	-0.006	0.008	-0.009
T29	4988.58	9990.07	-0.35	T29	4988.57	9990.07	-0.34	-0.008	0	0.002
T30	5029.09	10011.51	-0.78	T30	5029.09	10011.51	-0.78	0.0001	0.003	-0.001
T31	4996.61	9989.75	-0.60	T31	4996.61	9989.75	-0.60	0.001	0.005	0
T32	5000.55	9989.30	-0.62	T32	5000.55	9989.30	-0.62	-0.001	0.002	-0.001
T33	5004.44	9988.86	-0.65	T33	5004.44	9988.87	-0.65	0	0.0027	0.002
T34	5008.49	9988.42	-0.66	T34	5008.50	9988.42	-0.66	0.003	0.005	0.001
T35	5012.68	9988.01	-0.71	T35	5012.68	9988.01	-0.71	-0.006	-0.0031	0.002
T36	5016.54	9987.56	-0.74	T36	5016.54	9987.56	-0.74	-0.0034	-0.0013	0.001
T37	5020.25	9987.13	-0.76	T37	5020.24	9987.14	-0.76	-0.0036	0.0069	0.001
T38	5024.30	9986.66	-0.78	T38	5024.30	9986.67	-0.78	-0.0002	0.0084	0.001
T39	4997.20	9999.38	-0.22	T39	4997.20	9999.38	-0.22	0.001	-0.001	0.002
T40	5000.31	9999.03	-0.23	T40	5000.31	9999.03	-0.23	0	0.001	0.001
T41	5010.97	9989.24	-0.70	T41	5010.96	9989.24	-0.70	-0.0042	0.0058	0
T42	5011.22	9991.72	-0.70	T42	5011.21	9991.73	-0.70	-0.0053	0.0086	0
T43	5011.52	9994.22	-0.71	T43	5011.51	9994.22	-0.71	-0.0067	0.0012	-0.001
T44	5011.79	9996.70	-0.70	T44	5011.79	9996.71	-0.70	0.0007	0.008	-0.001
T45	5013.21	10009.67	-0.23	T45	5013.21	10009.67	-0.22	0	0.0006	0.001
T46	5027.13	9987.87	-0.34	T46	5027.13	9987.87	-0.35	0.0001	0.0002	-0.001
T47	5014.90	10013.58	-0.23	T47	5014.90	10013.58	-0.23	0.0006	0.0005	-0.001
T48	5017.80	10013.24	-0.24	T48	5017.80	10013.24	-0.24	-0.0066	0.0004	-0.001
T49	5020.99	10012.54	-0.21	T49	5020.99	10012.54	-0.21	-0.0057	-0.0005	-0.001

T50	5024.34	10012.50	-0.21	T50	5024.34	10012.50	-0.21	-0.0011	0.0013	0.002
T51	5029.56	10009.41	-0.88	T51	5029.56	10009.41	-0.88	0	0.0006	0.001
T52	5027.77	9993.93	-0.31	T52	5027.77	9993.93	-0.31	-0.0006	0.0004	0
T53	5030.00	10007.07	-0.14	T53	5030.00	10007.07	-0.14	0	0.0002	0
T54	5028.42	9999.44	-1.00	T54	5028.41	9999.44	-1.00	-0.0002	0.0005	0.001
T55	5027.41	9990.51	-0.32	T55	5027.41	9990.51	-0.32	0.00012	0.0002	0
T56	5011.80	10013.93	-0.23	T56	5011.81	10013.93	-0.23	0.0118	-0.0035	-0.002
T57	5009.29	10014.06	-0.22	T57	5009.29	10014.06	-0.22	0.0013	-0.001	0
T58	5007.12	10014.28	-0.21	T58	5007.12	10014.28	-0.21	0.0015	0.0003	-0.004
T59	5003.76	10014.66	-0.23	T59	5003.76	10014.65	-0.23	0.0013	-0.0005	-0.001
T60	5000.68	10014.99	-0.20	T60	5000.68	10014.99	-0.20	0.0011	0.0004	-0.001

Tabla 12. Monitoreo de movimientos horizontales y verticales

Conclusiones

Según la información disponible que se proporcionó del sitio fue de ayuda para determinar el problema tanto visualmente como a través de los cálculos. Por lo que, al revisar los datos preliminares demostraron que el muro pantalla se construyó de la manera correcta y se siguió el procedimiento constructivo correcto con materiales de calidad, así mismo, según el arquitecto supervisor de la obra, el apuntalamiento estaba diseñado para que tuviera doble altura por lo que, se ejecutó correctamente el procedimiento de excavación.

Ahora bien, la falla que se reportó del muro pantalla fue causado por la falta de contención por causa de la zanja que se abrió frente al muro, con dimensiones de 3.40 m de profundidad y 2 m de ancho, está no estaba planeada en el diseño original de la excavación, ya que el procedimiento constructivo original no contemplaba la magnitud de la zanja. Así mismo, esto se pudo comprobar después de un cálculo sobre el factor de seguridad por pateo se comprobó que se tenía un factor de seguridad de 0.463 lo que comprobó la falla, también se comprobó que se requería de un bombeo a 23 m, bajo el ultimo lente de arena que se encuentra a 22 m de profundidad.

En cuanto a la solución dada al problema, esta requería un área para la rehabilitación del muro por métodos convencionales, por lo que para la solución, se propusieron varios métodos de contención para la excavación auxiliar, sin embargo el peso de la maquinaria y la rigidez que requería, fueron factores decisivos para la elección de esta por lo que, fue correcto el uso de pilas coladas en sitio, además de que el apuntalamiento se solucionó dos niveles de troqueles y una berma perimetral y el bombeo se solucionó por medio de bombas eyectoras a una profundidad de 23 m de profundidad. Esta solución se diseñó conforme a la normativa vigente, además de que se revisó por falla de fondo, por subpresión y por pateo.

Finalmente, podemos observar que los datos recabados demostraron que este error se pudo impedir, al consultarlo con un especialista en geotecnia, con el propósito de conocer si hubiera sido posible abrir la zanja con 30 m de longitud, así mismo, se puede recalcar la importancia de la instrumentación en campo ya que esta fue contemplada después de la falla, por lo que recomendaría el continuo chequeo del movimiento del muro desde la construcción de este y en las diferentes etapas de construcción con el propósito y apuntalamiento para poder prevenir este tipo de accidentes.

En este trabajo podemos notar la importancia de la ingeniería geotécnica en las obras de construcción, esta debe estar siempre presente, no solo por el costo que conlleva reparar la falla si no por las vidas que se pudieron haber perdido y como dijo el ingeniero Tamez “Recimentar una estructura es hacer tarde y a mayor costo, lo que debió haberse hecho antes de construirla”.

Referencias

López. I. (2018). “T-1404 San Cosme” Estudio de Mecánica de Suelos. Driller Cimentaciones S.A. de C.V.

NTCDCC (2017). “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.” Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 10–43. NTCDCEA (2017).

NTCDCEC (2017). “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.” Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 372–566.

Pamatz. O. (2023). Instrumentación, comunicación personal.

Paniagua W., Domínguez R. (2022). Diseño del procedimiento constructivo para reparación de falla en muro Milán, Coppel San Cosme. Nota Técnica No.2.

Paniagua W., Domínguez R. (2022). “Construcción, falla y rescate de un muro pantalla colapsado durante una excavación profunda en la Ciudad de México”. XXXI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.

Santoyo E., Segovia J (2002) “Muros Milán”. Manual de construcción geotécnica. Tomo I. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.

Segovia J. (2002). “Diseño de muros Milán y tablaestaca”. Manual de construcción geotécnica. Tomo I. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.

Tamez, E. (2001). “Ingeniería de cimentaciones: conceptos básicos de la práctica”. TGC

Anexo 1 "Resultados de las pruebas de campo"

REGISTRO DE CAMPO										Obra : COPPEL SAN COSME Ubicación : Av. Insurgentes Norte #3, Col. Buenavista, Del. Cuauhtémoc, Ciudad de México. Sondeo N° : SM-2 Coordenadas : 19°26'24.13"N, 99° 9'17.96"O Elevación : 2234 m Procedimiento : CPTu y SPT - Perforadora: LONGYEAR MOD. 38 Fecha : 12 al 25 de septiembre del 2018 Operador : Isai Castellanos (SPT), Edwin Pérez (CPTu)			
FECHA	MUESTRA N°	ESTRATO EN M	PROFUNDIDADES m		TIPO DE HERRAMIENTA		PENETRACIÓN ESTÁNDAR			LONG. PERF.	LONG. RECUPERACIÓN		CLASIFICACIÓN DE CAMPO
			DE	A	AVANCE	MUESTREO	15 cm	30cm	15cm		CM	%	
12/09/2018	-	3.60	0.00	0.23	BTR		AVANCE			23.00	-	-	Losa de planta baja (concreto armado).
12/09/2018	-		0.23	4.50	ADM		ADEME			427.00	-	-	Altura libre del sótano.
12/09/2018	-		4.50	4.70	BTR		AVANCE			20.00	-	-	Losa de sótano (concreto armado).
12/09/2018	-		4.70	5.10	BTR		AVANCE			40.00	-	-	Bloque de unicel.
12/09/2018	-		5.10	6.30	ADM		ADEME			120.00	-	-	Altura libre del cajón de cimentación.
12/09/2018	-		6.30	6.55	BTR		AVANCE			25.00	-	-	Losa de fondo del cajón (concreto armado).
12/09/2018	1	4.40	6.55	7.15		SPT	38	3	2	60.00	60.00	100	52 cm: Capa de mejoramiento a base de grava medias a gruesas (base hidráulica). 8 cm: Arcilla limpia, color café olivo y dorado (posibles fugas del sistema de drenaje).
12/09/2018	2		7.15	7.75		SPT	PH	PH	PH	60.00	45.00	75	Arcilla limpia de diferentes tonalidades, gris claro, café olivo e intercalaciones de arcilla de color café rojizo.
12/09/2018	-		7.75	7.85		PH	PH	PH	PH	10.00	-	-	Avance por peso de herramienta (material muy blando).
12/09/2018	3		7.85	8.40		TS-1	PRESIÓN			55.00	42.00	76	Parte superior e inferior: Arcilla limpia, color café claro.
13/09/2018	-		8.40	14.30		CPTu	CPTu			590.00	-	-	Avance con piezocono (A 14.30m, qc=5.1kg/cm2, se decide la extracción de Tubo Shelby).
13/09/2018	-		14.30	14.80		TS	PRESIÓN			50.00	10.00	20	Sin recuperación.
13/09/2018	4		14.80	15.40		SPT	PH	PH	PH	60.00	35.00	58	Arcilla limpia, color gris oscuro con intercalación de arcilla color café olivo.
13/09/2018	5		15.40	16.30		TS-2	PRESIÓN			90.00	60.00	67	Parte superior: Arcilla limpia, color gris oscuro. Parte inferior: Ceniza volcánica, color gris claro.
13/09/2018	-		16.30	20.30		CPTu	CPTu			400.00	-	-	Avance con piezocono (A 20.30m, qc=4.14kg/cm2, se decide la extracción de Tubo Shelby).
14/09/2018	6		20.30	21.20		TS-3	PRESIÓN			90.00	60.00	67	Parte superior e inferior: Arcilla limpia, color gris oscuro.
14/09/2018	-		21.20	23.50		CPTu	CPTu			230.00	-	-	Avance con piezocono (A 23.50m, qc=37.14kg/cm2, se decide la extracción de Tubo Shelby).
OBSERVACIONES										NAF: 2.40 m			
Uso de tubo shelby de 2 1/2" de diámetro.													

BTR= BROCA TRICÓNICA (2 15/16" Ø)
 BD= BROCA TIPO DRAG (2 15/16" Ø)
 BNQ= BARRIL NQ
 PH = PESO DE LA HERRAMIENTA

SPT= PENETRACIÓN ESTANDAR
 TS = TUBO SHELBY

OTRA: _____

Figura 41. Registro de campo a

REGISTRO DE CAMPO										Obra : COPPEL SAN COSME Ubicación : Av. Insurgentes Norte #3, Col. Buenavista, Del. Cuauhtémoc, Ciudad de México. Sondeo N° : SM-2 Coordenadas : 19°26'24.13"N, 99° 9'17.96"O Elevación : 2234 m Procedimiento : CPTu y SPT - Perforadora: LONGYEAR MOD. 38 Fecha : 12 al 25 de septiembre del 2018 Operador : Isai Castellanos (SPT), Edwin Pérez (CPTu)			
FECHA	MUESTRA N°	ESTRATO EN M	PROFUNDIDADES m		TIPO DE HERRAMIENTA		PENETRACIÓN ESTÁNDAR			LONG. PERF.	LONG. RECUPERACIÓN		CLASIFICACIÓN DE CAMPO
			DE	A	AVANCE	MUESTREO	15 cm	30cm	15cm		CM	%	
15/09/2018	7	3.60	23.50	24.40		TS-4	PRESIÓN			90.00	85.00	94	Parte superior: Arcilla, color gris oscuro. Parte inferior: Arcilla con escaso limo, color gris claro.
15/09/2018	-		24.40	27.30		CPTu	CPTu			290.00	-	-	Avance con piezocono (A 27.30m, qc=5.24kg/cm2, se decide la extracción de Tubo Shelby).
15/09/2018	8		27.30	28.00		TS-5	PRESIÓN			70.00	68.00	97	Parte superior e inferior: Arcilla limpia, color gris claro.
15/09/2018	9		28.00	28.60		SPT	PH	2	4	60.00	50.00	83	25 cm: Arcilla limpia, color gris verdoso. 25 cm: Arcilla, color café rojizo.
15/09/2018	10		28.60	29.20		SPT	16	30	17	60.00	21.00	-	4 cm: Arcilla limpia, color café rojizo. 12 cm: Arena fina, color negro. 5 cm: Limo con arena fina, color gris claro.
17/09/2018	11		29.20	29.80		SPT	11	12	18	60.00	29.00	48	Limo con arena fina, color gris claro.
17/09/2018	12	4.40	29.80	30.25		SPT	20	50/30	-	45.00	30.00	67	Limo arenoso, color gris oscuro.
17/09/2018	-		30.25	31.50		BTR	PMT-1			125.00	-	-	Prueba 1 de Presiómetro (PMT-1). Prof. prueba= 30.50m --> Avolmáx= 7 cm ³ , P _{max} = 35 bares.
17/09/2018	13		31.50	31.95		SPT	20	50/30	-	45.00	20.00	44	Limo con arena fina, con micas aislada y grupos del mismo material, color gris claro.
17/09/2018	-		31.95	32.10		BTR	AVANCE			15.00	-	-	Avance con broca tricónica.
17/09/2018	14		32.10	32.70		SPT	1	3	3	60.00	35.00	58	Arcilla con escasa arena fina, color gris oscuro (se encontró una grava gruesa al centro de la muestra).
18/09/2018	-		32.70	33.60		CPTu	CPTu			90.00	-	-	Avance con piezocono (A 33.60, qc= 243.40kg/cm2 --> el sistema de hincado no es capaz de hacer penetrar el cono).
18/09/2018	15		33.60	34.20		SPT	PH	6	6	60.00	40.00	67	Arcilla con escasa arena fina, color gris oscuro.
18/09/2018	16		34.20	34.80		SPT	PH	PH	6	60.00	43.00	72	Arcilla con escasa arena fina y carbonato de calcio aislado, color gris oscuro.
18/09/2018	17		34.80	35.40		SPT	PH	4	35	60.00	44.00	73	33 cm: Arcilla arenosa, color gris oscuro. 11 cm: Ceniza volcánica, color gris claro.
19/09/2018	18		35.40	35.55		SPT	50/15	-	-	15.00	6.00	40	Ceniza volcánica, color gris claro.
19/09/2018	-		35.55	36.00		BTR	AVANCE			45.00	-	-	Avance con broca tricónica.
OBSERVACIONES										NAF: 2.40 m			
Uso de tubo shelby de 2 1/2" de diámetro.													
Presiómetro de Menard (PMT). Longitud = 1.60m													

BTR= BROCA TRICÓNICA (2 15/16" Ø)
 BD= BROCA TIPO DRAG (2 15/16" Ø)
 BNQ= BARRIL NQ
 PH = PESO DE LA HERRAMIENTA

SPT= PENETRACIÓN ESTANDAR
 TS = TUBO SHELBY

OTRA: _____

Figura 42. Registro de campo b

REGISTRO DE CAMPO										Obra : COPPEL SAN COSME Ubicación : Av. Insurgentes Norte #3, Col. Buenavista, Del. Cuauhtémoc, Ciudad de México. Sondeo N° : SM-2 Coordenadas : 19°26'24.13"N, 99°9'17.96"W Elevación : 2234 m Procedimiento : CPTu y SPT - Perforadora: LONGYEAR MOD. 38 Fecha : 12 al 25 de septiembre del 2018 Operador : Isai Castellanos (SPT), Edwin Pérez (CPTu)			
FECHA	MUESTRA N°	ESTRATO EN M	PROFUNDIDADES m		TIPO DE HERRAMIENTA		PENETRACIÓN ESTÁNDAR NÚMERO DE GOLPES			LONG. PERF. CM	LONG. RECUPERACIÓN		CLASIFICACIÓN DE CAMPO
			DE	A	AVANCE	MUESTREO	15 cm	30cm	15cm		CM	CM	
19/09/2018	19	3.60	36.00	36.60		TS-R	PRESIÓN			60.00	27.00	45	Parte superior: Arcilla, color gris oscuro. Parte inferior: Arcilla con escaso limo, color gris claro.
19/09/2018	20		36.60	37.20		TS-6	PRESIÓN			60.00	55.00	92	Parte superior e inferior: Arcilla con arena fina y micas, color gris oscuro.
19/09/2018	-		37.20	38.20		CPTu	PRESIÓN			100.00	-	-	Avance con piezocono (A 38.20m, qc= 491.47kg/cm2 --> el sistema de hincado no es capaz de hacer penetrar el cono).
19/09/2018	21		38.20	38.57		SPT	20	50/22	-	37.00	33.00	89	12 cm: Arena fina, color negro. 21 cm: Limo arenoso y micas, color gris claro.
19/09/2018	-		38.57	38.90	BD		AVANCE			23.00	-	-	Avance con broca tipo drag.
19/09/2018	22		38.90	39.40		SPT	24	38	19	60.00	55.00	92	Limo arenoso con micas, color gris claro con presencia de gravas gruesas al centro (rescurrimiento).
20/09/2018	23	4.40	39.40	40.00		SPT	20	47	26	60.00	50.00	83	Limo arenoso, color gris claro.
20/09/2018	24		40.00	40.43		SPT	20	50/28	-	43.00	43.00	100	Limo arenoso con mica y grumos del mismo material, con presencia de gravas de 1/2 a 1" al centro.
20/09/2018	-		40.43	40.60	BD		AVANCE			17.00	-	-	Avance con broca tipo drag.
21/09/2018	25		40.60	41.20		SPT	11	24	14	60.00	44.00	73	Limo arenoso con escasos grumos del mismo, color gris claro.
21/09/2018	26		41.20	41.60		SPT	10	25	14	60.00	51.00	85	Limo arenoso con micas y gravas medias aisladas (último 10 cm).
21/09/2018	-		41.60	42.02		SPT	21	50/7	-	22.00	-	-	Sin recuperación.
22/09/2018	-		42.02	42.40	BD		AVANCE			38.00	-	-	Avance con broca tipo drag.
22/09/2018	27	10.59	42.40	42.85		SPT	11	50/30	-	45.00	35.00	78	Limo arenoso cementado, color gris claro.
22/09/2018	-		42.85	43.00	BD		AVANCE			15.00	-	-	Avance con broca tipo drag.
24/09/2018	-		43.00	45.00	BD	PMT	P M T - 2			200.00	-	-	Prueba 2 de Presiómetro (PMT-1). Prof. prueba= 43.80m --> Δvolmáx= 24 cm³. Pmáx= 25 bares.
24/09/2018	28		45.00	45.20		SPT	35	50/5	-	20.00	20.00	100	Limo arenoso cementado, color gris claro.
25/09/2018	9		45.20	47.20	BD	PMT	P M T - 3			200.00	-	-	Prueba 3 de Presiómetro (PMT-1). Prof. prueba= 30.50m --> Δvolmáx= 7 cm³. Pmáx= 35 bares.
25/09/2018	29		47.20	47.35		SPT	50/15	-	-	15.00	15.00	100	Arena fina limosa, color gris oscuro con tonalidades verdosas.
25/09/2018	-		47.35	49.35	BD	PMT	P M T - 4			200.00	-	-	Prueba 4 de Presiómetro (PMT-1). Prof. prueba= 48.15m --> Δvolmáx= 12 cm³. Pmáx= 50 bares.
25/09/2018	30		49.35	49.65		SPT	30	50/15	-	30.00	5.00	17	Arena fina poco limosa, color gris oscuro con tonalidades verdosas.

OBSERVACIONES		NAF:	2.40	m
Uso de tubo shelby de 2 1/2" de diámetro.				
Presiómetro de Menard (PMT). Longitud = 1.60m				

BTR= BROCA TRICÓNICA (2 15/16" Ø)
BD= BROCA TPO DRAG (2 15/16" Ø)
BNQ= BARRIL NQ
PH= PESO DE LA HERRAMIENTA

SPT= PENETRACIÓN ESTÁNDAR
TS= TUBO SHELBY

OTRA: _____

Figura 43. Registro de campo c

REGISTRO DE CAMPO DE PIEZOCONO												
SONDEO		SM-2		OPERA DOR		Edwin Perez			HOJA		1 DE 4	
MAQUINA		Longyear 34		AREA		147.03 cm ²	DIA M. PUNTA	3.6 cm	PRFNA F	2.44 m	PROF.:	48.65 m
FECHA INIC.: 12/09/2018		COND No.		1.00		CONSOLA N°		1.00	AREA PUNTA	10.18 cm ²	LONG. DE FUSTE	13 cm
FECHA FIN: 25/09/2018												
Punto:	Profund. Relativa, h [m]:	Esfuerzo de punta [kg/cm ²]	Esfuerzo de fuste [kg/cm ²]	Presión de poro [kg/cm ²]	Profundidad Real, h [m]:	Punto:	Profund. Relativa, h [m]:	Esfuerzo de punta [kg/cm ²]	Esfuerzo de fuste [kg/cm ²]	Presión de poro [kg/cm ²]	Profundidad Real, h [m]:	
Losas de concreto con casetones de block hueco 0.23 m espesor						26	2.40	4.921	0.568	3.721	10.90	
Sotano (entrepiso, altura libre 4.27 m)						27	2.50	5.258	0.631	3.750	11.00	
Losas de concreto armado 0.20 m						28	2.60	5.248	0.612	3.771	11.10	
Block hueco 0.40 m con placas de poliestireno						29	2.70	4.203	0.583	3.833	11.20	
Celda de cimentacion espacio abierto 1.20 m altura libre						30	2.80	5.466	0.555	3.865	11.30	
Losas de concreto armado 0.25 m						31	2.90	5.046	0.585	3.868	11.40	
SPT (32-3-2) Arcilla gris verdosa						32	3.00	4.604	0.656	3.790	11.50	
SPT (PH-PH-PH) Arcilla gris verdoso						33	3.10	5.323	0.613	3.832	11.60	
Avance triconica						34	3.20	5.115	0.617	3.853	11.70	
Tubo Shelby Arcilla gris verdoso						35	3.30	5.364	0.586	3.910	11.80	
1					8.40	36	3.40	5.292	0.574	3.924	11.90	
2	0.00	3.724	0.378	3.030	8.50	37	3.50	5.711	0.633	4.000	12.00	
3	0.10	4.197	0.400	3.050	8.60	38	3.60	6.105	0.617	4.040	12.10	
4	0.20	4.120	0.437	3.061	8.70	39	3.70	6.056	0.629	4.056	12.20	
5	0.30	4.003	0.439	3.092	8.80	40	3.80	5.566	0.640	4.103	12.30	
6	0.40	4.416	0.469	3.117	8.90	41	3.90	6.462	0.617	4.127	12.40	
7	0.50	4.462	0.503	3.343	9.00	42	4.00	17.439	0.801	4.071	12.50	
8	0.60	4.849	0.505	3.360	9.10	43	4.10	13.347	1.096	4.813	12.60	
9	0.70	4.704	0.525	3.390	9.20	44	4.20	12.590	0.968	4.997	12.70	
10	0.80	4.448	0.514	3.436	9.30	45	4.30	11.410	0.875	4.237	12.80	
11	0.90	4.405	0.510	3.456	9.40	46	4.40	6.160	0.766	4.556	12.90	
12	1.00	4.722	0.517	3.594	9.50	47	4.50	5.161	0.845	4.501	13.00	
13	1.10	4.875	0.524	3.596	9.60	48	4.60	4.579	0.717	4.564	13.10	
14	1.20	4.954	0.549	3.619	9.70	49	4.70	4.181	0.671	4.487	13.20	
15	1.30	4.662	0.565	3.661	9.80	50	4.80	4.075	0.669	4.380	13.30	
16	1.40	4.501	0.557	3.686	9.90	51	4.90	4.067	0.679	4.354	13.40	
17	1.50	4.445	0.613	3.639	10.00	52	5.00	4.783	0.685	4.282	13.50	
18	1.60	4.655	0.602	3.623	10.10	53	5.10	4.723	0.661	4.312	13.60	
19	1.70	4.774	0.621	3.657	10.20	54	5.20	4.589	0.657	4.313	13.70	
20	1.80	4.704	0.617	3.618	10.30	55	5.30	4.869	0.655	4.333	13.80	
21	1.90	4.552	0.604	3.646	10.40	56	5.40	4.692	0.649	4.360	13.90	
22	2.00	5.073	0.615	3.647	10.50	57	5.50	4.818	0.701	4.302	14.00	
23	2.10	5.005	0.621	3.647	10.60	58	5.60	5.149	0.659	4.368	14.10	
24	2.20	4.750	0.638	3.670	10.70	59	5.70	5.203	0.666	4.400	14.20	
25	2.30	4.788	0.634	3.676	10.80	60	5.80	5.100	0.690	4.456	14.30	

Figura 44. Registro de campo Piezocono a

REGISTRO DE CAMPO DE PIEZOCONO																			
SONDED		SM-2		OPERADOR				Edwin Perez			HOJA		2 DE 4						
MAQUINA		Longyear 34		AREA		147.03 cm ²		DIAM. PUNTA		3.6 cm		PRFNAF		2.44 m		PROF.:		48.65 m	
FECHA INIC.: 12/09/2018				COND No.		1.00		CONSOLA N°		1.00		AREA PUNTA		10.18 cm ²		LONG. DE FUSTE		13 cm	
FECHA FIN: 25/09/2018																			
Punto:	Profund. Relativa, h [m]:	Esfuerzo de punta [kg/cm ²]	Esfuerzo de fuste [kg/cm ²]	Presión de poro [kg/cm ²]	Profundidad Real, h [m]:	Punto:	Profund. Relativa, h [m]:	Esfuerzo de punta [kg/cm ²]	Esfuerzo de fuste [kg/cm ²]	Presión de poro [kg/cm ²]	Profundidad Real, h [m]:								
Tubo Shelby (No se recupero muestra)					14.30-14.80						93	9.10	131.715	4.183	1.755	19.70			
SPT (PH-PH-PH) Arcilla gris verdoso					14.80-15.40						94	9.20	75.068	5.203	-0.166	19.80			
Tubo Shelby Arcilla gris verdoso					15.40-16.30						95	9.30	17.190	3.832	-0.453	19.90			
61	5.90	5.560	0.417	-0.950	16.40	96	9.40	15.311	1.640	1.590	20.00								
62	6.00	5.540	0.484	-0.923	16.50	97	9.50	9.316	1.632	-0.435	20.10								
63	6.10	6.183	0.518	-0.886	16.60	98	9.60	8.162	1.635	-0.696	20.20								
64	6.20	6.074	0.569	-0.855	16.70	99	9.70	6.984	1.629	-0.720	20.30								
65	6.30	6.096	0.587	-0.809	16.80	100	9.80	4.145	1.621	-0.811	20.40								
66	6.40	5.314	0.648	-0.570	16.90	Tubo Shelby arcilla gris verdoso					20.30-21.20								
67	6.50	5.148	0.644	-0.514	17.00	101	9.90	6.015	0.864	1.260	21.30								
68	6.60	4.897	0.629	-0.490	17.10	102	10.00	5.898	1.068	2.450	21.40								
69	6.70	5.943	0.674	-0.437	17.20	103	10.10	5.729	1.102	2.275	21.50								
70	6.80	6.381	0.721	-0.386	17.30	104	10.20	5.878	1.109	2.237	21.60								
71	6.90	7.140	0.847	-0.170	17.40	105	10.30	4.993	1.076	2.264	21.70								
72	7.00	6.884	0.827	-0.078	17.50	106	10.40	-46.578	1.331	1.906	21.80								
73	7.10	6.615	0.871	-0.058	17.60	107	10.50	-39.563	1.205	1.514	21.90								
74	7.20	6.463	0.849	0.063	17.70	108	10.60	-36.949	1.337	1.593	22.00								
75	7.30	11.876	0.858	-0.753	17.80	109	10.70	-36.647	1.391	1.648	22.10								
76	7.40	8.996	1.003	-1.685	17.90	110	10.80	-35.429	1.172	0.299	22.20								
77	7.50	7.545	1.117	-1.651	18.00	111	10.90	-30.481	1.308	1.205	22.30								
78	7.60	6.015	1.048	-1.624	18.10	112	11.00	-28.191	1.427	1.266	22.40								
79	7.70	6.181	1.035	-1.586	18.20	113	11.10	-26.682	1.411	1.261	22.50								
80	7.80	6.702	1.004	-1.556	18.30	114	11.20	-25.704	1.490	1.384	22.60								
81	7.90	5.498	1.010	-1.406	18.40	115	11.30	17.116	1.373	1.536	22.70								
82	8.00	5.277	1.013	-1.337	18.50	116	11.40	-23.995	1.593	0.783	22.80								
83	8.10	4.463	0.996	-1.297	18.60	117	11.50	-29.013	1.294	0.741	22.90								
84	8.20	4.548	1.010	-1.267	18.70	118	11.60	-27.832	1.145	-0.797	23.00								
85	8.30	4.897	1.006	-1.203	18.80	119	11.70	-25.055	1.178	-0.718	23.10								
86	8.40	4.097	1.128	-0.983	18.90	120	11.80	-31.935	1.005	-0.013	23.20								
87	8.50	4.434	1.102	-0.921	19.00	121	11.90	-36.431	1.016	-0.629	23.30								
88	8.60	3.988	1.069	-0.879	19.10	122	12.00	-37.428	1.077	-0.427	23.40								
89	8.70	4.406	1.002	-0.778	19.20	123	12.10	-37.144	1.074	-0.260	23.50								
90	8.80	13.053	0.997	-0.695	19.30	Tubo Shelby arcilla gris verdoso					23.50-24.40								
91	8.90	80.311	1.515	-1.074	19.40	124	12.20	4.426	0.059	1.588	24.50								
92	9.00	94.592	3.735	-0.083	19.50	125	12.30	3.406	0.070	1.772	24.60								

Figura 45. Registro de campo Piezocono b

REGISTRO DE CAMPO DE PIEZOCONO																			
SONDED		SM-2		OPERADOR			Edwin Perez			HOJA		3 DE 4							
MAQUINA		Longyear 34		AREA		147.03 cm ²		DIA M. PUNTA		3.6 cm		PRFNAF		2.44 m		PROF.:		48.65 m	
FECHA INC.: 12/09/2018				CONO No.		1.00		CONSOLA N°		1.00		AREA PUNTA		10.18 cm ²		LONG. DE FUSTE		13 cm	
FECHA RN: 25/09/2018																			
Punto:	Profund. Relativa, h [m]:	Esfuerzo de punta [kg/cm ²]	Esfuerzo de fuste [kg/cm ²]	Presión de poro [kg/cm ²]	Profundidad Real, h [m]:	Punto:	Profund. Relativa, h [m]:	Esfuerzo de punta [kg/cm ²]	Esfuerzo de fuste [kg/cm ²]	Presión de poro [kg/cm ²]	Profundidad Real, h [m]:								
126	12.40	3.844	0.105	2.093	24.70	153	15.10	4.011	0.048	3.394	32.80								
127	12.50	4.318	0.068	2.040	24.80	154	15.20	12.367	0.104	7.241	32.90								
128	12.60	10.787	0.102	1.335	24.90	155	15.30	12.896	0.287	6.290	33.00								
129	12.70	5.949	0.668	2.105	25.00	156	15.40	13.451	0.461	6.512	33.10								
130	12.80	4.691	0.317	2.231	25.10	157	15.50	13.283	0.466	5.756	33.20								
131	12.90	3.857	0.149	1.177	25.20	158	15.60	12.405	0.400	6.573	33.30								
132	13.00	4.093	0.174	1.101	25.30	159	15.70	12.886	0.427	7.046	33.40								
133	13.10	3.139	0.190	1.157	25.40	160	15.80	144.696	0.754	6.297	33.50								
134	13.20	4.504	0.372	0.326	25.50	161	15.90	243.407	0.645	7.544	33.60								
135	13.30	5.500	0.317	0.541	25.60	SPT (PH-06-06) Arcilla gris verdoso					33.60-34.20								
136	13.40	4.206	0.246	0.788	25.70	SPT (PH-PH-06) Arcilla gris verdoso					34.20-34.80								
137	13.50	4.465	0.292	0.802	25.80	(PH-04-35) P Sup. Arcilla gris oscuro; P. Inf. Ceniza volc					34.80-35.40								
138	13.60	4.598	0.184	-0.163	25.90	SPT (50/15) Ceniza volcánica					35.40-35.55								
139	13.70	5.159	0.367	0.453	26.00	Tubo Shelby Arcilla verdosa					36.00-36.60								
140	13.80	5.478	0.306	1.206	26.10	Tubo Shelby Arcilla verdosa					36.60-37.20								
141	13.90	4.561	0.328	1.379	26.20	162	16.00	15.299	-0.062	1.233	37.30								
142	14.00	5.708	0.345	1.141	26.30	163	16.10	34.425	-0.687	1.233	37.40								
143	14.10	5.821	0.442	1.142	26.40	164	16.20	33.750	-0.846	1.233	37.50								
144	14.20	6.344	0.516	1.012	26.50	165	16.30	23.765	-0.549	1.233	37.60								
145	14.30	6.016	0.499	1.329	26.60	166	16.40	20.749	-0.015	1.233	37.70								
146	14.40	7.108	0.361	1.677	26.70	167	16.50	14.606	-0.112	1.233	37.80								
147	14.50	7.261	0.450	1.737	26.80	168	16.60	80.424	0.666	1.233	37.90								
148	14.60	7.607	0.474	1.864	26.90	169	16.70	117.265	0.175	1.233	38.00								
149	14.70	7.161	0.470	2.156	27.00	170	16.80	363.782	0.648	1.233	38.10								
150	14.80	6.918	0.580	2.656	27.10		16.90	491.474	0.345	1.233	38.20								
151	14.90	7.241	0.591	2.871	27.20	SPT (30-50/22) P. Sup Arena fina, P. Inf. Limo gris verdoso					38.20-38.57								
152	15.00	5.244	0.510	2.955	27.30	SPT (24-38-19) Limo arenoso gris claro					38.80-39.40								
Tubo Shelby arcilla gris verdoso					27.30-28.00	SPT (20-47-26) Limo arenoso gris claro con gravas finas aisladas					39.40-40.00								
SPT (PH-02-04) P. Sup Arcilla verdosa, P. Inf. Arcilla rojiza					28.00-28.60	SPT (26-50/28) Limo arenoso gris claro con gravas finas aisladas					40.00-40.43								
SPT (10-30-17) P. Sup Arena fina, P. Inf. Limo gris claro					28.60-29.20	SPT (11-24-14) Limo arenoso gris claro con gravas finas aisladas					40.60-41.20								
SPT (08-12-18) Limo gris claro					29.20-29.80	SPT (12-24-14) Limo arenoso gris claro con gravas finas aisladas					41.20-41.80								
SPT (20-50) Limo arenoso gris claro					29.80-30.25	SPT (21-50/07) Sin recuperación de muestra					41.80-42.02								
PRESIOMETRO 1					30.25-31.50	SPT (11-50) Limo poco arenoso gris claro					42.40-42.85								
SPT (20-50) Limo arenoso gris claro					31.50-31.95	PRESIOMETRO No. 2					43.00-45.00								
SPT (01-03-03) Arcilla gris con una grava de 1"					32.10-32.70	SPT (35-50/05) Limo poco arenoso gris claro.					45.00-45.20								

Figura 46. Registro de Piezocono c

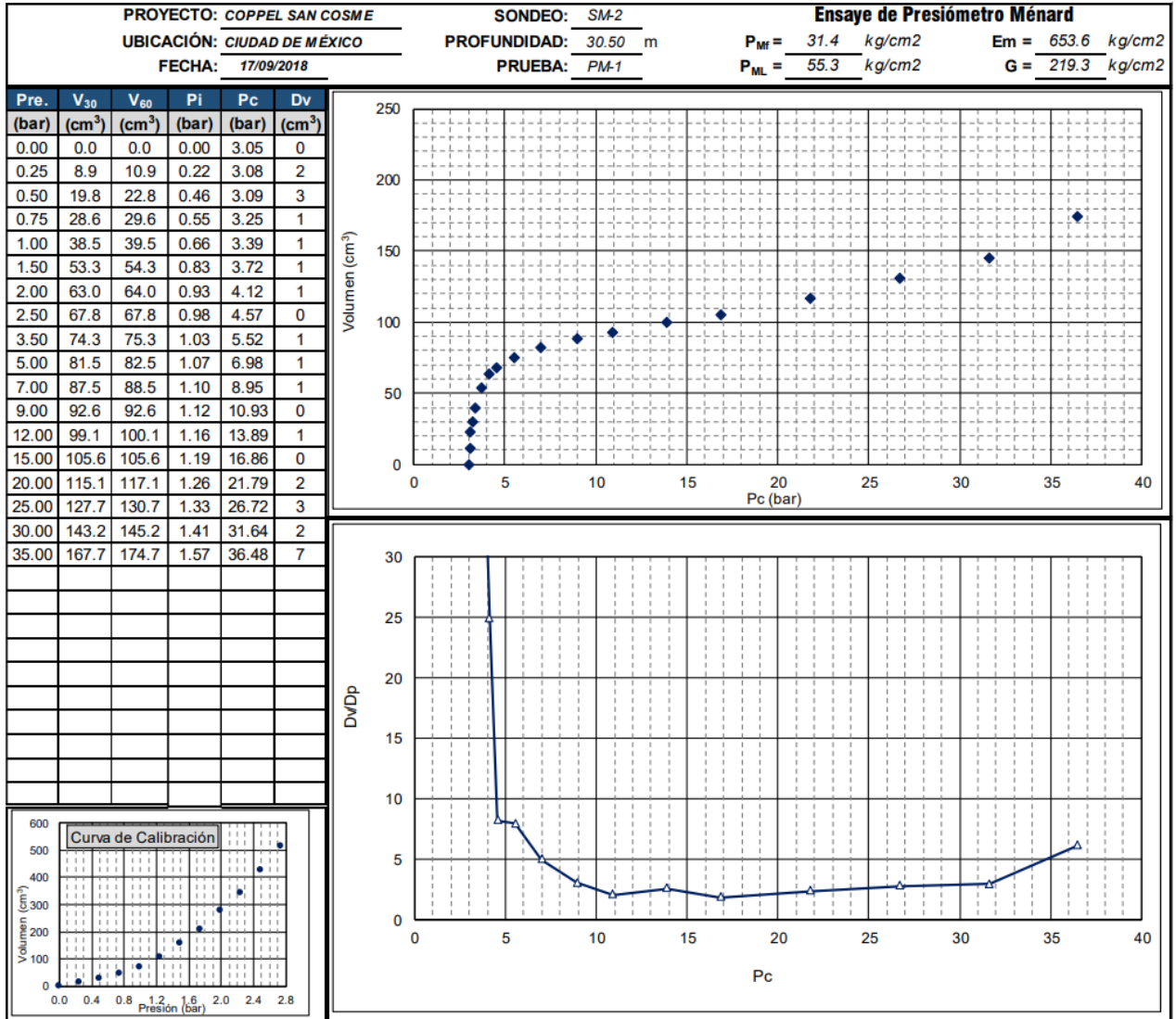


Figura 48. Ensaye de presiómetro Ménard a 30.50 m

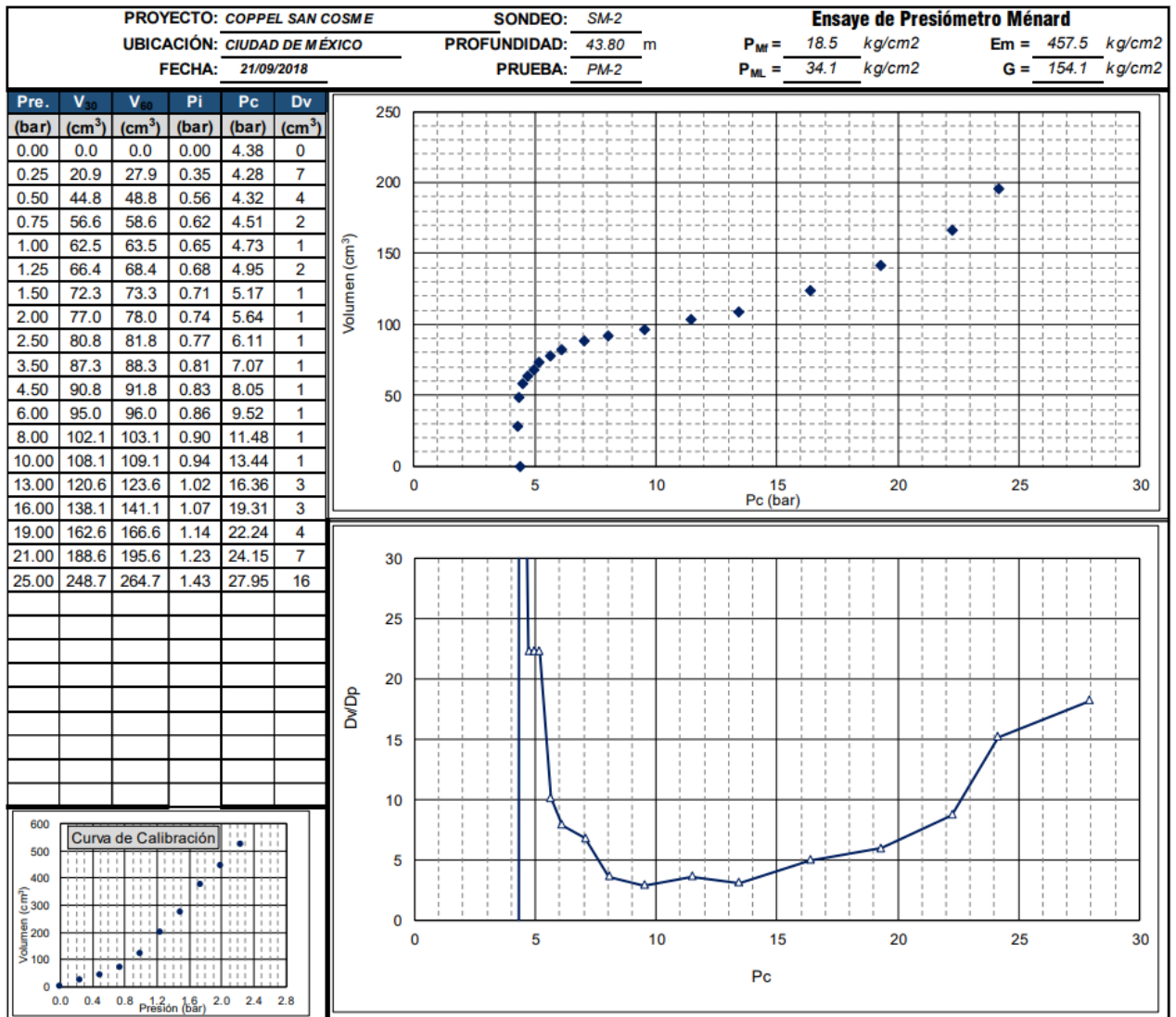


Figura 49. Ensaye de presiómetro Menard a 43.80 m

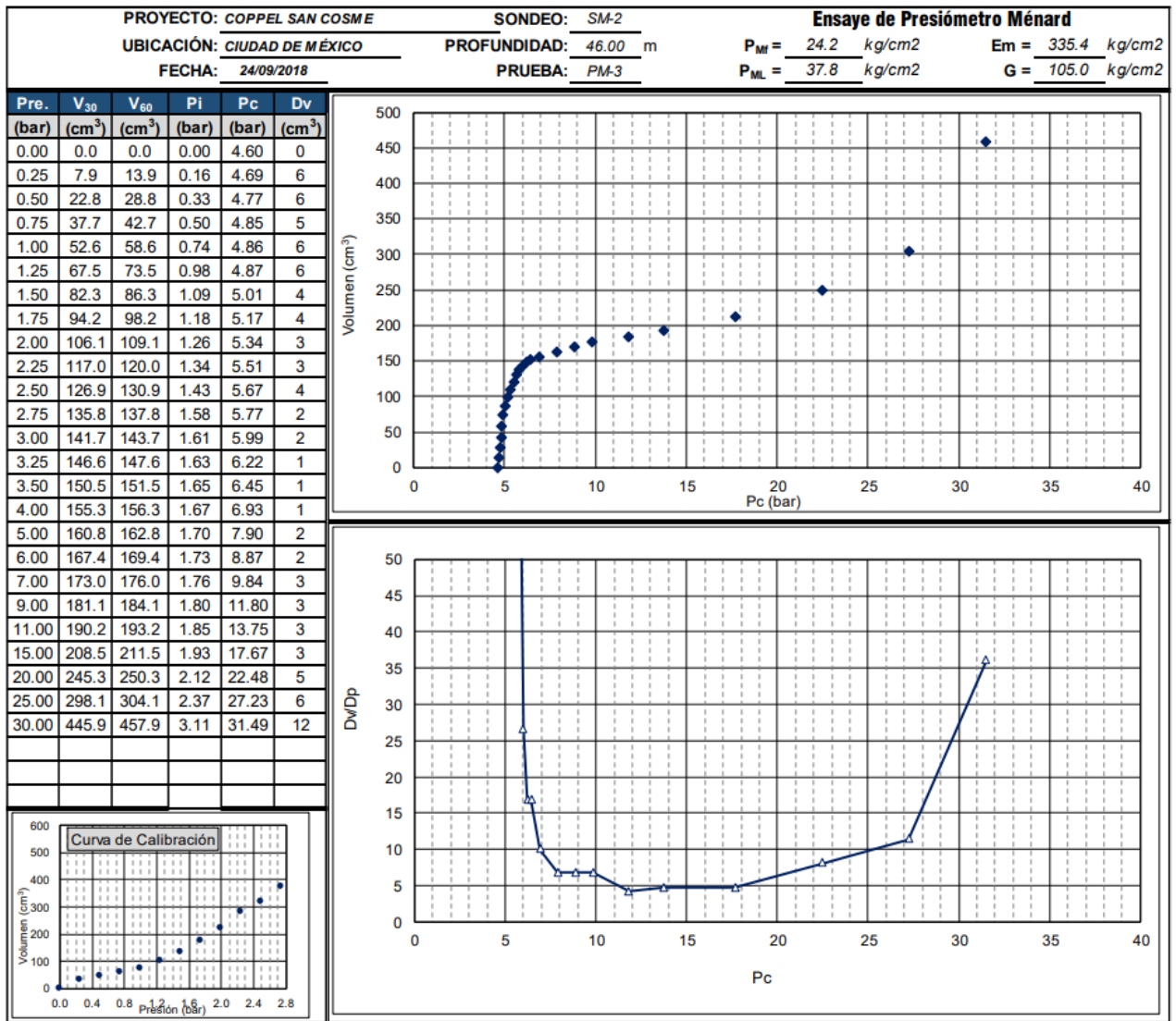


Figura 50. Ensaye de presiómetro Menard a 46 m

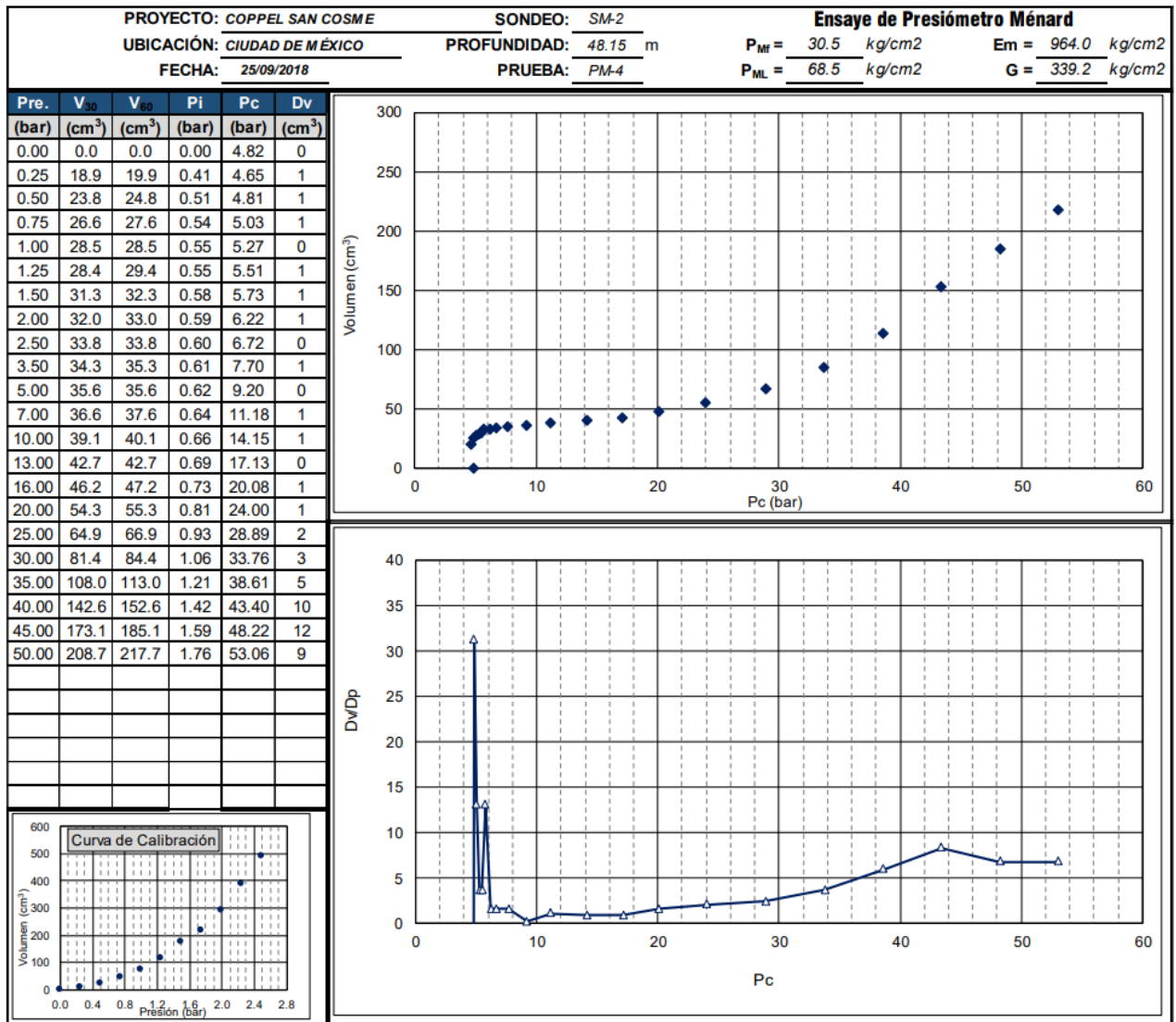


Figura 51. Ensaye de presiómetro Ménard a 48.15 m

Anexo 2“Resultados de las pruebas de laboratorio”

OBRA: COPPEL SAN COSME													DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA Y						
UBICACIÓN: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuauhtémoc, Ciudad de México													CLASIFICACION VISUAL Y AL TACTO						
Fecha: 24/09/2019																			
Sondeo N°	Profundidad		Muestra		Tara		Peso húmedo más Tara	Peso Seco más Tara	Peso del agua	Peso Seco	Contenido de agua %w	Arena %	Plasticidad	Resistencia	Dilatancia	Tenacidad	Humedad	Color	Clasificación visual y al tacto
	De	A	No.	Tipo	No.	Peso g	W _{H+T}	W _{S+T}	W _w	W _s									
SM-1	46.60	46.75	26	R	539	26.42	189.43	159.18	30.25	132.76	22.79	80	B	N	R	B	H	Café oscuro	Arena fina con pocos finos de limo y mica
SM-1	47.20	47.25	27	R	13	26.13	99.23	84.94	14.29	58.81	24.30	80	B	N	R	B	H	Café oscuro	Arena fina con pocos finos de limo y mica
SM-1	15.80	16.10	28	R	100	22.55	242.42	194.51	47.91	171.96	27.86	80	NP	B	R	B	H	Café oscuro	Arena fina
SM-1	16.10	16.40	29	R	600	21.84	122.27	95.72	26.55	73.88	35.94	80	NP	B	R	B	H	Café oscuro	Arena fina con poca mica
SM-2	6.55	7.15	1	R	199	20.23	65.63	31.82	33.81	11.59	291.72	25	A	MA	N	A	H	Gris verdoso	Arcilla con arena
SM-2	7.15	7.75	2	R	251	20.76	182.85	62.39	120.46	41.63	289.36	25	A	A	N	A	H	Gris verdoso	Arcilla con arena
SM-2	7.85	8.40	3	S	77	15.58	176.74	55.12	121.62	39.54	307.59	15	A	A	N	A	H	Café amarillento	Arcilla
SM-2	14.80	15.40	4	R	273	20.68	137.52	45.83	91.69	25.15	364.57	25	A	A	N	A	H	Gris verdoso	Arcilla con arena
SM-2	15.40	16.30	5	S	309	18.56	228.80	78.21	150.59	59.65	252.46	20	A	MA	N	A	H	Gris verdoso	Arcilla con arena
SM-2	20.30	21.10	6	S	235	17.95	133.35	49.80	83.55	31.85	262.32	15	A	MA	N	A	H	Gris	Arcilla
SM-2	23.50	24.40	7	S	162	16.71	160.62	84.42	76.20	67.71	112.54	20	A	A	N	A	H	Gris	Limo con poca arena
SM-2	27.30	28.00	8	S	210	18.75	164.69	64.42	100.27	45.67	219.55	25	A	A	L	A	H	Gris verdoso	Limo con arena
SM-2	28.00	28.40	9-1	R	290	15.09	140.33	51.19	89.14	36.10	246.93	20	A	MA	N	A	H	Gris oscuro y verdoso	Arcilla con poca arena
SM-2	28.40	28.60	9-2	R	336	15.42	95.86	38.38	57.48	22.96	250.35	20	A	MA	N	A	H	Rojizo	Arcilla con poca arena
SM-2	28.60	28.80	10-1	R	279	19.74	63.72	36.69	27.03	16.95	159.47	25	A	M	N	A	H	Café rojizo	Arcilla con arena
SM-2	28.80	29.00	10-2	R	383	15.26	187.72	142.73	44.99	127.47	35.29	80	NP	B	R	B	H	Café oscuro	Arena media a media con poca arcilla
SM-2	29.00	29.20	10-3	R	292	14.77	64.90	50.77	14.13	36.00	39.25	45	M	M	L	M	H	Gris	Limo arenoso
SM-2	29.20	29.80	11	R	302	15.46	218.26	149.08	69.18	133.62	51.77	40	M	M	L	M	H	Gris	Limo arenoso
SM-2	29.80	30.25	12	R	242	20.39	172.49	121.58	50.91	101.19	50.31	25	A	A	N	A	H	Café oscuro	Limo con arena
SM-2	31.50	31.90	13	R	365	15.31	175.20	121.05	54.15	105.74	51.21	25	A	A	N	A	H	Gris	Limo con arena
SM-2	32.10	32.70	14	R	26	20.34	138.55	64.63	73.92	44.29	166.90	30	A	A	N	A	H	Gris verdoso	Limo arenoso
SM-2	33.60	34.20	15	R	193	20.54	188.50	86.02	102.48	65.48	156.51	20	A	A	N	A	H	Gris oscuro y verdoso	Arcilla con poca arena
SM-2	34.20	34.80	16	S	257	20.27	170.20	75.25	94.95	54.98	172.70	20	A	A	N	A	H	Gris oscuro y verdoso	Arcilla con poca arena
SM-2	34.80	35.25	17-1	R	247	19.70	167.62	76.82	90.80	57.12	158.96	20	A	MA	N	A	H	Gris	Arcilla con poca arena
SM-2	35.25	35.40	17-2	S	255	20.51	105.72	83.32	22.40	62.81	35.66	20	A	A	N	A	H	Blanquisco	Limo con poca arena
SM-2	35.40	35.55	18	S	271	20.80	99.29	80.03	19.26	59.23	32.52	80	NP	B	R	B	H	Blanquisco	Arena fina con poco limo
SM-2	36.00	36.60	19	S	108	64.47	167.93	101.48	66.45	37.01	179.55	20	A	A	N	A	H	Gris	Limo con poca arena
SM-2	36.60	37.20	20	S	xx	18.02	131.89	59.63	72.26	41.61	173.66	20	A	A	N	A	H	Gris	Limo con poca arena
SM-2	38.20	38.30	21-1	R	196	20.68	144.72	118.10	26.62	97.42	27.32	70	B	B	R	B	H	Gris oscuro y verdoso	Arena fina con finos de limo

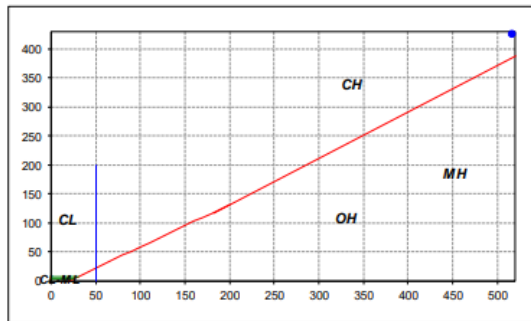
Figura 52. Determinación del contenido de agua y clasificación visual al tacto a

OBRA: COPPEL SAN COSME														DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA Y CLASIFICACION VISUAL Y AL TACTO									
UBICACIÓN: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuauhtemoc, Ciudad de México																							
Fecha: 24/09/2018																							
Sondeo N°	Profundidad		Muestra		Tara		Peso húmedo más Tara	Peso Seco más Tara	Peso del agua	Peso Seco	Contenido de agua %w	Arena %	Plasticidad	Resistencia	Dilatancia	Tenacidad	Humedad	Color	Clasificación visual y al tacto				
	De	A	No.	Tipo	No.	Peso g	W _{h+T}	W _{s+T}	W _w	W _s													
SM-2	38.30	38.50	21-2	R	198	21.05	188.06	138.79	49.27	117.74	41.85	20	A	a	N	A	H	Gris	Limo con poca arena				
SM-2	38.50	38.57	21-3	R	243	20.33	90.19	70.56	19.63	50.23	39.08	20	A	A	N	A	H	Gris verdoso	Limo con poca arena				
SM-2	38.80	39.40	22	R	195	20.50	223.81	168.62	55.19	148.12	37.26	30	A	A	L	A	H	Gris	Limo arenoso				
SM-2	39.40	40.00	23	R	266	18.92	193.24	136.62	56.62	117.70	48.11	30	A	A	L	A	H	Gris	Limo arenoso				
SM-2	40.00	40.43	24	R	258	20.09	216.15	165.15	51.00	145.06	35.16	30	A	A	L	A	H	Gris	Limo arenoso				
SM-2	40.60	41.20	25	R	364	15.36	193.41	141.93	51.48	126.57	40.67	30	A	A	L	M	H	Gris	Limo arenoso				
SM-2	41.20	41.80	26	R	244	20.34	193.33	140.22	53.11	119.88	44.30	30	A	A	L	M	H	Gris	Limo arenoso				
SE-2	42.40	42.85	27	R	238	20.48	194.89	139.40	55.49	118.92	46.66	40	M	M	L	M	H	Gris	Limo arenoso				
SE-2	45.00	45.20	28	R	237	20.12	223.23	188.32	34.91	168.20	20.76	40	M	M	L	M	H	Gris	Limo arenoso				
SE-2	7.20	47.35	29	S	214	17.71	87.69	73.04	14.65	55.33	26.48	20	M	M	L	M	H	Gris	Limo con arena				
SE-2	49.35	49.65	30	R	301	18.15	95.21	76.60	18.61	58.45	31.84	80	NP	B	R	B	H	Negruzco	Arena				

Tipo de Muestra: R Representativa, S Inalterada Shelby, C Inalterada Cúbica, I Integral
 Plasticidad de los finos: NP No plásticos, B Baja, M Media, A Alta
 Resistencia Seca: N Nula, B Baja, M Media, A Alta, MA Muy Alta
 Dilatancia: N Nula, L Lenta, R Rápida
 Tenacidad: B Baja, M Media, A Alta
 Humedad: S Seca, H Húmeda, St Saturada

Figura 53. Determinación del contenido de agua y clasificación visual al tacto b

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL									
PROYECTO: T-1404 SAN COSME									
UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuauhtémoc, CDMX									
MUESTREO: Shelby					FECHA DE INFORME: 28/09/2018				
MUESTRA N°: 3			SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 7.85-8.40				
LIMITE LIQUIDO									
PRUEBA No	CAPS. No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DE TARA gr.	PESO DEL SUELO SECO gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %	
1	660	30	29.70	20.44	9.26	18.60	1.84	503.26	
2	613	24	29.72	21.49	8.23	19.91	1.58	520.89	
3	565	15	32.11	22.56	9.55	20.81	1.75	545.71	
4	520	8	24.93	16.06	8.87	14.52	1.54	575.97	
LIMITE PLASTICO									
1	642		20.23	19.51	0.72	18.70	0.81	88.89	
2	580		20.57	19.53	1.04	18.38	1.15	90.43	
							PROM EDIO	89.66	
HUMEDAD NATURAL									
1	77		176.74	55.12	121.62	15.58	39.54	307.59	



$W = 307.59$
 $W_{L*} = 516.16$
 $W_{P*} = 89.66$
 $I_{P*} = 426.50$
 $C_u = \frac{W_L - W}{I_P} = 0.49$
 $t_w = 126.67$
 $T_w = \frac{I_P}{f_w} = 3.37$
 CLASIFICACION SUCS: **CH**

Figura 54. Límites de plasticidad y humedad natural a 7.85-8.40 m

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME		UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuahitémoc, CDMX		FECHA DE INFORME: 28/09/2018	
MUESTREO: Shelby		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 15.40-16.30	
MUESTRA N°: 5		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 15.40-16.30	

LIMITE LIQUIDO							
PRUEBA No	CAPS.No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DEL TARA gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	510	34	30.36	22.72	7.64	20.02	282.96
2	604	24	28.54	21.16	7.38	18.61	289.41
3	588	12	30.50	21.69	8.81	18.78	302.75
4	640	6	33.02	23.43	9.59	20.38	314.43

LIMITE PLASTICO								
1	641		23.65	22.22	1.43	20.44	1.78	80.34
2	562		23.78	22.23	1.55	20.28	1.95	79.49
							PROMEDIO	79.91

HUMEDAD NATURAL								
1	309		228.80	78.21	150.59	18.56	59.65	252.46

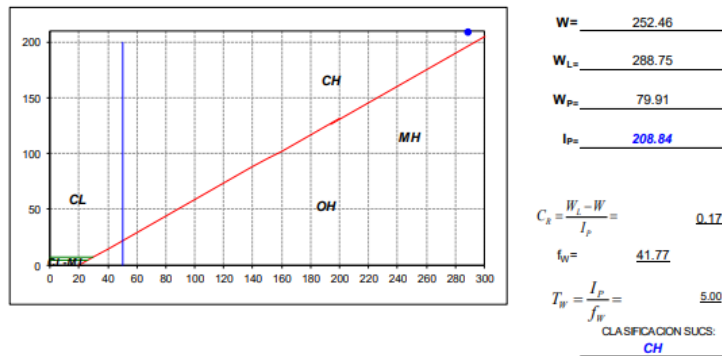


Figura 55. Límites de plasticidad y humedad natural a 15.40-16.30 m

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME		UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuahitémoc, CDMX		FECHA DE INFORME: 28/09/2018	
MUESTREO: Shelby		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 20.30-21.10	
MUESTRA N°: 6		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 20.30-21.10	

LIMITE LIQUIDO							
PRUEBA No	CAPS.No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DEL TARA gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	527	36	26.45	20.76	5.69	18.61	264.65
2	512	23	24.13	19.99	4.14	18.45	268.83
3	600	13	28.15	22.12	6.03	19.94	276.61
4	631	7	30.37	23.19	7.18	20.65	282.68

LIMITE PLASTICO								
1	602		22.52	21.47	1.05	20.17	1.30	80.77
2	596		23.21	22.01	1.20	20.51	1.50	80.00
							PROMEDIO	80.38

HUMEDAD NATURAL								
1	235		133.35	49.80	83.55	17.95	31.85	262.32

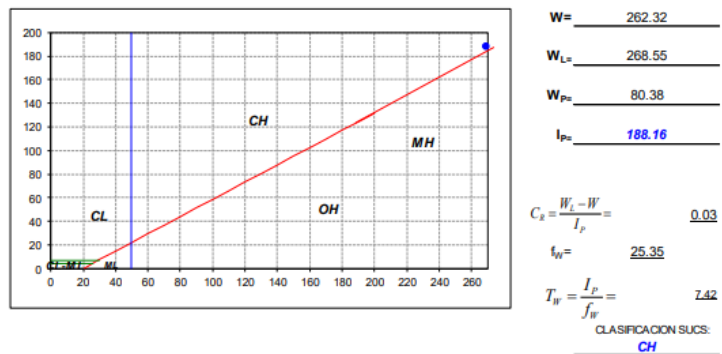


Figura 56. Límites de plasticidad y humedad natural a 20.30-21.10 m

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME		UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuahémoc, CDMX		FECHA DE INFORME: 28/09/2018				
MUESTRO: Shelby		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 23.50-24.40				
LIMITE LIQUIDO								
PRUEBA No.	CAPS. No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DE TARA gr.	PESO DEL SUELO SECO gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	514	35	20.78	18.44	2.34	17.15	1.29	181.40
2	522	24	22.91	19.53	3.38	17.70	1.83	184.70
3	648	17	24.06	20.64	3.42	18.81	1.83	186.89
4	533	10	28.86	23.12	5.74	20.10	3.02	190.07
LIMITE PLASTICO								
1	656		21.75	21.10	0.65	20.43	0.67	97.01
2	534		22.37	21.54	0.83	20.68	0.86	96.51
							PROMEDIO	96.76
HUMEDAD NATURAL								
1	132		160.62	84.42	76.20	16.71	67.71	112.54

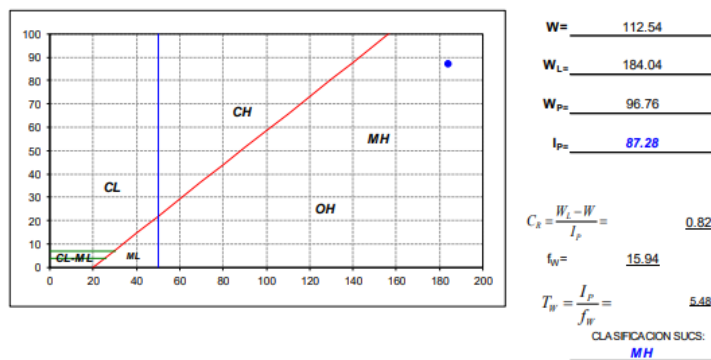


Figura 57. Límites de plasticidad y humedad natural a 23.50-24.40 m

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME		UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuahémoc, CDMX		FECHA DE INFORME: 28/09/2018				
MUESTRO: Shelby		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 27.30-28.00				
LIMITE LIQUIDO								
PRUEBA No.	CAPS. No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DE TARA gr.	PESO DEL SUELO SECO gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	645	35	28.16	22.71	5.45	20.47	2.24	243.30
2	578	25	28.05	21.36	6.69	18.64	2.72	245.96
3	590	15	29.50	22.96	6.54	20.36	2.60	251.54
4	511	7	32.37	23.98	8.39	20.73	3.25	258.15
LIMITE PLASTICO								
1	556		22.54	21.47	1.07	20.49	0.98	109.18
2	506		21.14	19.85	1.29	18.67	1.18	109.32
							PROMEDIO	109.25
HUMEDAD NATURAL								
1	210		164.69	64.42	100.27	18.75	45.67	219.55

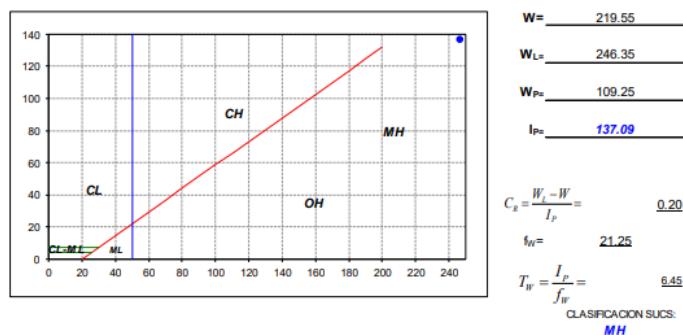


Figura 58. Límites de plasticidad y humedad natural a 27.30-28.0 m

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME							
UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuahémoc, CDMX							
MUESTREO: Representativa				FECHA DE INFORME: 28/09/2018			
MUESTRA N°: 12		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 29.80-30.25			

LIMITE LIQUIDO								
PRUEBA No.	CAPS. No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DE TARA gr.	PESO DEL SUELO SECO gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	595	35	24.98	23.02	1.96	18.79	4.23	46.34
2	500	25	25.50	23.77	1.73	20.18	3.59	48.19
3	647	16	25.21	22.96	2.25	18.45	4.51	49.89
4	508	8	29.52	26.36	3.16	20.31	6.05	52.23

LIMITE PLASTICO								
1	635		23.77	22.82	0.95	20.46	2.36	40.25
2	633		21.06	20.25	0.81	18.23	2.02	40.10
							PROMEDIO	40.18

HUMEDAD NATURAL								
1	242		172.49	121.58	50.91	20.39	101.19	50.31

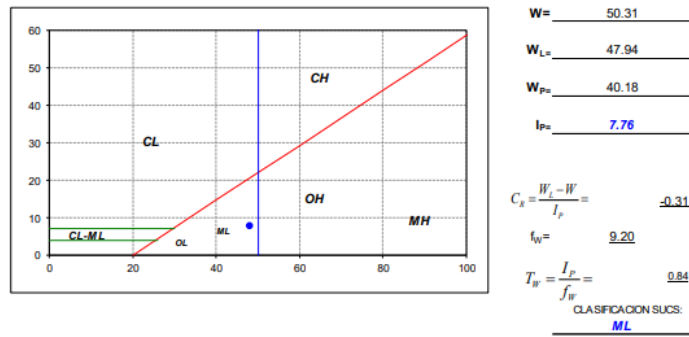


Figura 59. Límites de plasticidad y humedad natural 29.80-30.25 m

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME							
UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuahémoc, CDMX							
MUESTREO: Representativa				FECHA DE INFORME: 28/09/2018			
MUESTRA N°: 14		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 32.10-32.70			

LIMITE LIQUIDO								
PRUEBA No.	CAPS. No.	No. GOLPES	PESO CAPS.+ SUELO HUM. gr.	PESO CAPS.+ SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DE TARA gr.	PESO DEL SUELO SECO gr.	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	649	35	29.04	22.12	6.92	19.45	2.67	259.18
2	661	25	26.89	20.87	6.02	18.60	2.27	265.20
3	623	17	22.89	17.10	5.79	14.95	2.15	269.30
4	644	10	28.88	21.48	7.40	18.81	2.67	277.15

LIMITE PLASTICO								
1	509		21.48	20.05	1.43	18.64	1.41	101.42
2	618		22.28	21.34	0.94	20.40	0.94	100.00
							PROMEDIO	100.71

HUMEDAD NATURAL								
1	246		138.55	64.63	73.92	20.34	44.29	166.90

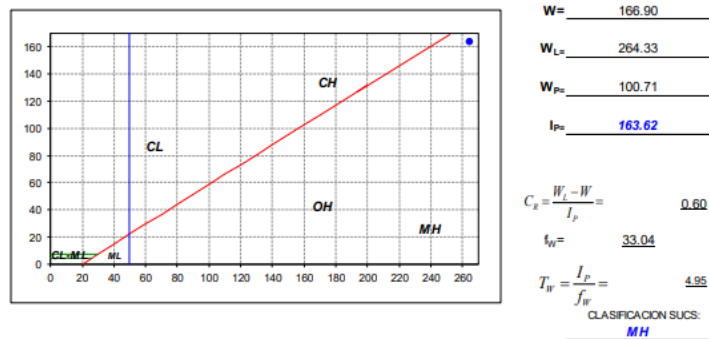


Figura 60. Límites de plasticidad y humedad natural a 32.10-32.70 m

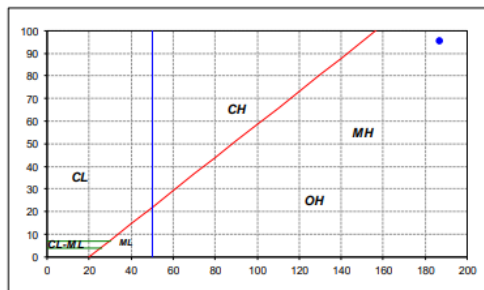
LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

PROYECTO: T-1404 SAN COSME							
UBICACIÓN: Insurgentes N°3, Col Guerrero, Delegación Cuauhtémoc, CDMX							
MUESTREO: Shelby				FECHA DE INFORME: 28/09/2018			
MUESTRA No°: 28		SONDEO N°: SE-2		PROFUNDIDAD: 36.60-37.20			

LIMITE LIQUIDO								
PRUEBA No	CAPS. No	No. GOLPES	PESO CAPS. + SUELO HUM. gr.	PESO CAPS. + SUELO SECO gr.	PESO DEL AGUA gr.	PESO DE TARA gr.	PESO DEL SUELO SECO gr.	CONTENIDO DE AGUA (w) %
1	567	36	26.58	21.28	5.30	18.42	2.86	185.31
2	545	23	27.07	21.63	5.44	18.72	2.91	186.94
3	598	16	25.27	20.02	5.25	17.25	2.77	189.53
4	634	10	28.68	23.16	5.52	20.29	2.87	192.33

LIMITE PLASTICO								
1	559		23.56	22.07	1.49	20.43	1.64	90.85
2	535		21.87	20.33	1.54	18.65	1.68	91.67
							PROMEDIO	91.26

HUMEDAD NATURAL								
1	xx		131.89	59.63	72.26	18.02	41.61	173.66



$W = 173.66$
 $W_L = 187.01$
 $W_P = 91.26$
 $I_P = 95.75$
 $C_u = \frac{W_P - W_L}{I_P} = 0.14$
 $f_w = 12.62$
 $T_w = \frac{I_P}{f_w} = 7.59$
 CLASIFICACION SUCS: **MH**

Figura 61. Límites de plasticidad y humedad natural a 36.60-37.20 m

OBRA: COPPEL SAN COSME

SONDEO: SM-2 **MUESTRA:** 7-TS

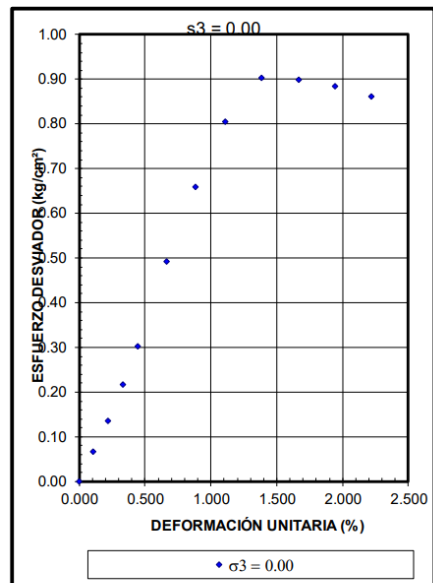
FECHA: 28-sep-18 **PROF.:** 23.50-24.40

PRUEBA No.	wi %	e _i	G _{wi} %	q _u Kg/cm ²	E _s ton/m ²	γ _s Kg/m ³	γ _h Kg/m ³	γ _{Sat} Kg/m ³
1	89.01	1.964	99.85	0.90	646.7	743	1405	1406

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (q_u)	c = 4.5 t/m²
---	--------------------------------

Ss : 2.203

COMPRESIÓN SIMPLE (q_u)



Clasificación: Limo de color gris con poca arena

Figura 62. Compresión simple a 23.50-24.40 m

PROYECTO: COPPEL SAN COSME

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 3-TS

FECHA: 27-sep-18

PROF.: 7.85-8.40

PRUEBA No.	w _i %	e _i %	G _w %	σ ₃ kg/cm ²	σ ₁ - σ ₃ kg/cm ²	Es tmf	γ _{seco} kg/m ³	γ _{húmedo} kg/m ³	γ _{sat} kg/m ³
1	344.32	8.063	99.97	0.500	0.55	440	258	1148	1148
2	330.07	7.736	99.88	1.000	0.58	459	268	1152	1153
3	334.45	7.834	99.95	2.000	0.64	574	265	1151	1152
PROMEDIO	336.28	7.878	99.93			491	264	1150	1151

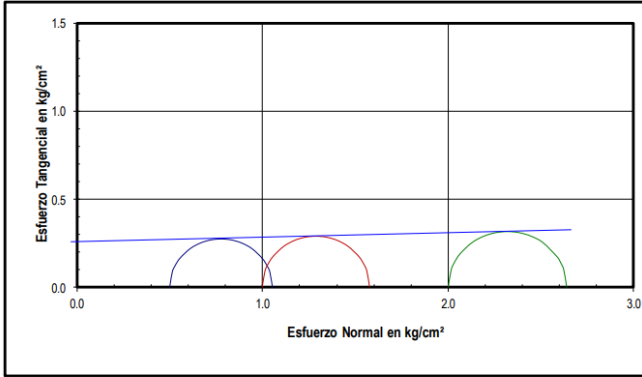
**TRIAxIAL RAPIDA (UU)
NO CONSOLIDADA NO DRENADA**

S_s = 2.341

c = 2.4 t/m²
φ = 1° grados

Porosidad
0.890
0.886
0.887
0.887

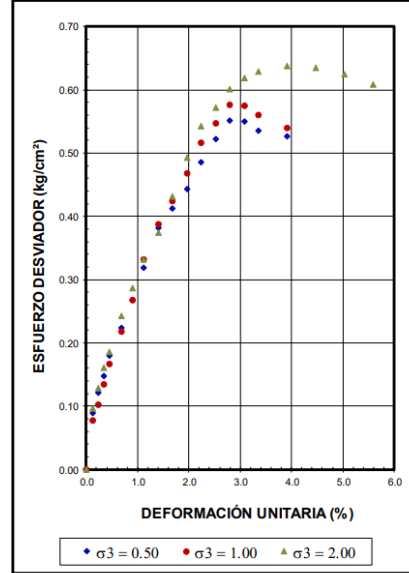
Prom. =



Clasificación: Arcilla con poca arena de color gris verdoso

Figura 63. Triaxial Rápida 7.85-8.40 m

TRIAxIAL RAPIDA



PROYECTO: COPPEL SAN COSME

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 5-TS

FECHA: 27-sep-18

PROF.: 15.40-16.30

PRUEBA No.	w _i %	e _i %	G _w %	σ ₃ kg/cm ²	σ ₁ - σ ₃ kg/cm ²	Es tmf	γ _{seco} kg/m ³	γ _{húmedo} kg/m ³	γ _{sat} kg/m ³
1	234.04	5.766	99.24	0.500	1.00	487	361	1207	1214
2	239.07	5.852	99.89	1.000	1.04	526	357	1210	1211
3	247.13	6.052	99.85	2.000	1.17	585	347	1204	1205
PROMEDIO	240.08	5.890	99.66			533	355	1207	1210

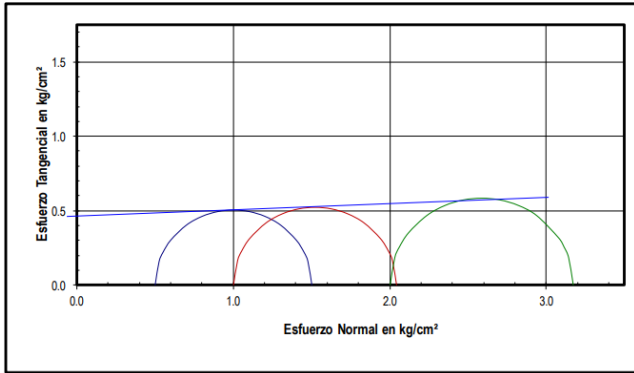
**TRIAxIAL RAPIDA (UU)
NO CONSOLIDADA NO DRENADA**

S_s = 2.445

c = 4.6 t/m²
φ = 3° grados

Porosidad
0.852
0.854
0.858
0.855

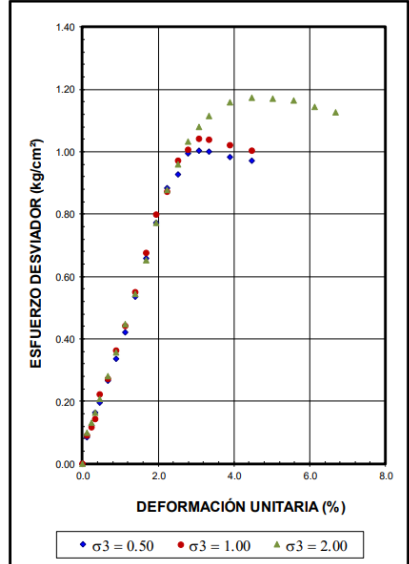
Prom. =



Clasificación: Arcilla con arena de color gris verdoso

Figura 64. Triaxial Rápida a 15.40-16.30 m

TRIAxIAL RAPIDA

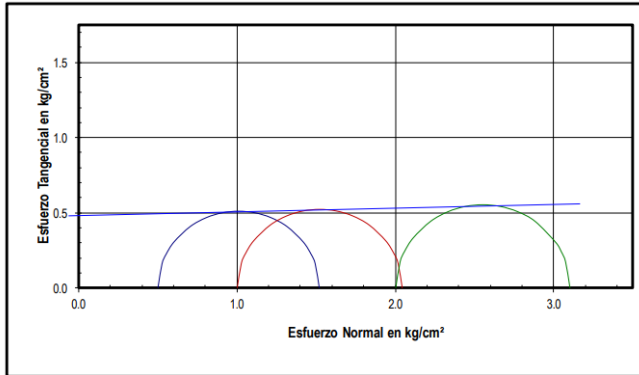


PROYECTO: COPPEL SAN COSME
 SONDEO: SM-2
 FECHA: 27-sep-18

MUESTRA: 6-TS
 PROF.: 20.30-21.10

PRUEBA No.	w _i %	e _i %	G _w %	σ _s kg/cm ²	σ ₁ - σ ₃ kg/cm ²	Es t/m ²	γ _{seco} kg/m ³	γ _{húmedo} kg/m ³	γ _{sat} kg/m ³
1	262.12	6.293	99.97	0.500	1.02	540	329	1192	1192
2	263.16	6.477	97.52	1.000	1.04	812	321	1166	1187
3	235.10	5.669	99.54	2.000	1.10	724	360	1206	1210
PROMEDIO	253.46	6.146	99.01			692	337	1188	1196

TRIAIXIAL RAPIDA (UU) NO CONSOLIDADA NO DRENADA		c = 4.8 t/m²	Porosidad
φ = 1° grados	S_s = 2.4	Prom. =	0.863
			0.866
			0.850
			0.860



Clasificación: Arcilla de color gris

TRIAIXIAL RAPIDA

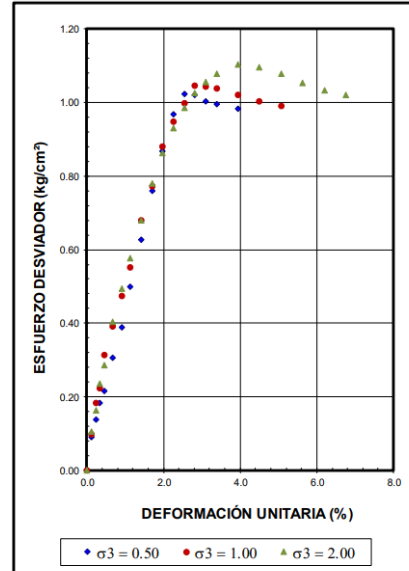


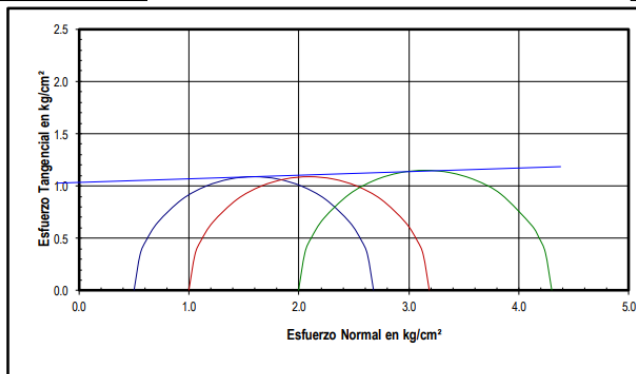
Figura 65 Triaxial Rápida a 20.30-21.10 m

PROYECTO: COPPEL SAN COSME
 SONDEO: SM-2
 FECHA: 27-sep-18

MUESTRA: 8-TS
 PROF.: 27.30-28.00 m

PRUEBA No.	w _i %	e _i %	G _w %	σ _s kg/cm ²	σ ₁ - σ ₃ kg/cm ²	Es t/m ²	γ _{seco} kg/m ³	γ _{húmedo} kg/m ³	γ _{sat} kg/m ³
1	235.56	5.084	99.66	0.500	2.18	837	354	1186	1189
2	254.63	5.484	99.88	1.000	2.18	1052	332	1177	1178
3	230.21	4.958	99.87	2.000	2.30	1287	361	1192	1193
PROMEDIO	240.13	5.175	99.80			1059	349	1185	1187

TRIAIXIAL RAPIDA (UU) NO CONSOLIDADA NO DRENADA		c = 10.2 t/m²	Porosidad
φ = 2° grados	S_s = 2.151	Prom. =	0.836
			0.846
			0.832
			0.838



Clasificación: Limo con arena de color gris verdoso

TRIAIXIAL RAPIDA

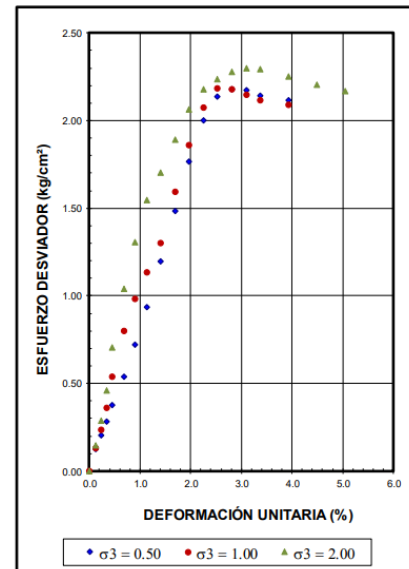


Figura 66. Triaxial Rápida 27.30-28.00 m

PROYECTO: COPPEL SAN COSME

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 20-TS

FECHA: 27-sep-18

PROF.: 36.60-37.20

PRUEBA No.	w _i %	e _s %	G _w %	σ _s kg/cm ²	σ ₁ - σ ₃ kg/cm ²	E _s t/m ²	γ _{seco} kg/m ³	γ _{húmedo} kg/m ³	γ _{sat} kg/m ³
1	163.31	3.448	99.32	0.500	2.34	807	471	1241	1247
2	167.03	3.530	99.22	1.000	2.70	1056	463	1236	1242
3	161.56	3.416	99.18	2.000	2.86	1243	475	1242	1248
PROMEDIO	163.97	3.465	99.24			1036	470	1240	1246

**TRIAIXIAL RAPIDA (UU)
NO CONSOLIDADA NO DRENADA**

S_s = 2.097

c = 1.15 t/m²

φ = 5° grados

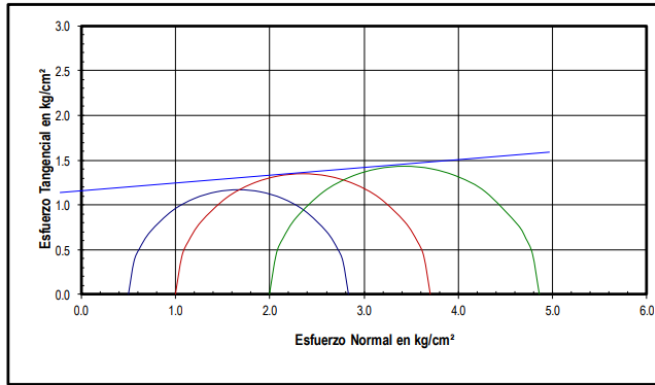
Porosidad

0.775

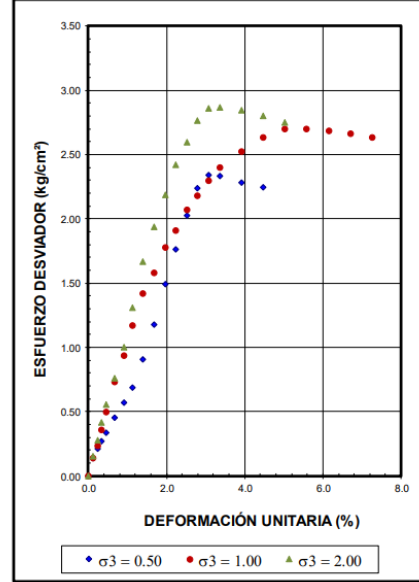
0.779

0.774

Prom. = 0.776



TRIAIXIAL RAPIDA



Clasificación: Limo de color gris con poca arena

Figura 67. Triaxial Rápida 36.60-37.20 m

GRAFICAS DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA: COPPEL SAN COSME

UBICACION: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuautémoc, CDMX

CLASIF.: Arcilla con arena de color gris verdoso

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 3-TS

PROF.: 7.85-8.40 m

DENSIDAD DE SOLIDOS Ss	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO HUMEDO		SUCS
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	HUMEDO	SECO	
--	e_i	e_f	w_i	w_f	Gw_i	Gw_f	γ_h t/m ³	γ_s t/m ³	
2.341	7.931	4.724	338.43	201.71	99.89	99.95	1.149	0.262	CH

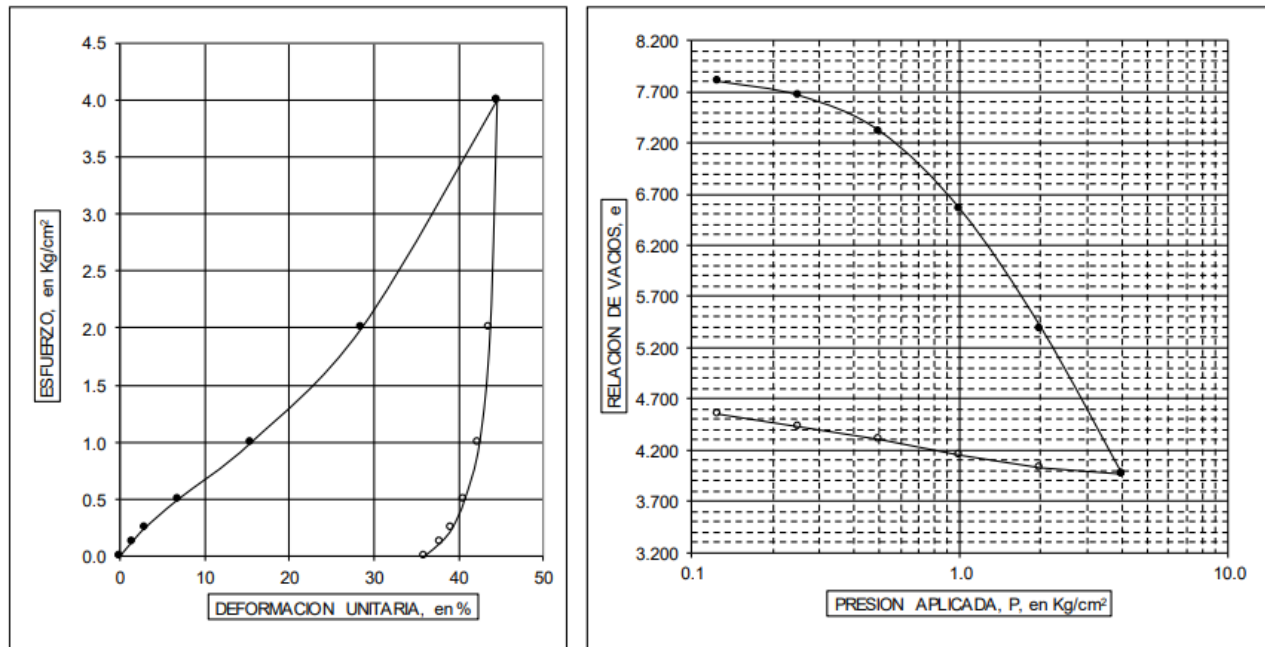


Figura 68. Consolidación unidimensional a 7.85-8.40 m

GRAFICAS DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA: COPPEL SAN COSME

UBICACION: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuautémoc, CDMX

CLASIF.: Limo con arena de color gris verdoso

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 5-TS

PROF.: 15.40-16.30 m

DENSIDAD DE SOLIDOS Ss --	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO HUMEDO		SUCS
	INICIAL e _i --	FINAL e _f --	INICIAL w _i %	FINAL w _f %	INICIAL Gw _i %	FINAL Gw _f %	HUMEDO γ _h t/m ³	SECO γ _s t/m ³	
2.455	5.589	5.258	221.39	214.11	97.25	99.97	1.198	0.373	MH

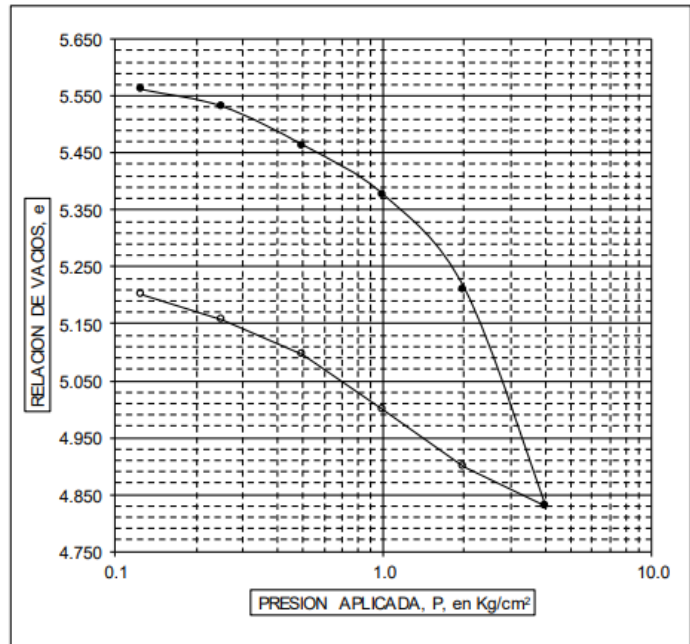
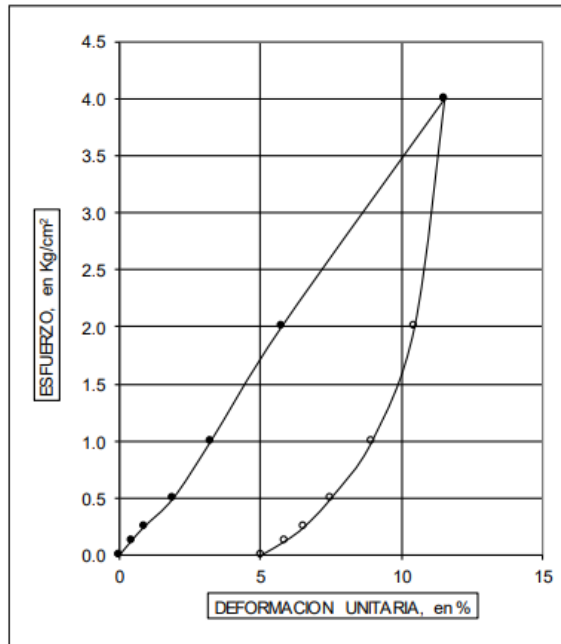


Figura 69. Consolidación unidimensional a 15.40-16.30 m

GRAFICAS DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA: COPPEL SAN COSME

UBICACION: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuautémoc, CDMX

CLASIF.: Arcilla de color gris

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 6-TS

PROF.: 20.30-21.10

DENSIDAD DE SOLIDOS Ss --	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO HUMEDO		SUCS
	INICIAL e _i --	FINAL e _f --	INICIAL w _i %	FINAL w _f %	INICIAL Gw _i %	FINAL Gw _f %	HUMEDO γ _h t/m ³	SECO γ _s t/m ³	
2.400	5.635	4.734	229.04	197.08	97.55	99.92	1.190	0.362	CH

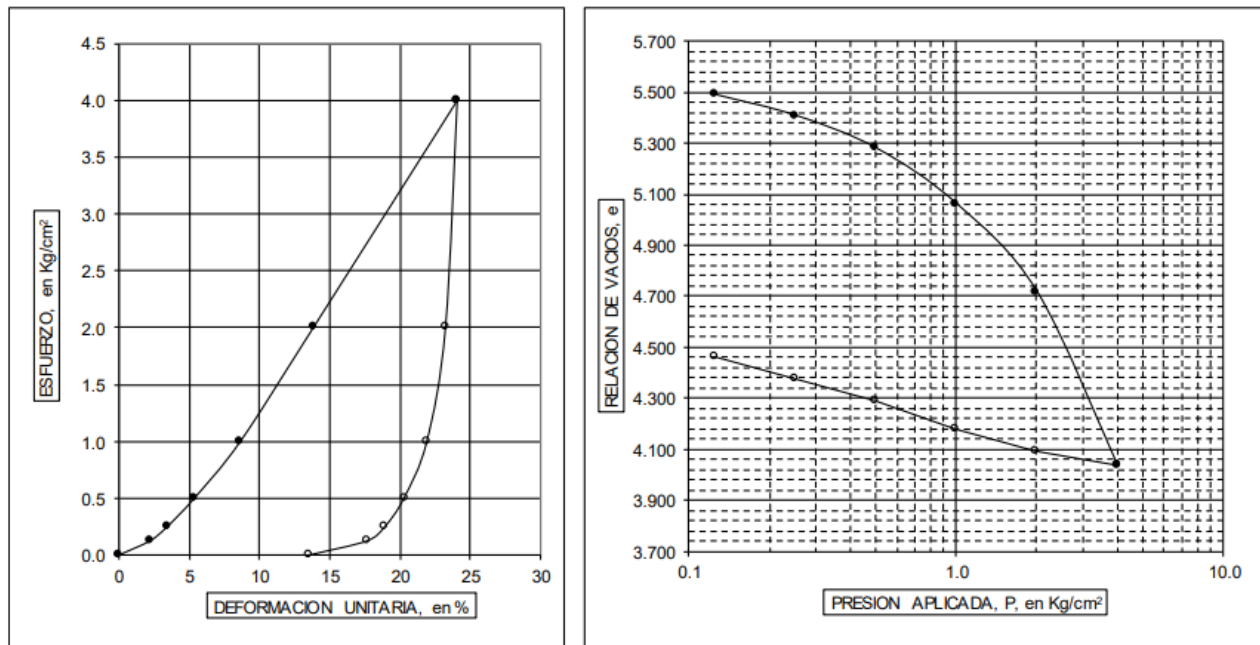


Figura 70. Consolidación unidimensional a 20.30-21.10 m

GRAFICAS DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA: COPPEL SAN COSME

UBICACION: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuautémoc, CDMX

CLASIF.: Arcilla de color café amarillento

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 7-TS

PROF.: 23.50-24.40 m

DENSIDAD DE SOLIDOS Ss --	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO HUMEDO		SUCS
	INICIAL e _i --	FINAL e _f --	INICIAL w _i %	FINAL w _f %	INICIAL Gw _i %	FINAL Gw _f %	γ _h t/m ³	γ _s t/m ³	
2.203	1.947	1.481	88.25	67.20	99.87	99.97	1.407	0.748	CH

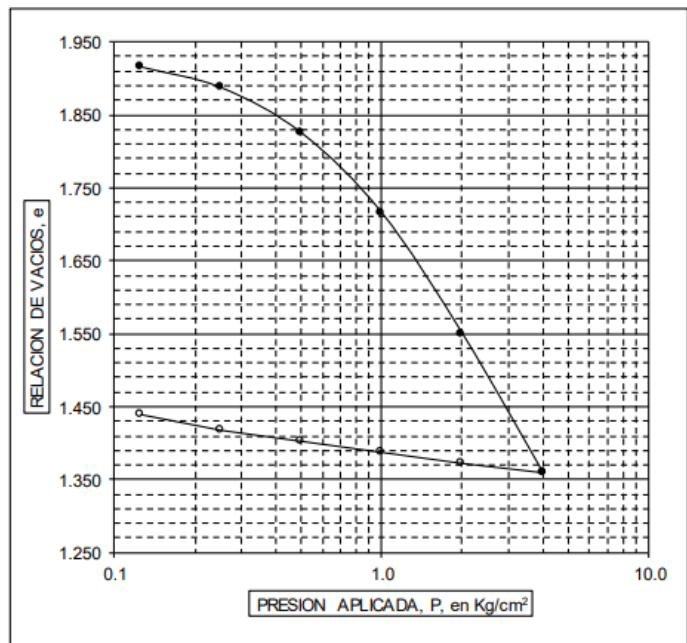
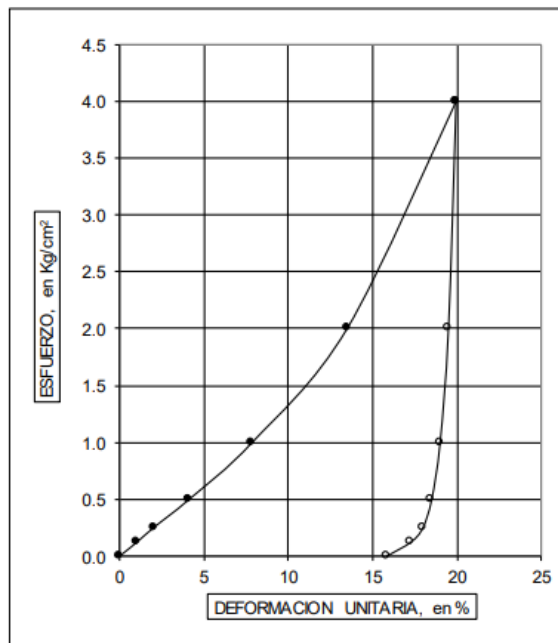


Figura 71. Consolidación unidimensional a 23.50-24.40 m

GRAFICAS DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA: COPPEL SAN COSME

UBICACION: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuauhtémoc, CDMX

CLASIF.: Limo de color gris con poca arena

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 8 -TS

PROF.: 27.30-28.00 m

DENSIDAD DE SOLIDOS Ss --	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO		SUCS
	INICIAL e _i --	FINAL e _f --	INICIAL w _i %	FINAL w _f %	INICIAL Gw _i %	FINAL Gw _f %	HUMEDO γ _h t/m ³	SECO γ _s t/m ³	
2.151	4.716	4.448	217.69	206.69	99.28	99.95	1.195	0.376	MH

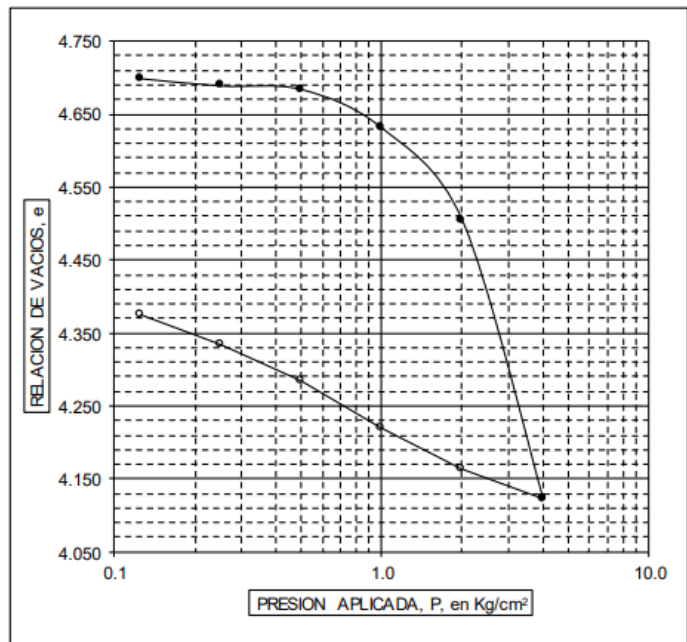
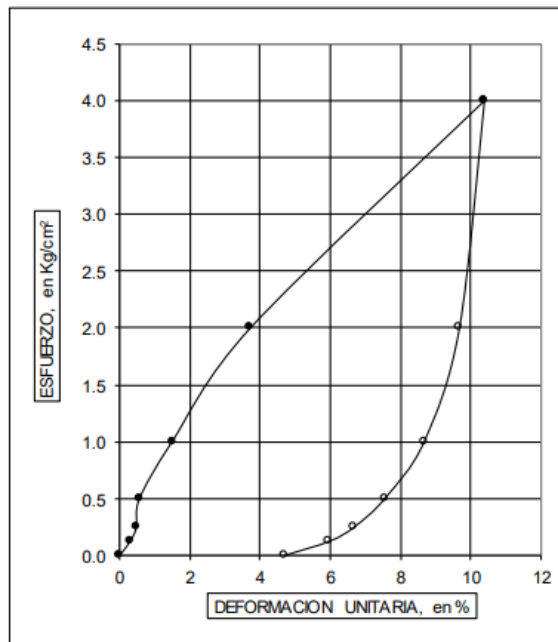


Figura 72. Consolidación unidimensional a 27.30-28.00 m

GRAFICAS DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA: COPPEL SAN COSME

UBICACION: Av. Insurgentes N°3, Col. Guerrero, Cuautémoc, CDMX

CLASIF.: Limo de color gris con poca arena

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 20-TS

PROF.: 36.60-37.20 m

DENSIDAD DE SOLIDOS Ss --	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO HUMEDO		SUCS
	INICIAL e _i --	FINAL e _f --	INICIAL w _i %	FINAL w _f %	INICIAL Gw _i %	FINAL Gw _f %	γ _h t/m ³	γ _s t/m ³	
2.097	3.385	3.265	161.05	155.69	99.77	100.00	1.248	0.478	MH

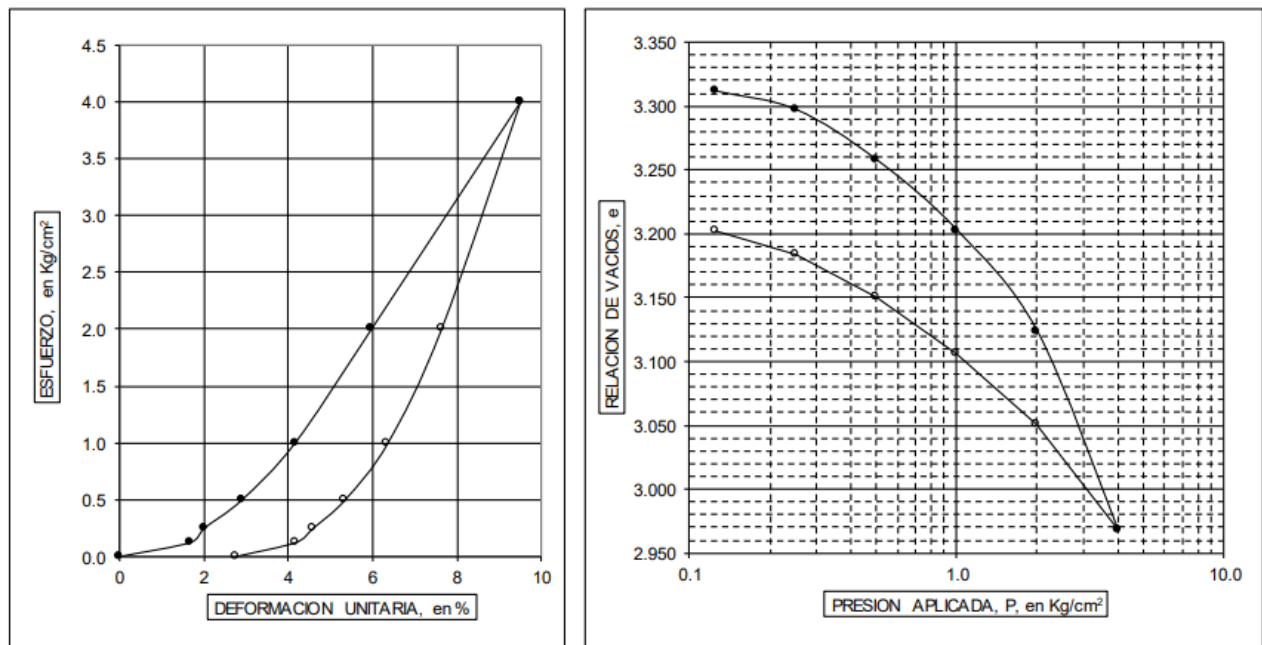


Figura 73. Consolidación unidimensional a 36.60-37.20 m