



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA CIMENTACIÓN DEL
PROYECTO MÍTIKAH

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

P R E S E N T A :

ING. ARIANNA RAMIREZ AGUIRRE

DIRECTOR DE TESINA: ING. WALTER I. PANIAGUA ZAVALA

CD. MX.

FEBRERO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rafael Martínez Castillo, por su apoyo e impulso para estudiar la especialidad en lo que me gusta y por ser además de mi jefe, una gran persona y amigo.

Al M. en I. Walter I. Paniagua Zavala, por sus consejos, sus grandes aportaciones en clase, su apoyo y su acertada dirección.

Al M. en I. Juan Paulín Aguirre, por su amabilidad, por su valiosa colaboración, ayuda y confianza de brindarme la información necesaria del proyecto Mítikah.

Al M. en I. Agustín Demeneghi Colina, por su tutoría, guía y soporte durante mis estudios en esta institución.

A cada uno de mis profesores de la especialidad en Geotecnia, por su conocimiento compartido, por su gran aporte a mi vida profesional y darme más gente que admirar dentro del área.

A mis compañeros con los que compartí el aula, por contribuir a mi aprendizaje y compartir el gusto por la Geotecnia.



DEDICATORIA

A **mis padres**, porque además de que sin ellos no estaría aquí, siempre han creído en mí y me han apoyado con todo su ser para que pudiera lograr mis sueños y pueda ser, quien soy ahora. Yo sé que no hay manera de agradecer eso, así que deben de saber que cada paso mío, es uno que no doy sola, siempre lo doy con ustedes, los amo.

A **mis amigos**, porque siempre están ahí (en las buenas y en las malas), por aceptarme como soy, porque me escuchan y me dejan escucharlos. Porque sin ustedes, no tendría cómplices de mis travesuras y locuras. **Flor, Viviana, Saray, Semiramise y Miguel**, sin ustedes la vida no sería lo mismo, gracias por todos esos momentos tan maravillosos que me han regalado, los amo.

Y finalmente, **Isaac Agustín González Vázquez**, por quererme tanto y darme tu apoyo incondicional, por soportarme, por llorar conmigo, reír conmigo, caminar conmigo. Por ser mi mejor amigo y convertirme en mi todo, eres un gran hombre, y estoy orgullosa de tenerte a mi lado en cada paso que doy, te amo.



Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIA	3
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	6
A. Descripción del proyecto.....	7
I. Proyecto Arquitectónico	8
II. Ubicación	9
III. Características del predio	10
IV. Características del proyecto	12
V. Fases constructivas del proyecto	13
B. Mecánica de suelos	17
I. Condiciones geológicas y geotécnicas del sitio	18
II. Zonificación geotécnica	19
III. Zonificación sísmica	22
IV. Hundimiento regional.....	24
V. Estudios Geotécnicos	25
CAPITULO II. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	35
A. Diseño de la excavación	36
I. Cálculo de los esfuerzos verticales	36
II. Cálculo del empuje	36
III. Análisis de estabilización de excavación	38
B. Secuencia constructiva	44
I. Muro Milán.....	45
II. Cimentación.....	56
III. Excavación (anclas, Top-Down)	66
Solución a problemas específicos durante la construcción	85
Refuerzo acero de capiteles	85
Detalle del anclaje de las losas de los sótanos en Top-Down con el muro Milán.....	86
Problemas con la actualización de los planos	¡Error! Marcador no definido.
Colado de losas.....	87
Talud caído	87



CONCLUSIONES 88

Listado de Anexos..... 89

Referencias 90

Listado de figuras 91



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México hoy en día presenta una demanda alta en servicios de infraestructura por distintas razones sociales, políticas y económicas, por lo cual, a lo largo de estos últimos años se ha presentado la necesidad de tener que construir más edificios que presenten una plenitud en servicios, como tal, deben de contar con los servicios básicos dentro del mismo edificio o alrededor de ellos, con esta idea nació el proyecto de Mítikah, uno de los proyectos más emblemáticos y prometedores la Ciudad de México, ya que tiene como objetivo principal cumplir con todos los servicios que necesita una sociedad y así, generar que no exista movilidad alguna de la zona Mítikah, llamándola así, Ciudad Mítikah, en una extensión de 130,000 m² aproximadamente, se tiene proyectado que contenga: departamentos, negocios, estacionamientos, oficinas, hoteles, cines, restaurantes, bares, cafés, supermercados, gimnasios, centros comerciales, escuelas, un hospital, un centro cultural, una iglesia y más. Así se aprecia la magnitud del proyecto, que se complementa perfectamente con el proyecto de la torre más alta de Latinoamérica, llamada “Torre Mítikah”.

Este trabajo que se presenta a continuación, es la descripción del procedimiento constructivo que se llevó a cabo en los sótanos del proyecto ya mencionado, que se llevó a cabo desde el año 2009 hasta el año 2014 con distintos tiempos de ejecución, ya que se realizó por fases que se describirán a lo largo de este documento. También se puede apreciar que se enfoca únicamente en el año que se tuvo presencia en el proyecto, ya que es cuando se tiene la certeza de los procedimientos en los que se participaron durante el proyecto, correspondiente al periodo agosto 2012 a agosto 2013.



A. Descripción del proyecto

El proyecto Mítikah es un complejo inmobiliario que consiste en un desarrollo de usos múltiples (mixtos y residenciales), del cual podrán apreciarse todos los servicios que necesita una ciudad, constando de 7 edificios, seccionándose en dos fases para su construcción, llevándose a cabo la Fase I en el año 2009 y la Fase II, en el año 2011 que abarca el área más grande.

7

✚ Fase I:

Los edificios que la componen son: un edificio residencial de 22 niveles, con una planta baja, un sótano de comercios, y seis sótanos de estacionamientos; y un edificio de 17 niveles y dos sótanos.

Esta fase ya se encuentra concluida en su totalidad, así que no se mencionará nada de su procedimiento constructivo en este trabajo porque no entra durante la estancia que se tuvo en el proyecto que fue durante el año 2012.

✚ Fase II:

Los edificios que la componen son: cinco edificios que se compondrán por centros comerciales y la torre más alta de Latinoamérica de 267m con 60 niveles. Cada edificio divide el proyecto en cinco áreas: A, B, C, D y E; y por consiguiente, se utilizó esta información para generar tres fases constructivas: una dársena que abarca las áreas B, C y D; a cielo abierto que son las áreas A, B, C y D; y Top-Down que es el área E, se puede apreciar la división en la *ilustración 1*.

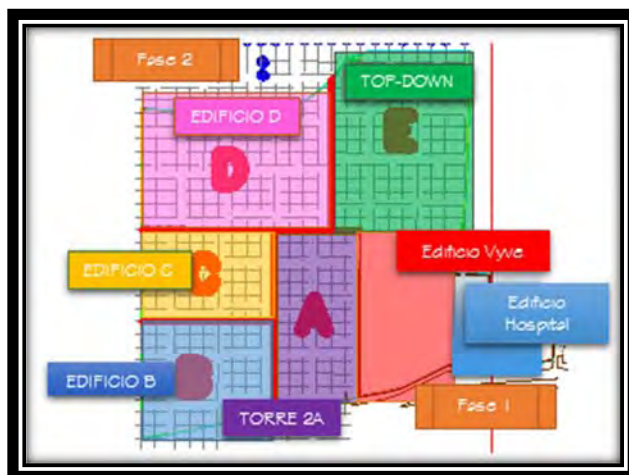


Ilustración 1. Fases constructivas I y II.



I. Proyecto Arquitectónico

Como ya se mencionó, este proyecto tiene una gran aportación arquitectónica de gran reconocimiento internacional, ya que fue el arquitecto argentino César Pelli quien diseñó la Torre Mítikah inspirado en el trazo de Teotihuacán en la Pirámide del Sol llamada la calzada de los muertos, según una entrevista que le realizaron en el 2011, la idea del arquitecto es que no existan rincones y que funcione como un islote en medio de un río, motivo por el cual la torre es una elipse, la fachada es de vidrio cerámico, con elementos de color, uniéndose en la perfección con los proyectos de la Cineteca Nacional del Siglo XXI y la Sociedad de Autores y Compositores de México del pueblo de Xoco, en el sur de la ciudad de México.¹

En los demás edificios participaron el arquitecto Richard Meier que diseñó la torre de departamentos con interiores de RTKL y para los edificios más bajos tenemos a los arquitectos mexicanos Roy Azar y Roberto Espejo, además del centro comercial de José Sánchez Aedo con propuesta paisajista de Mario Schjetnan. El proyecto está diseñado para que exista un paso peatonal hacia Av. Mayorazgo para integrar ambos lados hacia Av. Churubusco, se puede apreciar el proyecto arquitectónico en la *ilustración 2*.



Ilustración 2. Proyecto Arquitectónico.

¹ (Arquine, 2012)



II. Ubicación

El proyecto se encuentra ubicado en la Ciudad de México, en la Delegación Benito Juárez, en Av. Real de Mayorazgo No. 130, Colonia Xoco. A un costado del predio se encuentra Centro Coyoacán y en colindancia a Real de Mayorazgo se encuentra el edificio de Bancomer.



Ilustración 3. Ubicación del proyecto en la Ciudad de México.



Ilustración 4. Ubicación colindancias en el proyecto.



III. Características del predio

El sitio donde se construye el proyecto es un predio de forma irregular como se pudo apreciar en la figura 3, con la superficie aproximada de 130,000 m².

Las colindancias que presenta el predio son:

- ✚ **Al Norte:** con Av. Real de Mayorazgo, vialidad con la que limita de manera inmediata a través de una banqueta de aproximadamente 3 metros de ancho y acercándose más al este, el predio toma una forma irregular que es curva y no presenta banqueta en esa zona;
- ✚ **Al sur:** colinda con Av. Río Churubusco que también una banqueta de las mismas dimensiones, abarcando toda la cuadra completa;
- ✚ **Al este:** colinda con los edificios de conjuntos habitacionales, donde se puede apreciar que los edificios más altos son de máximo 18m, además de la esquina con Mayorazgo se puede apreciar una iglesia, y la calle San Felipe;
- ✚ **Y al poniente:** colinda con el centro comercial Coyoacán, donde se ve que abarca en su totalidad el largo del Centro Coyoacán.



Ilustración 5. Colindancia Este.





Ilustración 6. Colindancia Poniente.



IV. Características del proyecto

En este trabajo se considera únicamente el procedimiento constructivo de los sótanos, por lo tanto, es la información que brindaremos del proyecto y corresponde a los niveles de los sótanos, que son los siguientes:

✚ Planta baja: NPT = + 0.60

✚ Sótano 1: NPT = - 4.40

✚ Sótano 2: NPT = - 7.70

✚ Sótano 3: NPT = - 10.80

✚ Sótano 4: NPT = - 13.90

✚ Sótano 5: NPT = - 17.00

✚ Sótano 6: NPT = - 20.10

✚ Losa Fondo: NPT = - 23.20

La solución de la cimentación es a base de un cajón compensado y pilas de cimentación, por lo tanto, se consideran los muros Milán, anclas de tensión, losas pre-tensadas en la zona de top-down y losa de fondo con concreto reforzado desplantada a la profundidad de 23.20 metros, medidos desde de nivel de calle.



V. Fases constructivas del proyecto

✚ Mítikah Fase I:

Esta etapa quedó constituida por un conjunto de seis sótanos para estacionamiento y un semisótano comercial, el nivel de profundidad del proyecto es de -22.88m, el semisótano comercial con nivel de -4.8m.

13

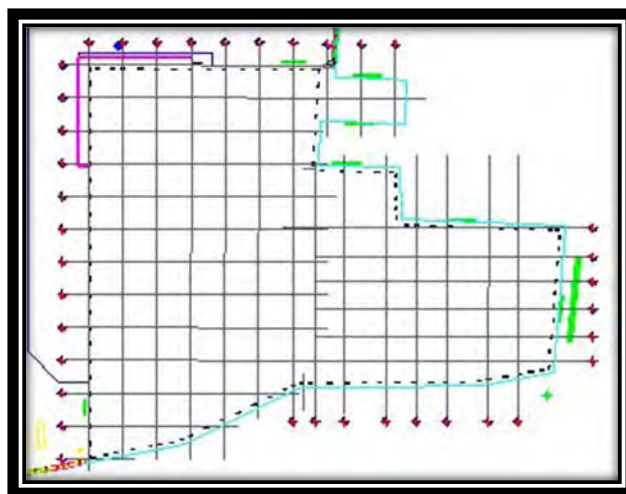


Ilustración 7. Plano de la planta de Fase I.

Se realizó el diseño de la excavación y procedimiento constructivo, en base al proceso de Muro Milán en el circuito del predio, para la ejecución de la excavación a cielo abierto consecutivamente con la colocación de anclas y la excavación.



Ilustración 8. Foto Mítikah Fase I.



✚ Mítikah Fase II:

En ésta etapa por petición del cliente, se debía entregar como primera etapa la zona 3 de la *ilustración 9* para poderse usar como estacionamientos, por lo tanto, el procedimiento constructivo más adecuado fue por el método del Top-Down, ya que disminuye los tiempos y se cumple con la solicitud del cliente.

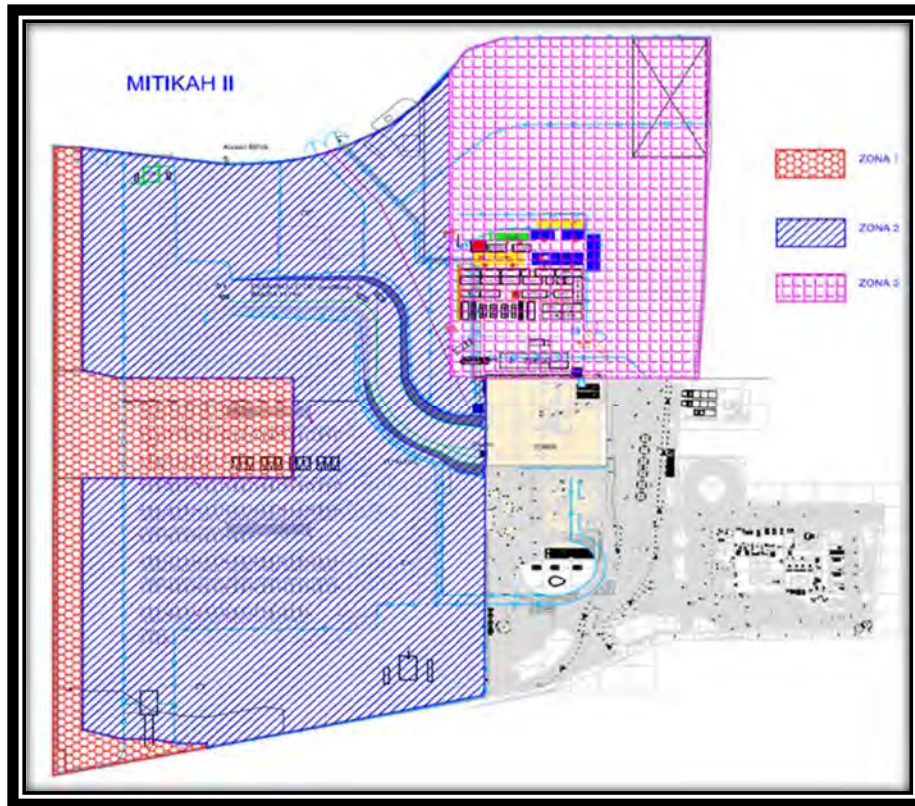


Ilustración 9. Zonas de la Fase II.

La descripción de cada zona de Fase II, según la *ilustración 9*, es la siguiente:

- **Zona 1 y 2. Dársena y cielo abierto:**

La dársena es una plataforma metálica, que se usa como rampa para permitir un acceso desde ambas calles colindantes al proyecto (Mayorazgo y Río Churubusco) para la entrada de los camiones durante la excavación. En esta zona primero se ejecutaron las pilas circulares pre-cimentadas desde marzo del 2011.



El total de las pilas fue de 72 con un diámetro de 1.4 y 1.5m que están distribuidas en colindancia con el Centro Coyoacán. Estas pilas tienen como característica en particular, tubos de acero ahogados tres metros y 0.762 m de diámetro, ya que, al momento de la excavación, sirvan como columnas que soporten la dársena, y así, utilizar esta estructura como accesos principales en las avenidas Real de Mayorazgo y Río Churubusco, para la excavación del predio.

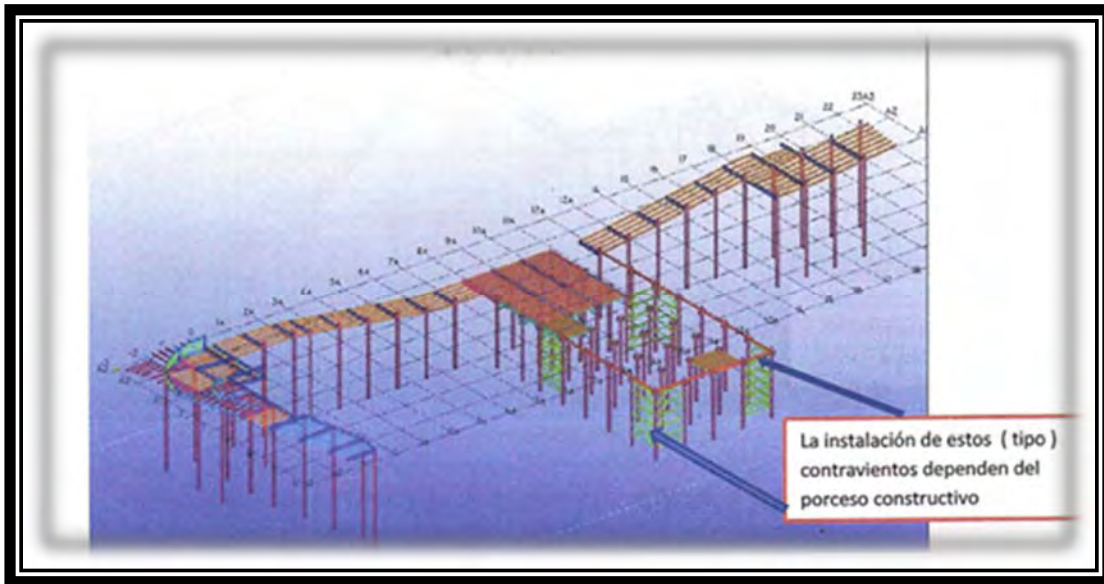


Ilustración 10. Modelo 3D de Dársena.

- **Zona 3. Top-Down:**

La ejecución de esta zona se separa del proyecto en particular por las demandas del cliente, así que, como ya se había mencionado anteriormente, se utiliza el método de Top-Down en esta zona para la optimización del tiempo.

El Top-Down consta de seis sótanos de estacionamiento, un sótano comercial, que tendrá lugar al edificio E de la figura 1, con la profundidad de 23.20 metros. Esta zona consta de 95 pilas circulares de 1.4 m de diámetro y nueve con diámetro de 1.2 m, en éstas se colocaron perfiles metálicos ahogados de manera similar a la dársena, constituyéndose de 104 perfiles de 28.05m en tres distintas áreas que son sótano, estacionamiento y rampas helicoidales. La ventaja con la que consta este método de Top-Down en particular, es la colindancia con la zona 2, ya que, teniendo la excavación a cielo abierto, se puede tener la excavación



lateral y no sólo la excavación de forma ascendente que comúnmente se realiza con las lumbreras temporales en éste método.

A continuación, se muestra un dibujo donde se puede apreciar lo ya mencionado de la zona dos, del lado izquierdo podemos apreciar la excavación lateral y del sótano comercial (S.C.), la utilización de la lumbrera temporal para la excavación ascendente.

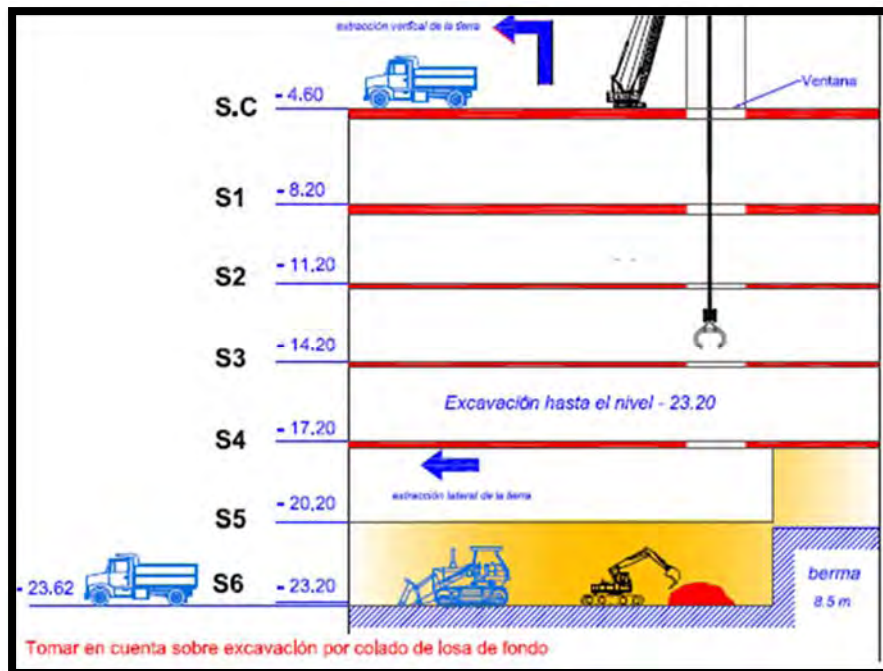


Ilustración 11. Método Top - Down en Zona 3.



B. Mecánica de suelos

Para la primera y segunda etapa se realizaron dos estudios de mecánica de suelos, con la finalidad de obtener las características estratigráficas y propiedades índices del suelo de la zona de trabajo para su análisis correspondiente y que los resultados se pueden apreciar en este trabajo.

17

En éste apartado, únicamente se mencionan los resultados del informe de Mecánica de suelos conociendo las pruebas que se realizaron en el 2009 y 2011, fecha de los estudios respectivos.



I. Condiciones geológicas y geotécnicas del sitio

Los depósitos que se presentan en la Ciudad de México abarcan tres marcos de referencia: geológico, paleoclimático y vulcanológico, los cuales nos podrán ayudar al entendimiento del origen de éstos.

Para el marco geológico contamos con el conocimiento que la Ciudad de México se encuentra ubicada en una cuenca cerrada, conocida como la cuenca del Valle de México, que se asemeja a una presa azolvada, donde ubicamos la cortina en el sur, representada por las sierras del Ajusco y Cuauhtzin (o Chichinautzin), en el norte está limitado por las sierras de Tepetzotlán, Tezontlalpan y Pachuca, al este por los llanos de Apan y la sierra Nevada, que es donde están los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, y al oeste las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, mientras que los rellenos del vaso, el centro de la cuenca, están constituidos en su parte superior por arcillas lacustres y en la parte inferior los clastos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes que circundan el valle; dentro del depósito se encuentran capas de ceniza y estrados de pómez, producto de las erupciones volcánicas ocurridas durante el último medio millón de años (pleistoceno superior), que es el lapso transcurrido a partir del inicio del cierre de la cuenca.²

Desde el punto de vista del marco paleoclimático, la cuenca de México ha pasado por dos periodos de glaciación, por lo que se ha originado suelos rojos del tipo interglaciar, suelos eólicos como los loess que al caer en el lago sufrieron una alteración físico-química, formando arcillas lacustres. Además, la cuenca cuenta con gran cantidad de ríos o arroyos pequeños, como Churubusco, que es una colindancia con el proyecto Mítikah, y de los cuales también, se dieron origen a seis lagos.

Por último, el marco vulcanológico, donde podemos concluir que el material que se encuentra dentro de la cuenca es de origen volcánico, ya sea directa o indirectamente, tales como los domos piogénicos del Cerro del Tepeyac o de Chapultepec, el Peñón del Marques, etc.

² (Alberto Jaime)



II. Zonificación geotécnica

Desde el punto de vista de la ingeniería de cimentaciones, los depósitos de suelos del Valle de la Ciudad de México, se encuentran en la secuencia de formaciones estratigráficas divididas en las siguientes zonas:

Estratificación general	Descripción
Zona I. Lomas	Formada por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. Frecuentemente existe la presencia de oquedades en rocas y de cavernas o túneles excavados en suelos para explorar minas de arena.
Zona II. Transición	Los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre. Es espesor de estos estratos es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.
Zona III. Lacustre	Integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a metros. Los depósitos suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Tabla 1. Estratigrafía general de la Ciudad de México.³

Según la zonificación geotécnica que considera el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal RCDF-2004, en los artículos 170, 175 y 219, se considera la división de las zonas que se describe en la *tabla 1* y a continuación, en la *ilustración 12*, se establece la ubicación del predio, que como se aprecia, está localizado en la zona geotécnica II, denominada zona de transición.

³ (Ernesto Holguín)



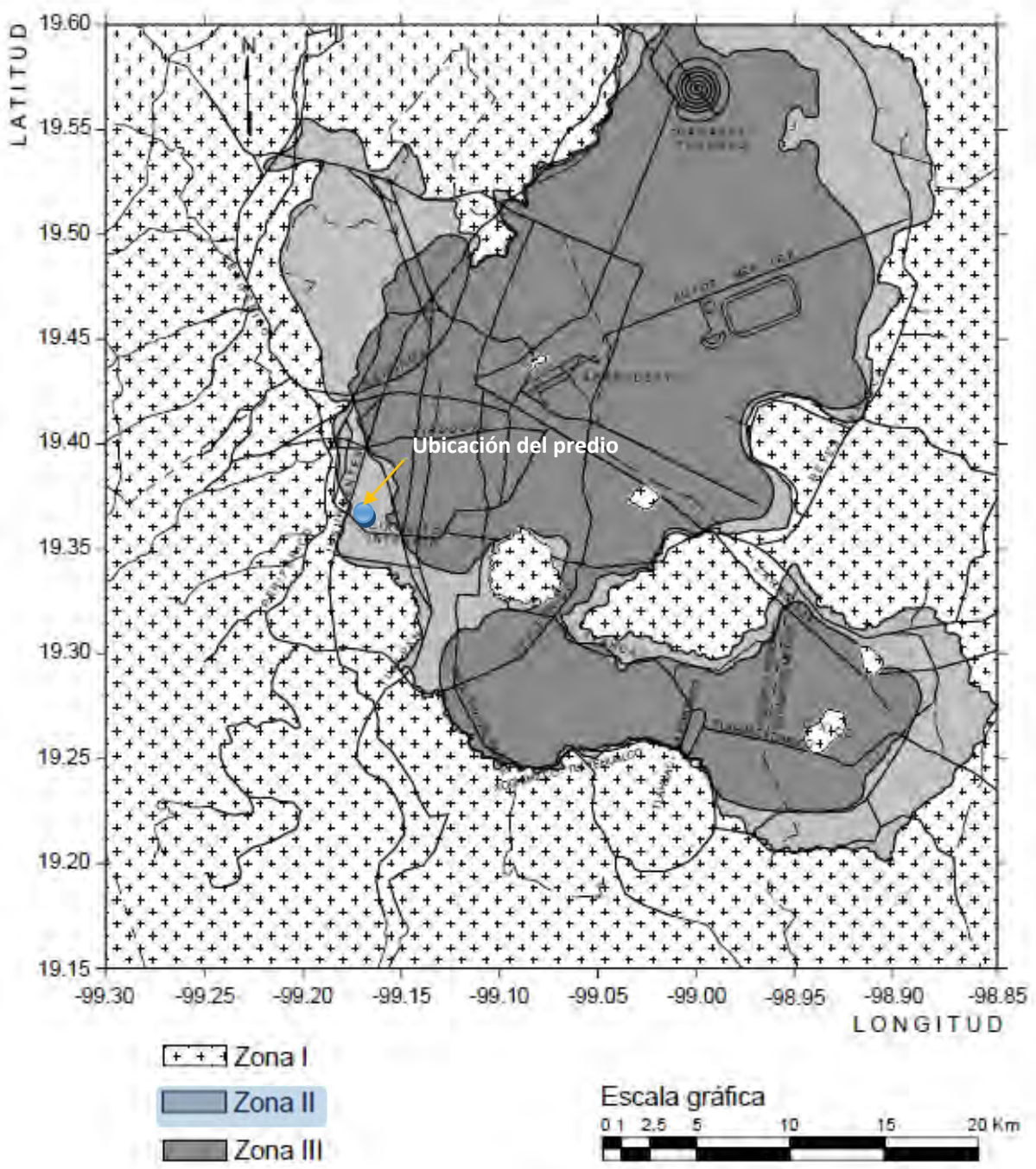


Ilustración 12. Zonificación geotécnica de la Ciudad de México.



La zona de transición se conoce porque los depósitos forman una franja que divide los suelos lacustres de las sierras que rodean al valle y de los aparatos volcánicos que sobresalen en la zona del lago, estos materiales, de origen aluvial, se clasifican de acuerdo al volumen de clásticos que fueron arrastrados por las corrientes hacia el lago y la frecuencia de los depósitos. Los depósitos lacustres del centro de la cuenca van cambiando a medida que se acerca al pie de las lomas, lo que ocurre, es que, entre las arcillas lacustres, van intercalándose capas de suelos limosos, cuerpos de arenas fluviales y, en ciertos casos, en la desembocadura de arroyos y ríos, dando a existir importantes depósitos de gravas y boleos.

El proyecto Mítikah se sitúa en la zona de transición alta, más próxima a las lomas, así que, presenta irregularidades estratigráficas producto de los depósitos aluviales cruzados; la frecuencia y disposición de estos depósitos depende de la cercanía a antiguas barrancas y del río Churubusco que se encuentra en la colindancia sur del predio. Bajo estos materiales se encuentran estratos arcillosos que sobreyacen a los depósitos propios de las lomas.

La zona del predio, como ya se menciona anteriormente, está comprendida por la franja entre las zonas del lago y las lomas, depositados en esta zona se alternan estratos arcillosos en un ambiente lacustre con suelos gruesos de origen aluvial, dependiendo sus espesores de las transgresiones y regresiones que experimentaba el antiguo lago, la capa dura se encuentra a 20m de profundidad, existe interestratificación de arcillas y suelos limoarenosos y se presentan mantos colgados.



III. Zonificación sísmica

La Ciudad de México es afectada por alta actividad sísmica generada por las zonas de influencia del Cinturón Circumpacífico, y las placas tectónicas cercanas a la misma. Además, la cuenca presenta un fenómeno llamado amplificación sísmica, por las condiciones geológicas y geotécnicas ya mencionadas.

Por lo tanto, las normas técnicas complementarias de diseño por sismo (NTS-DS) de la Ciudad de México, divide en tres zonas principales sísmicas para determinar los parámetros de diseño de las diferentes estructuras. El proyecto está situado en la zona II, el cual presenta el coeficiente sísmico de 0.32g.

A continuación, se muestra la ubicación del predio en el mapa de zonificación de la CDMX para fines de diseño por sismo.



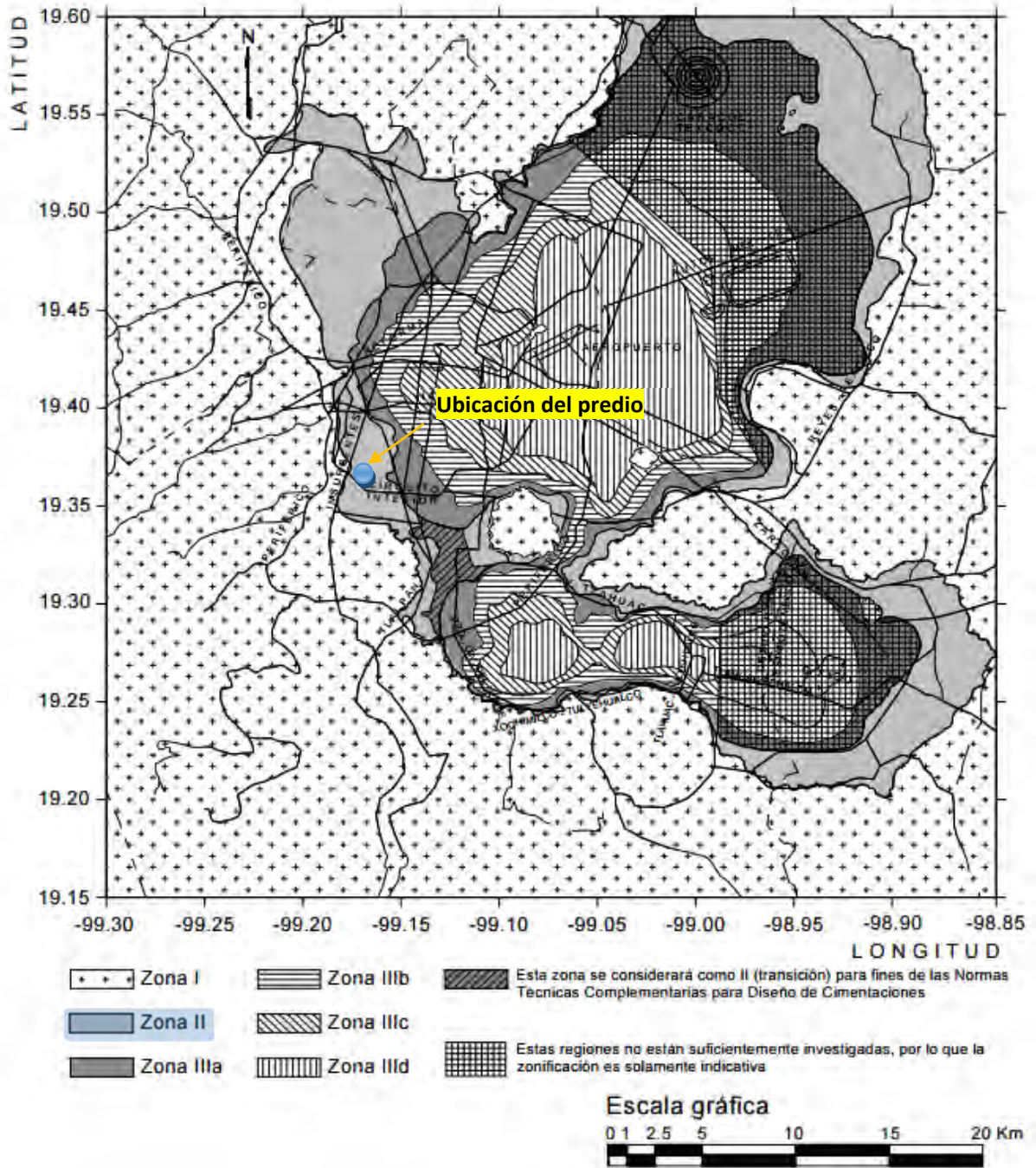


Ilustración 13. Zonificación sísmica de la Ciudad de México.



IV. Hundimiento regional

El hundimiento regional de la Ciudad de México se debe a la extracción de agua en el subsuelo y a las cargas superficiales impuestas al mismo, que genera la consolidación de las formaciones de arcillas blandas, la modificación de esfuerzos del suelo por la reducción de la presión de poro y el aumento de los esfuerzos efectivos.

El proyecto Mítikah se encuentra dentro de la zona donde tiene un centímetro por año de hundimiento regional, según los datos de la Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México.⁴

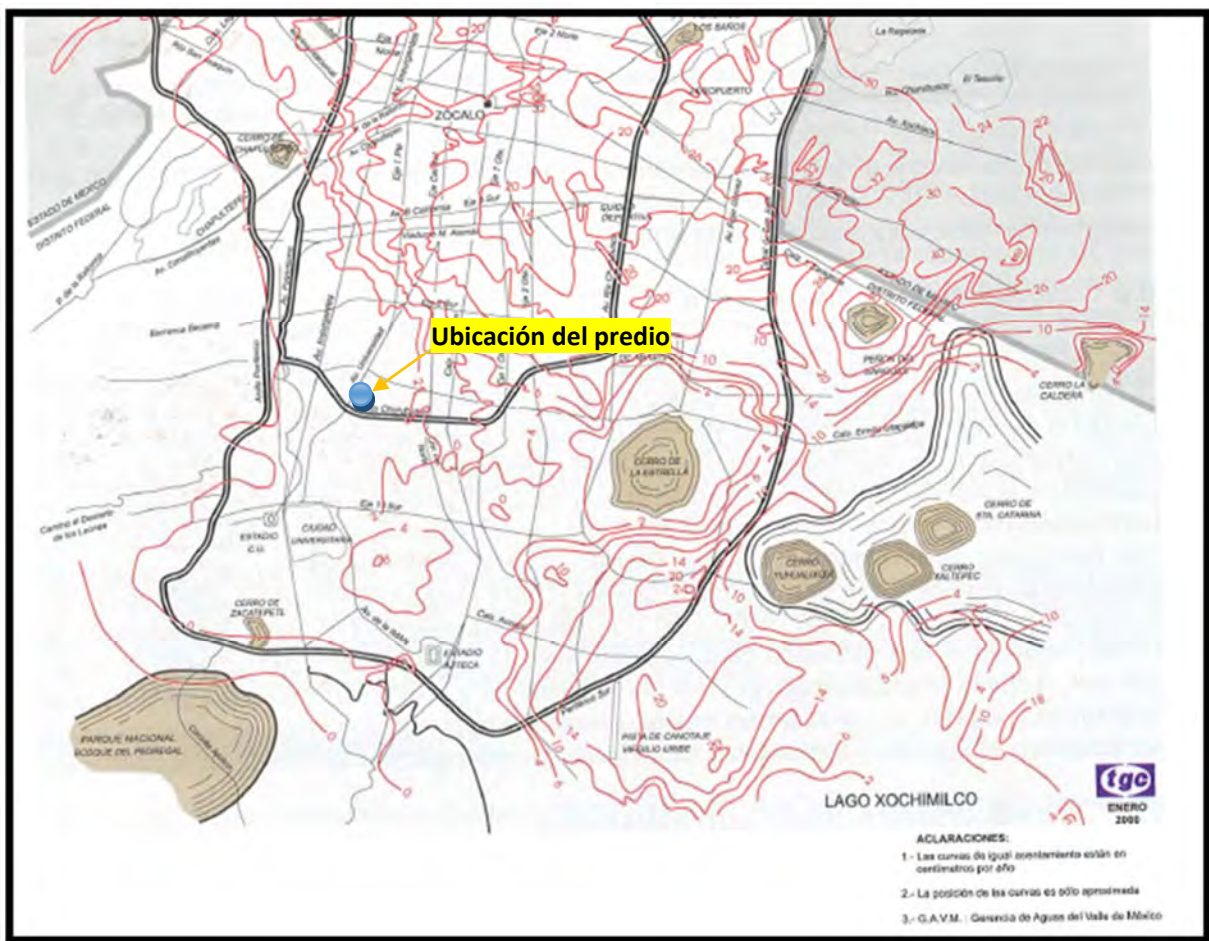


Ilustración 14. Curvas de hundimiento anual en cm (1985 - 1995) medidas por la GAVM.

⁴ (Síntesis Geotécnica del Valle de México)



V. Estudios Geotécnicos

Considerando las características y ubicación del sitio, de acuerdo al Reglamento de Construcciones y Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-DCC), la exploración para la interpretación estratigráfica del subsuelo en la fase uno consistió en realizar sondeos tipo mixto a 40 m de profundidad, utilizando el método de penetración estándar⁵ con la obtención de muestras representativas alteradas, midiendo el índice de resistencia a la penetración de los materiales atravesados, y el hincado a presión de muestreadores tipo Shelby para obtener muestras inalteradas. Los sondeos fueron SM-1 y SM-2 realizados al centro de las áreas que ocuparán la torre de departamentos y la torre Hospital, respectivamente, e incluyendo el sondeo SM-4.

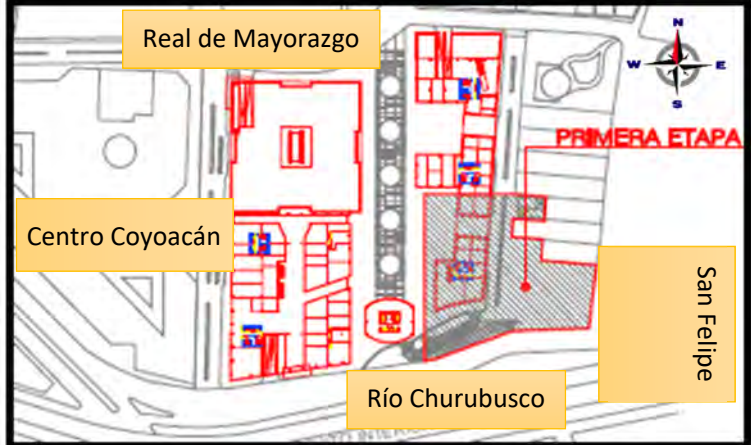


Ilustración 15. Ubicación de la fase I.

Para conocer la presión hidráulica del agua del subsuelo se tuvo que colocar, en una perforación previa, un piezómetro abierto tipo Casagrande⁶, denominado PZ-1 a 26.0 m de profundidad. Este dispositivo permite determinar la presión hidráulica del agua del subsuelo a una cierta profundidad, mediante la medición con una sonda eléctrica, del nivel del agua que se establece en un tubo vertical, con una celda permeable en su parte inferior, que se hace coincidir con una capa permeable. Estos piezómetros se instalan en perforaciones previas

⁵ (Villa, Exploración de Suelos, 2010)

⁶ (Villa, Exploración de Suelos, 2010)



cuidando que la celda permeable se mantenga libre de lodo, quedando confinada por un filtro de gravilla limpia y un sello de bentonita.

Para determinar la profundidad a la que se encuentra el nivel de agua freática en el área de interés se instaló un pozo de observación⁷ del nivel de agua freática, denominado PO-1 a 8 m de profundidad. Este dispositivo permite determinar la profundidad del nivel de agua freática, mediante la medición del nivel del agua que se establece en un tubo vertical, con el extremo inferior ranurado, que consiste de un tubo de PVC de 1 1/2" de diámetro, ranurado en su parte inferior, lo que permite el paso del agua a su interior. Estos instrumentos se instalan en perforaciones verticales, cuidando que el tubo ranurado se mantenga libre de lodo y quede confinado en un filtro de arena limpia.

La ubicación de los sondeos, del pozo y del piezómetro, se puede apreciar en la siguiente planta de la etapa uno.

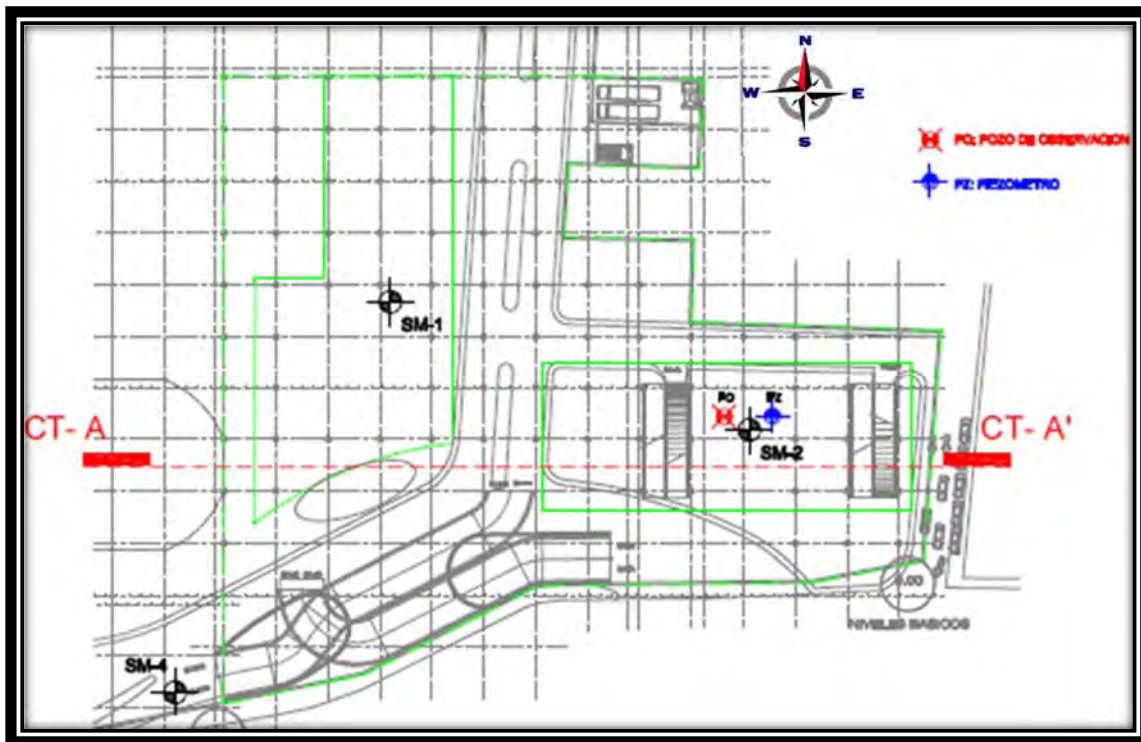


Ilustración 16. Ubicación de sondeos en fase I.

⁷ (Villa, Exploración de Suelos, 2010)



Las características estratigráficas y físicas generales de los materiales del subsuelo, en el área que ocupa la etapa uno del proyecto, presentan la siguiente secuencia determinada por los sondeos SM-1, SM-2 y SM-4, realizado en una etapa de exploración anterior.

La cohesión y el ángulo de fricción interna, fueron determinados en función de la correlación de estos parámetros con el índice de resistencia a la penetración estándar, y con las propiedades índice de los materiales.

Profundidad (m)	Descripción
0.00 – 1.20	Materiales de relleno constituidos por arena arcillosa con gravas, café grisáceo, con contenido de agua de 20 a 31%, de consistencia muy firme, con índice de resistencia a la penetración estándar de 19 a 24 golpes. Con variación granulométrica de 22 % de gravas, 43 % de arena, 35 % de finos, del grupo SC-GC según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
1.20 – 8.00	Arcilla arenosa a poco arenosa, café grisáceo oscura y gris oscuro, con contenido de agua de 40 a 80 %, de consistencia media a muy firme, con índice de resistencia a la penetración estándar de 5 a 30 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 20 a 40 % de arena, 60 a 80% de finos, del grupo CH según el SUCS. Con cohesión de 6 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 15°.
8.00 – 10.20	Arena arcillosa, café grisáceo y gris oscura, con contenido de agua de 30 a 50%, de consistencia muy firme a muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de 18 a más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 70 % de arena, 30 % de finos; con límite líquido de 26 %, y plástico de 17 %, del grupo CL según el SUCS. Con cohesión de 18 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 20°.
10.20 – 16.00	Arcilla poco arenosa, gris oscuro, con contenido de agua de 60 a 200%, de consistencia blanda a muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de 3 a 19 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 5 a 20 % de arena, 80 a 95 % de finos; con límite líquido de 350 %, y plástico de 79 %, del grupo CH según el SUCS. Con cohesión de 12 ton/m ² , determinada en compresión axial no confinada, con peso volumétrico de 1.15 ton/m ³ , densidad de sólidos de 2.14, relación de vacíos de 6.27, y grado de saturación de 99.7%.



16.00 – 17.80	Arcilla arenosa, gris oscuro, con contenido de agua de 20 a 30%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 40 a 15 % de arena, 60 a 85 % de finos; con límite líquido de 41 %, y plástico de 26 %, del grupo CL según el SUCS. Con cohesión de 25 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 20°.
17.80 – 18.60	Arcilla poco arenosa, café grisáceo claro, con contenido de agua de 80 a 120%, consistencia blanda a media, con índice de resistencia a la penetración estándar de 3 a 24 golpes. Del grupo CL según el SUCS. Con cohesión de 10 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 15°.
18.60 – 20.80	Arcilla arenosa con gravas, gris oscuro, con contenido de agua de 15 a 20%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Del grupo SC según el SUCS. Con cohesión de 12 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 36°.
20.80 – 26.80	Arena limosa poco arcillosa, café grisáceo, con contenido de agua de 10 a 15%, muy compacta, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 60 a 80 % de arena, 30 a 40 % de finos; con límite líquido de 25 %, y plástico de 17 %, del grupo SC según el SUCS. Con cohesión de 40 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 35°.
26.80 – 29.00	Arcilla arenosa, café, con contenido de agua de 60 a 80%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 35 a 41 % de arena, 59 a 65 % de finos; con límite líquido de 30 %, y plástico de 17 %, del grupo SC según el SUCS. Con cohesión de 35 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 20°.
29.00 – 33.00	Arcilla arenosa con poca grava, gris oscuro, con contenido de agua de 15 a 20%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 5 % de gravas, 20 a 30 % de arena, 65 a 80 % de finos, del grupo SC-GP según el SUCS. Con cohesión de 50 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 20°.
33.00 – 44.00	Gravas empacadas en arena limosa poco arcillosa, gris oscuro, con contenido de agua de 13 a 18%, muy compacta, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Del grupo GW según el SUCS. Con cohesión de 30 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 42°.

Tabla 2. Estratigrafía del predio en fase I.



El nivel freático se encontró a 6.2 m de profundidad, con respecto al nivel actual de la superficie del terreno, en la fecha 16/07/2009, en la que se realizó la exploración, de acuerdo a los resultados del piezómetro instalado a 26 m de profundidad, en una capa de arena limosa poco arcillosa que se encuentra entre 21 y 28 m de profundidad, se determinó que se tiene un abatimiento piezométrico total, a partir de 21 m de profundidad.

Considerando las características de rigidez de la cimentación que más adelante se define, la deformabilidad de los materiales del subsuelo y la presión de contacto aplicada a los materiales de apoyo por la cimentación, el módulo de reacción del suelo al nivel del sótano inferior, deberá considerarse de 5 kg/cm³.

La gráfica que se muestra a continuación es el estado de los esfuerzos del subsuelo con la profundidad de la presión vertical efectiva, determinada como la diferencia entre la presión total y las presiones hidráulicas del agua del subsuelo, considerando el abatimiento piezométrico.

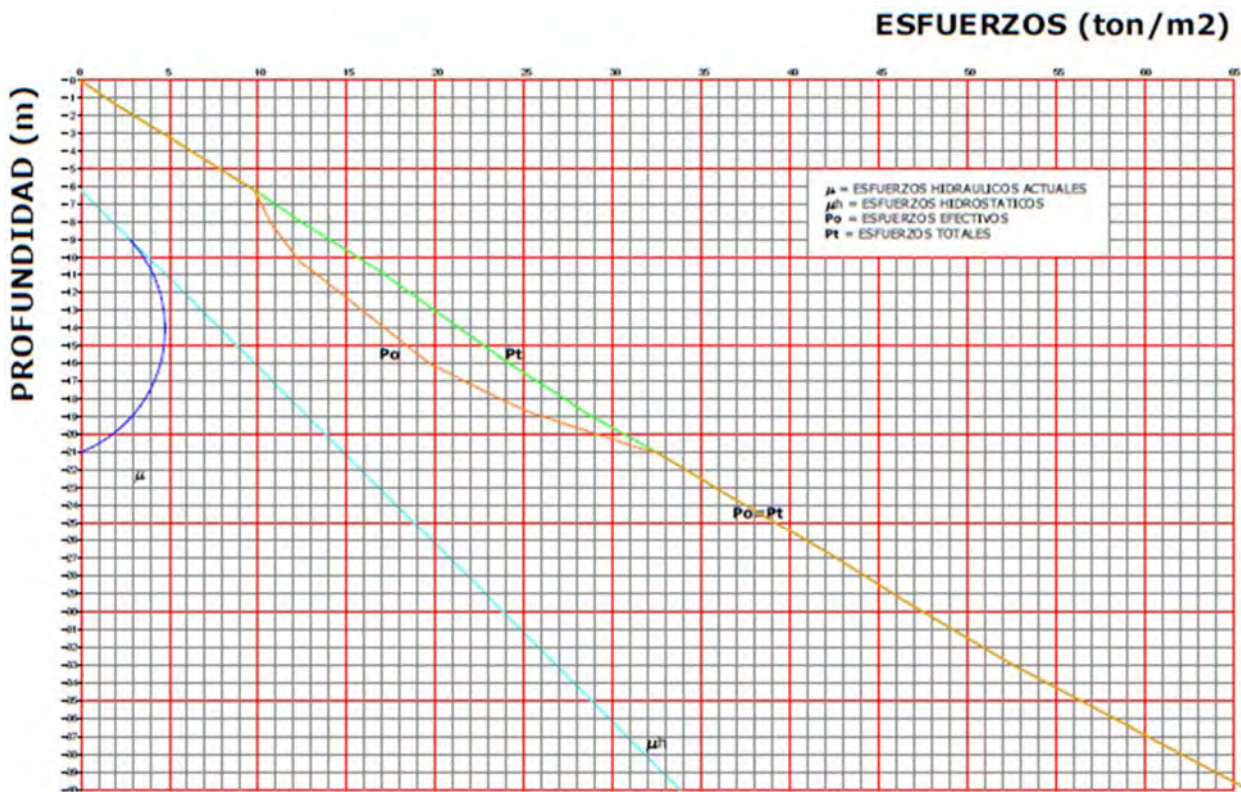


Ilustración 17. Estado actual de los esfuerzos del subsuelo de la fase I.



En la fase dos, la exploración para la interpretación estratigráfica del subsuelo consistió en realizar cuatro sondeos tipo mixto a 45 m de profundidad, denominados SM-1 a SM-4, de los cuales los sondeos SM-1 y SM-2 se efectuaron a 50 m de profundidad, combinando el procedimiento de penetración estándar, con el empleo de barril rotatorio NX⁸ con incrustaciones de diamante industrial en la profundidad en la que los materiales presenten rechazo o el índice de resistencia a la penetración estándar sea mayor de 50 golpes para avances menores de 5 cm.

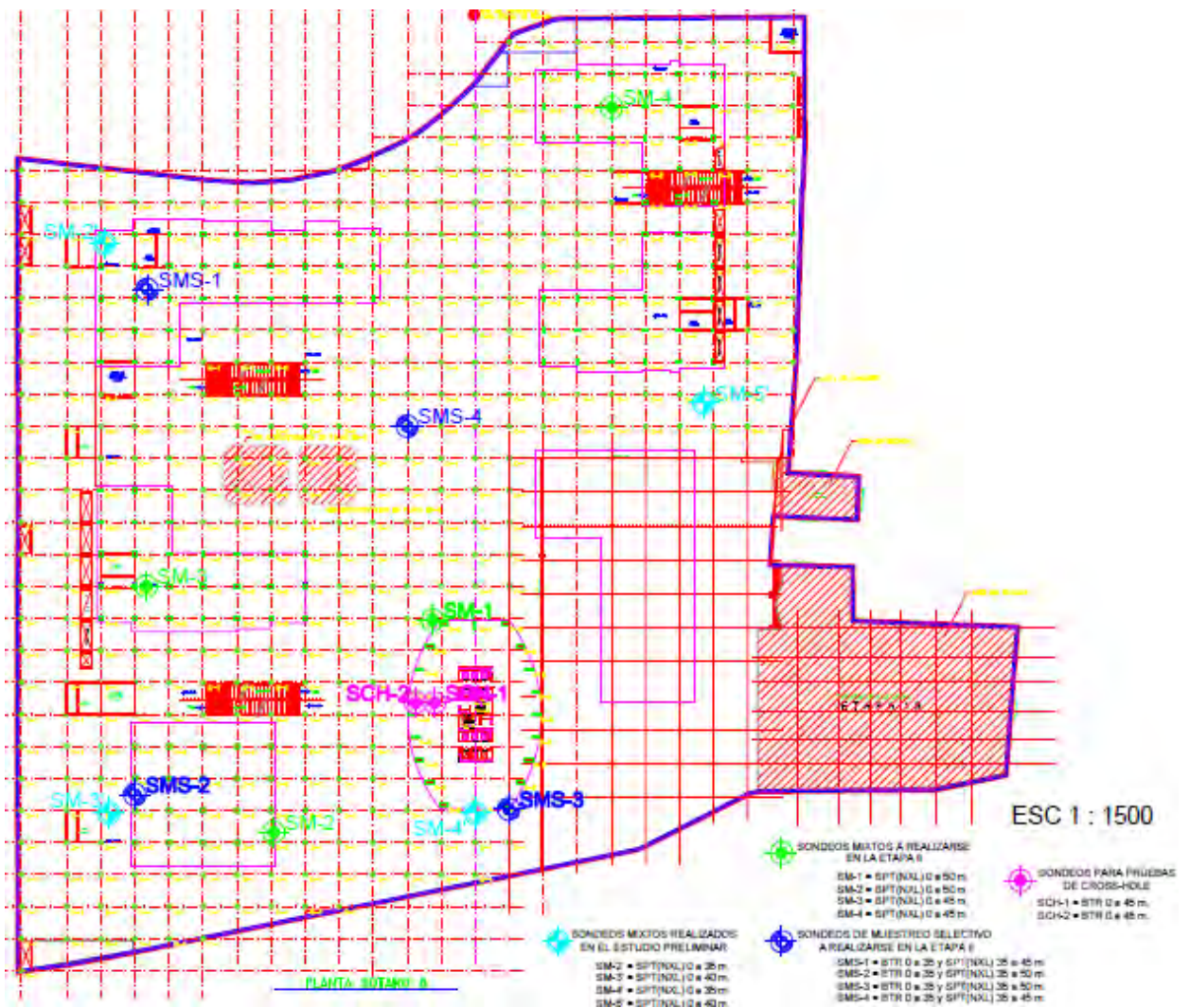


Ilustración 18. Ubicación de sondeos y pruebas Cross-Hole para fase II.

⁸ (Villa, Exploración de suelos, 2010)



Con el propósito de determinar la velocidad de propagación de las ondas de cortante en los materiales del subsuelo se efectuaron pruebas de Cross-Hole a cada metro, dentro de dos perforaciones con broca tricónica de 4" de diámetro a 45.0 m de profundidad, con una separación entre ellas de 3.6 m, además con un tubo de PVC hidráulico de 3", y perfectamente acoplados con los pozos agregando una mezcla de bentonita – cemento entre la pared de la perforación y el ademe de PVC.

En el *Anexo I* se presenta el informe con los resultados de la medición de la propagación de ondas de cortante a través de ensayos de Cross-Hole.

Las características estratigráficas y físicas generales de los materiales del subsuelo, presentan la siguiente secuencia respecto al nivel del brocal de los sondeos. La cohesión y el ángulo de fricción interna, fueron determinados en función de la correlación de estos parámetros con el índice de resistencia a la penetración estándar, y con las propiedades índice de los materiales.

Profundidad (m)	Descripción
0.00 – 1.20	Arcilla arenosa, café grisáceo, con contenido de agua de 30%, de consistencia muy firme, con índice de resistencia a la penetración estándar de 15 a 27 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 20% de arena, 80% de finos, de límite líquido de 31% y límite plástico de 20 %, del grupo SC según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
1.20 – 8.00	Arcilla arenosa a poco arenosa, café grisáceo oscura y gris oscuro, con contenido de agua de 30 a 75 %, de consistencia muy blanda a muy firme, con índice de resistencia a la penetración estándar de peso de herramienta a 18 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 3 % de arena, 97% de finos, de límite líquido de 35 a 74 % y límite plástico de 27 a 34 %, del grupo CH según el SUCS. Con cohesión de 6 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 15°.
8.00 – 10.20	Arcilla arenosa poco limosa, café grisáceo y gris oscura, con contenido de agua de 30 %, de consistencia muy firme a muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de 20 a más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 36 a 63 % de arena, 37 a 61 % de finos; con límite líquido de 35 a 49 %, y plástico de 20 a 31 %, del grupo CL según el SUCS. Con cohesión de 18 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 20°.



10.20 – 16.00	Arcilla poco arenosa, gris oscuro, con contenido de agua de 60 a 240%, de consistencia blanda a muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de 4 a 15 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 6 a 20 % de arena, 80 a 94 % de finos; con límite líquido de 144 a 396 %, y plástico de 55 a 60 %, del grupo CH según el SUCS. Con cohesión de 6 ton/m ² , determinada en compresión axial no confinada, con peso volumétrico de 1.15 ton/m ³ , densidad de sólidos de 2.14, relación de vacíos de 6.27, y grado de saturación de 99.7%. Con cohesión de 5 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 15°.
16.00 – 18.50	Arcilla arenosa, gris oscuro, con contenido de agua de 25%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 10 % de gravas, 46 % de arena, 44 % de finos; con límite líquido de 30 %, y plástico de 16 %, del grupo CL según el SUCS. Con cohesión de 25 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 20°.
18.50 – 20.00	Arcilla poco arenosa, café grisáceo claro, con contenido de agua de 120%, consistencia dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de 46 a más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 16 % de arena, 84 % de finos; con límite líquido de 121 %, y plástico de 58 %, del grupo CH según el SUCS. Con cohesión de 10 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 15°.
20.00 – 22.00	Arcilla arenosa, gris oscuro, con contenido de agua de 90%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 8%de gravas, 69 % de arena, 23 % de finos; del grupo CH según el SUCS. Con cohesión de 30 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 36°.
22.00 – 27.00	Arena arcillosa poco limosa, café grisáceo, con contenido de agua de 15%, muy compacta, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 43 a 65 % de arena, 35 a 57 % de finos; con límite líquido de 28 %, y plástico de 11 %, del grupo SC según el SUCS. Con cohesión de 25 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 35°.
27.00 – 29.00	Arena pumítica y gravillas pumíticas limo arcillosa, café, parcialmente degradada a materiales finos arcillosos, incrementándose el contenido de arcilla al presentar mayor degradación, con contenido de agua de 20 a 60%, de consistencia dura a muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de 29 a más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 0 % de gravas, 36 % de arena, 64 % de finos; con



	límite líquido de 37 %, y plástico de 25 %, del grupo SC según el SUCS. Con cohesión de 20 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 25°.
29.00 – 33.00	Arena arcillosa con poca grava, gris oscuro, con contenido de agua de 30%, de consistencia muy dura, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 12 a 31 % de gravas, 46 a 52 % de arena, 24 a 45 % de finos, del grupo SC-GP según el SUCS. Con cohesión de 25 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 28°.
33.00 – 38.00	Gravas empacadas en arena limosa poco arcillosa, gris oscuro, con contenido de agua de 13 a 18%, muy compacta, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 33 a 60 %de gravas, 27 a 46 %de arena, 10 a 17 % de finos; con limite líquido de 26.0 % en la fracción fina que pasa la malla 40 y limite plástico de 16.0 % del grupo CL-ML en la fracción fina, y del grupo GW en la muestra integral, según el SUCS. Con cohesión de 8 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 42°.
38.00 – 41.00	Arena limosa poco arcillosa con gravas a pocas gravas, gris oscuro, con contenido de agua de 20 a 40%, muy compacta, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 5 a 20 % de gravas, 47 a 80 % de arena, 13 a 25 % de finos; del grupo SM-GP según el SUCS. Con cohesión de 8 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 40°.
41.00 – 50.00	Gravas empacadas en arena limosa poco arcillosa, gris oscuro, con contenido de agua de 15 a 25%, muy compacta, con índice de resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. Con variación granulométrica de 43 a 70 %de gravas, 26 a 50 %de arena, 10 a 25 % de finos; con limite líquido de 25 a 36 % en la fracción fina que pasa la malla 40 y limite plástico de 14 a 24%del grupo CL-ML en la fracción fina, y del grupo GW en la muestra integral, según el SUCS. Con cohesión de 8 ton/m ² y ángulo de fricción interna de 42°.

Tabla 3. Estratigrafía del predio de la fase II.

El nivel freático se encontró a 7.0 m de profundidad, con respecto al nivel actual de la superficie del terreno, en la fecha en la que se realizó la exploración, de acuerdo a los resultados de un piezómetro instalado a 26 m de profundidad, en una capa de arena limosa poco arcillosa que se encuentra entre 26 y 28 m de profundidad, se determinó que se tiene un abatimiento piezométrico total, a partir de 21 m de profundidad.



El estado actual de los esfuerzos en el subsuelo se representa en la *figura 17*, mediante la gráfica de la variación con la profundidad de la presión vertical efectiva, determinada como la diferencia entre la presión total y las presiones hidráulicas del agua del subsuelo, considerando el abatimiento piezométrico.

En el *Anexo II*, se muestra los perfiles estratigráficos de ambas fases de los estudios de mecánica de suelos con los materiales encontrados y descritos en la estratigrafía de las tablas 2 y 3, determinadas a partir de los trabajos de campo y los resultados de la exploración geotécnica.

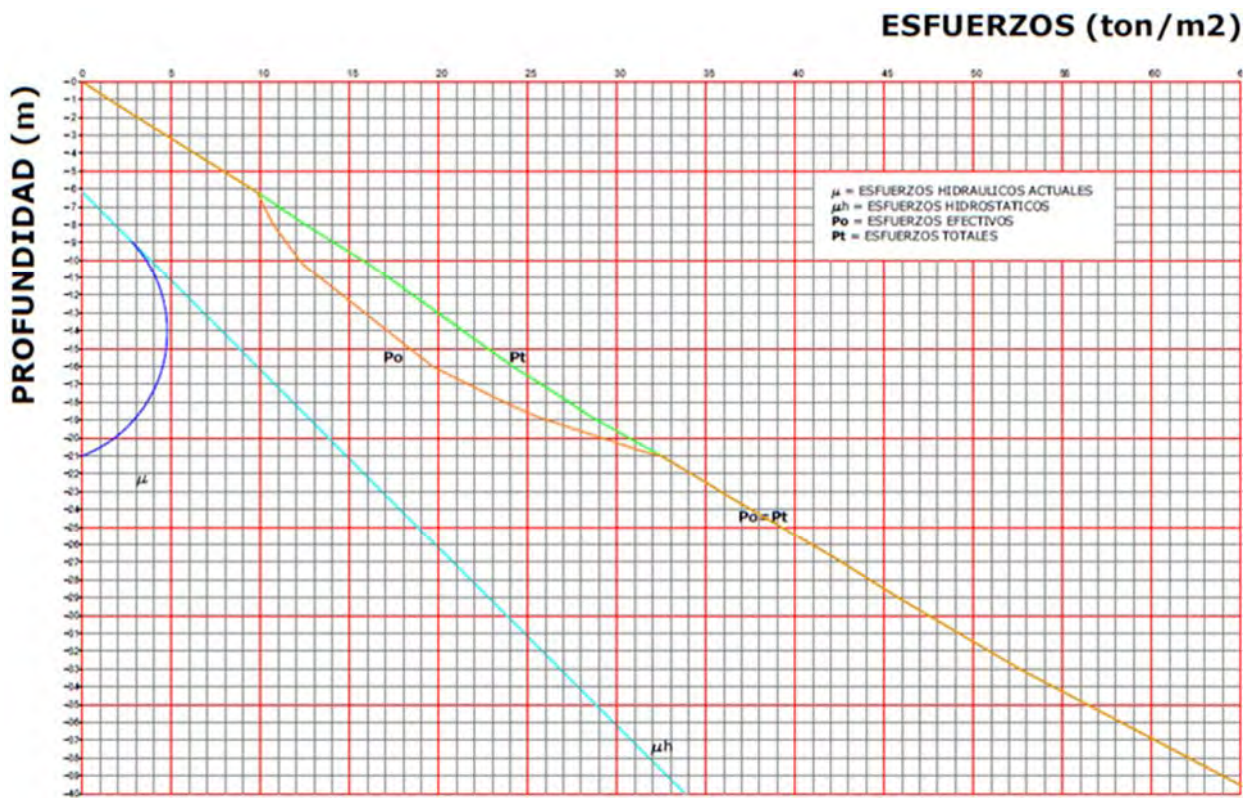


Ilustración 19. Estado actual de los esfuerzos del subsuelo de la fase II.



CAPITULO II. PROCESO CONSTRUCTIVO

Para definir el procedimiento constructivo de un proyecto geotécnico es necesario realizar el análisis geotécnico para poder dar características mecánicas a los elementos estructurales que conlleva la cimentación y así, se proponen distintos procedimientos que sean factibles para el buen funcionamiento de la estructura. En este proyecto se tiene definido ya el procedimiento constructivo, así que se describe el proceso que se llevó a cabo y los resultados que se obtuvieron en el análisis geotécnico de la fase dos del proyecto.

35

En principio, se analizan los perfiles estratigráficos que se obtuvieron en el estudio de mecánica de suelos y con base en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de la Ciudad de México, se seleccionan los parámetros mecánicos de los estratos más representativos del estudio de la fase dos, porque, como ya se había mencionado, este trabajo se delimita en la fase dos en el año 2012 por la estadía que se tuvo en el proyecto.

Se realiza una caracterización estratigráfica desde el nivel de banqueta hasta la profundidad de 35.0 m, generando así, la siguiente tabla:

Unidad	Descripción	Prof. i (m)	Prof. f (m)	γ (t/m ³)	C (t/m ²)	Φ (°)
U1	Relleno de arena arcillosa con gravas	0	-1.2	1.5	10	6
U2	Arcilla arenosa a poco arenosa	-1.2	-16.0	1.55	0	10
U3	Arcilla poco arenosa	-16.0	-18.60	1.60	20	15
U4	Arcilla arenosa con gravas, de consistencia muy dura	-18.60	-35.0	1.75	30	20

Tabla 4. Estratigrafía y propiedades mecánicas de suelos de diseño.

El Nivel de Aguas Freáticas, según sondeos de mecánica de suelos, se encuentra a la cota -6.2m.



A. Diseño de la excavación

Se analizan los elementos mecánicos involucrados en la excavación, que serán: el suelo, el muro perimetral, los niveles de excavación y las anclas que soportarán al muro perimetral, en el caso del Top-Down, las losas diafragma que soportarán las cargas horizontales del suelo.

I. Cálculo de los esfuerzos verticales

Así que, inicialmente se analiza el suelo, con la estratigrafía y propiedades mecánicas de diseño de la *tabla 4*, se realiza el análisis de los esfuerzos verticales en la masa de suelo, calculando los esfuerzos totales y efectivos que se muestran en la siguiente tabla.

Unidad	Espesor (m)	γ (t/m ³)	σ_v (t/m ²)	U (t/m ²)	σ_v' (t/m ²)
U1	1.2	1.5	1.8		1.8
U2	14.8	1.55	24.74	9.8	14.94
U3	2.6	1.6	28.9	12.4	16.5
U4	16.4	1.75	57.6	28.8	28.8

Tabla 5. Esfuerzos verticales en la masa de suelo.

II. Cálculo del empuje

Por consecuente, se procede al cálculo de los empujes horizontales que actúan sobre las estructuras de retención, el cual para este proyecto es el muro Milán, donde se deben considerar dos condiciones de diseño:

- Análisis a corto plazo:** Se considera al empuje del suelo es del tipo activo, por lo que se permiten ligeros desplazamientos sobre las estructuras de retención. En esta condición prevalece la resistencia no drenada del suelo.
- Análisis a largo plazo:** Este se considera como vital durante toda la vida del elemento, los empujes actuantes corresponden a la condición de empuje en reposo y prevalece la condición drenada del suelo.



Se tienen varias teorías de análisis como la teoría de Rankine para determinar presiones y empujes horizontales a corto plazo, así como para largo plazo con la teoría de Peck, pero en este trabajo se respetó el análisis del proceso constructivo que realizó la empresa que construyó el proyecto, así que se aprecia el análisis que se describe a continuación.



III. Análisis de estabilización de excavación

El análisis se realizó utilizando el programa PARIS, desarrollado por el Grupo Soletanche-Bachy, los cuales consideran al muro Milán como una yuxtaposición de traveses verticales solicitadas por empujes laterales de tierras (repose, activo y pasivo), sísmicos, por sobrecargas y por el empuje hidrostático del agua (o con el abatimiento respectivo si es el caso), soportadas por las anclas, considerando las distintas etapas del proceso constructivo y la historia de desplazamientos y esfuerzos que se genera. La acción ejercida por el suelo sobre cada cara del muro Milán, es calculada teniendo en cuenta el comportamiento elastoplástico de los suelos conforme al esquema siguiente.⁹

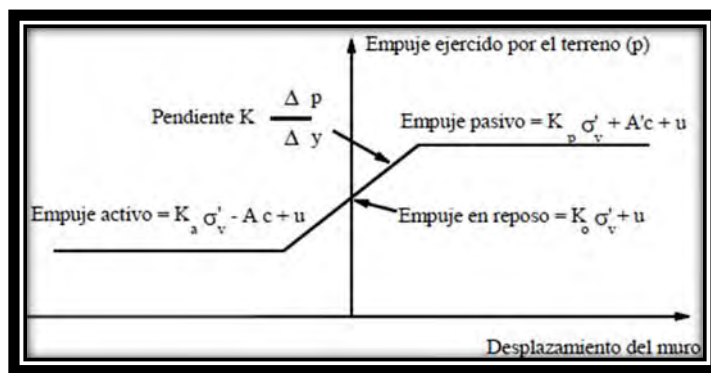


Ilustración 20. Empujes laterales de tierras.

Para el cálculo de los desplazamientos laterales del muro Milán (análisis matricial de interacción suelo: estructura ante cargas laterales), el suelo se modela a través del coeficiente de reacción k_s , el cual es un parámetro de cálculo empírico, que depende de parámetros del suelo y de la rigidez del muro.

Unidad	K_s (t/m ³)
U1	1,700
U2	700
U3	3,500
U4	5,500

Tabla 6. Valores de Coeficiente de reacción del suelo y de la rigidez del muro.

⁹ (Cimentaciones Mexicanas S.A de C.V., 2011)



Se revisan entonces los siguientes resultados de salida del programa PARIS:

- ✚ **Factor de Seguridad en el empotramiento del muro Milán:** Se define como la capacidad que tiene el suelo –generación de empuje pasivo-, de soportar los empujes laterales y, de esta forma, representar un apoyo lateral al muro. Si dicho FS es menor a 1, significa que el suelo en el desplante del muro, no tiene la capacidad suficiente para generar el empuje pasivo necesario y el suelo se plastifica generando desplazamientos laterales muy importantes y por lo general mayores a lo permisible.

- ✚ Desplazamientos horizontales en muro Milán.

- ✚ Elementos mecánicos en muro Milán.

- ✚ Cargas axiales en las anclas.

El programa cuenta con una interfaz muy cómoda para trabajar, ya que nos maneja una vista muy común, con barras de herramientas similares a los programas más usados y además de mostrar una ventana de ayuda, donde nos coloca la lista de comandos que podemos utilizar, agregándole una descripción breve y un ejemplo del mismo. Está diseñado de tal forma, que solicita los datos ordenadamente, iniciando con los datos del proyecto, los datos de la estructura, los datos del terreno (características y propiedades del suelo), sobrecargas, nivel de aguas freáticas, las unidades con las que se van a trabajar, para que, con los datos brindados, pueda empezar a calcular.

Analiza con distintas teorías, con las cuales puede hacer el análisis de esfuerzos en el suelo (Boussinesq, Terzagui), así que, también da la opción de escoger el método para analizar los esfuerzos.

Finalmente, coloca el procedimiento de excavación propuesto, para que al hacer que trabaje el programa, de los resultados del análisis que conlleva cada uno de los procesos de excavación, siendo así, se pueden cambiar los empujes conforme se modifica la profundidad de la excavación, y así se toma en cuenta el acomodo de las anclas y la inclinación que se entregó en el informe de mecánica de suelos, y al colocar los valores en el programa, se analizan los empujes nuevamente.



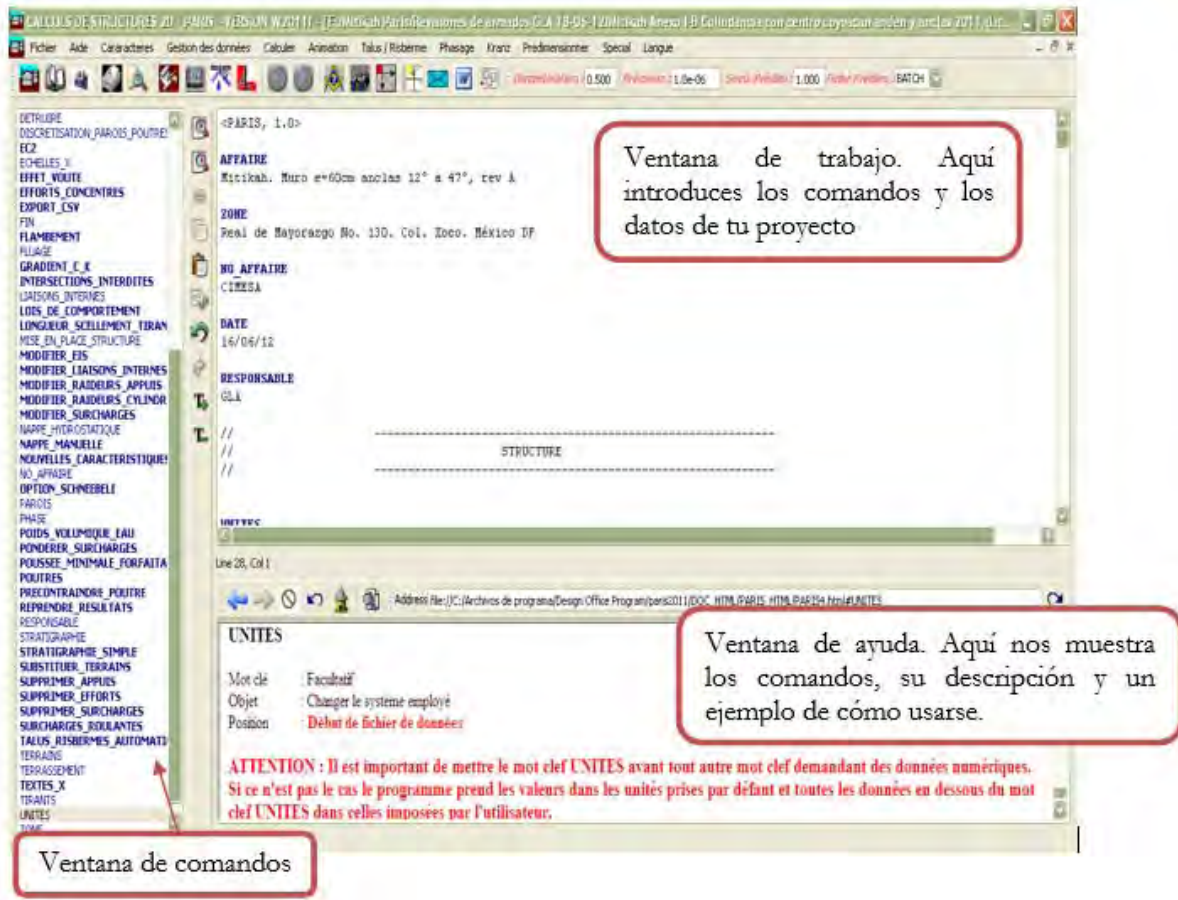


Ilustración 21. Interfaz del programa PARIS.

Se puede cambiar el procedimiento de excavación para nivelar los empujes que se obtienen y la reacción del suelo, además de la geometría del Muro Milán y profundidad de desplante, número de torones, longitud y ángulo de las anclas, así se puede manipular hasta que cumpla con los objetivos ya mencionados.

Para la excavación y construcción del proyecto Mítikah, en el cajón de cimentación, se propone construir un muro Milán perimetral estructural definitivo de 60 cm de espesor, desplantado a la -30m, que pueda contener los empujes del suelo a través de la colocación de 5 niveles de anclas de gran capacidad (entre 125 y 130 t).

Para ello se seguirá el procedimiento constructivo que, a grosso modo, se presenta a continuación:



- ✚ Condiciones iniciales. Construcción del muro Milán de -0.5m hasta 30.0m. Carga repartida uniforme superficial de $2t/m^2$.
- ✚ Excavación a la -3.5 m, con nivel freático a -5.0m.
- ✚ Construcción del primer nivel de ancla a la -3.0m.
- ✚ Excavación a la -8.0 m, con abatimiento del nivel freático a hasta la -9.0m.
- ✚ Construcción del segundo nivel de ancla a la -7.4m.
- ✚ Excavación a la -12.5 m, con abatimiento del nivel freático a hasta la -13.5m.
- ✚ Construcción del tercer nivel de ancla a la -12.15m.
- ✚ Excavación a la -17.0 m, con abatimiento del nivel freático a hasta la -18.0m.
- ✚ Construcción del cuarto nivel de ancla a la -16.20m.
- ✚ Excavación a la -20.5 m, con abatimiento del nivel freático a hasta la -21.5m.
- ✚ Construcción del quinto nivel de ancla a la -19.70m.
- ✚ Excavación a la -24.1 m, con abatimiento del nivel freático a hasta la -25.1m.
- ✚ Construcción de losa de fondo.
- ✚ Construcción de los sótanos.
- ✚ Retiro de las anclas.



- ✚ Fluencia, reducción del módulo de elasticidad del concreto de $1.6E6 \text{ t/m}^2$.

El análisis se realizó en las colindancias, que se presentan en el *Anexo III* y se describe a continuación.

En la colindancia con el centro Coyoacán a nivel del andén, que es la considerada más crítica por la sobrecarga transmitida al terreno, se consideraron las siguientes hipótesis:

- a) **En condición de anclas:** Considera la carga repartida superficial de 4.5 t/m al nivel -3.0 m . Este nivel representa el nivel de desplante del cajón de Centro Coyoacán. El primer nivel de las anclas se baja a -3.70m para evitar tocar la losa de fondo de Centro Coyoacán.
- b) **En condición con losas diafragmas:** Considera la carga repartida superficial de 4.5t/m al nivel -3.0m . Este nivel representa el nivel de desplante del cajón de Centro Coyoacán.
- c) **En condición con la rampa y anclas:** Considera la carga repartida superficial de 4.5t/m al nivel -3.0m . Este nivel representa el nivel de desplante del cajón de Centro Coyoacán. El primer nivel de las anclas se baja a -3.70m para evitar tocar la losa de fondo de Centro Coyoacán.
- d) **En condición con anclas:** Considera la carga repartida superficial de 10.0t/m al nivel -3.0m . Este nivel representa el nivel de desplante del cajón de Centro Coyoacán. El primer nivel de las anclas se baja a -3.70m para evitar tocar la losa de fondo de Centro Coyoacán.
- e) **En condición con losas diafragma a nivel del centro comercial:** Considera la carga repartida superficial de 10.0t/m al nivel -3.0m . Este nivel representa el nivel de desplante del cajón de Centro Coyoacán.
- f) **En condición con rampa en el caso general y con anclas:** Considera la carga repartida superficial de 2.0t/m al nivel de terreno natural.

En la colindancia con la iglesia se hizo otro análisis:

- g) **En condición con rampa y anclas:** Se considera la carga repartida superficial de 7.0t/m al nivel de terreno natural.

Dentro de los resultados, se puede apreciar el armado que llevarán los paneles y las recomendaciones de las dimensiones de los mismos, para ciertos casos de carga en particular, cuando se generan solicitaciones superiores a las planeadas en el diseño del armado base, que se encuentra en el *Anexo IV*, se añadieron unos bastones sobre el armado original para retomar esos esfuerzos suplementarios:



Para los armados que aplican a los casos de las colindancias de las rampas y la iglesia, se añaden bastones del #6, cara tierra, centrados a -8.5m sobre una longitud de 4m, con una cuantía que respecta: un bastón cada dos varillas. En esa zona esos bastones, en conjunto con las varillas, aportan un momento resistente de servicio de 26.96 t*m. El momento máximo que se presenta para los tres casos siendo de 26.89 t*m para la rampa con anclas en el caso general que es punto f), mencionado anteriormente.

Para los armados que aplican para el caso del punto d), se añade bastones del #6, cara excavación, centrados a -11.0m, sobre una longitud de 4m, con una cuantía que respecta: un bastón cada dos varillas. En esa zona esos bastones, en conjunto con las varillas, aportan un momento resistente de servicio de 56.95 t*m. El momento máximo que se presenta siendo de 50.01 t*m.

Para el caso de los puntos a), b) y e) no se necesitan bastones, los esfuerzos no sobrepasan los presentados en el Anexo IV.

Armado	Longitud	Cantidad
TABLA DE ARMADOS (M) MURO MILÁN		
A1	2.825	24
A2	2.825	22
A3	2.825	6
A4	2.825	12
A5	2.825	14
B1	2.50	6
B2	2.50	2
C3	2.95	1
D1-b	2.70	1
D1-c	2.70	6
D1-c	2.70	1
D1-cbis	2.70	1
D2-a	2.70	1
D2-c	2.70	1
D2-d	2.70	1
D3-c	2.70	1
E3	2.90	1
F1-b	3.00	1
F2-a	3.00	2
F2-c	2.70	1
F2-d	2.70	1
G2	2.825	6
G3	2.825	12
GI3	2.825	8
H2	2.50	2
H3	2.50	2
I0	2.825	6
I5	2.825	6
J4	2.825	8
J5	2.825	7
K5	2.50	2
L0	2.825	6
L5	2.825	12
M0	2.50	4
M5	2.50	4
N3	2.50	2
N0	2.825	6
O3	2.825	4
O5	2.825	3
P3	2.95	4
Q3	2.50	4
Total (pzas.)		214

Tabla 7. Armados de muro Milán.



B. Secuencia constructiva

La función de cimentaciones con pilas y con cajones es permitir que las cargas estructurales sean colocadas a través de estratos profundos de suelo débil hasta un estrato firme que dará un soporte óptimo a la carga final y resistencia a las presiones laterales del suelo, para cumplir con lo dicho, es necesario establecer la secuencia constructiva óptima, que quedó definida por el diseño geotécnico de la fase dos del proyecto Mítikah.

44

Al inicio de la fase dos, se construye el muro Milán a la par de las pilas de cimentación de las zonas E (Top-Down) y las zonas D, C y B (Dársena), ya que algunas de estas dan paso a la dársena, que es la zona de acceso de los camiones por las entradas principales, sur y norte, colindancias de las Avenidas Real de Mayorazgo y Río Churubusco, dando así, velocidades óptimas de trabajo en condiciones de trabajo claras, y las pilas de la zona E de Top-Down, elementales para la eficiencia del método, teniendo así las columnas para empezar la excavación de planta baja hacia los sótanos, además del avance en la excavación a cielo abierto para poder aumentar la productividad en la excavación de la Zona E.

La excavación se lleva a cabo desde el momento que se terminan las pilas y se empieza con la colocación de las anclas, como parte última de la secuencia constructiva, concluyendo con los alcances que se tenían del proyecto Mítikah en el año 2012.

En el año que se tuvo la experiencia en este proyecto, ya se había concluido el muro Milán, por lo tanto, se hizo la visita a otras obras para poder presenciar el procedimiento constructivo descrito a continuación.



I. Muro Milán

Conocido también como muro diafragma o pantalla se define como una pared de concreto reforzado conformada en el subsuelo y al inicio, confinada por el subsuelo; su función principal es ser un elemento de sostenimiento temporal o definitivo de zanjas longitudinales abiertas en la masa de suelo y para estabilizar excavaciones profundas en cimentaciones profundas.

45

En la Ciudad de México, el muro Milán se utilizó desde 1967 como solución de cimentación y tomó dos años desarrollar habilidades para poder construirlo con calidad que ya presentaba Europa.¹⁰ En este proyecto se aprecian las mejoras de los procedimientos franceses.



Ilustración 22. Planta con distribución de paneles de muro Milán del proyecto Mítikah fase II.

¹⁰ Manual de Construcción Geotécnica, Tomo I, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., Capítulo 3.



Mítikah es un ejemplo vital de nuevas tecnologías que se utiliza en México y el muro Milán consta de 214 paneles, que se pueden observar en la *ilustración 22*, la cual refleja la distribución de los paneles definidos desde proyecto para su construcción, todo en base a la almeja que se utiliza para cumplir con la abertura o número de posiciones a utilizar en la perforación del panel que más adelante se detalla.

I.I Brocales

El muro Milán del proyecto Mítikah se considera un muro colado en el lugar, por lo tanto, el primer elemento a construir son los brocales o zanja guía con revestimiento, con los paneles ya definidos por el diseño. Los brocales se componen de una ranura en la superficie del terreno que debe tener el mismo ancho que el muro Milán, más la tolerancia de la almeja de excavación.

Los propósitos de estos elementos son:

- ✚ Precisión topográfica de los muros, incluyendo curvas y ángulos.
- ✚ Comprobación de ausencia de instalaciones subterráneas de servicios en el eje de trazo del muro.
- ✚ Verificación de la posición de la almeja para su correcta excavación, logrando la simetría en la operación de la almeja y conservar su verticalidad.
- ✚ Prevención de caídos locales y estabilización de la parte superior de la excavación.
- ✚ Facilidad en el control del lodo, tanto en nivel como en confinación dentro de la excavación.
- ✚ Soporte del armado de acero y fijación del mismo para evitar que se hunda o se levante.
- ✚ Apoyo estructural para el paso de maquinaria de excavación y maniobra cerca de la excavación.



Los brocales del proyecto se realizaron con maquinaria ligera, con una profundidad de 1.5 m garantizando que no se produzcan panzas o salientes en el muro terminado.

En la colocación del acero de refuerzo, cimbra y colado, es importante que se establezca con puntales de madera para evitar movimientos indeseados horizontales.

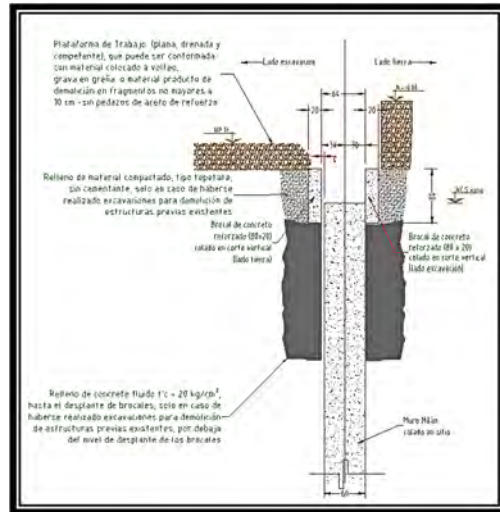


Ilustración 23. Construcción de brocales y detalle de brocal.

I.II Equipo y secuencia de excavación

La selección de la máquina adecuada para este proyecto estuvo en función de la profundidad, disponibilidad de la maquinaria, magnitud de este proyecto y del tiempo-costos disponibles. El equipo utilizado es una Grúa Liebherr 855HD u 853HD, que carga una almeja hidráulica BAYA fabricada por TEC. Está compuesta por unas almejas unidas a la punta inferior de una pesada columna vertical de acero que guía la caída de la almeja y facilita la penetración en el suelo. En esta máquina el cierre de las valvas de la almeja es con un mecanismo de gato hidráulico vertical, cuya central de potencia se ubica en la superficie y el aceite a presión se conduce con largas mangueras.

La excavación de un panel se realiza en un ciclo, que conlleva las tareas como, instalar la máquina, centrar y bajar la almeja, excavar, subir la almeja, dejar que escurra el lodo bentonítico y vaciar el material. En base a esto, se precisan los rendimientos que puede alcanzar para evaluar el volumen de materia que puede



excavar como control de obra, además es importante verificar la verticalidad de la excavación, aunque la máquina ya tiene su propio programa llamado Sakso 3 que mide la verticalidad de la perforación, permitiendo una tolerancia máxima de desviación horizontal de la distancia vertical del 3%.

Cuando la perforación está teniendo problemas de verticalidad y rebasa las tolerancias permitidas, esta se ajusta con unas placas ubicadas en las guías de la almeja, raspando la perforación mediante un trépano o se hace la cementación de la perforación y re-excavación, esta decisión se toma en la obra por los responsables de la misma.

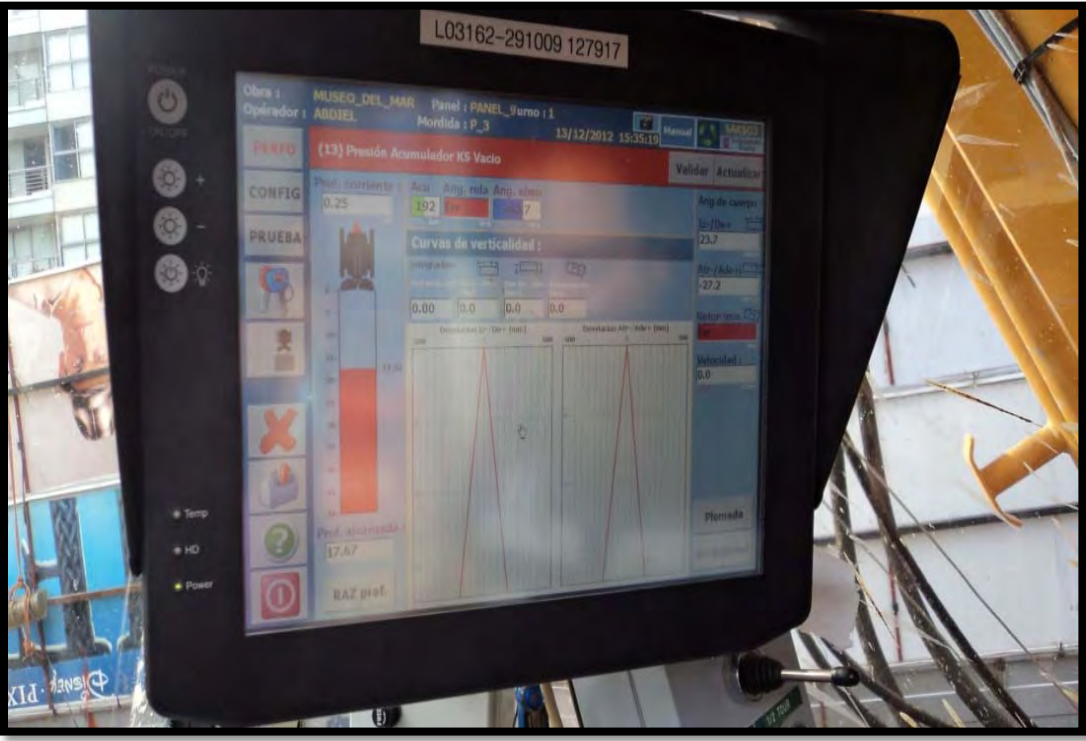


Ilustración 24. Tablero del equipo.

Para las dimensiones y geometría del ancho del brocal, junta y muro se tiene una almeja de 60 cm, la cual puede abrir una zanja de 62 cm, quedando de esa medida el ancho del muro.

Así que, para las tres dimensiones importantes ya mencionadas es importante tener en cuenta la tolerancia lateral de 2.5 cm entre la almeja y el ancho del brocal, la penetración mínima de 1 cm de la junta en



las paredes de la zanja y el recubrimiento mínimo del hacer de 6 cm, quedando entonces la zanja de 75 cm de ancho, el brocal de 65 cm cumpliendo con los 2.5 de tolerancia lateral entre la almeja y la pared del brocal, así la junta quedará de 64 cm en sus partes laterales para que penetre 1 cm en las paredes del suelo y finalmente el armado de 50 cm de espesor para entrar en la tolerancia promedio del recubrimiento mínimo del acero de 6 cm.



Ilustración 25. Grúa Liebherr 855HD u 853HD con almeja hidráulica BAYA.

Los paneles dependen de la abertura de la almeja, que en este proyecto es de 2.70 m, además de considerar las esquinas y la condición cual que entre menos posiciones lleve la almeja, menos tiempo tardará la perforación, aumentando el volumen de excavación y rendimiento del equipo.



La secuencia de excavación de los paneles debe ser alternada, ya que se necesita que los muros tengan la edad mínima para soportar la maniobra de limpieza de sus juntas machihembradas, así que el concreto debe alcanzar la resistencia que tolere esas maniobras, en ese momento la almeja puede proceder a la excavación del siguiente tablero intermedios faltantes, como se muestra en la siguiente *ilustración 26*.

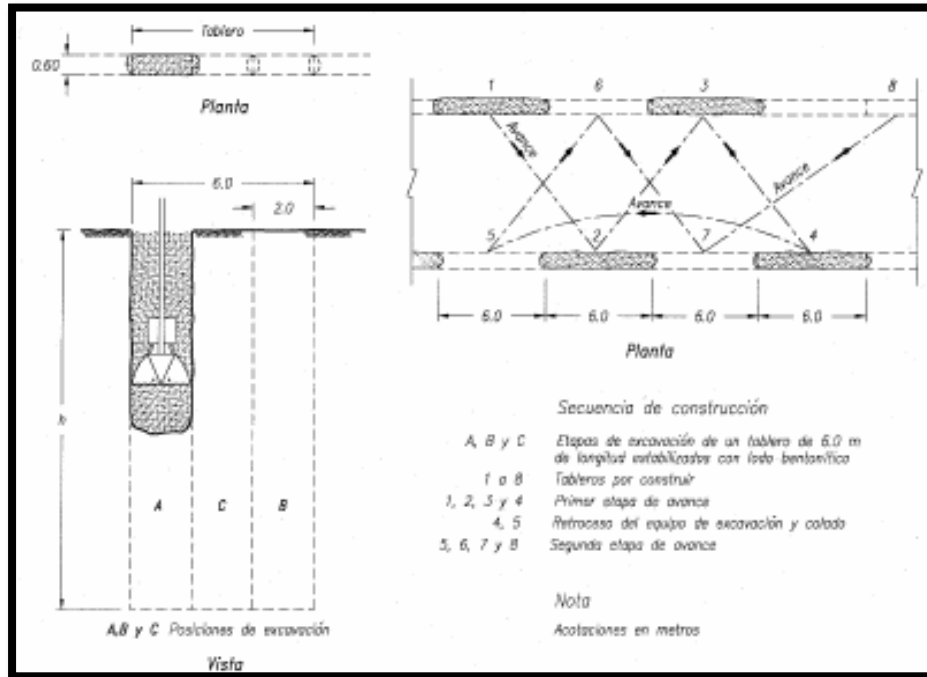


Ilustración 26. Excavación en tres posiciones por módulo.

La perforación se estabiliza con lodos bentoníticos, ya que forman una costra o bien llamada “cake”, como consecuencia de la pérdida local de agua que sufren, creando una especie de tela de muy baja permeabilidad que hace presión del fluido estabilizador a las paredes de la excavación. Este lodo se realizó en obra gracias a que el predio tenía el espacio para su producción y se pudo colocar una planta de lodos. Al producir y almacenar el lodo bentonítico en obra se tuvo que realizar pruebas de calidad para verificar las que las propiedades del lodo no disminuyeran y pudiera cumplir con su función principal.

La profundidad de la perforación se verifica con plomo, teniendo siempre en cuenta que el nivel del lodo nunca debe ser menor a 0.5 m por debajo del nivel de los brocales, para conseguir la estabilización de la excavación.





Ilustración 27. Central de lodos en el proyecto Mítikah.

Al terminar la perforación de cada panel se procede a limpiar el fondo de la zanja para eliminar los detritus que se desprenden de la almeja, ya que los trozos sueltos de suelo que queden en el fondo por el simple hecho de tener menor densidad que el concreto, flotarán al momento del colado. La limpieza se realiza con una bomba eléctrica sumergible, que genera movimiento del lodo en el fondo de la zanja para así conducir los trozos de suelo y azolve depositado a la central de lodos para ser tratado y limpiado, tratamiento que se le llama desarenar al lodo bentonítico.

I.III Acero de refuerzo

Las varillas de refuerzo se ensamblan en parrillas dentro de la obra para formar el armado de los paneles del muro Milán, como ya se mencionó, se consta con el espacio necesario para el armado, el almacenaje y las maniobras que se tienen con el armado, ya que se suspenden verticalmente para colocarse dentro de la perforación.





Ilustración 28. Empleo de balancín con dos puntos de izaje para el manejo de armados.

Para el armado es necesario que tenga las orejas o lazos de varillas para el izaje en la parte superior y el anclaje con el brocal, debe de dejarse espacio en los estribos para que la tubería tremie entre sin problemas al momento del colado y deben dejarse las preparaciones huecas para las anclas.

Es necesario que se rigidice el acero para el izaje, ya que puede deformarse por pandeo o presentar distorsiones al momento de levantarlo del nivel de piso por consecuencia del peso propio de la estructura.



Particularmente se tuvieron paneles largos y el izaje se tuvo que realizar con dos grúas para su colocación en la perforación.



Ilustración 29. Izaje de dos paneles del muro Milán.

En cuanto el armado se encuentra completamente vertical, se colocan en ambos lados del armado unos pedazos pequeños de concreto, conocidos como “muertos”, que permiten se centre bien el armado y unas ruedas de plástico llamadas “pollos”, hacen que deslice la armadura dentro de la zanja sin problemas, asegurando con ambas, el recubrimiento mínimo. El armado no debe asentarse en el fondo, así que se precisa la elevación del armado con las orejas del panel.



Ilustración 30. Muertos que garantizan el recubrimiento en el muro Milán.



I.IV Colado y juntas de colado

El tubo tremie¹¹ es la herramienta con la que se introduce el concreto en la perforación, ya que permite tener un método de vaciado que comienza desde el fondo de la perforación y gradualmente se va levantando el tubo manteniendo siempre su punta hundida en el nivel de concreto, permitiendo así, una descarga siempre fresca y evitando la segregación o contaminación del concreto.

54

El equipo que compone la tubería está integrado una tolva colocada en la parte superior, que conviene tenga un tubo de respiro para dar salida al aire que se entrapa durante el vaciado de concreto, la válvula separadora, que es la frontera inicial entre el lodo bentonítico y el concreto, y la grúa que maneja los tubos y hace movimientos intermitentes del mismo durante la colocación del concreto. Los tramos de la tubería se consideran de la longitud de la profundidad de la perforación y se van desmontando a medida que avanza el colado y se extrae la tubería, haciendo rápidamente los desacoplamientos y acoplamientos necesarios. La tubería se sujeta de los brocales por medio de unas bisagras del ancho de la zanja, conocido como centrador y sujetador del tubo.



Ilustración 31. Colado con tubería tremi del muro Milán.

¹¹ (SMMS, 2002)



Las juntas utilizadas son llamadas WaterStop, que cumplen con las siguientes funciones:

- ✚ Permiten la excavación del panel continuo.
- ✚ Sellan la unión de los paneles, haciéndolos trabajar como un solo elemento.
- ✚ Soporta la fuerza cortante entre paneles consecutivos.
- ✚ Son impermeables por su composición.
- ✚ Son permanentes y quedan ahogadas en el concreto de cada panel.
- ✚ La fuerza necesaria para su extracción es mínima.

Se coloca con una placa rectangular simple con machihembrado trapezoidal, con arista en la parte inferior para apoyarse en el fondo de la excavación firmemente. Para retirarlas, es necesario dejar pasar máximo tres días para que no se tengan problemas al retirar la placa rectangular y la junta se quede en el muro Milán.

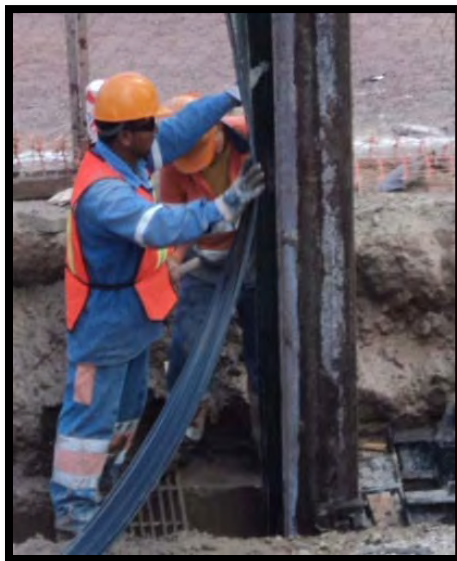


Ilustración 32. Junta WaterStop colocada en colado de muro Milán.



II. Cimentación

La cimentación del proyecto consiste en el cajón de cimentación que se compone por el muro Milán ya descrito y las pilas de cimentación, para lo cual, en este punto nos enfocaremos al procedimiento constructivo que se llevó a cabo en la construcción de las pilas, que se define como un miembro estructural subterráneo con la función que cumple una zapata, es decir, transmitir la carga a un estrato capaz de soportarla, sin peligro de que falle ni de que sufra un asentamiento excesivo. Sin embargo, en contraste con una zapata, la relación de la profundidad de la cimentación al ancho de la base de las pilas es usualmente mayor que cuatro, mientras que, para las zapatas, esta relación es comúnmente menor que la unidad.¹²

56

El diseño de las pilas de cimentación se realizó en el estudio de mecánica de suelos, y no entra dentro de los alcances de este documento, así que únicamente se mencionará el procedimiento constructivo que cuenta con una restricción de tolerancia permisible con verticalidad del 1%.

Las características de las pilas del proyecto Mítikah son las siguientes:

✚ **Zona Dársena:** Tubo con un diámetro de 762 mm y una longitud promedio de 21.3 m, con 74 pilas de cimentación.

✚ **Zona Top-Down:** Perfil de 28.05 m en perforación promedio de 37.3 m, con 102 pilas de cimentación.

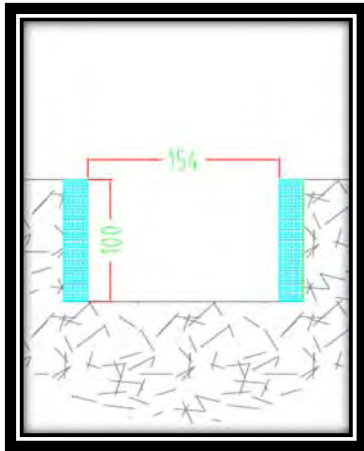
Se anexan las plantas de ambas zonas con las pilas en el *Anexo VII*.

II.I Brocales

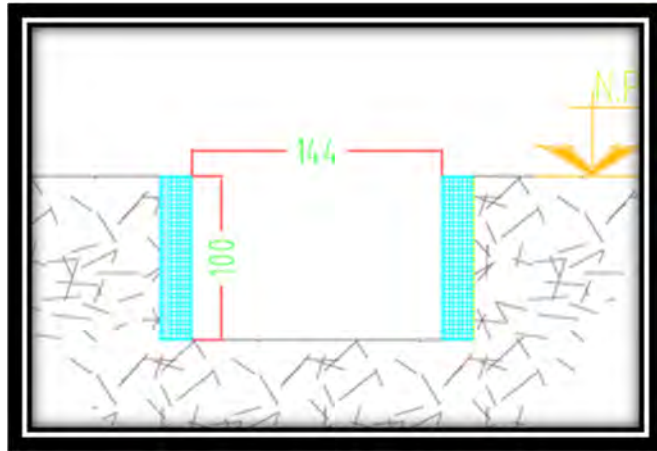
EL primer trabajo a realizar es asegurar la ubicación de la pila con el topógrafo con la estación total, marcando el trazo de ejes de pila con respecto a coordenadas marcadas en plano de proyecto (X, Y) sobre la plataforma de trabajo, marcando el número y diámetro de la pila más la holgura y el espesor del brocal. Las medidas de la zona de dársena son 1.54m de diámetro, 25 a 30 cm de espesor hasta 1 m de profundidad y la zona de Top-Down son 1.44 m y 1.24 m, 25 m a 30 cm de espesor hasta 1 m de profundidad; se puede apreciar el detalle en la *ilustración 33*.

¹² (Ingeniería de cimentaciones, 2012)





a) Zona Dársena.



b) Zona Top-Down.

Ilustración 33. Detalle de brocales del proyecto Mítikah.

Se realiza la excavación con una máquina retroexcavadora al interior de la marca realizada por los topógrafos; así mismo verificando la profundidad de excavación de acuerdo con el nivel correspondiente. Se realiza un afine de terreno a pico y pala para lograr el perfil de la excavación.

El topógrafo procede a colocar el trazo de los ejes de pila y se colocan referencias en los 4 extremos a 1.0 m de distancia sobre la plataforma, se coloca la cimbra al interior de la excavación; se fija un arrastre de la misma, se centra, se alinea con respecto a los ejes y se controla el nivel en sentido horizontal y plomeo en sentido vertical. Es muy importante que la verticalidad del brocal sea precisa ya que es determinante para la verticalidad de la pila.

Una vez revisado todos los controles correspondientes se procede al colado del brocal. Se coloca un divisor de madera sobre la cimbra del brocal en caso de que no se tenga el suficiente espacio para distribución del concreto por canalón, se inicia la colocación del concreto sobre el divisor o canalón para llenar la excavación de manera uniforme y lenta para no provocar un movimiento o desplazamiento de la cimbra. Se llena hasta el nivel indicado y se procede a afinar el concreto; de manera que la parte superior del brocal presente una horizontal optima en ambos sentidos (X y Y) checando con la estación total y el nivel de mano.





Ilustración 34. Brocal terminado de colar del proyecto Mítikah.

Después del retiro de la cimbra se debe verificar la nivelación de la superficie superior del concreto y más importante aún la verticalidad de la pared interior, con un nivel de mano en sentido horizontal se verifica la parte superior y de forma vertical la pared interior del brocal; la plomada se utiliza para verificar nuevamente la verticalidad en la parte interior del mismo en cuatro puntos diferentes del interior del brocal. La verticalidad debe ser lo más precisa posible. Si llegase a presentar algún desplome o deformación deberá de ser reparado.

II.II Equipo y secuencia de excavación



Ilustración 35. Perforadora Soilmec R - 625.



La perforación se hizo con una Soilmec R-625, que tiene como característica su Kelly y el cambio de broca o bote perforador.

Como preparación para la perforación y por la tolerancia del 1% que presenta el proyecto en verticalidad, el topógrafo con la estación total, realiza la verificación de la verticalidad del Kelly y barretón con respecto a los niveles de mano colocados en el Kelly; esto se controla con el equipo de topografía estación total verificando el eje del Kelly de la parte inferior a la superior en ambos sentidos (X y Y).

El topógrafo coloca 4 referencias (1 a cada extremo) a 3 m de distancia del centro de la pila enlazando cada referencia (ejes) con un hilo reventón, se posiciona la perforadora Soilmec de tal manera que la punta guía de la broca quede sobre el cruce de los hilos. Se revisa la verticalidad del Kelly con el nivel de mano en ambos ejes. Antes de iniciar la perforación de la pila, el topógrafo con la estación total, realiza el trazo de ejes de pila (X,Y) sobre el brocal de concreto, marcando referencias a 10 cm de distancia de estos ejes. El topógrafo deberá de colocar las referencias exteriores e interiores en forma simultánea para evitar la pérdida de tiempo.

Se inicia la perforación de la pila con la herramienta adecuada hasta 2 m o 3 m de profundidad solo para hacer guía a la perforación, se cambia la herramienta de perforación por un bote resagador y se volver a realizar el cambio de la herramienta (Broca, Bote Corona, Bote Resagador, Bote Tipo UK) según las condiciones de terreno. A la par del inicio de la perforación se debe de colocar lodo bentonítico sustituyendo así el material extraído de la misma hasta el final de la perforación requerida. Durante la perforación se debe ejercer una presión mínima del gato de empuje a la rotaria solo para evitar la desviación.

Durante la perforación de la pila, el Técnico de Obra coloca el plomo (plomada o Koden) en el interior del brocal, centrándolo en los ejes trazados previamente. Tomando pruebas de verticalidad con Koden y/o plomo a cada 5 m con apoyo de la grúa de servicio. Centrado el plomo se debe ir introduciendo lentamente hasta que la marca inicial puesta en el cable del plomo o la parte superior del plomo quede al ras del nivel superior del brocal.

El Técnico de Obra procede a tomar lectura de una medida inicial, esto es, se colocan reventones (hilos) de referencia a la referencia opuesta en los ejes "X" y "Y" respectivamente. Con un flexómetro se mide la distancia del reventón de referencia al paño del cable del plomo, esto se realiza en ambos sentidos para poder



centrar el plomo al centro y diámetro de la perforación. Se deberá tomar registro a cada 5 m, a partir de 0 m, 5 m, 10 m, 15 m hasta 20 m después a los 27 m y por ultimo hasta los 41 m o la profundidad requerida de proyecto.



Ilustración 36. Koden en pila perforada

Se usa el Koden con una densidad de lodo menor a 1.2 g/cm^3 ya que de ser mayor podría arrojar datos erróneos. El uso de Koden es considerada una etapa crítica de nuestro proceso mostrando la verticalidad de nuestra excavación dándonos un parámetro para corrección y prevención en el seguimiento de la excavación, los datos obtenidos serán causa de análisis para determinar posible afectación. Se supervisa en cada momento el registro y uso adecuado del mismo.

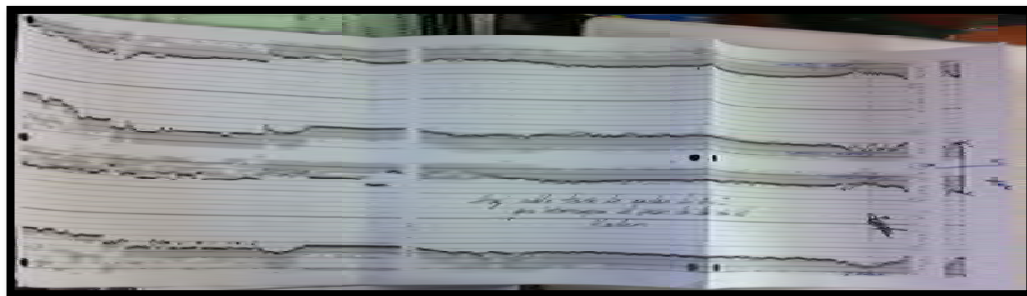


Ilustración 37. Registro Koden.



Por último, se realiza la limpieza del área y se hace un sondeo al interior de la perforación para verificar la profundidad, con el apoyo de la grúa para iniciar el acoplamiento de la tubería tremie sobre la bomba sumergible Toyo. Se inicia el desarenado, se toma muestra de lodo para realizar las pruebas correspondientes a densidad, viscosidad, porcentaje de arena; al final del desarenado se vuelven a tomar las mismas pruebas además del filtrado y cake.

II.III Acero de refuerzo y habilitado de tubo

En principio, se verifica y libera el armado conforme a los planos estructurales que según correspondan, después se coloca el armado de acero de refuerzo de pila, sujetándolo en el brocal con tubo de 4" utilizando el balancín adecuado para evitar deformación en el mismo. En este mismo proceso, al tener el armado colocado y sujetado, se colocan las orejas largas soldándolas al armado a longitud de diseño para bajar el armado al nivel deseado sin olvidar nivel de plataforma.

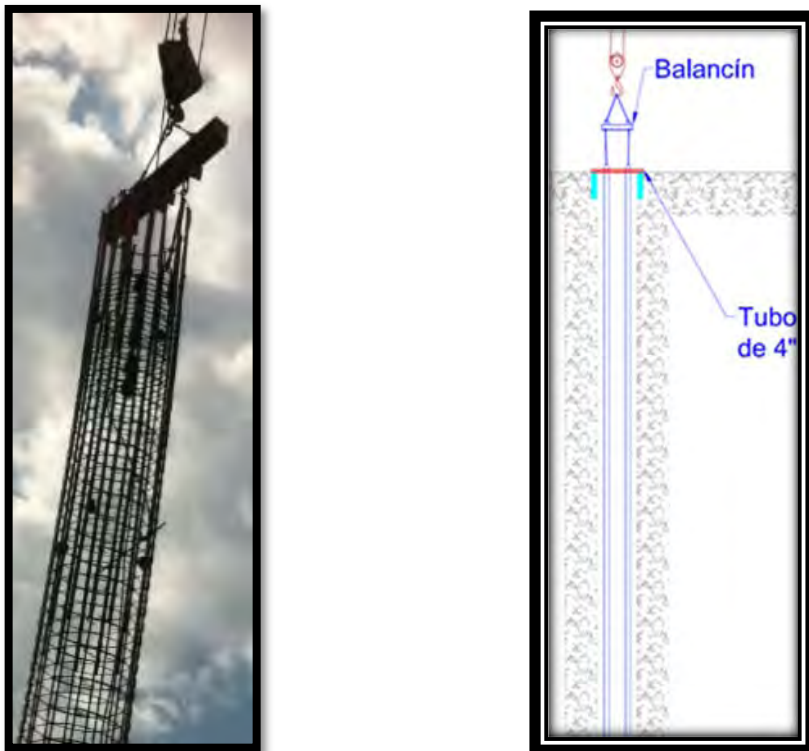


Ilustración 38. Izaje del armado de acero de pila circular y colocación de orejas.





Esta etapa es la crítica para controlar la nivelación de la pila, así que, con ayuda del balancín se coloca guía de tubo de 30" y con el cable auxiliar pasando por el centro de la guía se levanta el armado de refuerzo sujeto con tubo de 4" sobre la guía de tubo de 30" (Anexo V).



Ilustración 39. Guía de tubo de 30".

Se procede a colocar mangueras de polietileno en las varillas como mecanismo de protección, de igual manera, poner grasa adentro del cople y proteger el conjunto cople más varillas con espuma para evitar contaminación de lodo o concreto además de colocar grasa dentro del tubo extensión para facilitar la extracción de este mismo después del colado y evitar la adherencia.



Ilustración 40. Protección a las varillas con espuma y mangueras.



Finalmente, se coloca el tubo de 30" conforme a la longitud de diseño, sosteniéndolo con cartabones en la guía, se acopla la extensión del que se sujeta a la guía con cinco medidas diferentes: 9.50 m, 6.85 m, 5.50 m, 2.85 m y 2.60 m, ya que se tienen 19 longitudes de tubos en el proyecto.

En la zona de Top-Down el habilitado de perfiles es lo que cambia en este proceso, ya que el armado se coloca con orejas repitiendo el proceso de la dársena.

Se hace la colocación de la guía en el perfil a un costado del taller de unión de perfiles, colocando el perfil completo ya unido sobre dos bloques de concreto de 0.8 m x 2 m x 1 m con apoyo de grúa de servicio se toma la guía horizontalmente y se introducirá la guía al perfil (*Anexo VI*). Si es necesario se debe poner un contrapeso.

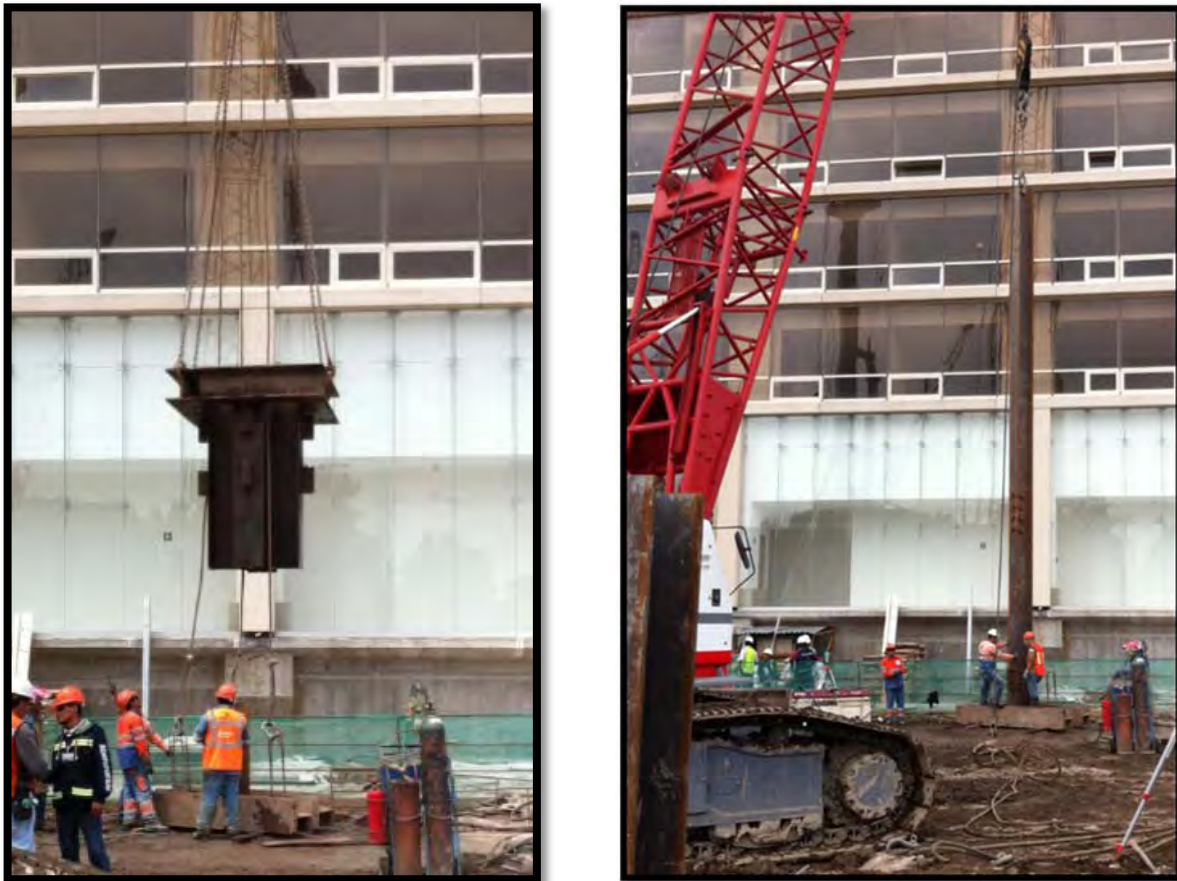


Ilustración 41. Colocación de perfiles de Top - Down.



Al perfil no se le debe poner ángulos del nivel +1.85 al -4.20 para que permita el libre manejo del mismo (se ponen después de estar colocado - después de la excavación). Esta es etapa crítica del proyecto y se debe verificar la horizontalidad de la guía ya que de este proceso depende la verticalidad del perfil. Con la ayuda del balancín se coloca guía y perfil como se muestra en la *ilustración 41*.

Con el cable auxiliar pasando por extremos de guía se levanta armado de refuerzo de pila, quedando el armado sujeto con tubo de 4" sobre la guía de perfil y se levanta el perfil hasta nivel de proyecto (+1.85).

II.IV Colado

El colado es muy parecido el proceso en ambas zonas Dársena y Top - Down, únicamente varía porque al perfil circular se le coloca concreto por dentro, y a los perfiles del Top - Down es imposible hacerles ese proceso. Por lo tanto, el primer paso es sujetar la tubería tremie con freno de la misma guía del perfil.

Después de haber vaciado de 1 a 2 m³; el vaciado se debe de continuar despacio y de manera continua. Sondear el nivel del concreto aproximadamente a mitad de olla, para realizar el corte de tubería tremie lo necesario y lo antes posible. Utilización de sonda con plomada y sonda tipo buzo.

El concreto dentro del tubo se debe mantener a una longitud con tubería tremie de 6 m dentro del concreto para evitar un movimiento lateral del tubo; así hasta 1.2 m sobre nivel de concreto sano (N.C.S.) considerando tener tubería tremie a un nivel de -28.5 y después hasta el nivel de descabece.



Ilustración 42. Colado de pilas.



Se realiza el relleno de grava a 3 m sobre paro de concreto, para realizar tapón exterior de tubo de 30" y corte de tubería tremie a un nivel de -24.5. (Anexo V)

Se coloca 2 m³ de concreto y se realiza corte de 2 m de tubería tremie, posteriormente por cada metro de concreto se realiza corte de 2 m de tubería tremie hasta llegar 20 cm arriba de la unión de tubo estructural y extensión.

En el Top – Down, Cuando el concreto se encuentre envolviendo el perfil la tubería tremie no debe de estar más de 3 m bajo el N.C.S. ni menos de 2 m para evitar un movimiento lateral del perfil, colocando el concreto despacio. Cuando el colado este a 1.2 m sobre N.C.S. se debe considerar tener tubería tremie a un nivel de -28.5 y después hasta el nivel máximo de descabece. Finalmente se saca la tubería tremie, freno y bomba, realizar limpieza de área y equipos.

Y en ambas zonas, se extrae la extensión del tubo desacoplando varillas protegidas, después se extrae el tubo y se rellena la perforación con grava y se retorna el lodo bentonítico a la central de lodos pasándolo por el desarenador.



III. Excavación (anclas, Top-Down)

Debido a la demanda de obras de infraestructura en el país y se han incrementado los proyectos con presencia del subsuelo como aprovechamiento de espacio para estacionamientos, por lo tanto, se han realizado excavaciones más profundas en la Ciudad de México, las cuales requieren de estudios más detallados ya que requiere de atención de distintos factores que son de suma importancia al realizar una excavación, como el nivel de aguas freáticas y la relación al a profundidad a excavar con el tipo de suelo que se presenta en el predio, entre otros factores que influyen en proyectos como el tratado en este trabajo.

Es de suma importancia conocer el tipo de equipo y la logística de excavación que se debe de realizar para la efectividad del proceso de excavación.

En este documento se describirá el procedimiento que se llevó a cabo en la excavación a cielo abierto en el proyecto Mítikah donde se colocaron anclas de tensión y la zona de Top-Down, donde se fueron colando las losas de piso para el soporte de los esfuerzos del suelo contra el muro Milán.

El proceso de la excavación a cielo abierto se realizó teniendo las pilas terminadas, por lo tanto, en la zona de A, B, C y D, se empezó con el primer nivel de anclas para garantizar la seguridad de la excavación. La configuración de las 915 anclas para colocar por nivel, es la siguiente:

Categoría	Nivel (m)	Tipo	Tensión (ton)	Cantidad (pza)	Long (m)	Inclinación (°)
1er nivel	- 3.00	7T15	80	215.00	29.50	35
2do nivel	- 7.40	10T15	120	175.00	29.00	35
3er nivel	- 12.15	10T15	120	175.00	20.00	30
4to nivel	- 16.20	10T15	120	175.00	19.50	25
5to nivel	- 21.50	10T15	125	175.00	18.50	25

Tabla 8. Configuración de anclas del proyecto Mítikah.

La logística de excavación considera un volumen de 662,605.45 m³ de la zona Dársena y 186, 888.72 m³ de la zona de Top-Down, con una operación de sistema de bombeo integrado por uno a 128 pozos durante



las 24 horas del día incluyendo domingos y días festivos con interrupciones mínimas para el mantenimiento propio de equipos por seis meses desde el inicio de la obra.

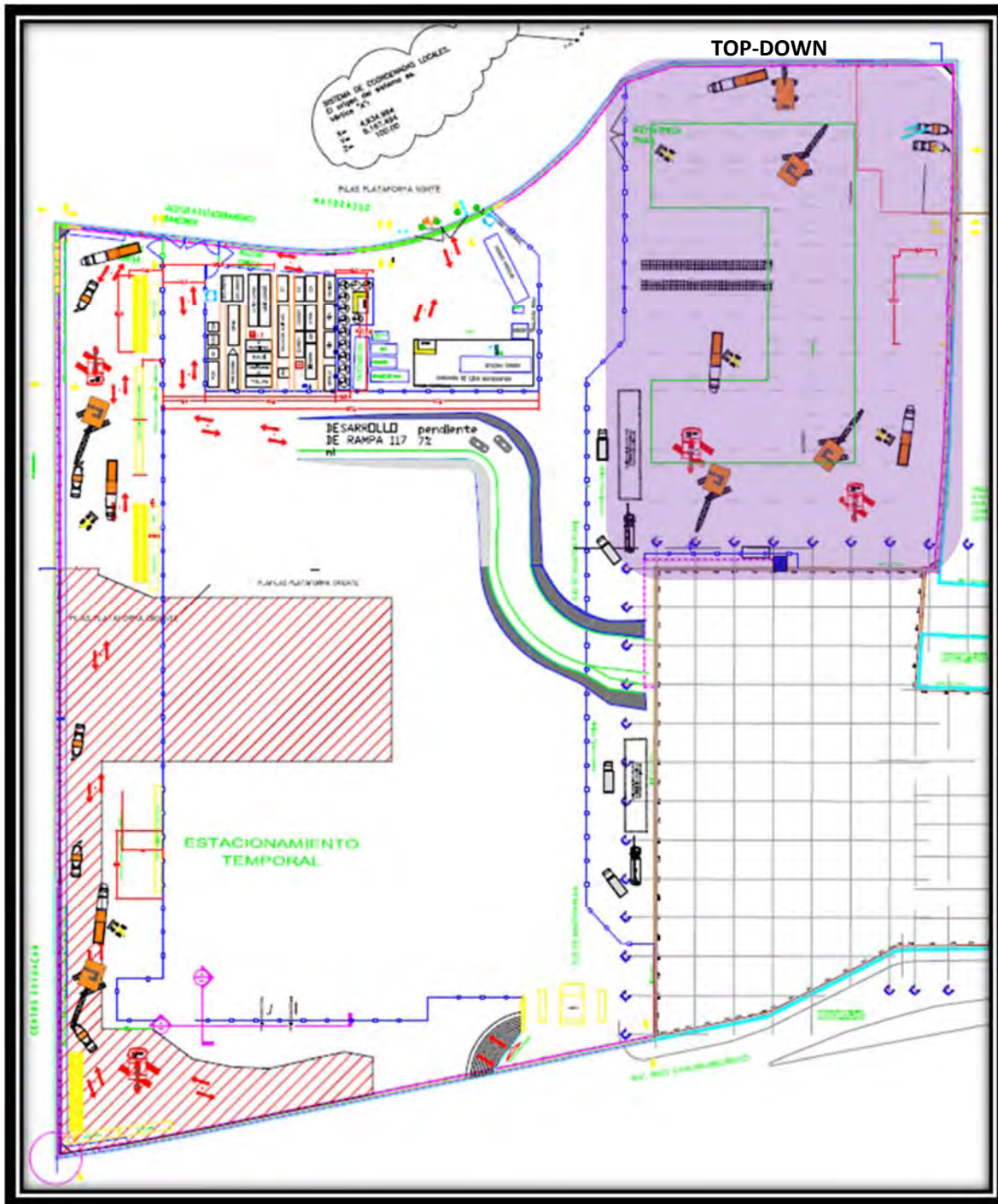


Ilustración 43. Logística inicial de excavación del proyecto Mítikah.



III.I Anclas


Las estructuras de anclaje son elementos de contención que trabajan a tracción, están compuestas por barras metálicas o cables, los cuales son colocados en perforaciones hechas con una perforadora y fijados al suelo por inyecciones de lechada, en su parte exterior se sujetan al muro Milán atravesado por la reservación (hueco) ya colocado desde su armado primario del muro y que únicamente cuando se descubre el muro con la excavación se limpia y por medio de ese hueco, se hace la colocación de los cables del ancla. Al atravesar el muro Milán se apoyan en éste y por medio de un dado se realiza la tensión.¹³


El anclaje del este proyecto es activo, ya que después de ser instalado, se pre-tensiona hasta llegar a la carga de trabajo que se presenta en la *tabla 8* y que se definió en diseño, ya que estas son capaces de soportar los empujes laterales del suelo, así que se trata de exceder un poco la tensión de diseño para garantizar la estabilidad del muro Milán, ya que generan una fuerza de compresión entre la estructura de contención y la zona anclada.


III.I.I Características y fabricación de anclas.

Las principales características del anclaje son su gran flexibilidad en fuerza, longitud, transporte e instalación, casi no hay limitaciones de longitud, requiere poco espacio durante la instalación y el tensado o des-tensado posterior se puede realizar a través de la rosca exterior en las placas de cuña.

Un anclaje se compone por las siguientes partes:

-  Zona de anclaje

-  Zona libre

-  Cabeza

¹³ (Excavaciones en Condiciones Complejas, 1997, 1° edición)



✚ Placa de apoyo

Los anclajes de cable disponen de una protección anticorrosiva permanente: cada cable se envuelve en masa anticorrosiva y se envaina en un tubo individual en fábrica. El número de cables que lleve un anclaje está tan sólo limitado por la capacidad de carga de la lechada de cemento.

Por definición, un anclaje consta de tres partes principales:

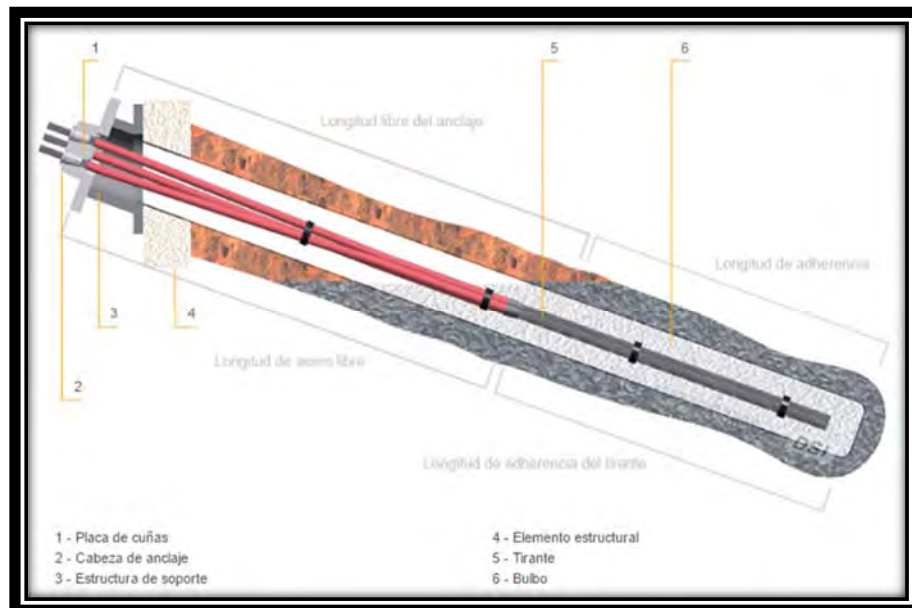


Ilustración 44. Partes de un ancla.¹⁴

- ✚ **Longitud de bulbo o adherente:** el anclaje se fija en el taladro mediante lechada de cemento y puede transferir las cargas por fuste a través de la adherencia y la fricción con el terreno circundante.
- ✚ **Longitud libre:** a través del envainado individual, cada cable se desprende del taladro, de forma que se puede alargar libremente en la longitud libre. Así, la fuerza de tesado se puede aplicar a la zona de anclaje.

¹⁴ (DYWIDAG, s.f.)



- ✚ **Cabeza de anclaje:** la cabeza de anclaje transfiere la fuerza del anclaje a la estructura de base, y a la estructura que se pretende anclar.

La fabricación de las anclas lleva un procedimiento, iniciando por deslizar el torón por el banco de fabricación hasta llegar a la longitud del tirante deseada, dependiendo la longitud solicitada por nivel de la *tabla 8*. Después se coloca un tubo de PVC de una pulgada de diámetro en el centro de los torones, este tubo debe tener orificios de un metro aproximadamente, en cada orificio se coloca un manguito de hule sujeto con cinta de aislar. Y, por último, se colocan los separadores, amarrando el paquete de torones hasta la sección libre del tirante, ya soldada la punta metálica, se introduce en toda la parte libre del tirante un tubo de 3" o 4" según el tipo.

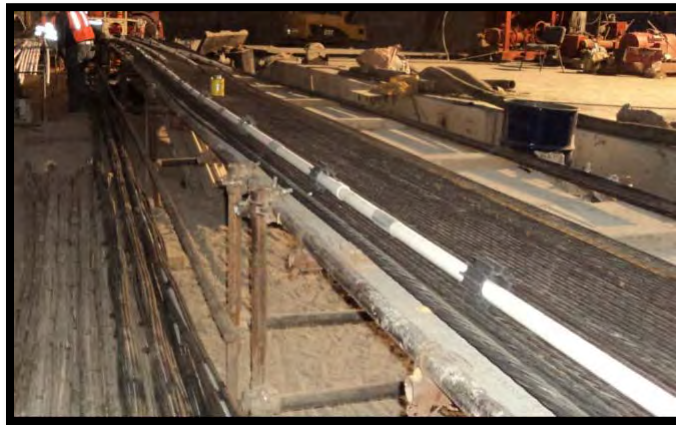


Ilustración 45. Fabricación de anclas en el proyecto Mítikah.

III.1.11 Perforación de anclas

Como trabajos iniciales a la perforación, se debe ubicar la barra de perforación de acuerdo a la inclinación y orientación establecida para la obra que se puede apreciar en el *Anexo VIII*.



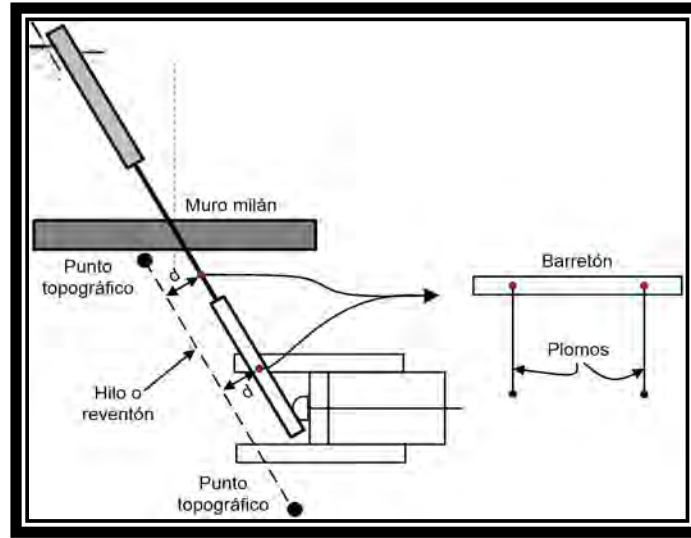


Ilustración 46. Colocación de la barra de perforación de acuerdo a la inclinación.

La perforación se realiza con el método a rotación con broca. En caso de ser necesario y según los obstáculos encontrados se aplica la roto percusión.

Como fluido de perforación se utiliza agua para garantizar la correcta ejecución de la perforación. En todo momento se instalan equipos de desarenado para el reciclaje del agua utilizada. Alcanzada la profundidad establecida para el barreno, se debe realizar una limpieza del mismo.

Para fabricar la lechada, se tiene una persona especializada que se le llama Centralista, y tiene como función mezclar las cantidades necesarias de cemento, agua y cuando aplique los aditivos necesarios, de acuerdo a lo establecido por la obra.

El Centralista debe verificar la densidad y viscosidad mínimo dos veces por turno. La lechada de recubrimiento (vaina) tiene que ser hecha desde el fondo a través de un poliducto o a través del tren de barras de perforación.

Si la lechada es colocada a través del tren de barras se procede a extraer el mismo tomando en cuenta en todo momento que la broca deba estar dentro de la lechada para evitar discontinuidad en la colocación de la lechada, si se hace con el poliducto este debe hacerse desde el fondo de la perforación.





Ilustración 47. Perforación de anclas.

El Centralista debe registrar el volumen de lechada utilizada como vaina y debe verificar en todo momento que no exista una pérdida parcial o total de lechada que pudiera implicar una mala colocación y una mala calidad del ancla al instalar o tensar.

Terminada la colocación de la vaina, se procede a la introducir el ancla dentro de la perforación (llena de lechada), dejando en todo momento por fuera de la perforación la longitud de torones (con su respectiva protección) necesaria para la posterior colocación del equipo de tensado.

En caso de existir obstáculos dentro de la perforación que impidan la correcta colocación del ancla se procede a re-perforar el barreno con lechada. Este paso se realiza si los resultados de los ensayos de la vaina por algún motivo no alcancen la resistencia requerida; en caso de no ser así, se omitirá este paso continuando con el siguiente (tensado del ancla).

Una vez que la lechada adquiere la resistencia característica, se verifica la capacidad de carga de cada anclaje con un ensayo de aceptación.



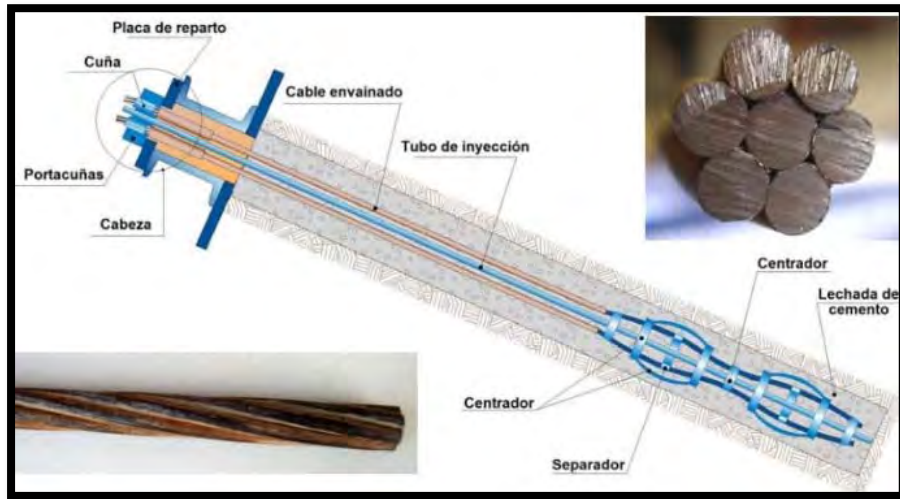


Ilustración 48. Sistema de anclaje¹⁵

Se procede a colocar la silleta o placa de acero según criterios de diseño, soldando la misma a las preparaciones hechas en el armado previamente colocado. La lechada debe alcanzar una resistencia suficiente para proceder al tensado del ancla.

El proceso que se lleva para tensar el ancla se divide en cuatro fases, que son:

✚ **Fase Uno "Equipamiento e Instalación de Gato":**

Se procede a la colocación del gato en la silleta de la preparación para ancla, se realiza una primera carga de presión para poder fijar el gato, posteriormente se coloca el sistema de medición y se toman las medidas de referencia o puntos ceros.

✚ **Fase Dos "Incrementos de Carga":**

Una vez fijado el gato y los puntos de referencia, se determina la Carga de Prueba con base a la información proporcionada en la *tabla 8*, que es con la que se debe realizar la correspondiente medición de elongación para cada incremento de carga.

✚ **Fase Tres "Prueba de Fluencia":**

¹⁵ (Construcciones, s.f.)



Una vez alcanzada la carga de prueba, se procede a realizar la carga de fluencia.

✚ Fase Cuatro Retiro de Gato:

Se procede al retiro del gato cuidando no lastimar los torones, se debe verificar adicionalmente la posición de las cuñas, marcar la posición de los torones y confirmar que no existen deslizamientos.

74

En el caso en que el ancla en cuestión llegase a presentar alguna falla en el proceso de tensado con respecto a la lechada del bulbo se procederá a realizar la inyección de nuevo.

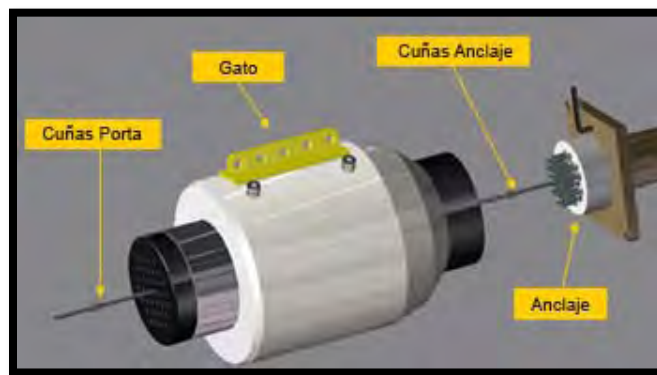


Ilustración 49. Sistema de tensado

III.III Top-Down

El método de Top-Down que se llevó a cabo en la zona E, se realizó en etapas de construcción de losas, columnas, muros y anclaje en zona de rampas. Donde el estado inicial del proyecto es la zona E con el muro Milán y las pilas de cimentación con perfil de acero empotrado ya construidos.

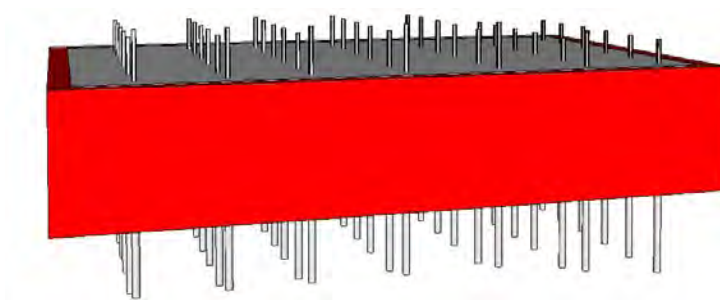


Ilustración 50. Visualización 3D del estado inicial zona E sin excavar.



Las pilas no son solo la cimentación del estacionamiento, sino también son parte de la estructura del estacionamiento, cumpliendo la zona del perfil pre-cimentado en las pilas de cimentación, como columnas de las plantas subterráneas. Las secciones pre-cimentadas tienen unos conectores en cada nivel de losa.

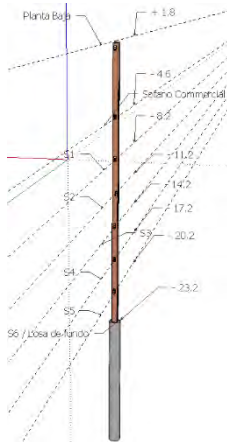


Ilustración 51. Perfil pre-cimentados en pila de cimentación con nivel de losa y perfiles en la primera fase de excavación.

La primera losa en construirse es la de planta baja, únicamente la zona colindante a la calle San Felipe y la fase I del proyecto Mítikah, ya que se considera como plataforma de trabajo, así que, se nivela el piso, se coloca una plantilla de concreto pobre, después se coloca la cimbra, se realiza el armado de la losa según los planos de proyecto, y considerando que es una losa con nervaduras, para finalmente realizar el colado de la losa.



Ilustración 52. Colado de Planta Baja.



En los perfiles de acero, se les considera columnas con concreto reforzado y para no generar juntas frías en las columnas y muros con el espesor de la losa donde los esfuerzos son mayores, se construyen muñones de columnas y muros por debajo de la losa. La longitud de los muñones de acuerdo a las especificaciones de 70 cm por debajo del nivel inferior de la losa.

La primera fase de este proceso ya mencionado se realiza consecutivamente en los demás niveles, siempre considerando al inicio de los trabajos el trazo de las secciones de columnas y muros sobre una plantilla en la cimbra. Esta etapa es muy importante ya que la ubicación de los muñones en planta baja dicta la ubicación del resto de las columnas y muros hacia abajo.

III.III.1 Perforación

La perforación de este proyecto después del colado de la primera losa se realiza utilizando una rampa en la colindancia norte en la Av. Real de Mayorazgo, considerando los perfiles, se realiza una logística de perforación por nivel, por lo tanto, se aprecia el primer nivel en la siguiente figura.



Ilustración 53. Logística inicial de excavación en Top - Down.



sótano comercial se construye con la finalidad de utilizarlo principalmente para la zona de excavación en lumbrera, por lo tanto, se lleva a cabo el colado considerando un hueco en la losa y también, que la grúa tendrá su área de trabajo en esta losa.

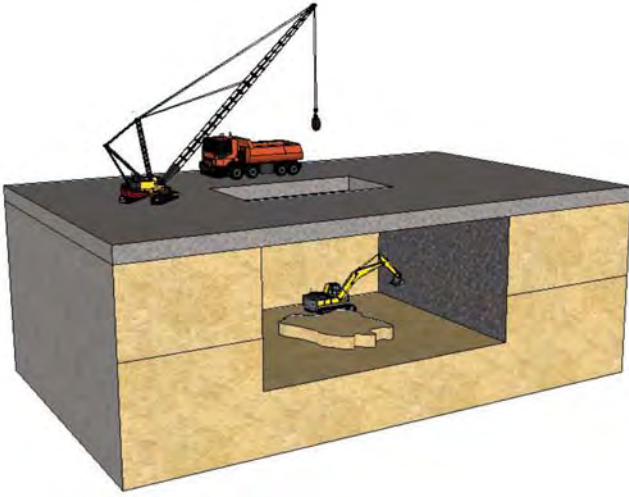


Ilustración 54. Colado de la losa de Sótano Comercial e inicio de excavación para losa Sótano dos.

Y al mismo tiempo, se empieza a hacer la excavación lateral para construir el sótano dos, como se aprecia en la siguiente figura, se mantiene el espacio suficiente con la losa comercial ya construida para poder realizar el cimbrado y el armado de las siguientes losas.

Para esto, es necesario ir dejando bermas para que ayuden a disminuir los esfuerzos del suelo que se están generando al realizar la excavación.



Ilustración 55. Excavación y construcción de losas.



III.III.II Cimbrado y armado

La cimbra se coloca en el nivel de sótano, y en este procedimiento se hace el colado de la losa del sótano comercial, para el cual, primeramente, se nivela, como ya se había mencionado y se coloca una plantilla, que servirán para soportar la estructura de madera que se coloca con una doble cama de polines con el fin de evitar las deformaciones debidas al empuje del concreto.

78

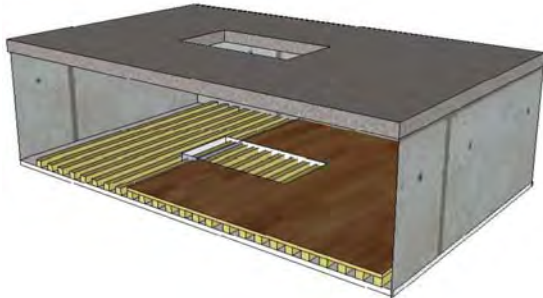


Ilustración 56. Cimbrado de la losa de los sótanos.

Un elemento importante en la cimbra es el muñón de columna, ya que se empieza por el fondo “tapón”, haciendo un peine de madera y tapando los hoyos entre la madera y las varillas con poliuretano. El tapón no se hace horizontal sino inclinado en forma de lápiz para garantizar una mejor colocación de concreto y una mejor adherencia entre el muñón y el resto del elemento.



Ilustración 57. Muñón de columna terminada de losa sótano dos.



El armado de las losas fue con nervaduras y poliestireno en planta baja y sótano comercial; para los sótanos del uno al seis se consideraron losas pos-tensadas, trabajo que corrió a cargo de Freyssinet.

Se tiene que tener sumo cuidado en el armado de una columna, es preferible tener un despiece de las varillas verticales hasta abajo con las diferentes longitudes tomando en cuenta las especificaciones de proyecto para los puntos siguientes:

- Dejar los disparos de las varillas verticales por arriba del nivel terminado de planta baja para que se pueda dar continuidad a los esfuerzos para la superestructura.
- Dejar los disparos de las varillas verticales por debajo del nivel inferior del muñón para que se pueda dar continuidad a los esfuerzos hacia abajo.
- Escalonar los disparos: 33% o 50% en una misma sección.
- La continuidad del acero vertical se puede asegurar por medio de traslape, bulbo o conector mecánico. El traslape y el conector son más rápido a ejecutar.
- En caso de usar conectores, se tienen que dejar los disparos con su conector puesto para que proteja la rosca de la varilla durante la construcción de la columna.
- Se arma el muñón de la columna o del muro procurando respetar el recubrimiento de proyecto y el correcto plomeo ya que de este depende la verticalidad del elemento hacia abajo.





Ilustración 58. Armado sótano comercial.

Las columnas de esta obra civil en top-down llevan un perfil pre-cimentado colocado con las pilas de cimentación, que soportan las losas durante la fase de construcción. Los planos de armado de columna contemplan este perfil para acomodar los estribos.

Además, se cuenta con un detalle específico de armado en la liga entre las columnas y la losa, ya que allí, se tienen que meter el refuerzo de losa y capitel más los refuerzos de columnas, por lo tanto, se cuida el recubrimiento normado.

Y para las varillas horizontales de la losa, se cuenta con detalle de proyecto indicando que se cortan las varillas y meten el refuerzo adicional.

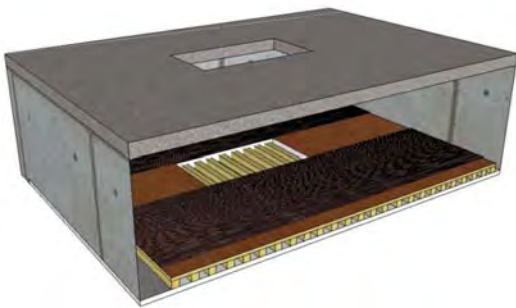


Ilustración 59. Armado y cimbrado de sótano dos.



III.III.III Colado

Teniendo el armado y cimbrado terminados, para los sótanos con nervaduras y capiteles, se procede al colado de la primera capa, que es el revestimiento inferior, se prosigue a colocar los cubos de polietileno en los huecos de las nervaduras y después se coloca la malla superior, al hacerlo, se empieza la segunda etapa del colado, que recubre todo el espesor de la losa y el revestimiento superior.



Ilustración 60. Colado de losa con nervadura.

Y para los sótanos uno al seis, se realizó un colado normal porque no son losas con nervaduras, sino losas post-tensadas. Así que eran de menor espesor y se dejaba la preparación de la varilla para cuando el concreto alcanza la resistencia necesaria se procede a tensar con gatos hidráulicos el acero de refuerzo.

Los muñones de columnas se tienen que colar monolíticos con su respectiva losa. En este caso el proyecto especifica un concreto de losa diferente al de columnas, así que se tiene que colar primero el elemento que lleva el concreto de mayor resistencia (por lo regular son las columnas y muros) para evitar de contaminarlo con concreto de menor resistencia.

Se cuelean los muñones de columnas en varias capas (50 cm aproximadamente) procurando vibrar correctamente cada capa y asegurar la homogeneidad del concreto entre dos capas. Posteriormente se cuelea la losa.



Cuando el tramo de losa a colar es muy grande, y para evitar juntas frías entre los muñones de columnas y la losa, se podrá dividir el colado en varias etapas colando:

- Solamente algunos muñones de columnas y muros primero.
- Después colar el tramo de losa que abarca estos muñones para poder ligar los dos concretos.
- Hacer lo mismo con otro tramo de losa y de muñones.

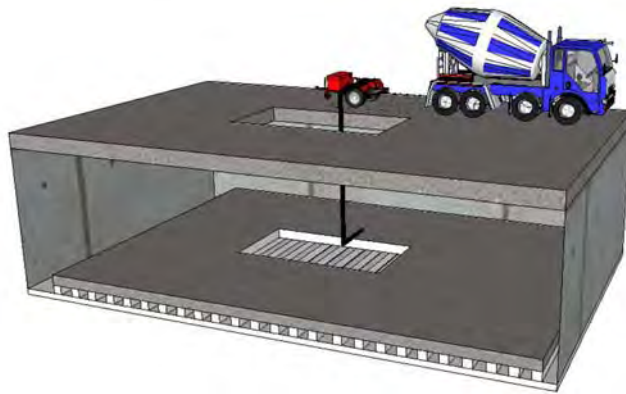


Ilustración 61. Esquema de colado de losa en sótanos.

Una vez el muro o la columna colado y descimbrado, se tiene que escarificar el concreto de la parte inferior hasta descubrir el agregado y darle un aspecto rugoso con el fin de asegurar un mejor contacto con el concreto de la parte inferior.

Antes de escarificar se raya el concreto con un disco de corte para dejar una frontera neta y limpia. El escarificado se realiza con roto martillos procurando no dañar los disparos de varilla.

Cuando el concreto de la losa alcanza la resistencia requerida, se comienza con el armado de la columna completa incluyendo el muñón de la losa en curso, asegurando la continuidad del acero con el muñón superior de la losa anterior. Terminando el armado se procede al cimbrado de la columna y de su muñón. La cimbra vertical de la columna no tiene que subir hasta topar con el muñón superior, sino que se tiene que dejar un espacio de 20 cm aproximadamente entre la cimbra y el muñón ya colado. En este espacio se le coloca una



extensión a la cimbra de la columna “cola de pato” inclinada de 45° hacia el exterior de la columna. Esa extensión permitirá colocar el concreto de la columna.

Se coloca el concreto de la columna por la “cola de pato”. Se vuelan las columnas en varias capas (50 cm aproximadamente) procurando vibrar correctamente cada capa y asegurar la homogeneidad del concreto entre dos capas.



Ilustración 62. Armado y cimbrado de columnas.

III.III. IV. Secuencia de construcción.

Terminando la construcción de la planta baja y sótano comercial se procedió excavar un nivel más, es decir, el siguiente nivel es el uno, pero se excava hasta el sótano dos, para tener área de trabajo y así facilitar las maniobras, se realiza todo el procedimiento ya mencionado de plantilla, cimbrado y acero, para después colocar encima de esa losa colada, la cimbra y acero del sótano uno.

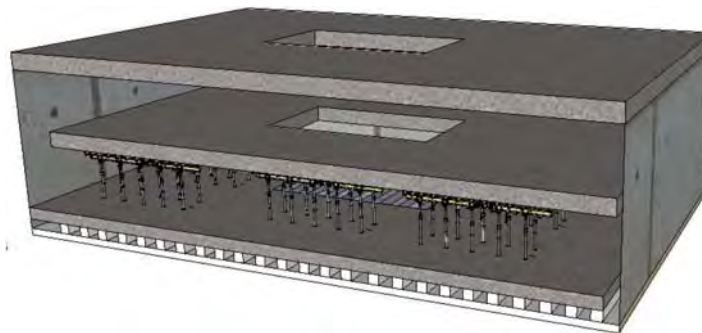


Ilustración 63. Colocación de cimbra para colado losa sótano uno.



Y así, consecuentemente se excava al nivel del sótano cuatro y se inicia con la construcción del sótano cuatro, repitiéndose el proceso anterior.

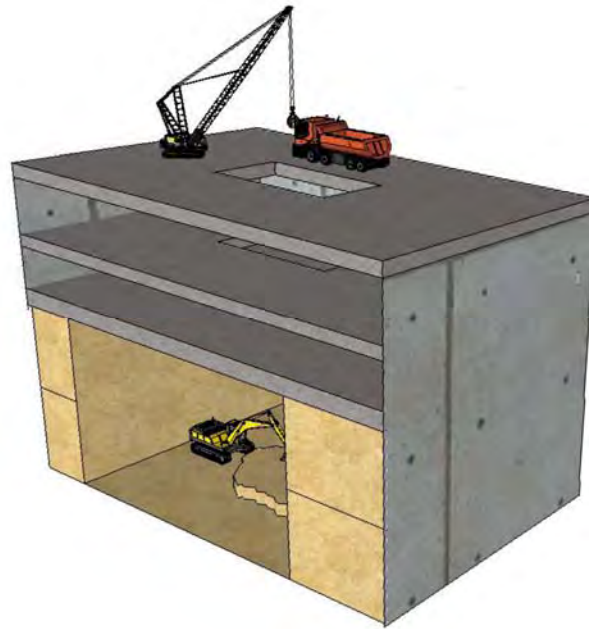


Ilustración 64. Secuencia para construcción sótano cuatro y tres.

Terminando la excavación hasta el sótano seis, siendo el nivel 23.20 m donde se realiza la losa de fondo, se realiza la plantilla de concreto pobre para alcanzar el nivel de proyecto, se escarifican las pilas de cimentación y se procede a la unión del armado de la losa de fondo con las pilas. Armado el acero se cimbran sus costados para evitar el derramamiento de concreto y se vierte el concreto.



Solución a problemas específicos durante la construcción

En el proceso de la construcción de la obra, dentro del periodo de estancia, que fue de agosto del 2012 a agosto 2013, se presentaron distintos problemas con ciertos agentes internos o externos que causaron problemáticas y fueron atendidos rápidamente para continuar con la producción de la obra.

85

Refuerzo acero de capiteles

Uno de las primeras soluciones encontradas en la obra, se realizaron en el acero de la Planta Baja, por el hecho de que, en un inicio, no estaba considerada como área de trabajo, por lo tanto, sus cargas iban a ser mayores y excesivas a las que estaban diseñadas, así que, se hizo un y se encontró la solución de reforzar únicamente los capiteles, para que no tuviéramos problemas con la unión de la losa y los perfiles. Además, se agregó un muñón, que sobresale de la losa en cada perfil. Este cambio fue importante para considerarse en el acero por suministrar a la obra y el detalle de construcción fuera realizado correctamente en obra.

Aun así, se presentaron agrietamientos sobre sótano comercial cuando se instaló la grúa que se utilizaba para la zona de lumbrera.



Ilustración 65. Capiteles construidos en planta baja y sótano comercial.



Detalle del anclaje de las losas de los sótanos en Top-Down con el muro Milán

La trabe de coronamiento de muro Milán llevó un anclaje especial de los ejes N-13a para generar la unión de ambos elementos. En planta baja tuvo que demolerse parte de la trabe para trabajar en el mismo nivel y hacer el anclaje. En las losas de sótano comercial hasta sótano 6, se hace un anclaje al muro, demoliendo el muro Milán hasta encontrar el armado y colocar el anclaje.

86



Ilustración 66. Anclaje de losa de planta baja a trabe de coronamiento.



Ilustración 67. Anclaje de losa al muro Milán en losa de sótanos.



Colado de losas

- 1.- Retraso de la llegada de las ollas de concreto a la obra (Logística de colado)
- 2.- Tiempos perdidos en cambio de tubería y problemas en la mala colocación de los andamios para el proceso de colar las columnas.
- 3.- Desperdicio de concreto y mal destinación de éste.
- 4.- Permanencia de las ollas en obra. Más de dos horas para vaciar una olla.
- 5.- Distintos armados de nervadura en planos de detalle a la planta del proyecto.
- 6.- Cambio de área de colados repentina.
- 7.- Problemas en la vibración cuando se colaron las columnas.
- 8.- Levantamiento del casetón al vaciar el concreto.

Se realizó una junta con LACOSA para darle solución a los problemas con la empresa que suministra el concreto y se mejoró el procedimiento para manejar mejor logística.

Talud caído

Las lluvias fuertes ocasionaron inundación en la primera secuencia de excavación en TOP-DOWN y los taludes sufrieron caídos, se recomendó colocar concreto lanzado y una malla para proteger el talud.



Ilustración 68. Talud caído y talud con concreto lanzado.

Se enfatiza que los problemas y soluciones dadas a éstos fueron específicamente los que se presenciaron durante la estancia en obra.



CONCLUSIONES

La estancia en la obra desde el mes de agosto del 2012 al mes de agosto del 2013, fue de las mejores experiencias que pude tener en una de las mejores empresas de México en cimentaciones, ya que pude presenciar los trabajos descritos en este proyecto, los cuales pertenecen al proyecto Mítikah, el cual ayudó en mi crecimiento laboral ya que pude apreciar los procedimientos constructivos de muro Milán, pilas de cimentación pre-cimentadas con perfiles estructurales, logística de excavación, colocación de anclas y el procedimiento del método Top – Down, acompañado de la obra civil que este conlleva.

La estancia en obra y los conocimientos adquiridos es una de las experiencias que más me ha gustado y que por lo tanto me decidí a realizar este trabajo escrito.

Además, pude visitar otras obras para ver el procedimiento constructivo de los diferentes trabajos que realiza la empresa, me benefició para ver otras problemáticas que se habían dado y otras soluciones dadas en dichos procedimientos, los cuidados que tienen y en qué se basan para mantener su obra eficiente para concluir la de la mejor manera posible.

Como especialista, el enfoque con el que percibo la experiencia de haber participado en este proyecto es inmensa, he aclarado muchas acciones que eran sumamente técnicas y que en obra no se tenía la justificación de los trabajos a realizar.

Estoy muy agradecida con la empresa por haberme otorgado esta maravillosa oportunidad y haberme dedicado el tiempo y dedicación en mi proyecto para generar este trabajo, estoy segura que esta experiencia me servirá para posteriormente mi vida laboral con este nuevo grado de especialista y poder desempeñar un gran papel laboral.

Y por último, considero que todos los aspectos son importantes en obra, el constructor a veces pierde ciertos aspectos por la premura de terminar en tiempo y forma, pero creo que es vital tener un especialista en obra geotécnico para poder aclarar cualquier situación técnica o utilizar sus conocimientos para beneficiar las logísticas de obra, o procedimientos constructivos, además, de no perder de vista nunca el aspecto de seguridad y ambiental, que han sido dos factores muy importantes en obra en estos años por las certificaciones que los nuevos edificios demandan.



Listado de Anexos

Anexo I. Informe Cross-Hole.

Anexo II. Perfiles estratigráficos.

- 1) Fase 1
- 2) Fase 2

Anexo III. Resultados del análisis PARIS caso general y colindancias.

- a) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso de la colindancia con centro Coyoacán _ Anden y Anclas.
- b) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso de la colindancia con centro Coyoacán _ Anden y Losas.
- c) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso de la colindancia con centro Coyoacán _ Anden y representación de la rampa con anclas.
- d) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso de la colindancia con centro Coyoacán _ Centro Comercial con anclas.
- e) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso de la colindancia con centro Coyoacán _ Centro Comercial con losas.
- f) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso general con rampa y anclas.
- g) Análisis del proceso constructivo con programa PARIS. Para el caso de la colindancia con la iglesia y la rampa.

Anexo IV. Diseño de secciones de concreto en muro Milán para el caso general.

Anexo V. Instructivo de construcción de Pilas circulares – Tubo estructural de 30”.

Anexo VI. Instructivo de construcción de Pilas circulares – Perfiles estructurales.

Anexo VII. Planta pilas de cimentación zona sur, norte (dársena) y zona E (top-down).

Anexo IX. Logística Top-Down.



Referencias

- Alberto Jaime, I. (s.f.). Geotecnia y sismicidad en el Valle de México. Ciudad de México: Sección editorial INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM.
- Arquine. (5 de junio de 2012). *Arquine*. Obtenido de <http://www.arquine.com/la-ciudad-viva/>
- Barrios, J. E. (1997, 1° edición). Excavaciones en Condiciones Complejas. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Cimentaciones Mexicanas S.A de C.V. (2011). *Memoria de cálculo* . Ciudad de México: CIMESA-ING-MTK2-MDC03_rev B_01-8-11.
- Construcciones, I. (s.f.). <http://www.indigoconstrucciones.com/anclajes-activos-y-pasivos-pernos/>. Obtenido de <http://www.indigoconstrucciones.com/anclajes-activos-y-pasivos-pernos/>
- DYWIDAG. (s.f.). <http://www.dywidag-sistemas.com/de/productos/geotecnia/anclajes-de-cable-dywidag.html>.
- Ernesto Holguín, C. E. (s.f.). Diseño Geotécnico de Cimentaciones. Ciudad de México: TGC Geotecnia. *Ingeniería de cimentaciones*. (2012). Limusa.
- SMMS. (2002). *Manual de construcción Geotécnica*. Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- Villa, E. S. (2010). Exploración de suelos. Acapulco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C. (SMIG).
- Villa, E. S. (2010). Exploración de Suelos. Acapulco, México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C. (SMIG).
- Villa, E. S. (2010). Exploración de Suelos. Acapulco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C. (SMIG).
- Villa, E. S. (2010). Exploración de Suelos. Acapulco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A. C. (SMIG).
- Villa, E. S. (s.f.). Síntesis Geotécnica del Valle de México. TGC ingeniería.



Listado de figuras

Ilustración 1. Fases constructivas I y II.	7
Ilustración 2. Proyecto Arquitectónico.....	8
Ilustración 3. Ubicación del proyecto en la Ciudad de México.	9
Ilustración 4. Ubicación colindancias en el proyecto.	9
Ilustración 5. Colindancia Este.	10
Ilustración 6. Colindancia Poniente.....	11
Ilustración 7. Plano de la planta de Fase I.	13
Ilustración 8. Foto Mítikah Fase I.	13
Ilustración 9. Zonas de la Fase II.....	14
Ilustración 10. Modelo 3D de Dársena.....	15
Ilustración 11. Método Top - Down en Zona 3.....	16
Ilustración 12. Zonificación geotécnica de la Ciudad de México.	20
Ilustración 13. Zonificación sísmica de la Ciudad de México.	23
Ilustración 14. Curvas de hundimiento anual en cm (1985 - 1995) medidas por la GAVM.	24
Ilustración 15. Ubicación de la fase I.....	25
Ilustración 16. Ubicación de sondeos en fase I.	26
Ilustración 17. Estado actual de los esfuerzos del subsuelo de la fase I.	29
Ilustración 18. Ubicación de sondeos y pruebas Cross-Hole para fase II.	30
Ilustración 19. Estado actual de los esfuerzos del subsuelo de la fase II.	34
Ilustración 20. Empujes laterales de tierras.	38
Ilustración 21. Interfaz del programa PARIS.....	40
Ilustración 22. Planta con distribución de paneles de muro Milán del proyecto Mítikah fase II.....	45
Ilustración 23. Construcción de brocales y detalle de brocal.....	47
Ilustración 24. Tablero del equipo.....	48
Ilustración 25. Grúa Liebherr 855HD u 853HD con almeja hidráulica BAYA.....	49
Ilustración 26. Excavación en tres posiciones por módulo.	50
Ilustración 27. Central de lodos en el proyecto Mítikah.	51
Ilustración 28. Empleo de balancín con dos puntos de izaje para el manejo de armados.	52
Ilustración 29. Izaje de dos paneles del muro Milán.....	53
Ilustración 30. Muertos que garantizan el recubrimiento en el muro Milán.....	53
Ilustración 31. Colado con tubería tremi del muro Milán.	54
Ilustración 32. Junta WaterStop colocada en colado de muro Milán.	55
Ilustración 33. Detalle de brocales del proyecto Mítikah.	57
Ilustración 34. Brocal terminado de colar del proyecto Mítikah.	58
Ilustración 35. Perforadora Soilmec R - 625.....	58
Ilustración 36. Koden en pila perforada.....	60
Ilustración 37. Registro Koden.	60
Ilustración 38. Izaje del armado de acero de pila circular y colocación de orejas.	61
Ilustración 39. Guía de tubo de 30".	62
Ilustración 40. Protección a las varillas con espuma y mangueras.	62



Ilustración 41. Colocación de perfiles de Top - Down.....	63
Ilustración 42. Colado de pilas.	64
Ilustración 43. Logística inicial de excavación del proyecto Mítikah.....	67
Ilustración 44. Partes de un ancla.	69
Ilustración 45. Fabricación de anclas en el proyecto Mítikah.	70
Ilustración 46. Colocación de la barra de perforación de acuerdo a la inclinación.	71
Ilustración 47. Perforación de anclas.	72
Ilustración 48. Sistema de anclaje.....	73
Ilustración 49. Sistema de tensado	74
Ilustración 50. Visualización 3D del estado inicial zona E sin excavar.....	74
Ilustración 51. Perfil pre-cimentados en pila de cimentación con nivel de losa y perfiles en la primera fase de excavación.....	75
Ilustración 52. Colado de Planta Baja.....	75
Ilustración 53. Logística inicial de excavación en Top - Down.....	76
Ilustración 54. Colado de la losa de Sótano Comercial e inicio de excavación para losa Sótano dos.....	77
Ilustración 55. Excavación y construcción de losas.	77
Ilustración 56. Cimbrado de la losa de los sótanos.	78
Ilustración 57. Muñón de columna terminada de losa sótano dos.....	78
Ilustración 58. Armado sótano comercial.	80
Ilustración 59. Armado y cimbrado de sótano dos.	80
Ilustración 60. Colado de losa con nervadura.	81
Ilustración 61. Esquema de colado de losa en sótanos.....	82
Ilustración 62. Armado y cimbrado de columnas.....	83
Ilustración 63. Colocación de cimbra para colado losa sótano uno.....	83
Ilustración 64. Secuencia para construcción sótano cuatro y tres.....	84
Ilustración 65. Capiteles construidos en planta baja y sótano comercial.	85
Ilustración 66. Anclaje de losa de planta baja a trabe de coronamiento.....	86
Ilustración 67. Anclaje de losa al muro Milán en losa de sótanos.	86
Ilustración 68. Talud caído y talud con concreto lanzado.....	87

