



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERIA CIVIL – CONSTRUCCION

EDIFICACION DE SOTANOS EN SUELOS BLANDOS CON EL
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO TOP - DOWN

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JUAN RAFAEL FERNANDEZ ZARCO

TUTOR PRINCIPAL
ING. LUIS ARMANDO DIAZ INFANTE DE LA MORA
ADSCRIPCION: FACULTAD DE INGENIERIA

MÉXICO, D. F. JUNIO DEL 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. ROBERTO MELI PIRALLA

Secretario: M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS

Vocal: ING. LUIS ARMANDO DIAZ INFANTE DE LA MORA

1 er. Suplente: ING. LUIS ARMANDO DIAZ INFANTE CHAPA

2 do. Suplente: ING. LUIS ZARATE ROCHA

LUGAR DONDE SE REALIZO LA TESIS: UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO, MEXICO, D.F.

TUTOR DE TESIS:

ING. LUIS ARMANDO DIAZ INFANTE DE LA MORA

FIRMA

DEDICATORIAS:

Para mi existe un real cariño, respeto y admiración por nuestra Universidad Nacional Autónoma de México, nuestra porque así lo siento, por convicción por convencimiento, porque muy agradecido estoy por lo que me enseñaron y aprendí de los Profesores, Directivos y Trabajadores en el Campus Universitario: Integralmente académico, científico, social, político, económico, cultural y deportivo que nos forma como seres humanos y profesionistas comprometidos a desarrollar acciones en beneficio de nuestra Sociedad, de nuestro País y de nuestra Alma Mater, por ello y por todo mil gracias a la UNAM y a su Facultad de Ingeniería.

El agradecimiento y amor a mis padres Andrea y Rafael es inmenso, no tiene fin, siento una profunda admiración y respeto, de ellos siempre he recibido amor, cariño, protección, educación, consejos, respeto, valores y ejemplos que en el quehacer diario de la vida me ayudan a tratar de ser mejor padre, hermano, hijo, amigo, pareja y ser humano.

A mis hijos Rafael y Emiliano no basta con decirles que son el motor de mi vida, vaya que son diferentes, cada uno tiene sus cualidades y carácter, recuerden que uno se forja su futuro y nunca desistan de sus ideales, no hay límite ante la voluntad, los amo por sobre todas las cosas.

A mis hermanos Adriana y Raul, gracias por su cercanía y cariño, los quiero y nunca dejemos de ser una familia muégano.

A Carolina mi cómplice, compañera, pareja sentimental, gracias por compartir conmigo estos años de vida, por tu amor, comprensión, apoyo y consejos.

A Caro chica gracias por tu cariño, te quiero, te he visto crecer como una hija.

A mis familiares y amigos, gracias.

Al Ing. Luis Armando Díaz Infante de la Mora, muchas gracias por su apoyo y dirección de esta tesis.

Al M. I. Luis Armando Díaz Infante Chapa, gracias por tu amistad y apoyo, porque me enteraste de esta oportunidad última de obtención de grado a la cual paralela y exitosamente llegamos.

Al M. I. Marco Tulio Mendoza Rosas por su asesoría y apoyo en este proceso de graduación.

Al Dr. Roberto Meli Piralla e Ing. Luis Zarate Rocha quienes amablemente aceptaron ser parte del Jurado.

Finalmente quiero dejar constancia de agradecimiento a cuatro personas que han marcado mi vida profesional para bien, en orden cronológico:

Al M. I. Carlos Castañeda Narvaez, quien me dio la oportunidad profesional recién egresado y de quien aprendí la importancia de la educación continua.

Al Ing. Alberto Gutiérrez Carrillo, de quien aprendí en las obras la practicidad técnica, la consistencia. Un Ingeniero completo que me enseñó mucho.

A la C.P. Adriana Alanís Gonzalez, quien me enseñó la importancia de la administración en sincronía con la ingeniería. Una gran estratega.

Al Ing. Fernando Gutiérrez Ochoa, mi amigo, mi socio, con quien he convivido, trabajado paralela, armónicamente y exitosamente, de quien he aprendido la astucia y visión para los negocios. Un gran emprendedor.

EDIFICACION DE SOTANOS EN SUELOS BLANDOS CON EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO TOP-DOWN

INDICE

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION.....	3
CAPITULO 1.- ANTECEDENTES.....	5
• 1.1.- CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL SUELO.....	6
• 1.2.- VARIABLES PARA DETERMINAR EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	10
• 1.3.- DETERMINACION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO TOP-DOWN.....	11
• 1.4.- PREMISAS: PROYECTO, MATERIALES CONSTRUCTIVOS Y MAQUINARIA.....	13
CAPITULO 2.- PROYECTO ESTRUCTURAL.....	17
CAPITULO 3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO TOP-DOWN.....	36
• 3.1- DESCRIPCION.....	36
• 3.2.- SECUENCIA.....	42
• 3.3.- PROGRAMACION.....	53
• 3.4.- CONTROL.....	53
CAPITULO 4.- COMPONENTES CONSTRUCTIVOS: PROYECTO, DESCRIPCION Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	57
• 4.1.- MUROS MILAN.....	57
• 4.2.- CIMENTACION.....	61
• 4.3.- ESTRUCTURA METALICA.....	67

- 4.4.- SISTEMA DE PISO.....80
- 4.5.- EXCAVACION.....84
- 4.6.- SISTEMA DE ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO.....93
- 4.7.- SISTEMA DE VENTILACION.....95
- 4.8.- MUROS DE CONCRETO REFORZADO.....97
- 4.9.- COLUMNAS HIBRIDAS DE CONCRETO REFORZADO Y ACERO
ESTRUCTURAL.....98

CAPITULO 5.- INDICADORES Y COSTOS GENERALES.....101

- 5.1.- INDICADORES TECNICOS.....101
- 5.2.- COSTOS GENERALES.....104

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....107

BIBLIOGRAFIA.....110

INTRODUCCION

Las grandes metrópolis de ahora que tuvieron su origen hace siglos, conservan en su entorno la diversidad entre edificaciones antiguas y estructuras modernas, al paso de los años los cambios de uso de suelo, la necesidad de que las ciudades crezcan de forma vertical y no horizontal, la influencia comercial, los grandes corporativos, la planeación urbana, han originado que las grandes construcciones verticales envuelvan a construcciones de pocos entresijos, incluso otorgándole una gran plusvalía al valor del terreno de estas edificaciones lo cual para los propietarios se vuelve una oportunidad de venta con buenos dividendos.

Es así como la tendencia actual es que estas edificaciones de pocos entresijos rodeadas de edificaciones altas, tiendan a ser adquiridas para su demolición y dar paso a la concepción de proyectos de edificación altos y modernos.

Esto sucede en cualquier gran ciudad del mundo, en la ciudad de México también, pero además aquí existen condicionantes naturales particulares, como son, suelos blandos en algunas zonas, los casi superficiales niveles freáticos y la alta sismicidad, que constituyen todo un reto para que los Ingenieros apliquemos nuestro ingenio y conocimientos a fin de resolver con seguridad y economía la construcción de una edificación.

La presente tesis, tiene como objeto documentar un procedimiento constructivo denominado Top – Down utilizado en la ciudad de México, que resuelve la construcción de sótanos en suelos blandos en predios con dimensiones no muy grandes, colindantes con edificaciones de altura mediana a alta, este procedimiento constructivo coordina e integra una serie de técnicas constructivas que lo vuelve altamente interesante y enriquecedor, pues como Ingenieros aplicamos por así decirlo Todo en Uno.

En este procedimiento como su nombre lo dice, Top – Down, iniciamos la construcción de los sótanos en sentido inverso a como lo realizamos en la gran mayoría de las edificaciones, es decir de Arriba a Abajo y no de abajo hacia arriba.

La presente tesis la conceptualizamos en los siguientes capítulos:

Capítulo 1.- Antecedentes: Aquí veremos de manera general y puntual las características y propiedades del suelo, la estratigrafía y la mecánica del suelo que nos llevo al diseño de la cimentación y de su proceso constructivo, así mismo revisaremos las condicionantes y variables que nos llevaron a la selección de las soluciones aplicadas, la conceptualización del proyecto, los materiales constructivos y la maquinaria seleccionada.

Capítulo 2.- Proyecto Estructural: Daremos un vistazo al proyecto ejecutivo estructural, fundamentalmente al proyecto bajo banqueta (sótanos), enfocando la relevancia de la dualidad que tiene al ser parte integral de un procedimiento constructivo de excavación así como de ser parte definitiva de la estructuración misma del edificio.

Capítulo 3.- Procedimiento Constructivo Top – Down: Describiremos detallada y esquemáticamente el procedimiento, la secuencia, la programación y los diversos controles de calidad y de seguridad tanto internos como externos en las colindancias.

Capítulo 4.- Componentes Constructivos: Proyecto, Descripción y Procedimiento Constructivo: En éste capítulo documentaremos los proyectos específicos de cada componente que conforma la estructuración de los sótanos, describiremos su proceso constructivo, su integración y liga a la solución estructural, veremos los Muros Milán, la Cimentación, la Estructura Metálica, el Sistema de Piso, la Excavación, el Sistema de Abatimiento del Nivel Freático, el Sistema de Ventilación, los Muros de Concreto Reforzado y las Columnas Híbridas de Concreto Reforzado y Acero Estructural.

Capítulo 5.- Indicadores y Costos Generales: Analizaremos y compararemos algunos indicadores técnicos- económicos de esta solución constructiva contra procedimientos tradicionales.

Conclusiones y Recomendaciones: Finalmente externare conclusiones y recomendaciones sobre el tema de la tesis y su contenido mismo.

CAPITULO 1.- ANTECEDENTES

La presente tesis documentará la Edificación de Sótanos en Suelos Blandos con el Procedimiento Constructivo Top Down, tomando como referencia un edificio construido en la ciudad de México colindante con la glorieta que aloja el Monumento del Angel de la Independencia, ubicado en Av. Paseo de la Reforma esquina Florencia y Lancaster, Colonia Juárez en la Delegación Cuauhtémoc. (Figura 1).

El predio es de forma trapezoidal con largos de 61 a 77 m. y ancho de 45m., con una superficie de 3,069 m²; tres de sus colindancias son calles, excepto al sur, donde se encuentran construcciones de cuatro niveles, pasando la calle de Lancaster muy cercano se encuentra un edificio de 22 niveles.

El edificio construido consta de 4 sótanos bajo banqueta ocupando la totalidad de la superficie del predio y 33 niveles superiores.

Para la concepción de cualquier obra de ingeniería se requiere de la participación de un equipo interdisciplinario de profesionistas y especialistas, los cuales con base en una idea-objetivo planean y programan una serie de actividades y estudios que dará origen a un anteproyecto, el cual se irá enriqueciendo y complementando con estudios y análisis más específicos y especializados hasta la concepción de un proyecto ejecutivo integral.



FIGURA 1

1.1.- Características y Propiedades del Suelo

Información Geotécnica Existente:

De acuerdo con la zonificación geotécnica de la ciudad de México, el predio en estudio se ubica en la zona III, Lacustre (Figura 2), caracterizada por grandes espesores de arcilla blanda de alta compresibilidad, que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable, dependiente de la localización e historia de cargas. La subzona Lago Centro I está asociada al sector no colonial de la ciudad, que se desarrolló a principios del siglo XX y ha estado sujeta a sobrecargas generadas por construcciones pequeñas y medianas, así como las debidas al bombeo profundo para abastecer de agua potable a la ciudad.

Información de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México indica que el predio se ubica en una zona donde el hundimiento regional debido al abatimiento de presiones hidráulicas en el subsuelo es el orden de 8 cm/año.

Exploración del subsuelo

Con el fin de determinar las características estratigráficas del sitio, así como las propiedades mecánicas de los suelos del sitio, se realizaron dos sondeos mixtos, identificados como **SM-1** y **SM-2** de cono eléctrico SCE combinado con la técnica de penetración estándar SPT en los estratos duros, ubicados cerca de las esquinas noroeste y sureste del predio (Figura 3) y llevados a profundidades de 80.5 y 75.2 m, respectivamente; a partir de sus resultados, junto a cada uno de ellos se programaron los sondeos **SMS-1** y **SMS-2** de muestreo selectivo, mediante tubo shelby en los estratos arcillosos blandos y tubo dentado hincado a rotación en los suelos arcillosos y limoarenosos compactos. Asimismo, cerca del sondeo **SM-2** se instaló una estación piezométrica para conocer las condiciones hidráulicas del subsuelo, con cinco celdas tipo Casagrande colocados a 12.5, 28.8, 40.1, 49.8 y 75.1 m de profundidad media.

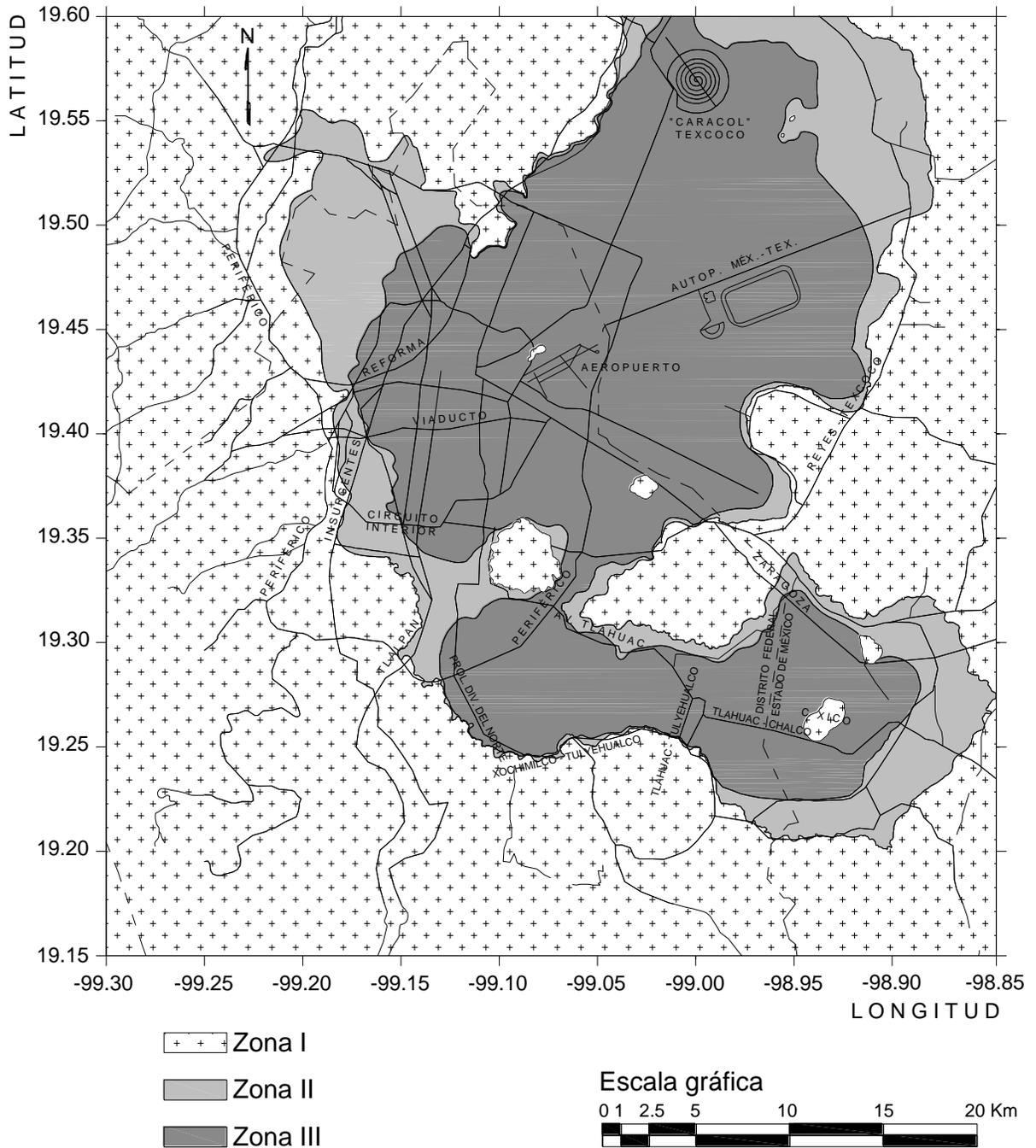


FIGURA 2.- ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

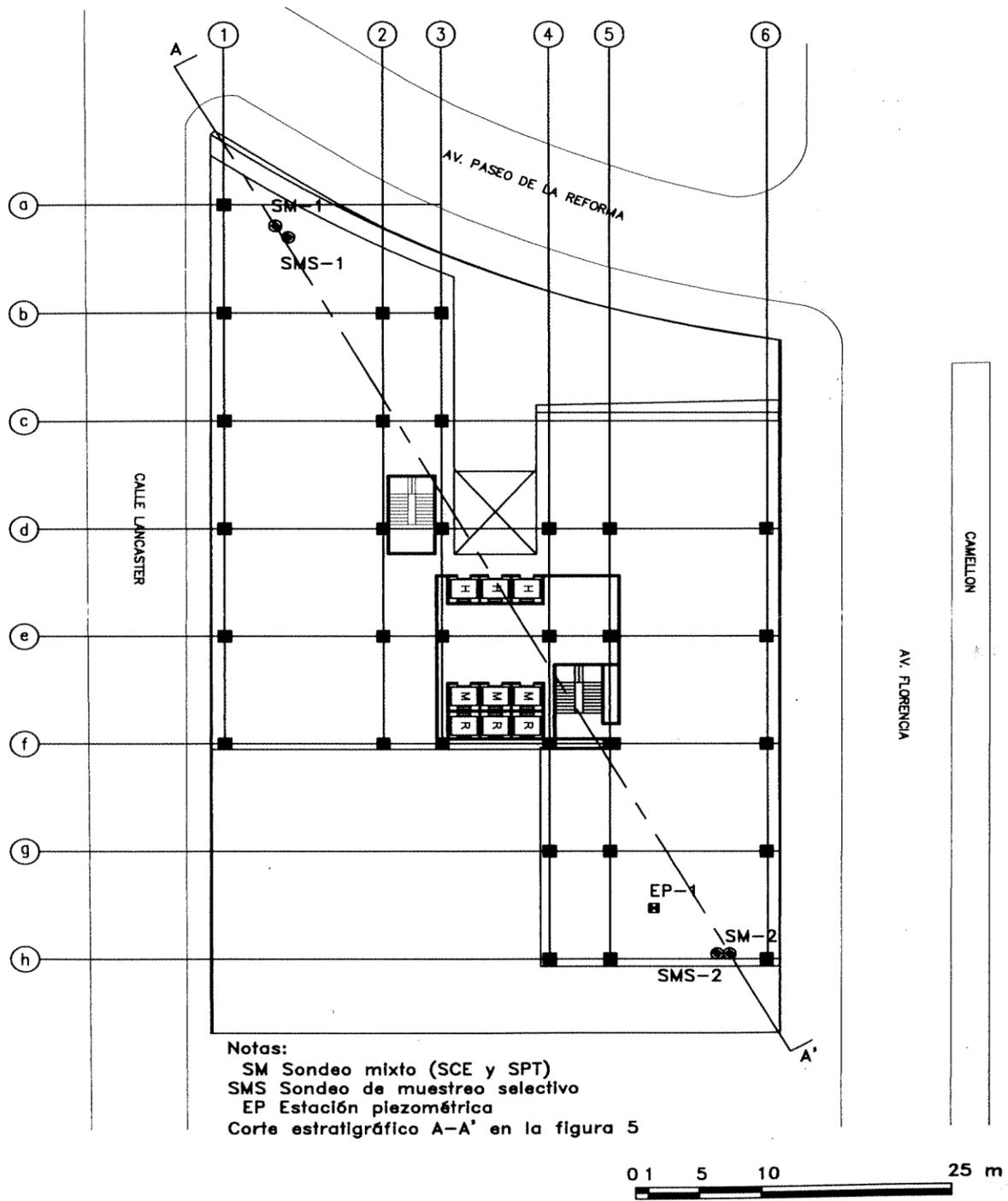


Fig. 3 Ubicación de los trabajos de exploración

RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN Y PRUEBAS MECÁNICAS

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	Prof. Subestrato		Prof. Mta.	NSPT	qc media	Nk	c	φ	E50	mr	mv
	de	a	m		kg/cm ²		t/m ²	°	kg/cm ²	cm ² /kg	cm ² /kg
Costra Superficial	0	5.2			>10		6.2	24			
Serie Arcillosa Superior	5.2	12	8.2		4.2	16.8	2.5?	0	20	0.110	0.270
	12	18.9	15		7.5	7.4	10.1	0	129	0.028	0.167
	18.9	23	20.2		10.1	6.7	15.0	0	174	0.016	0.119
	25.7	30	28.9		13.4	7.4	18.0	0	118	0.0071	0.0074*
Capa Dura	30.0	30.8	30.2		66.9		10.6	20	340		
Serie Arcillosa Inferior	30.8	35.0	31.7 ^t		12.7	11.3	11.2	0	43		
			31.7		46.6	20.1	23.1	0	324		
			34.3 ^t		21.7	11.9	18.2	0	253		
	35.0	37.4		150	102						
	37.4	40.2	39.2		113.8		11.0	27	348	0.0043	0.0049*
1ª Serie Limo-Arcillosa Profunda	40.2	43.4	43.1	25 a 41			34.7	0	415		
1ª Serie Arenosa Profunda	43.4	45.9	43.9	40 a >75			3.0	40	648		
			44.2 ^t			4.3	37	595			
	45.9	52.1	46.4 ^t	55 a >86			2.1	39	720		
			48.7 ^t			2.1	39	894			
			49.2			6.7	39	933			
			50.6 ^t			4.5	39	605			
2ª Serie Limo-Arcillosa Profunda	52.1	53.5	52.5	40			8.4	17	322		
			52.6			0	40	514			
			53.3 ^t			3.1	38	705			
	53.5	62.8	54.4	16 a >38			11.6	16	446		
			57.8			25.8	19	1145	0.0030	0.0035	
		61.3				24.8	16	440	0.0030	0.0032	
2ª Serie (Limo) Arenosa Profunda	62.8	66.0		45 a >100							
3ª Serie Limo-Arcillosa Profunda	66.0	76.1	69.4				13.1	16	537	0.0024	0.0027
			75.3	14 a 50			2.3	0	23		

NOTAS:

Las profundidades de los substratos corresponden al sondeo **SM-1**.

*Los módulos de compresibilidad son relativamente bajos dado que los contenidos de agua iniciales de estas muestras se encuentran entre 30 y 55 %.

^t Muestras que pertenecen al sondeo **SM-2**.

Las propiedades de la Costra Superficial son de sondeos cercanos al predio.

NSPT: número de golpes en prueba de penetración estándar; en general, los valores menores corresponden al sondeo **SM-2**.

qc: resistencia de punta de cono.

Nk: factor de correlación $Nk = qc / c$

c: parámetro de cohesión.

ϕ : ángulo de fricción.

E50: módulo de Young en prueba triaxial.

mr: módulo de compresibilidad en la rama de recompresión.

mv: módulo de compresibilidad en la rama virgen.

Condiciones piezométricas. El nivel freático *NAF* se midió a 3.6 m de profundidad; debe señalarse que durante el muestreo se tuvo pérdida del fluido de perforación a partir de 9 m de profundidad. Las mediciones de la estación piezométrica detectan el desarrollo de un manto colgado que se extiende hasta el inicio de los depósitos profundos superiores; con base en el conocimiento que se tiene de la zona, para fines de diseño se consideró que la presión de poro en la 1ª serie arenosa profunda sigue una tendencia que correspondería a un nivel freático abatido a 37 m de profundidad.

1.2.- Variables para Determinar el Procedimiento Constructivo

Una vez que el equipo interdisciplinario de ingenieros determina el anteproyecto normalmente la etapa siguiente es la elaboración del proyecto ejecutivo, sin embargo por las variables de esta obra, se requiere primeramente estudiar los diferentes procedimientos constructivos que se pueden aplicar, para que en función del procedimiento seleccionado se desarrolle el proyecto ejecutivo estructural, de la cimentación, sótanos y niveles superiores.

Variables:

- Condiciones Geotécnicas de la Zona.- De acuerdo a las propiedades anteriormente descritas del suelo, las que más influyen en la selección del procedimiento constructivo son:

- La Estratigrafía del Subsuelo.- Nos especifica el tipo de suelos y sus propiedades mecánicas que iremos encontrando conforme vayamos profundizando en la excavación, así mismo nos aporta los datos para seleccionar el tipo y profundidad a la que debe desplantarse la cimentación.

Condiciones Piezométricas.- Nos determina el nivel de aguas freáticas, el cual debe controlarse para la construcción de los sótanos.

- Ubicación y Colindancias.- Siempre para la determinación de un procedimiento constructivo es necesario conocer el entorno, por cuestiones de accesabilidad de maquinaria, materiales y equipos, así como del tipo y cercanía de edificaciones colindantes que pudieran ser un obstáculo o resultar afectadas por el procedimiento constructivo seleccionado.
- Dimensiones del Predio.- La geometría del predio, su área, el espacio libre, nos condicionan el procedimiento de excavación que debemos aplicar.
- Legislación Local.- Debemos acatar los reglamentos y normas locales en materia de uso de banqueta y vialidades y horarios para carga y descarga de materiales.

1.3.-Determinación del Procedimiento Constructivo Top – Down

La excavación en suelos blandos para la construcción de sótanos puede realizarse con diferentes procedimientos constructivos, la selección del óptimo, depende del análisis y evaluación de las variables descritas en el apartado anterior, los procedimientos comúnmente utilizados en la ciudad de México son:

- Excavación a cielo abierto sin ademes o contenciones.- Este procedimiento es aplicable cuando el predio a excavar tiene dimensiones suficientemente amplias que permiten dadas las condiciones mecánicas del subsuelo dejar taludes con el ángulo de reposo del suelo, controlando y abatiendo previamente el nivel de aguas freáticas con un sistema de pozos superficiales o profundos, según sea la profundidad de excavación, que permita la excavación mediante maquinaria montada sobre orugas (retroexcavadoras, dragas con almeja loca, traxcavo) y su carga a camiones para el retiro del suelo excavado, planeando la ubicación de rampas de circulación de los camiones en función del plan de ataque de la excavación. Los sótanos se construyen del fondo de la excavación hacia arriba, por lo que primero concluimos la excavación y posteriormente iniciamos con la cimentación y construcción de sótanos.

- Excavación a cielo abierto con ademes o contenciones con y sin rampas.- Este procedimiento es aplicable cuando el predio a excavar por sus dimensiones, colindancias y condiciones mecánicas del subsuelo requiere del hincado de tablestacas metálicas o muros milán de concreto armado, controlando y abatiendo previamente el nivel de aguas freáticas con un sistema de pozos superficiales o profundos, según sea la profundidad de excavación, que permita la excavación mediante maquinaria montada sobre orugas (retroexcavadoras, dragas con almeja loca, traxcavo) y su carga a camiones para el retiro del suelo excavado, planeando cuando se pueda la ubicación de rampas de circulación de los camiones en función de plan de ataque de la excavación; o sin rampas cargando a camión fuera del área de excavación; conforme se vaya profundizando en la excavación se deberán ir apuntalando o troquelando las tablestacas o muro milán con elementos metálicos o de concreto que permitan soportar y contener el empuje del suelo en la colindancia. Los sótanos se construyen del fondo de la excavación hacia arriba, por lo que primero concluimos la excavación y posteriormente iniciamos con la cimentación y construcción de sótanos.
- Existe un tercer procedimiento constructivo de excavación en suelos blandos denominado Top- Down en el cual perimetralmente se construyen muros Milán para la contención del subsuelo, después se construye la losa de entrepiso del nivel 0+000 (banqueta) con sus trabes, vigas secundarias y sistema de piso (losacero) la cual funcionara como un diafragma que troquee de lado a lado los muros milán para que posteriormente a trabes de ventanas dejadas en la losa 0+000 se inicie con la excavación del primer sótano hasta el nivel del segundo sótano para después por segmentos ir montando las trabes, vigas secundarias y sistema de piso apuntalando el muro Milán en ese segundo sótano y así sucesivamente ir bajando con las losas y excavación a los sótanos subsecuentes, hasta llegar al último sótano del proyecto en donde se armaran y colaran los dados de la cimentación que se ligan a las pilas y columnas previamente hincadas con un procedimiento que ha detalle se describirá en los capítulos 3 y 4. Los sótanos se construyen del nivel 0+000 (banqueta) hacia abajo, por lo que primero concluimos el entrepiso superior del sótano, posteriormente excavamos el siguiente sótano hacia abajo, así sucesivamente y al final ligamos la cimentación profunda a los dados de cimentación del último sótano.

De acuerdo al análisis de las variables del Edificio en cuestión se selecciono el procedimiento Top – Down, porque el sitio del desplante tiene suelos blandos con alto contenido de agua, con un nivel freático cercano a la superficie, las dimensiones del predio son estrechas para pensar en rampas para la excavación, las colindancias presentan edificaciones importantes cercanas que debemos cuidar no dañar, las vialidades perimetrales son de alto flujo vehicular y la normatividad local tiene restricciones de horario para la resaga del material producto de la excavación y abastecimiento de materiales a la obra.

1.4.- Premisas: Proyecto, Materiales Constructivos y Maquinaria:

Proyecto:

De acuerdo con la ingeniería estructural las cargas estáticas por apoyo en el área de la Torre serán del orden de 2,827 a 4,736 tons., con incrementos en sismo hasta de más menos 1,898 tons., con un máximo de local de más menos 3,762 tons.

Debido a las altas concentraciones de cargas se requirió de una cimentación profunda mediante pilas empotradas en los Depósitos Profundos Superiores, dentro de la 1ª Serie Arenosa Profunda las cuales trabajaran por fricción y punta; las pilas se desplantaron en el estrato de arenas compactas andesíticas de color gris oscuro ligeramente rosáceo (café oscuro), a una profundidad de 48.0 m. por encima de la frontera inferior del estrato; en la figura 4 se presentan las condiciones geotécnicas de diseño y la solución de cimentación.

La profundidad de excavación para alojar los sótanos alcanzo 18 m. incluyendo las contratraves perimetrales, por lo que fue necesario un sistema de contención mediante un muro milán perimetral desplantado a 24.0 m. de profundidad en el estrato de arenas basáltico- andesíticas Chichinautzin., para lograr la estabilidad de los taludes perimetrales verticales y mantener los desplazamientos laterales dentro de límites aceptables para las colindancias.

Las pilas fueron ligadas a dados de cimentación en paquetes de tres o cuatro pilas por dado, a su vez las columnas metálicas quedaron empotradas en las pilas y en los dados, el sistema estructural de los sótanos fue resuelto mediante el muro milán perimetral, marcos conformados por columnas híbridas con núcleo metálico de sección cuadrada conformado con cuatro placas, el hueco de la columna metálica relleno con concreto y forradas con concreto armado y traves metálicas, en la periferia las traves y vigas secundarias metálicas se ligaron al muro milán mediante placas ancladas al muro, el sistema de piso de los sótanos estuvo resuelto con losacero y un firme de compresión de concreto reforzado.

Los niveles sobre banqueta están estructurados mediante marcos formados con columnas y traves de concreto reforzado, sistema de piso de losa nervada aligerada (encasetonada).

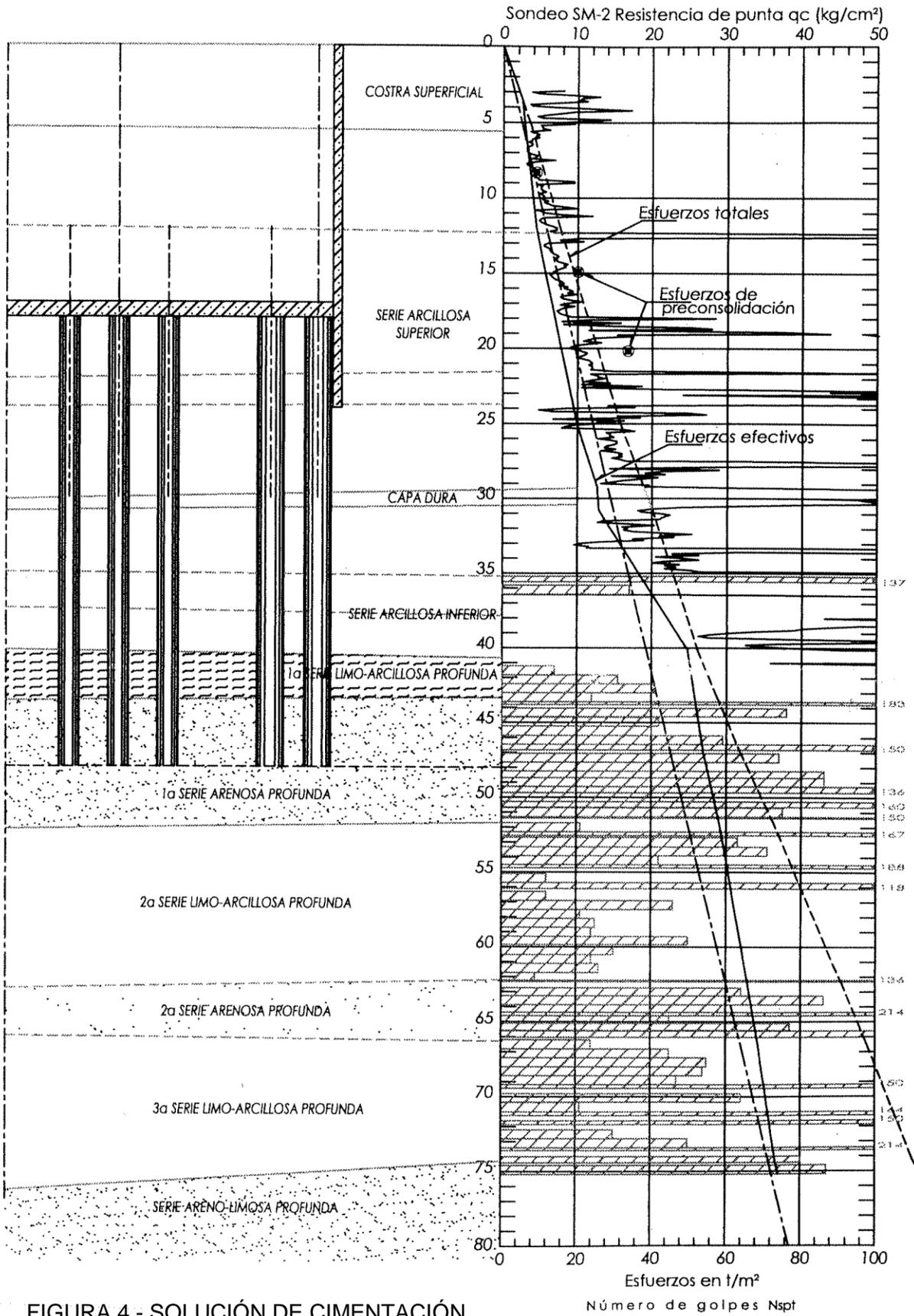


FIGURA 4.- SOLUCIÓN DE CIMENTACIÓN

Materiales Constructivos:

Generalmente el sistema Top – Down está ligado a la utilización de estructura metálica como solución estructural, ya que los sótanos se montan como un mecano, en donde cada elemento estructural viene tatuado desde su concepción al elaborarse los planos de taller con una marca que nos señala la ubicación específica de cada pieza, indicándose con que otras piezas se conecta y la secuencia misma del montaje. Asimismo, el sistema de piso también lleva un despiece y secuencia de montaje al utilizarse losacero que sustituye la opción de utilizar cimbras de madera o metálicas para el colado de las losas en los sótanos.

Los materiales constructivos de manera general fueron los siguientes:

Cimentación.- Pilas de concreto reforzado con $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$, dados de concreto reforzado con $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$, contratrabes de concreto reforzado con $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$, losa macisa de fondo de concreto reforzado con $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$.

Sótanos.- Columnas híbridas conformadas con cuatro placas de 1" de acero estructural grado 50 (cuadradas), con núcleo relleno de concreto con $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$, y forradas perimetralmente con concreto reforzado con $f'c= 700 \text{ kg/cm}^2$ de sección circular y cuadrada. Trabes primarias de acero estructural IR grado 50 con perfiles comerciales y conformadas con tres placas. Vigas secundarias de acero estructural IR grado 50 con perfiles comerciales. Sistema de piso compuesto por losacero sección 4, calibre 22 con conectores de cortante tipo pernos Nelson de 4 3/16" x 3/4" losa armada de concreto reforzado $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$, Muro Milán perimetral de concreto reforzado $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$.

Pisos sobre banqueteta.- Columnas de concreto reforzado con $f'c= 700 \text{ kg/cm}^2$. Trabes de concreto reforzado con $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$. Sistema de piso de losa nervada aligerada de concreto reforzado con $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$.

Maquinaria:

La situación de trabajar en un predio con dimensiones relativamente estrechas nos condiciona a la coordinación y utilización de maquinaria compartida entre las diferentes especialidades y subcontratistas, es así como la grúa con la que a cielo abierto se introdujeron los armados del muro milán también se utilizó para la introducción y montaje de las columnas metálicas; en la etapa de la excavación por las ventanas dejadas en la losa del piso de la planta baja (nivel 0+000) se introdujeron mini retroexcavadoras con dimensiones de altura que no fuera mayor al entrepiso de los sótanos pues tenían que circular y excavar con esa restricción de altura, aquí también se coordinó el uso de esos

equipos para los montajes bajo losa de la estructura metálica que conformaba los siguientes sótanos de arriba hacia abajo.

La maquinaria utilizada por elemento constructivo de manera general fue la siguiente:

Muro Milán.- Máquina perforadora sobre orugas con mecanismo de almeja guiada. Sistema de fabricación de lodo bentonítico, Grúa sobre orugas con pluma de armadura metálica. Camiones con olla de concreto. Bomba de concreto.

Pilas.- Máquina perforadora sobre orugas con broca helicoidal. Sistema de fabricación de lodo bentonítico, Grúa sobre orugas con pluma de armadura metálica. Camiones con olla de concreto. Bomba de concreto.

Columnas y Trabes Metálicas.- Pantógrafo para corte de acero estructural. Máquinas de soldar semiautomáticas de microalambre. Montacargas. Trailer con plataforma. Grúa sobre orugas con pluma de armadura metálica. Grúa torre.

Sistema de Piso en Sótanos.- Máquina perneadora. Planta generadora eléctrica diesel. . Camiones con olla de concreto. Bomba de concreto.

Excavación.- Retroexcavadora con brazo extendido. Mini excavadoras (retroexcavadoras pequeñas). Camiones volteo.

Dados de Cimentación.- Compresor de aire comprimido con martillos para demolición de concreto. Camiones con olla de concreto. Bomba de concreto.

Muros de Concreto.- Compresor de aire comprimido con martillos para demolición de concreto. Camiones con olla de concreto. Bomba de concreto.

CAPITULO 2.- PROYECTO ESTRUCTURAL

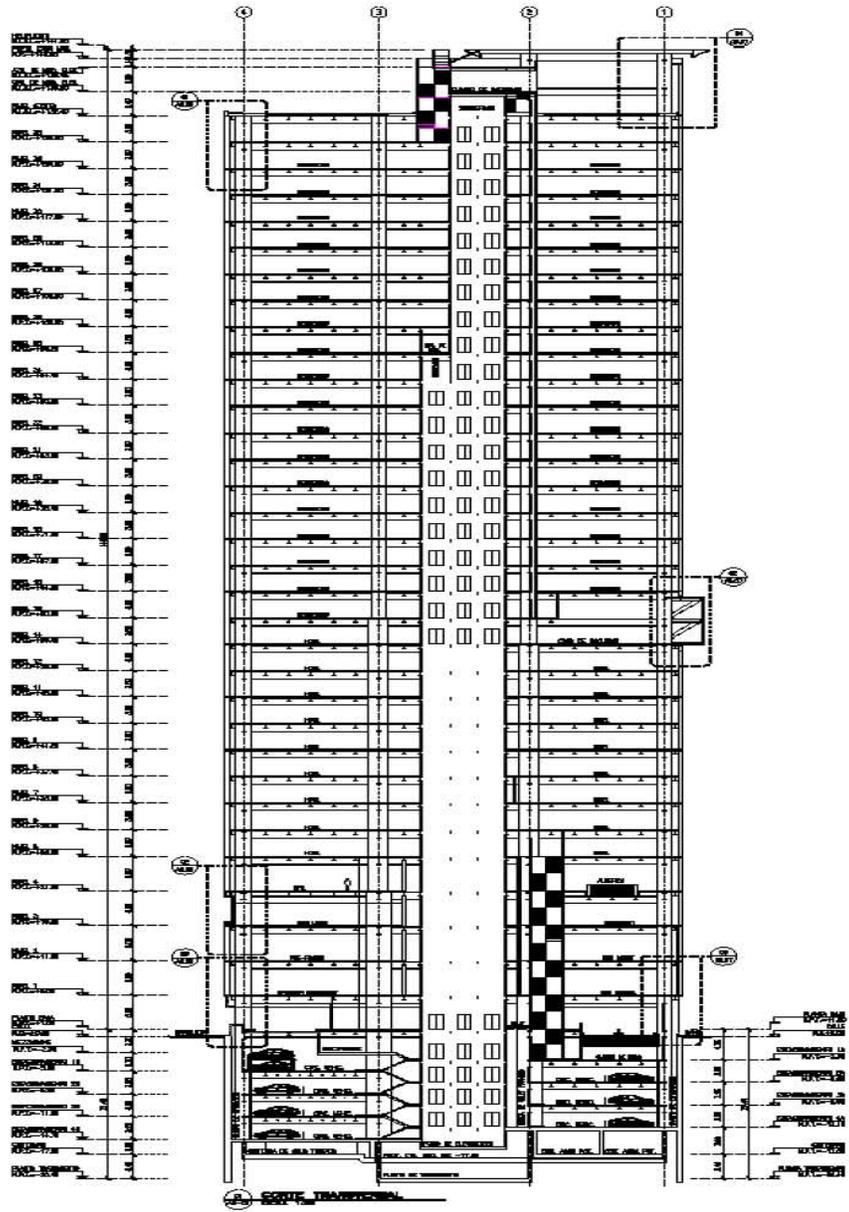
Como fue comentado en el capítulo anterior, la conjunción de las condiciones geotécnicas de la zona, la ubicación, colindancias, dimensiones del predio y legislación local, nos determinan el procedimiento constructivo a utilizar, seleccionándose en este caso el “Top-Down” el cual le define al ingeniero estructurista que los muros milán a utilizarse no solamente conteneran el empuje del suelo circundante al realizarse la excavación, si no que quedarán y funcionaran como muros estructurales perimetralmente colindantes de los sótanos, así mismo la estructuración de las columnas, trabes y sistema de piso de los sótanos también son determinadas no solo por las cargas verticales del peso de la edificación y las fuerzas sísmicas, sino que también entran en el cálculo los esfuerzos laterales de contención del empuje del suelo que reciben los muros Milán, pues se irán construyendo los sistemas de entrepiso de arriba hacia abajo y las losas operaran como un diafragma de contención al ir bajando en la excavación.

El presente capítulo pretende dar una idea general del proyecto estructural resultante a través de planos simplificados tipos, los detalles y explicación de los diferentes componentes estructurales se trataran en el capítulo 4.

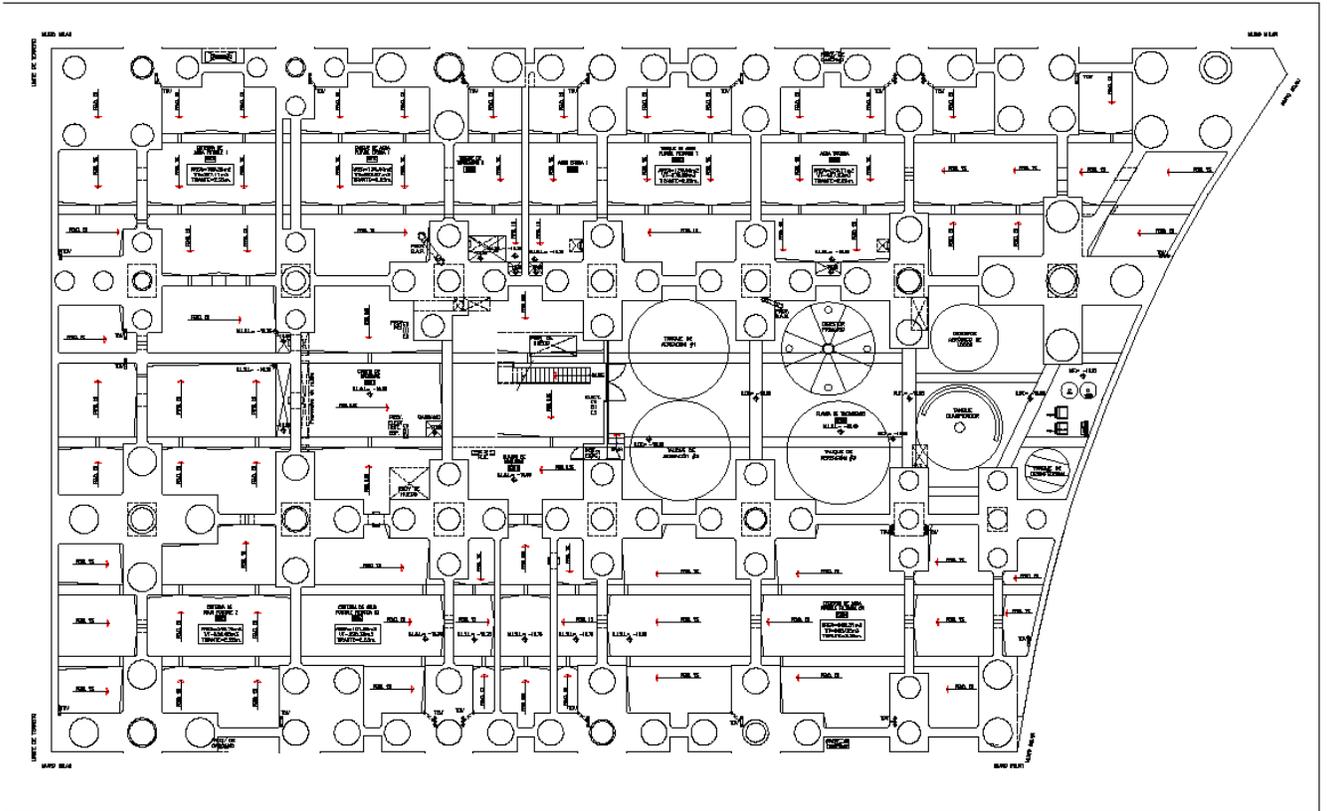
A continuación se presentan los siguientes planos generales, ordenados de acuerdo a la secuencia del procedimiento constructivo:

- Plano 1. Corte Transversal Arquitectónico del Edificio.- Aquí podemos ver los entrepisos de los niveles sobre banqueta y los sótanos.
- Plano 2. Muro Milán.- Ubicación perimetral del muro Milán, profundidad de desplante, armados y detalles estructurales.
- Plano 3. Planta de Pilas de Cimentación.- Ubicación geométrica de las pilas de cimentación en el predio.
- Plano 4. Pilas de Cimentación.- Detalle estructural de las pilas y columnas de montaje.
- Plano 5. Planta de Ubicación de Columnas.- Detalle de ubicación y profundidad de hincado de columnas metálicas, niveles de remate de pilas.
- Plano 6. Tabla de Secciones y Perfiles Estructurales.

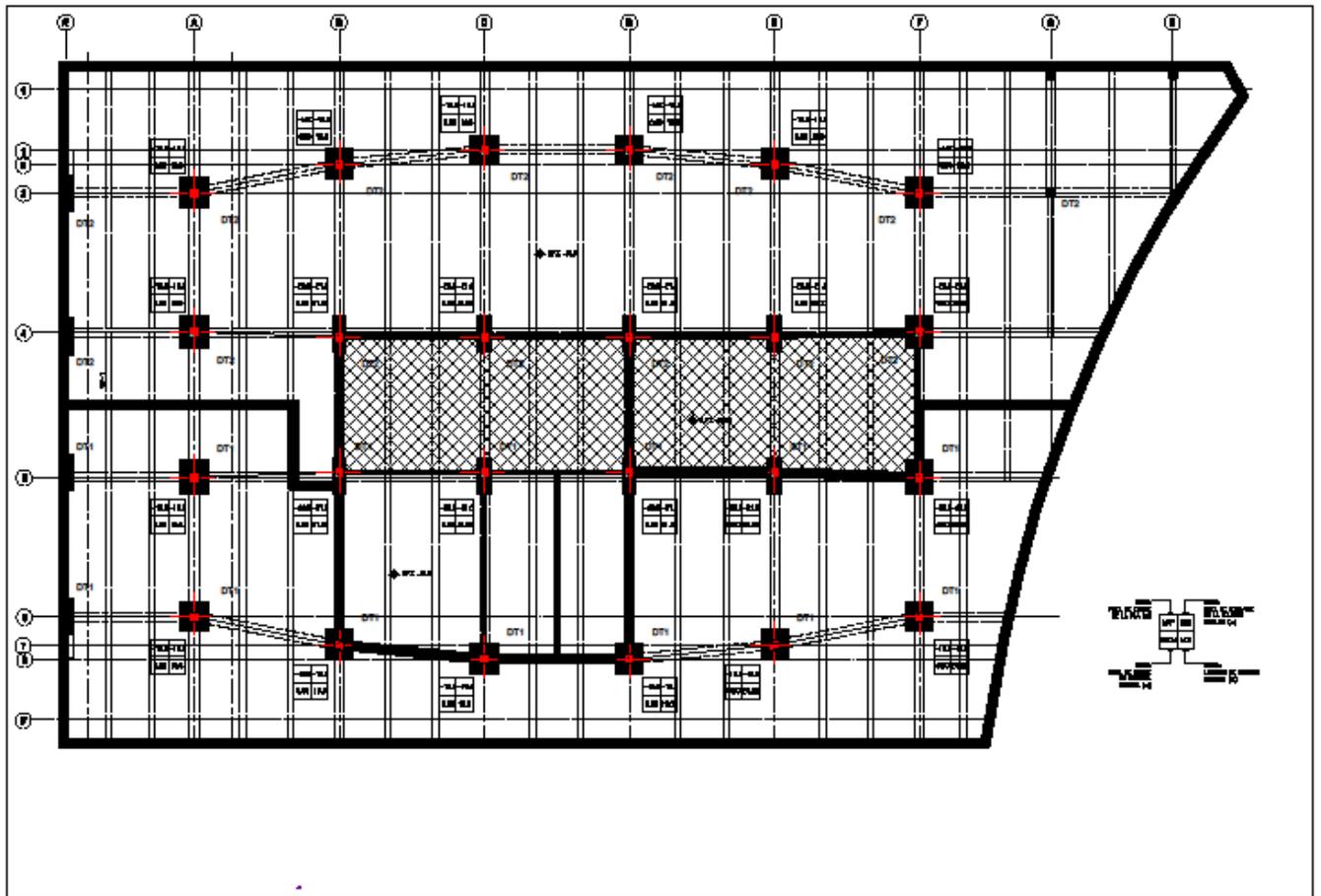
- Plano 7. Perfil Estructural de Columnas Metálicas.- Perfil tipo de columnas metálicas.
- Plano 8. Planta Estructural de Sótano 1.- Planta con estructuración tipo de sótanos (trabes).
- Plano 9. Placas de Unión entre Trabes y Muro Milán.- Detalle de placas para unión y conexiones entre trabes y muro Milán
- Plano 10. Placas Ahogadas en Muro Milán.- Detalle de placas ahogadas en muro Milán para unión con trabes.
- Plano 11. Conexiones a Cortante Trabes.- Detalles tipo de conexiones a cortante de trabes metálicas.
- Plano 12. Conexiones a Momento de Trabes.- Detalles tipo de conexiones a momento de trabes metálicas.
- Plano 13. Diagonales Estructurales en Rampas.- Detalle de conexiones entre diagonales metálicas (contraventeo) y columnas en rampas.
- Plano 14. Rampas de Estacionamiento.- Detalle estructural de rampas en estacionamiento sótanos.
- Plano 15. Rampas de Estacionamiento Losacero.- Detalle estructural de rampas en estacionamiento sótanos losacero.
- Plano 16. Columnas Híbridas Sótanos.- Detalle estructural de las columnas metálicas envueltas con concreto reforzado.
- Plano 17. Datos de Cimentación.- Detalle estructural de los datos de cimentación conectados a las pilas y columnas híbridas.



PLANO 1

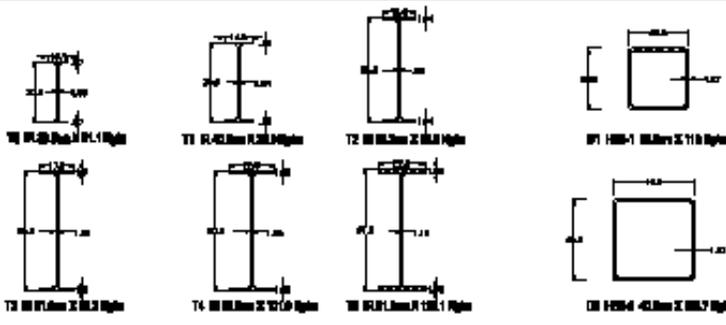


PLANO 3

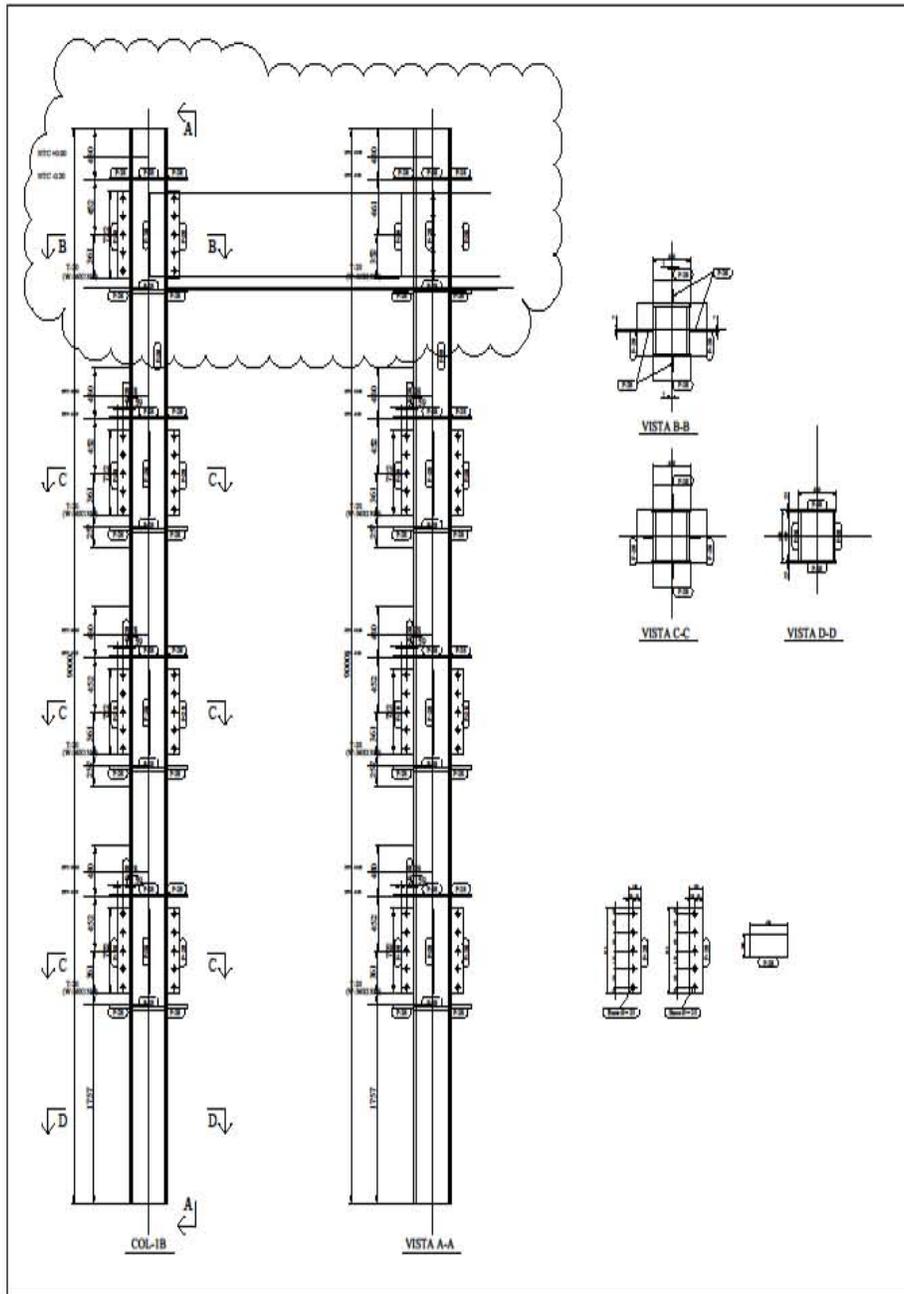


PLANO 5

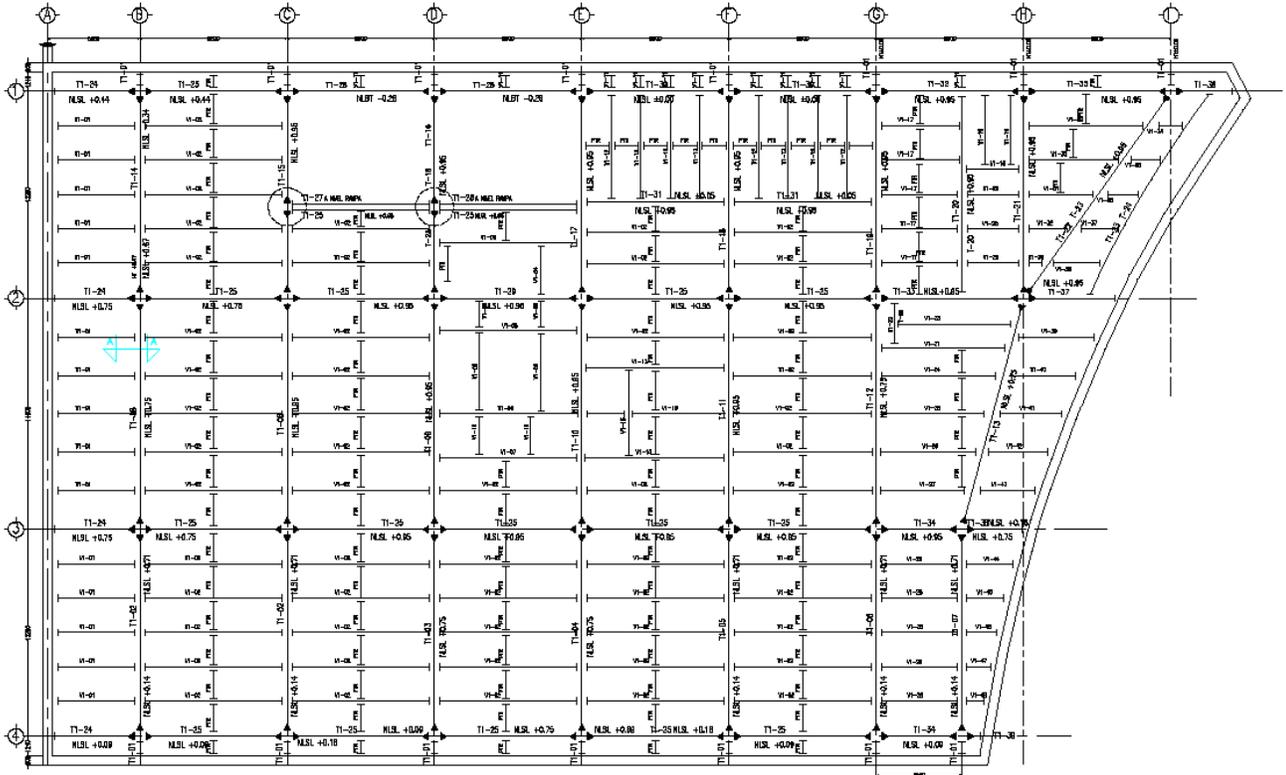
TABLA DE SECCIONES						
SECCION	PROFIL	SECCION	A (cm ²)	M (cm ³)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)
1-1	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
2-2	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
3-3	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
4-4	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
5-5	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
6-6	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
7-7	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
8-8	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
9-9	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
10-10	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
11-11	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
12-12	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
13-13	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
14-14	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
15-15	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
16-16	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
17-17	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
18-18	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
19-19	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
20-20	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
21-21	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
22-22	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
23-23	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
24-24	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
25-25	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
26-26	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
27-27	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
28-28	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
29-29	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
30-30	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
31-31	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
32-32	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
33-33	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
34-34	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
35-35	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
36-36	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
37-37	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
38-38	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
39-39	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
40-40	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
41-41	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
42-42	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
43-43	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
44-44	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
45-45	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
46-46	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
47-47	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
48-48	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
49-49	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0
50-50	200x200	200	78.4	200	384.0	384.0



PLANO 6

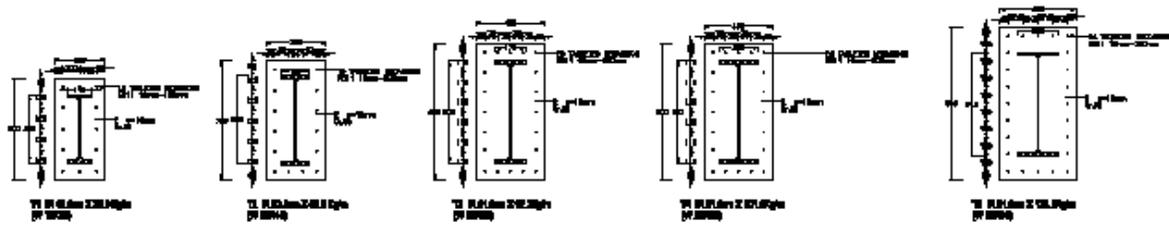


PLANO 7

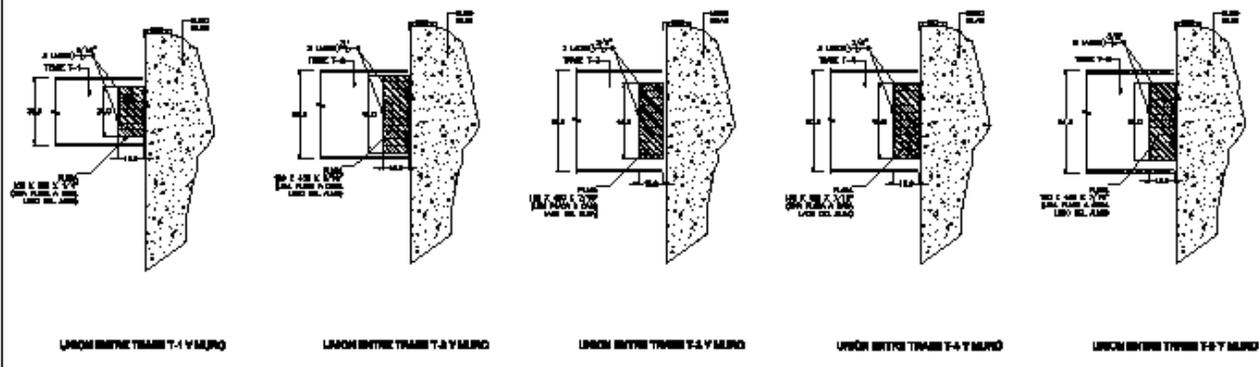


SOTANO 1 (P.B.)

PLANO 8

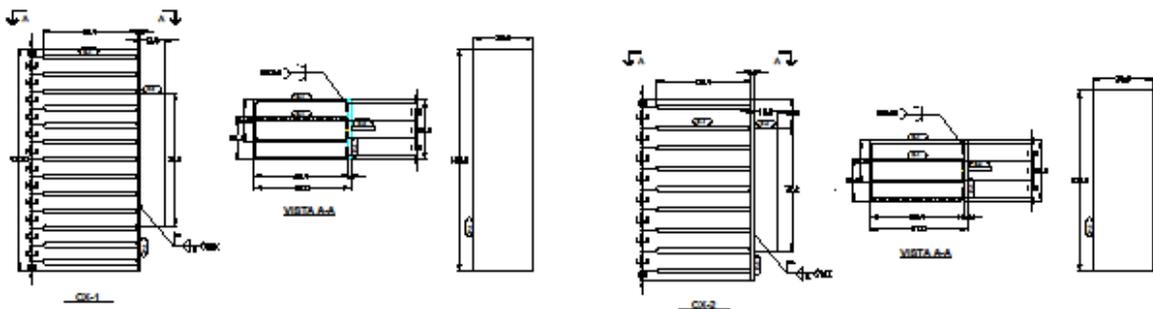


DETALLE DE PLACAS PARA UNIÓN ENTRE TRABES Y MURO MILAN

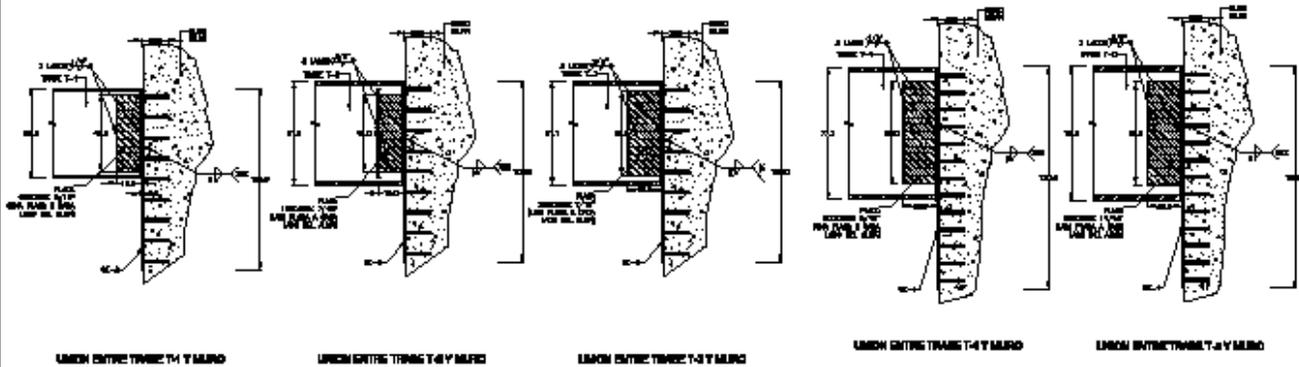


UNIÓN ENTRE TRABE T-1 Y MURO UNIÓN ENTRE TRABE T-2 Y MURO UNIÓN ENTRE TRABE T-3 Y MURO UNIÓN ENTRE TRABE T-4 Y MURO UNIÓN ENTRE TRABE T-5 Y MURO

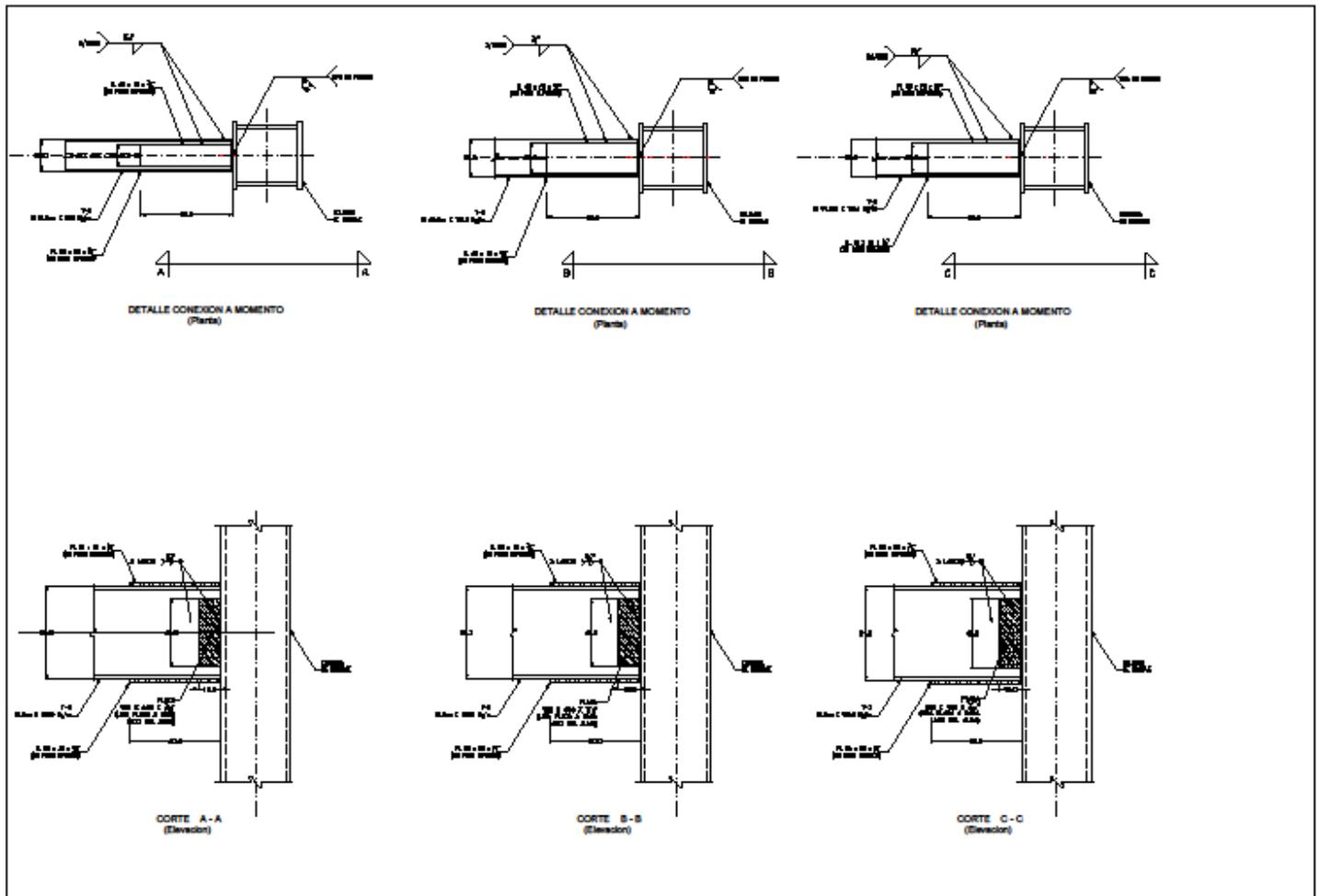
PLANO 9



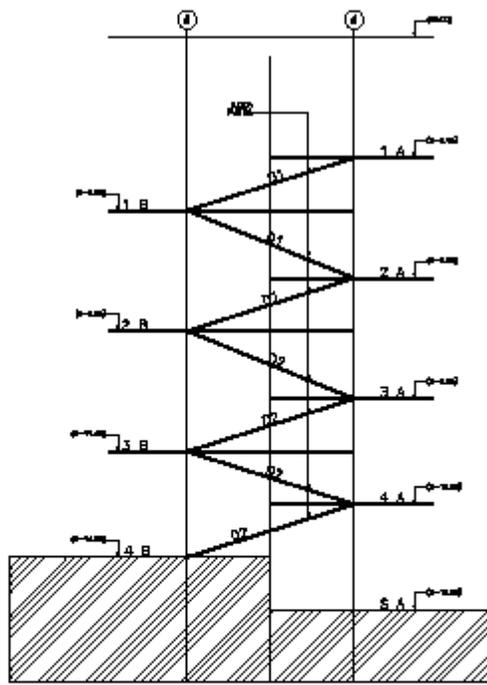
**DETALLE DE ANCLAJE DE PLACA ARMADA EN MURO DE ALBA
 PROFUNDIDAD POR PARTE DE TRAVESANTE
 DE ACUERDO AL SISTEMA EXISTENTE**



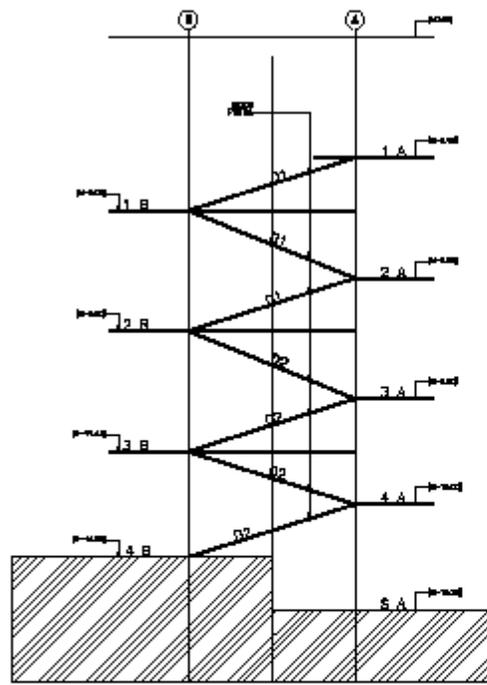
PLANO 10



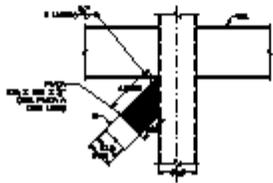
PLANO 12



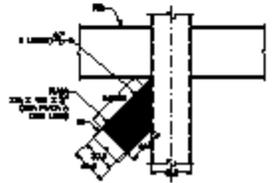
EJE-A



EJE-B

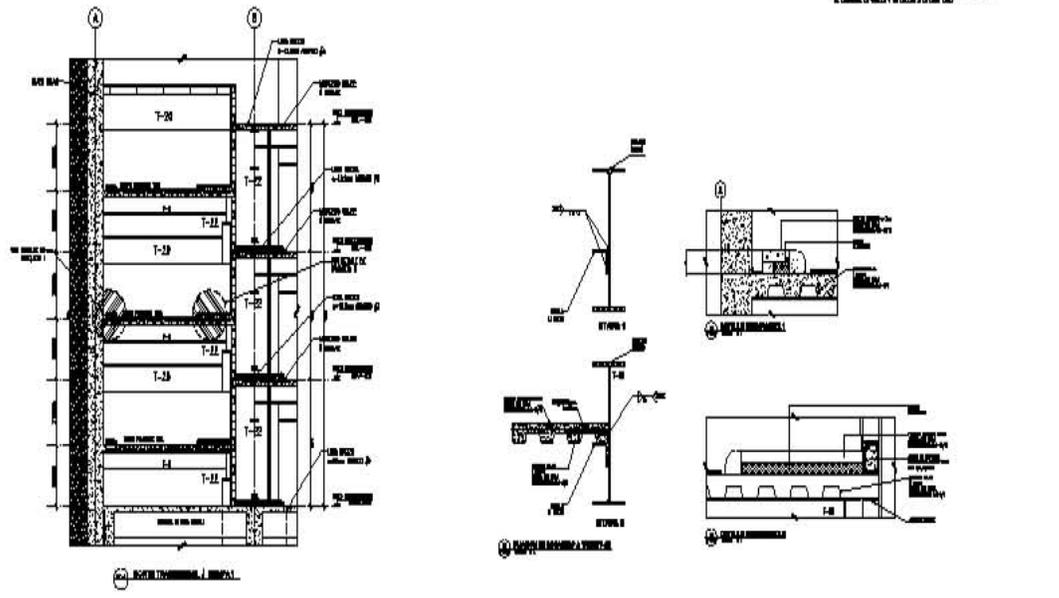
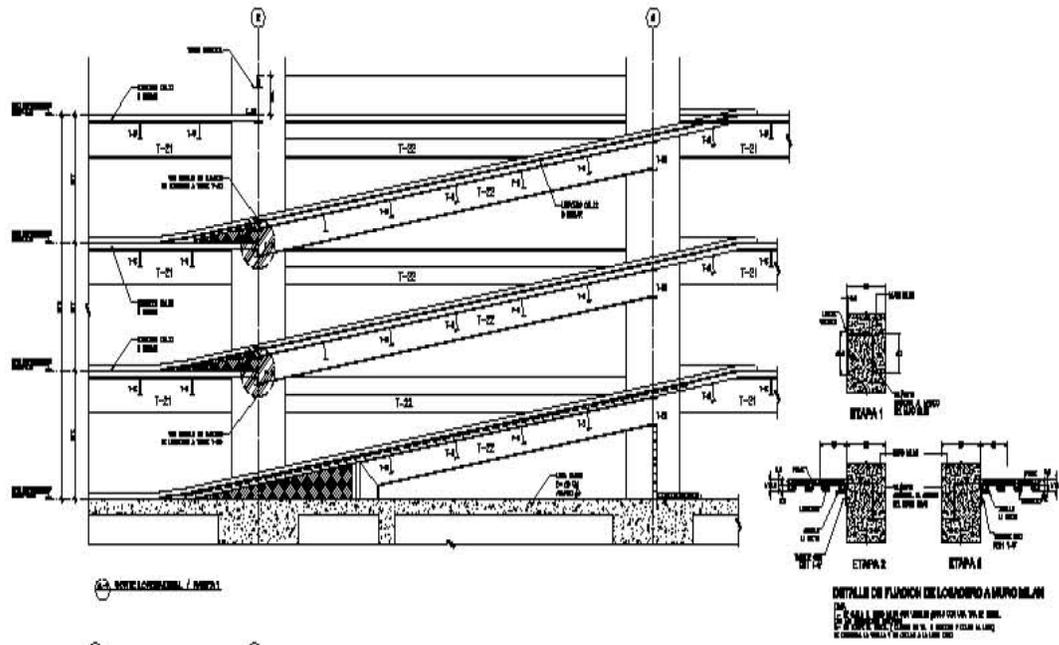


DETALLE DE UNION ENTRE DIAGONAL D1 Y COLUMNA METALICA

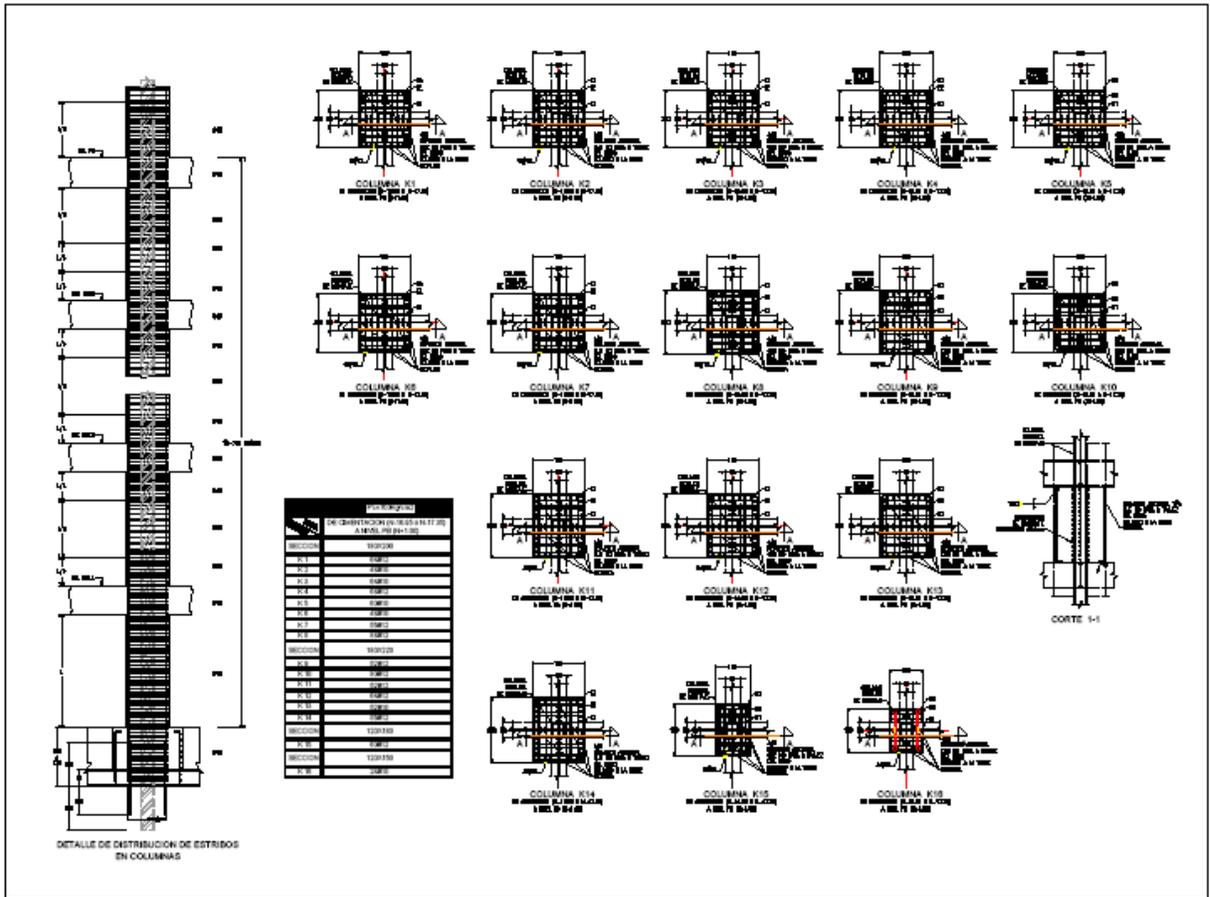


DETALLE DE UNION ENTRE DIAGONAL D2 Y COLUMNA METALICA

PLANO 13



PLANO 14



PLANO 16

CAPITULO 3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO TOP – DOWN

3.1.- Descripción

Como su nombre lo dice este procedimiento para la construcción de sótanos en suelos blandos, consiste en ir construyendo los entresijos de los sótanos de arriba hacia abajo, debiéndose terminar obligatoriamente la estructura definitiva del entresijo inmediato superior y que los materiales alcancen al menos el 50% de la resistencia de diseño para poder continuar avanzando (profundizando) en la excavación, esto es repetitivo sótano a sótano, de manera que a continuación detalladamente describimos el procedimiento.

Deberán identificarse todas las instalaciones adyacentes al predio para prever su protección durante todo el tiempo de construcción. Por otra parte, se instalarán estaciones piezométricas de control del sistema de bombeo con celdas en los estratos permeables detectados a una profundidad aproximada de 12.1, 19.1 y 25.5 m; dichas estaciones se ubicarán equidistantes de los pozos y deberán mantenerse en operación durante todo el tiempo de construcción de la cimentación y sótanos.

Demolición de cimentaciones existentes. Se demolerán las construcciones existentes manteniendo la losa de planta baja para contar con una plataforma de trabajo desde la cual construir los elementos de contención y cimentación; deberá apuntalarse para permitir el movimiento de los equipos para la construcción del muro milán; terminada esta etapa, se continuará con la demolición.

De acuerdo a la ubicación en planta de la cimentación, determinamos la zona en donde instalar en el predio el equipamiento para la producción de lodo bentonítico (Fotografía 1), material que nos servirá para estabilizar las paredes de las excavaciones del muro milán y de las pilas de cimentación, una vez con la planta de lodos montada damos inicio con la construcción perimetral de un brocal de concreto reforzado (Fotografía 2) que servirá de guía para la excavación perimetral que alojara los muros milán, mediante una máquina excavadora con almeja guiada (Fotografía 3) la cual va excavando una zanja recta la cual conforme se profundiza se va rellorando con lodo bentonítico el cual tiene la misma consistencia del suelo para estabilizar las paredes, cuidando que en todo momento el nivel del fluido bentonítico se encuentre 1.00 m. arriba del NAF.

En función de la subpresión máxima calculada determinamos un factor de seguridad contra la falla por levantamiento del fondo de la excavación por subpresión en los estratos arenosos, por lo que se requirió de un sistema de pozos de bombeo que atraviesan los estratos de arena a 25 m. de profundidad, durante la excavación se verificó que los niveles piezométricos se mantuvieron en los valores indicados.



Fotografía 1



Fotografía 2



Fotografía 3

El muro milán perimetral se apoyo a 24 m de profundidad en el subestrato de arenas basáltico-andesíticas Chichinautzin; es importante destacar que, cuando se profundizo más en la excavación por debajo de 18 m, fue necesario que el muro perimetral se desplantará en la Capa Dura a 30 m de profundidad para garantizar tanto la estabilidad de la excavación como un apoyo adecuado en la base del muro; su ubicación, características y dimensiones definitivas se indican en el Plano 2 estructural (Capítulo 2). La construcción del muro Milán se detalla en el capítulo 4, apartado 4.1.

Paralelamente a la construcción del muro Milán se construyeron las pilas de concreto armado, coladas en el sitio, rectas y de sección circular, cuya ubicación, características y dimensiones definitivas se indican en los Planos estructurales 3 y 4 (Capítulo 2). Debe destacarse que cuando se requirió pilas adyacentes al elemento de contención, fue necesario que el muro milán se construyera primero para lograr que las pilas fueran tangentes al paño interior previéndose las preparaciones para lograr la conexión estructural de muro-pilas-losa de fondo.

Es importante señalar que el proyecto estructural de la cimentación determino la ubicación y construcción de 120 pilas, de las cuales solo 29 pilas llevaron ahogadas 29 columnas metálicas Plano 8 (Capítulo 2), en estas 29 pilas inmediatamente después de la conclusión del colado se introdujo la columna metálica la cual quedó ahogada en la pila

1.00 m coincidiendo con el cruce de los ejes principales. La construcción de las pilas fue de acuerdo a los lineamientos que se exponen en el capítulo 4, apartado 4.2.

Con objeto de cuidar el control de calidad y verticalidad de las columnas metálicas su fabricación se realizó fuera de la obra en una Planta de Estructuras Metálicas, estas columnas cuadradas tuvieron dimensiones de 0.45 x 0.45 m. conformadas con placa de acero grado 50 de 1" y con longitudes entre 19.45 y 23.50 m. fabricándose en una sola pieza evitando empalmes en obra por lo que se trasladaron en plataformas especiales con carro piloto durante las noches.

En la Planta de Producción de Estructura Metálica, de acuerdo al proyecto y programa de suministros, con armadores y soldadores calificados por un laboratorio certificado y reconocido por la instancia correspondiente, se habilitaron y fabricaron los diferentes elementos como Traveses y Columnas conformadas para trasladarse a la obra. Las columnas se mandaron en acero negro para garantizar adherencia con el concreto reforzado que al final del procedimiento constructivo las envolvió para formar por diseño estructural columnas híbridas y las traveses se enviaron a obra con una primera aplicación de primario anticorrosivo. La fabricación y montaje de las columnas y traveses metálicas se realizó de acuerdo a los lineamientos que se exponen en el capítulo 4, apartado 4.3.

Una vez que se concluye al 100% la construcción perimetral del muro milán, incluyendo el remate del muro armado y colado a cielo abierto y se lleva un avance aproximado mayor al 50% de las pilas y columnas metálicas, damos inicio con el montaje de la estructura metálica de la planta baja, determinando previamente en planta baja (nivel de banqueta) la ubicación estratégica de las lumbreras las cuales sirven para el ingreso de las mini excavadoras, inicio de la excavación, rezaga del suelo excavado, ingreso - salida de materiales y equipos, ventilación e ingreso de luz natural, asimismo por ahí se sacan con grúa las mini excavadoras cuando se concluye la excavación. La ubicación de las lumbreras y grúas torre debe permitir en planta baja la circulación de la maquinaria, de los camiones para la rezaga de la excavación, la estiba y descarga de materiales y abarcar toda la obra con el radio de giro de las grúas torre, que en este caso fueron dos. (Figura 5).

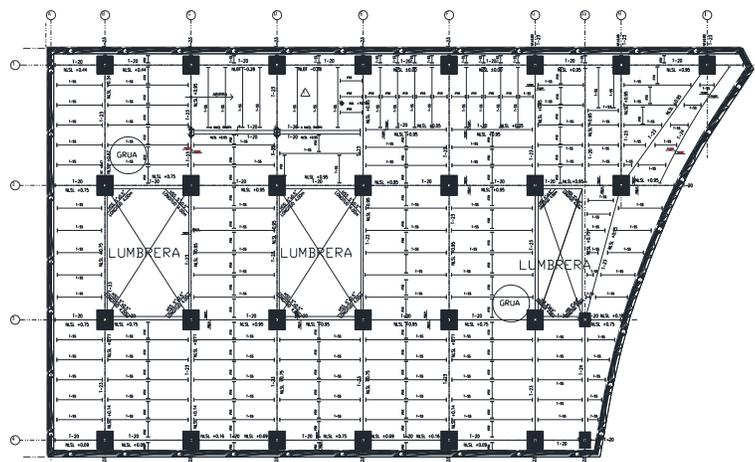


Figura 5

Durante los procesos de construcción de muro Milán y pilas de cimentación, en la Planta de Estructuras Metálicas de acuerdo al proyecto ejecutivo estructural se elaboran los planos de taller que sirven para el armado y fabricación de los elementos estructurales metálicos, los cuales se van terminando, marcando y almacenando para su posterior embarque a la obra de acuerdo al programa de montaje convenido con el proyectista estructural (Capítulo 3, apartado 3.2)

Para dar inicio con el montaje de la estructura metálica, previamente se realiza la excavación a cielo abierto de los tableros a estructurar hasta una profundidad que permita el montaje, misma que está en función de los peraltes de las trabes del proyecto de la planta, es importante señalar, que la planta baja tiene un diseño estructural diferente a los entresijos de los sótanos, ya que la planta baja está diseñada para recibir sobrecargas derivadas de los equipos para la rezaga de la excavación que permanecen durante todo el periodo que dura la misma posicionados sobre esta losa, además arriba de ella se realiza la carga y circulan los camiones de volteo que rezagan el material producto de la excavación, circulan trailers con materiales y equipos, también ahí se ubican las ollas del concreto premezclado que se bombea para los colados de las losas y los elementos de concreto de los sótanos.

El montaje de la estructura metálica en la planta baja (nivel de banqueteta) se realiza con una grúa sobre orugas porque se trabaja sobre el terreno natural que puede estar semisaturado, la soldadura de las conexiones de las trabes principales a las columnas metálicas previamente hincadas y a las placas del remate del muro milán, y las soldaduras entre trabes se ejecutan en campo con el correspondiente cuidado y control de calidad de acuerdo a los lineamientos del proyecto y de las Normas y Reglamentos aplicables.

Una vez que vamos terminando la estructuración de tableros metálicos, estos se van cubriendo con el montaje de la losa de acero la cual se conecta a las trabes mediante pernos Nelson (conectores de cortante).

Toda vez que tenemos concluidos los tableros conformados por trabes, columnas metálicas y losa de acero, procedemos a colocar los pernos Nelson de cortante en toda la losa de acero, armamos con varilla el firme de compresión y procedemos al colado y curado de la losa, ver Capítulo 4, apartado 4.4, de esta manera llegamos a cubrir y concluir la losa y diafragma comprendido entre los ejes A y B con 1' y 4' y así sucesivamente de acuerdo a la secuencia del Capítulo 3, apartado 3.2.

Cuando concluimos al 100% los tableros de losa que van de un lado al otro del muro Milán y obtenemos resistencias mayores al 50% del concreto, tenemos ya apuntalado el muro Milán contra el empuje del suelo circundante (diafragma), entonces podemos a través de las lumbreras que se dejaron iniciar la excavación con las mini excavadoras por abajo del tablero ya colado de la planta baja, el nivel de esta secuencial excavación será más o menos 0.50 m. por debajo del nivel del patín inferior de las trabes que conformaran la

losa del sótano 1 para facilitar el montaje, durante este proceso de excavación vamos ir encontrando las columnas metálicas previamente hincadas y los pozos de abatimiento de las aguas freáticas por lo que debemos cuidar y proteger los pozos y columnas, asimismo las condiciones de trabajo son muy duras pues la excavación, montaje de la estructura metálica y sistema de piso de los niveles bajo banqueta se realizan sobre suelos saturados, prácticamente sobre lodo y el ambiente esta enrarecido, no obstante los sistemas de ventilación colocados, por los gases producto de la combustión de los motores de las mini excavadoras, esto nos obliga a permitir que los obreros salgan periódicamente a tomar un respiro a la superficie.

El montaje de los elementos metálicos en los niveles bajo banqueta se realiza con la ayuda de las mini excavadoras pues no se pueden tener abajo por espacio y contaminación equipos adicionales designados solo para el montaje, por ello es necesario escalonar coordinadamente el uso de las mini excavadoras ya sea para apoyo del montaje de la estructura o para la excavación, asimismo las trabes metálicas se van bajando por las lumbreras con la ayuda de una grúa posicionada sobre la planta baja o cuando ya se tiene montada la grúa torre con ella se baja la estructura, por lo cual los tiempos de uso de las lumbreras ya sea para rezaga de la excavación o para ingreso de materiales debe también coordinarse.

El material excavado se traspalea a la zona de las lumbreras para que por ahí desde la superficie con retroexcavadoras de brazo largo se extraiga el suelo excavado y se cargue directamente a camiones para su transporte al tiro autorizado por las autoridades gubernamentales.

Debido a la problemática de trabajo bajo banqueta propia del sistema Top- Down, los rendimientos de la excavación y de los montajes son sensiblemente bajos comparados con los procedimientos a cielo abierto, que combinado con las restricciones de horario para la circulación de camiones en la zona y horario del tiro autorizado de la rezaga, nos obligo a tener que trabajar también por las noches en las soldaduras de la estructura metálica y en la colocación de la losacero para lograr mayores avances.

En los sótanos del 1 al 4, para conectar las trabes principales al muro milán fue necesario ir barrenando y colocando placas de conexión en el muro Milán (Planos 9 y 10) y para soporte de la losacero en la periferia se utilizó ángulo taqueteado al muro Milán.

Es importante recalcar que no se puede iniciar la excavación de los sótanos inferiores mientras no se concluyan al 100% los tableros del piso inmediatamente superior de lado a lado que troquelen los muros Milán.

El procedimiento Top – Down descrito es repetitivo conforme se va bajando uno a uno en los sótanos, esto se detalla gráficamente en apartado 3.2 de éste mismo Capítulo.

Cuando finalmente terminamos con la estructura y losas de los sótanos 1 al 4 llegamos a la losa de fondo en donde vamos a encontrar las pilas que de inicio se colaron, aquí procedemos a demoler la parte superior de las pilas para conectar el armado de las pilas con el dado de cimentación de acuerdo al Plano 17, varias pilas se agrupan en un solo

dado Plano 3, los dados de cimentación a su vez se conectan a la losa de fondo que fue diseñada con concreto armado y a las demás estructuras que se alojaron en el fondo como son las cisternas, la plantas de tratamiento y cuartos de algunas máquinas.

Durante el proceso constructivo de ir bajando con los entresijos de los sótanos, se fueron armando las columnas metálicas, Plano 16, las cuales una vez que se llegó a la losa de fondo se cimbraron y colaron de abajo hacia arriba.

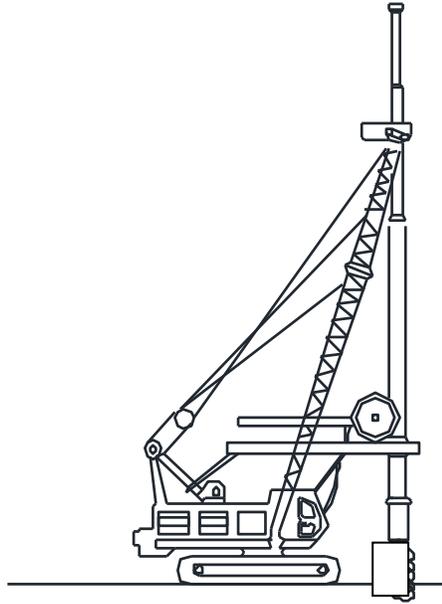
Terminada la excavación se extraen por las lumbreras las mini excavadoras y equipo que participo en el procedimiento Top- Down para que al final se cierren las lumbreras de abajo hacia arriba con procedimientos tradicionales.

En el Capítulo 4, apartados 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9, ampliamos un poco más los aspectos referentes a la Excavación, Sistema de abatimiento de aguas freáticas, Ventilación, Muros de concreto reforzado y Columnas híbridas de concreto reforzado con núcleo de acero estructural.

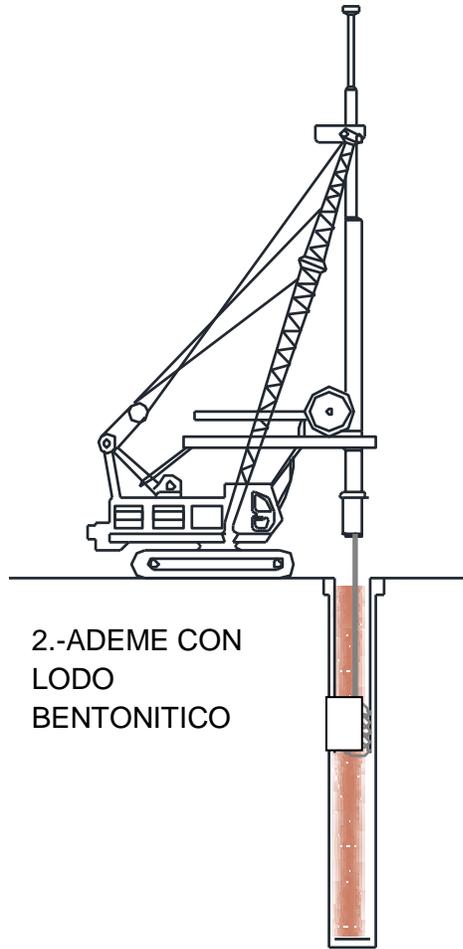
3.2.- Secuencia

A continuación presentamos una secuencia gráfica del procedimiento constructivo Top - Down:

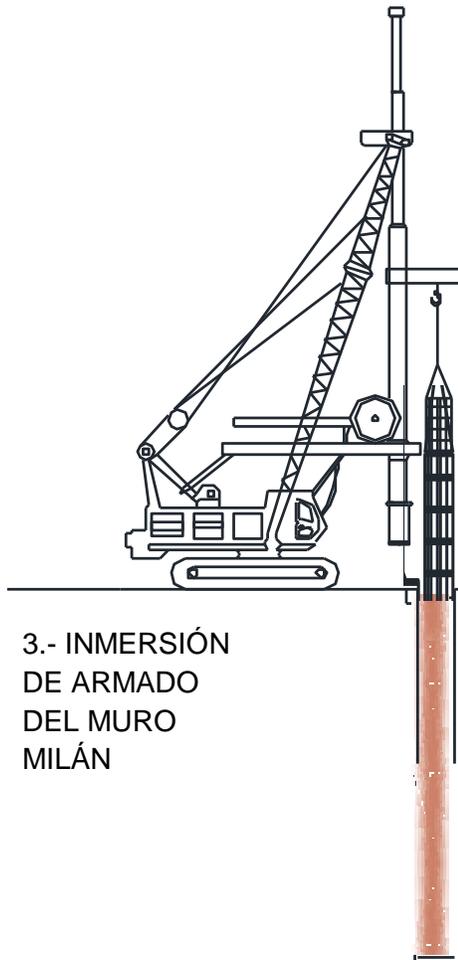
MURO MILÁN



1.-
PERFORACIÓN
CON ALMEJA
GUIADA



2.-ADEME CON
LODO
BENTONITICO

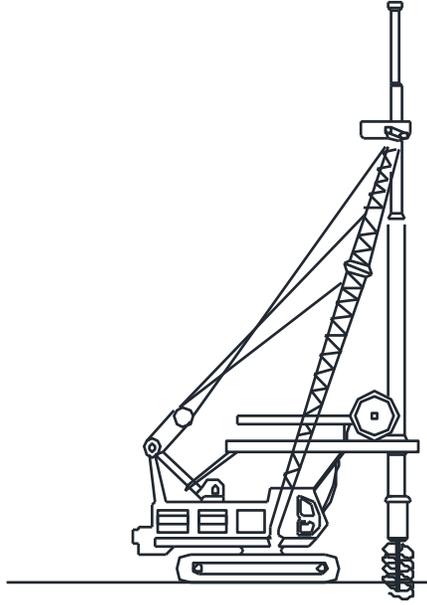


3.- INMERSIÓN
DE ARMADO
DEL MURO
MILÁN

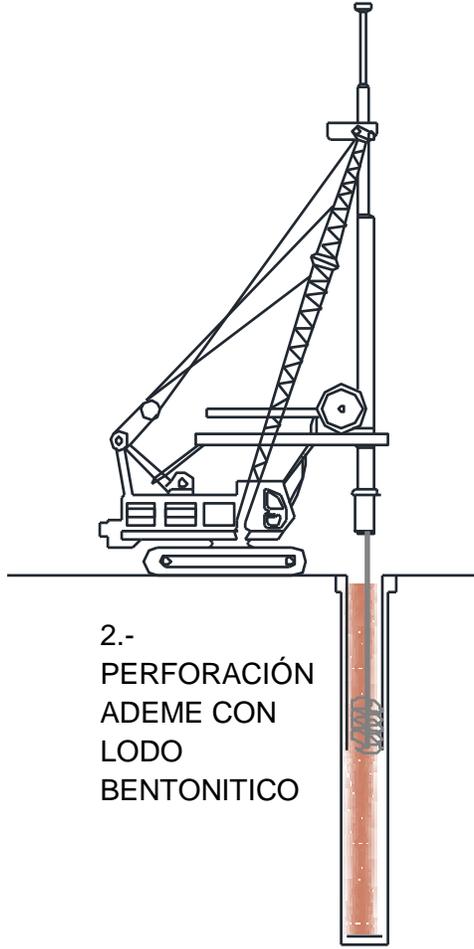


4.- COLADO CON
TUBO TREMIE
DE MURO MILÁN

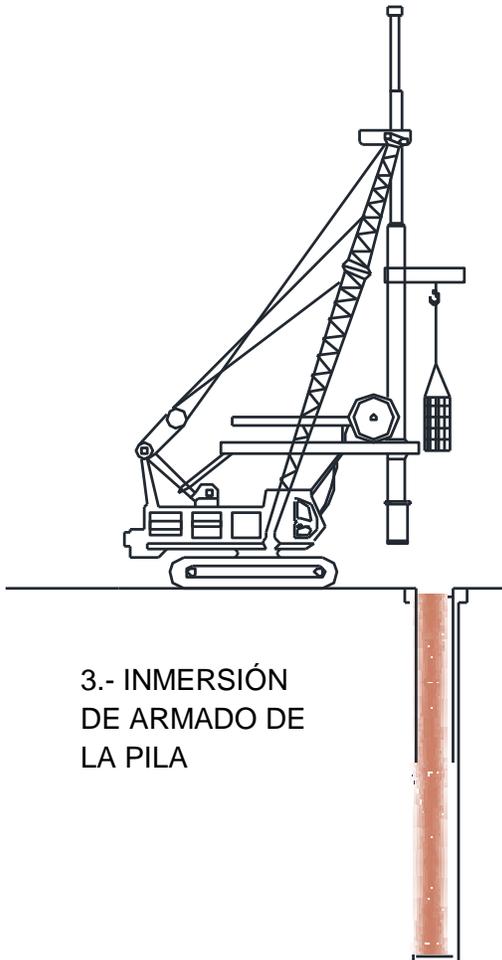
PILAS DE CIMENTACIÓN



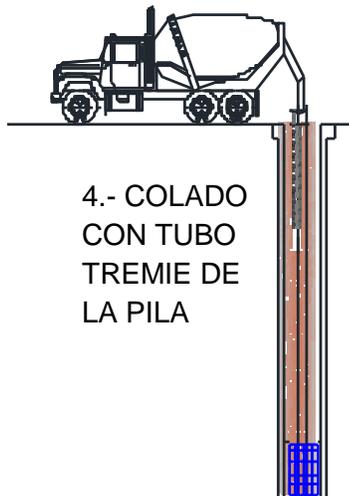
1.-
PERFORACIÓN
CON BROCA
HELICOIDAL



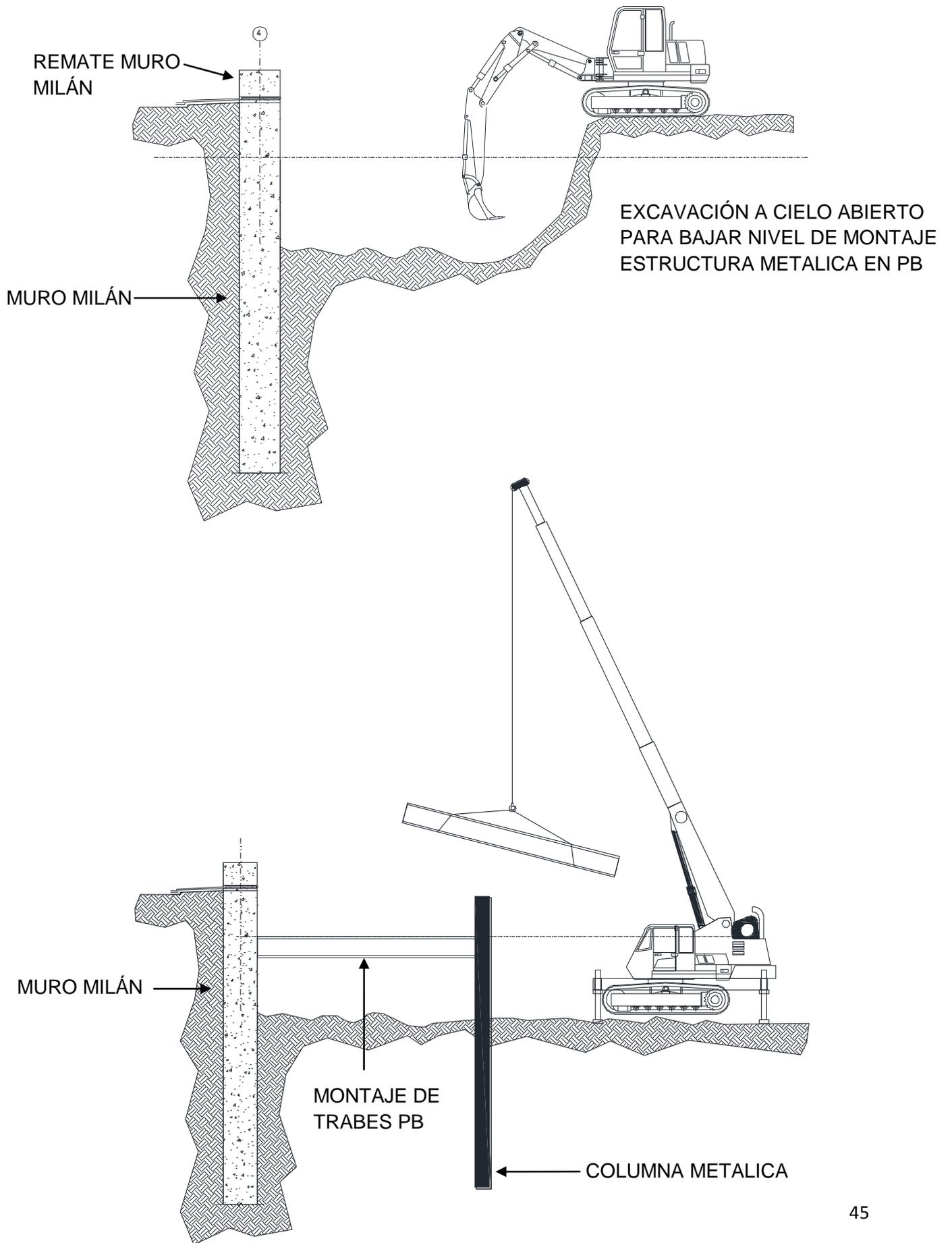
2.-
PERFORACIÓN
ADEME CON
LODO
BENTONITICO

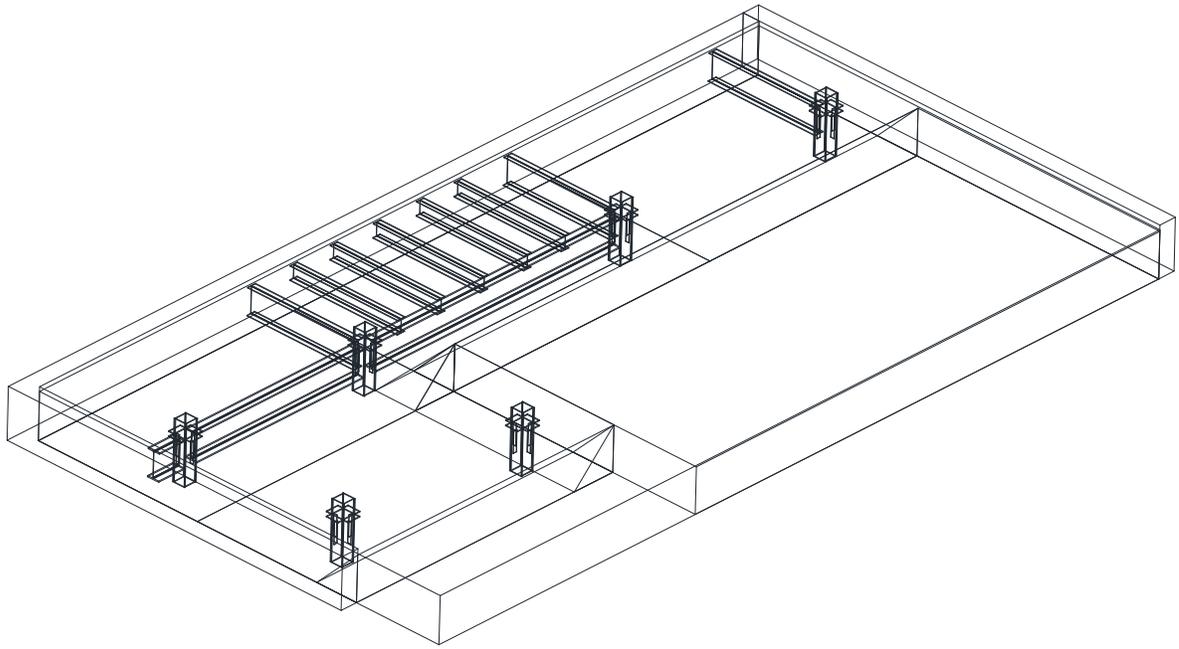


3.- INMERSIÓN
DE ARMADO DE
LA PILA



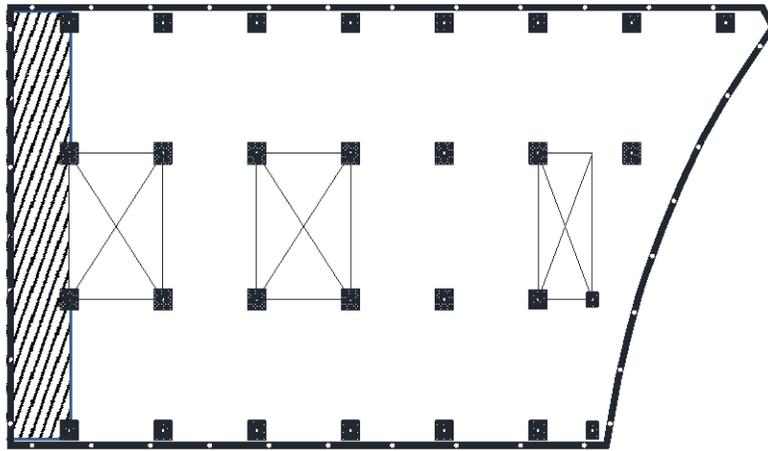
4.- COLADO
CON TUBO
TREMIE DE
LA PILA



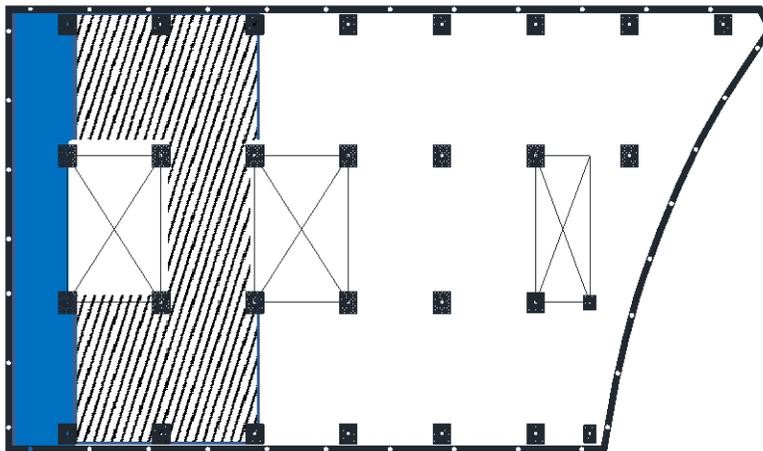


ISOMETRICO MONTAJE PB

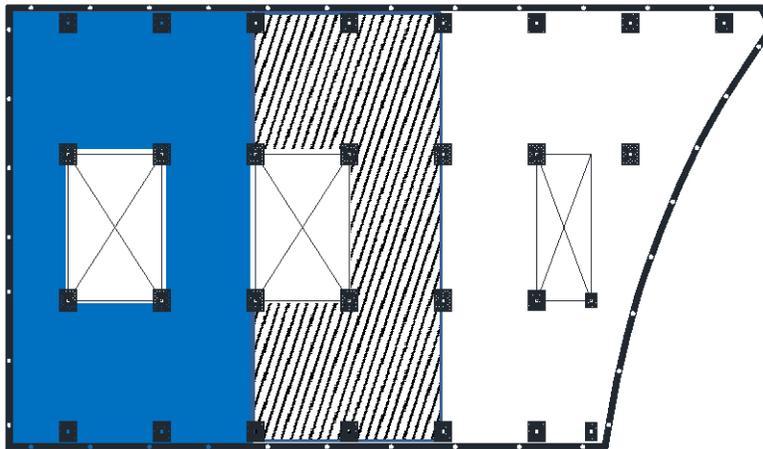
SECUENCIA MONTAJE ESTRUCTURA METALICA - LOSACERO



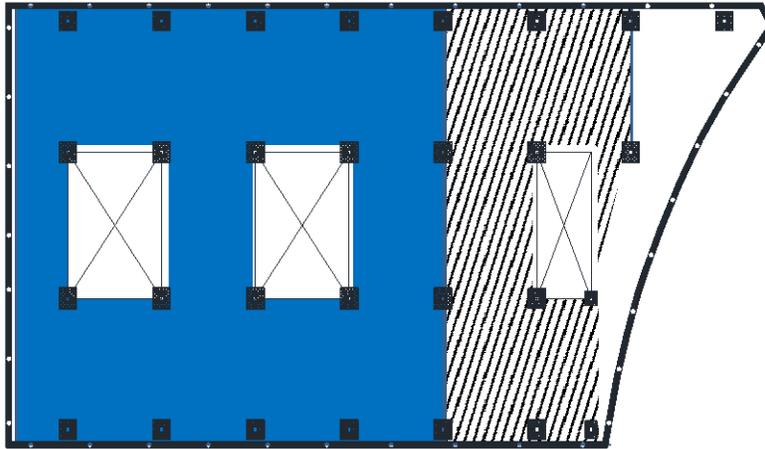
ETAPA 1 - PB



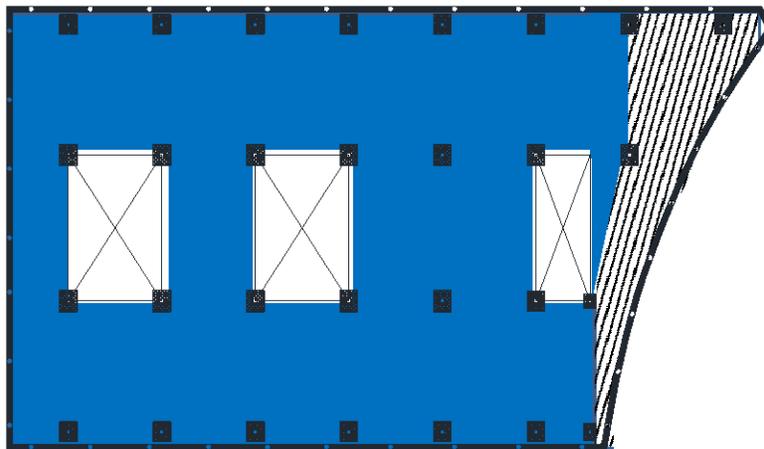
ETAPA 2 - PB



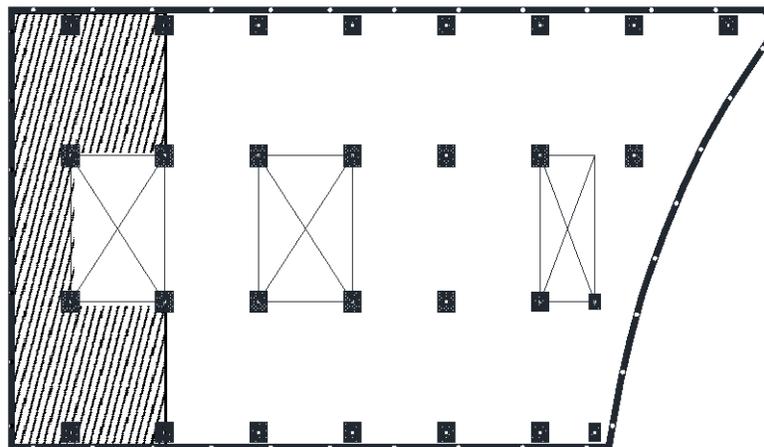
ETAPA 3 - PB



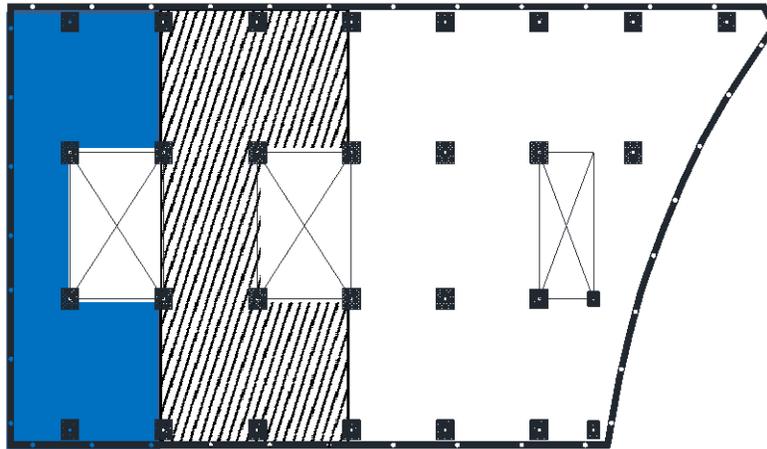
ETAPA 4 - PB



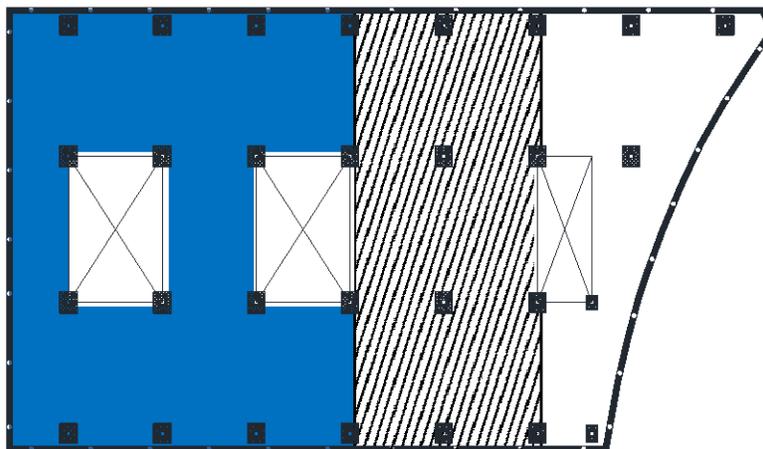
ETAPA 5 - PB



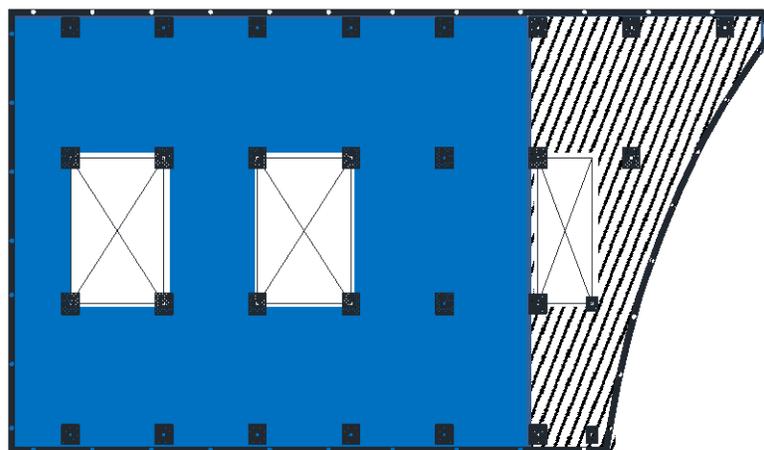
ETAPA 1 - SOTANO 1 AL 3



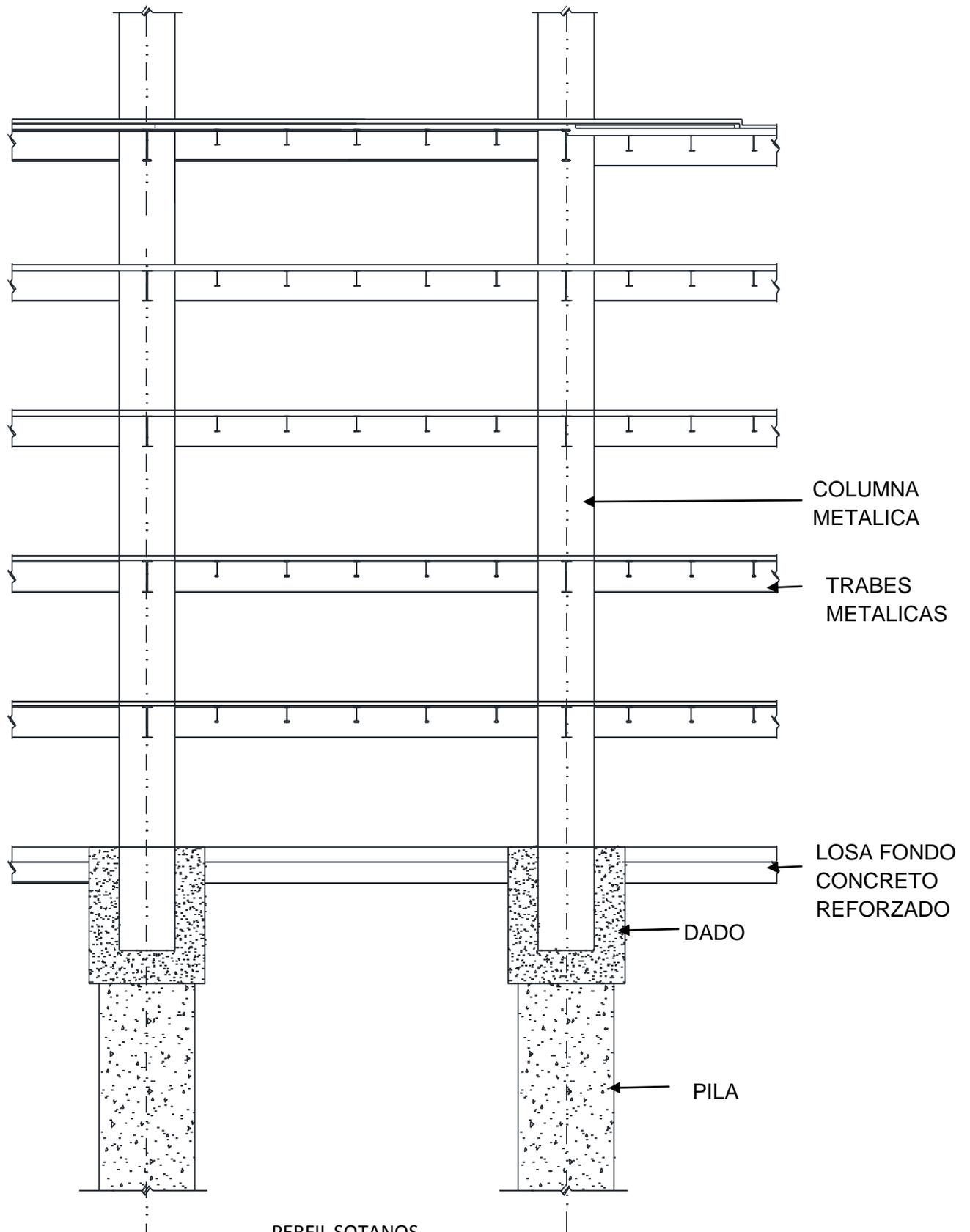
ETAPA 2 SOT 1 AL 3



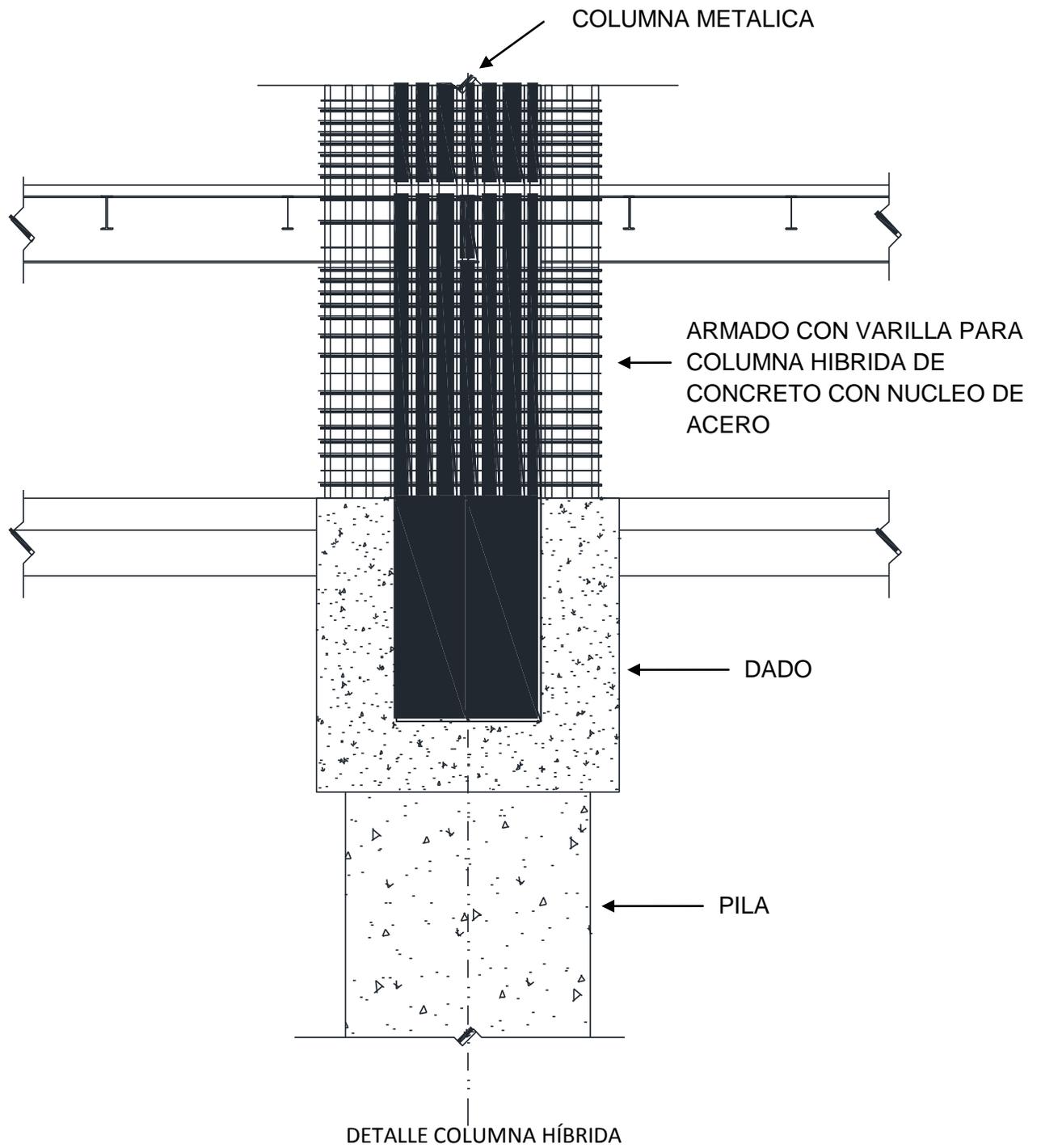
ETAPA 3 SOT 1 AL 3



ETAPA 4 SOT 1 AL 3



PERFIL SOTANOS
 HASTA LOSA DE FONDO



3.3.- Programación

PROGRAMA GENERAL DE OBRA PROCEDIMIENTO TOP- DOWN

CONCEPTOS	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
MURO MILAN												
BROCAL GUIA	■	■										
EXCAVACION	■	■	■	■	■	■						
ARMADO	■	■	■	■	■	■						
COLADO	■	■	■	■	■	■						
PILAS DE CIMENTACION												
BROCAL GUIA	■	■	■	■	■	■						
EXCAVACION	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ARMADO	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
COLADO	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FABRICACION DE COLUMNAS METALICAS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MONTAJE DE COLUMNA METALICA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PLANTA BAJA												
EXCAVACION A CIELO ABIERTO							■	■	■	■		
FABRICACION DE TRABES							■	■	■	■		
MONTAJE DE TRABES							■	■	■	■		
MONTAJE DE LOSACERO							■	■	■	■		
ARMADO DE FIRME DE COMPRESION							■	■	■	■		
COLADO DE FIRME DE COMPRESION							■	■	■	■		
SOTANO 1												
EXCAVACION								■	■	■	■	
FABRICACION DE TRABES								■	■	■	■	
MONTAJE DE TRABES								■	■	■	■	
MONTAJE DE LOSACERO								■	■	■	■	
ARMADO DE FIRME DE COMPRESION								■	■	■	■	
COLADO DE FIRME DE COMPRESION								■	■	■	■	
SOTANO 2												
EXCAVACION									■	■	■	■
FABRICACION DE TRABES									■	■	■	■
MONTAJE DE TRABES									■	■	■	■
MONTAJE DE LOSACERO									■	■	■	■
ARMADO DE FIRME DE COMPRESION									■	■	■	■
COLADO DE FIRME DE COMPRESION									■	■	■	■
SOTANO 3												
EXCAVACION										■	■	■
FABRICACION DE TRABES										■	■	■
MONTAJE DE TRABES										■	■	■
MONTAJE DE LOSACERO										■	■	■
ARMADO DE FIRME DE COMPRESION										■	■	■
COLADO DE FIRME DE COMPRESION										■	■	■
SOTANO 4												
EXCAVACION											■	■
ARMADO DE DADOS Y LOSA DE FONDO											■	■
COLADO DE DADOS Y LOSA DE FONDO											■	■

3.4.- Control

Trabajos preliminares y abatimiento del nivel freático. Previo a todo trabajo de demolición y/o excavación se realizó un levantamiento notarial de las condiciones de las colindancias, así como se instalaron puntos de control de movimientos verticales en las mismas; durante la construcción se llevaron mediciones de control una vez por semana para tomar medidas correctivas en su caso, tanto en la obra misma como en las edificaciones colindantes, fue así como detectamos movimientos en las edificaciones colindantes al sur que produjeron fisuras no graves teniéndose que reparar las mismas por cuenta y orden de la obra. Asimismo, identificamos todas las instalaciones adyacentes al predio para prever su protección durante todo el tiempo de construcción. Por otra parte, se instalaron estaciones piezométricas de control del sistema de bombeo en los estratos permeables, dichas estaciones se ubicaron equidistantes de los pozos y se mantuvieron en operación

durante todo el tiempo de construcción de la cimentación y sótanos. El sistema de pozos de bombeo mantuvo el nivel abatido por debajo del fondo de la excavación, lo cual se verifico con los piezómetros de control previamente instalados expofeso.

Muro Milán y Pilas de Cimentación. Se llevo un registro de cada tablero de muro Milán y de cada Pila construida, indicándose claramente los materiales excavados, la verificación del material de desplante, así como los volúmenes de concreto teórico y del efectivamente colocado; se consignaron las horas de inicio y terminación de cada una de las actividades de construcción, incluyendo las correspondientes al vaciado de cada una de las ollas de concreto, además de la profundidad del tubo Tremie, se obtuvieron muestras del concreto para checar la resistencia a la compresión, granulometría y revenimiento, verificándose el nivel de concreto alcanzado conforme avance del colado, así como cualquier eventualidad que pudo afectar la integridad y buen funcionamiento del muro Milán y de las Pilas. El acero de refuerzo de los armados es verificado en sus propiedades físicas y químicas mediante los certificados de calidad del fabricante (acerera). La verticalidad de la construcción fue controlada mediante el equipo de construcción permitiéndose una desviación máxima del 0.5%.

Estructura Metálica. Mediante los certificados de calidad de la acerera se verifica que el acero estructural en sus diferentes perfiles cumpla con las propiedades físicas y químicas solicitadas por el proyectista, las soldaduras de taller o de campo deben ser revisadas según sea el caso a través de inspecciones visuales, líquidos penetrantes, ultrasonidos o radiografías, pruebas elaboradas por un laboratorio de calidad aprobado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) y los muestreos de acuerdo al Manual IMCA (Fotografías 4 y 5), asimismo los soldadores deben estar calificados por un laboratorio certificado. La fabricación de los elementos estructurales se realizó con base en los planos de taller previamente elaborados y las piezas se embarcaron a la obra previamente con su marca de taller de acuerdo a los planos de montaje.



Fotografía 4



Fotografía 5

Planimetría y Altimetría. Durante todo el proceso de la obra y en los diferentes elementos constructivos se llevó un control topográfico que garantizo la construcción de acuerdo al proyecto ejecutivo.

CAPITULO 4.- COMPONENTES CONSTRUCTIVOS: PROYECTO, DESCRIPCION Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1.- Muro Milán

El muro Milán es una contención perimetral de los suelos colindantes y está diseñado para resistir una falla por pateo evaluando la capacidad de empotramiento, una falla general por el fondo y una falla de fondo por subpresión, el muro se desplantó a -24.00 o -30.00 m. según el proyecto.

En el Capítulo 2 y 3 ya tratamos algunos aspectos de proyecto y construcción, aquí ampliaremos técnicamente el procedimiento, iniciándose con la construcción de un brocal perimetral de concreto reforzado (Fotografía 2) que nos servirá de guía para la excavación y colado, paralelamente se arman y preparan en la superficie las parrillas de varilla corrugada por tramos (Fotografía 6) de acuerdo al proyecto y procedimiento de inmersión del armado descrito en los Planos 18 y 19.

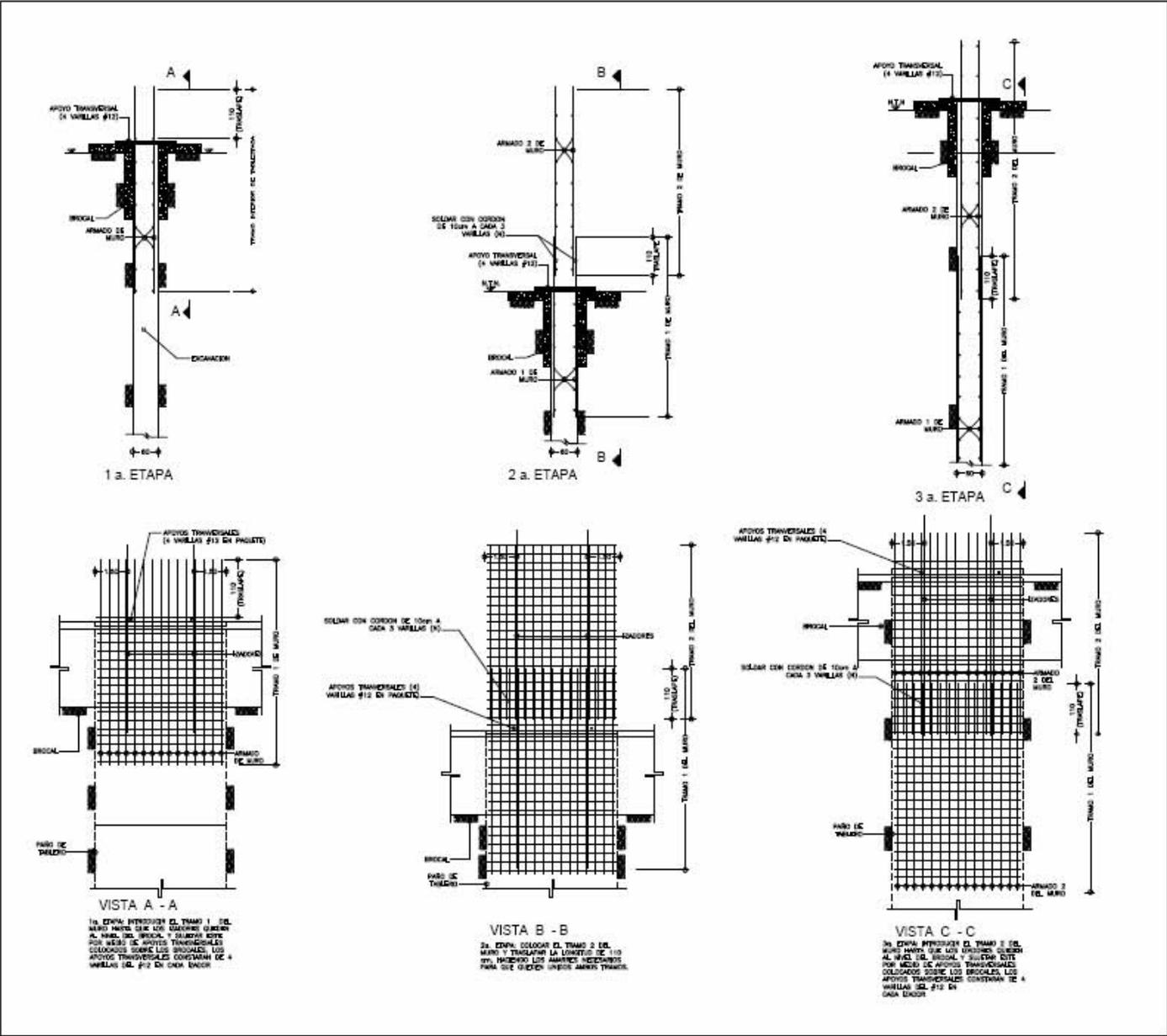


Fotografía 6

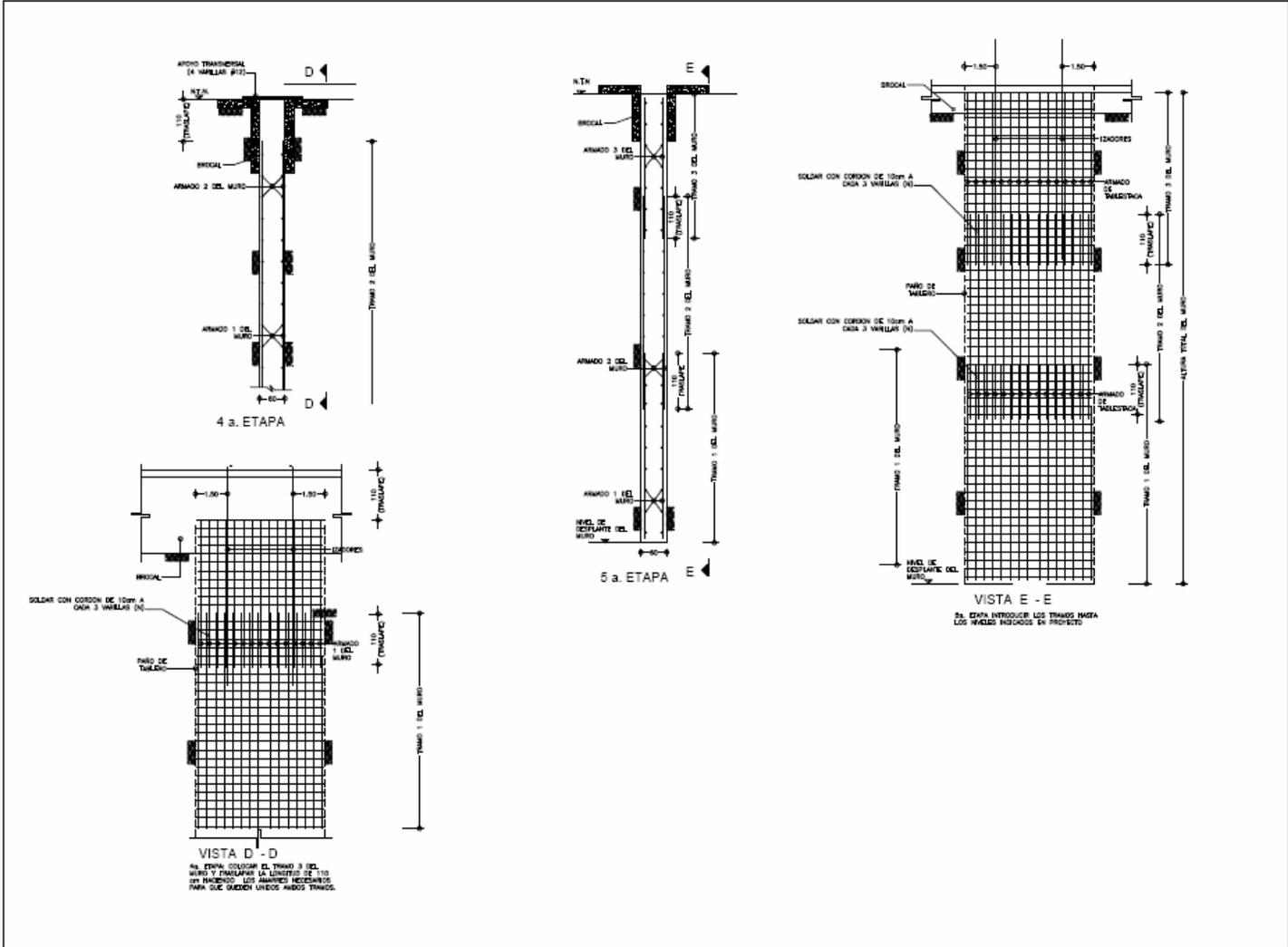
Una vez que se concluyen los colados del muro Milán en toda la periferia, procedemos a demoler la partes superficial del muro Milán descubriendo las varillas para lograr un traslape con el armado de la trabe de coronación perimetral del muro Milán, cimbrado y colado a cielo abierto (Fotografía 7).



Fotografía 7



PLANO 18



PLANO 19

4.2.- Cimentación

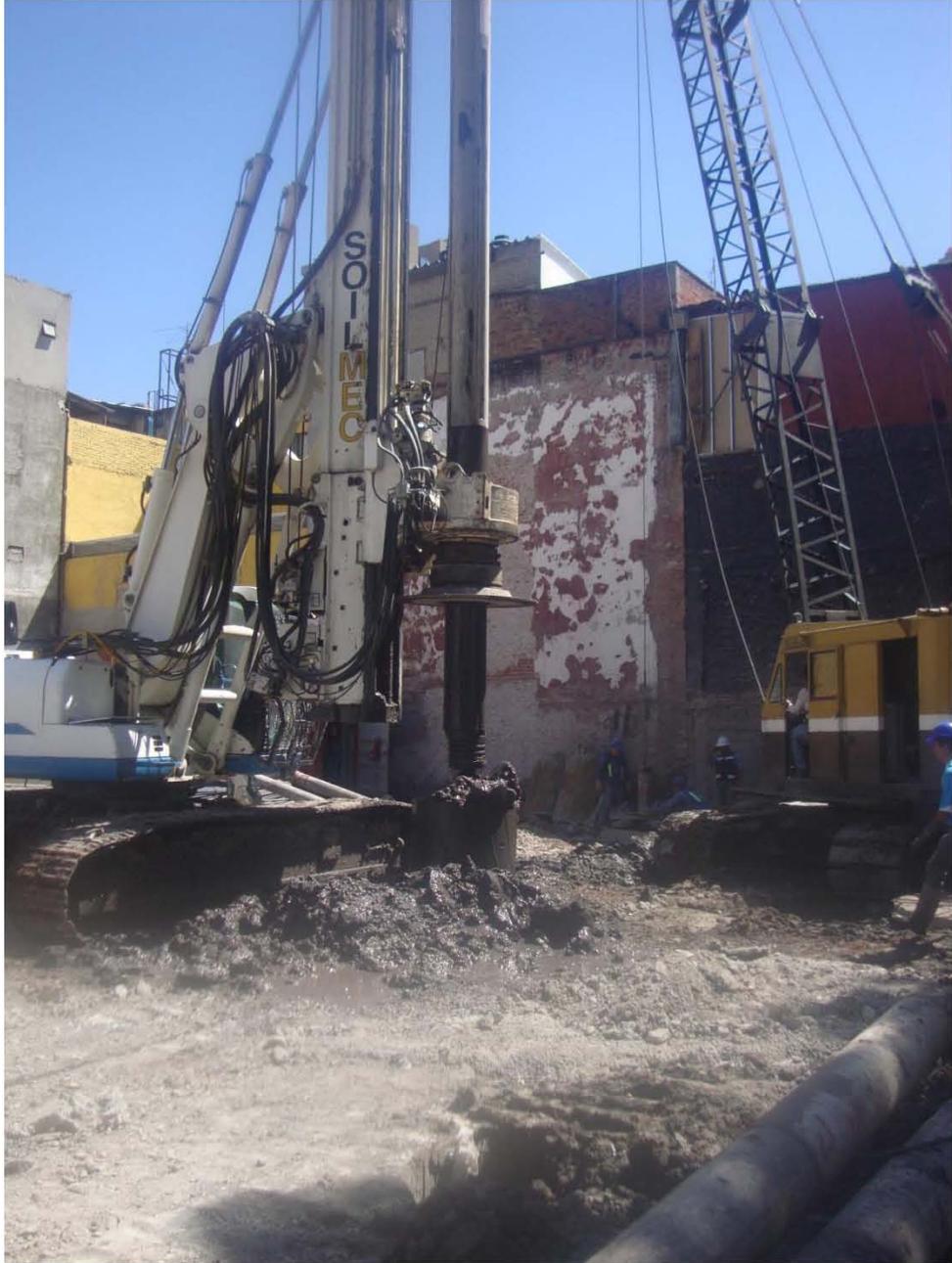
Pilas:

Son circulares, rectas de concreto armado coladas en sitio, de acuerdo al siguiente procedimiento:

Perforación.- .Una vez localizado topográficamente el sitio donde se construiría cada pila se instaló un brocal de concreto con holgura suficiente para la colocación del ademe metálico (Fotografía 8). El equipo de perforación conto en su extremo inferior con una broca espiral o helicoidal, de diámetro adecuado, que garantizo la perforación vertical (con una desviación máxima de 0.5%) hasta alcanzar el nivel de desplante especificado (Fotografía 9).



Fotografía 8



Fotografía 9

Dada la presencia del nivel freático y que se atravesaron suelos inestables, la perforación se realizó utilizando fluido bentonítico para estabilizar las paredes de la perforación, cuidando que en todo momento el nivel del fluido se encontrara 1.0 m arriba del nivel freático. A veces deberá preverse la necesidad de emplear ademe en los suelos arcillosos blandos de la Serie Arcillosa Superior para evitar pérdidas del fluido de perforación, así como del concreto fresco durante el colado de la pila.

Las pilas se desplantaron en el estrato de arenas compactas andesíticas de color gris oscuro ligeramente rosáceo (café oscuro), a una profundidad de 48.0 m respecto del nivel actual del terreno, para que su base quedara al menos 4.0 m por encima de la frontera inferior del estrato; alcanzada la profundidad de desplante de cada pila, se verificó que se extrayera el material seleccionado como apoyo y se utilizó un bote que garantizó la limpieza del fondo.

Antes de terminarse la perforación debió tenerse habilitado, para colocarse, el armado de la pila. La perforación no debe quedar abierta por más de 12 hrs.; por ello, cuando se trate de un fin de semana o día festivo, se podrá iniciar dicha perforación, siempre y cuando se tenga previsto el personal y material necesario para efectuar el colado de la pila.

Terminada la perforación, y efectuada la limpieza del fondo de la misma, se sustituyó en su totalidad el fluido de perforación y se procedió a la colocación del armado y el colado de la pila en un lapso máximo de 12 horas; si se retrasara el inicio del colado, será necesario sustituir nuevamente el fluido de perforación.

Nunca deberán construirse dos pilas simultáneamente con una distancia menor de 8 veces el diámetro entre ellas.

Armado.- Una vez que la perforación estuvo limpia y sin material suelto en el fondo, se procedió a introducir el armado dentro de la misma en forma vertical. El recubrimiento se garantiza mediante la colocación de separadores de concreto en forma de roles, donas o piezas comerciales de PVC, cuyos ejes deberán ser los estribos o zunchos del armado; el recubrimiento mínimo fue de 7 cm. Introducido el armado, se verificó su posición vertical y su sección transversal en forma circular; enseguida, se procedió al colado de la pila.

Colado de concreto.- Instalado el acero de refuerzo se procedió al colado, mismo que se efectuó mediante el uso de tubería tremie, la cual tuvo un diámetro mínimo de 8 pulg; la tubería fue perfectamente hermética y lisa por dentro, acoplada en toda su longitud, a fin de facilitar el flujo continuo y uniforme del colado, y así evitar que dicha tubería se atorara en el armado previamente instalado (Fotografía 10).



Fotografía 10

Una vez instalada la tubería dentro de la perforación y antes de iniciar el colado, se colocó en el fondo de una tolva instalada ex profeso en el extremo superior de la tubería, un tapón deslizante o diablo (pelota de hule inflada), cuya función fue evitar la segregación del concreto al iniciarse el colado.

Al empezar el colado, el extremo inferior de la tubería deberá quedar arriba del fondo de la perforación una distancia no mayor del diámetro de la tubería para que permita la salida del tapón y del primer volumen de concreto. Durante el colado, el extremo inferior de la

tubería se mantendrá embebido dentro del concreto fresco como mínimo 150 cm; además, la operación del colado deberá realizarse en forma continua para evitar taponamiento y juntas frías, llevándose para ello un registro continuo de los niveles reales de concreto alcanzados, especialmente en el momento de acortar la tubería.

El colado de la pila se efectuó hasta 20 cm por arriba del nivel de proyecto, con el fin de demoler posteriormente esta altura adicional de concreto contaminado o hasta encontrar el concreto sano, y ligar el acero de refuerzo con el del dado, tal como lo indican los planos estructurales correspondientes. El concreto sano deberá penetrar un mínimo de 5 cm en el dado correspondiente. El colado se suspenderá en el momento en que se garantice que la superficie de concreto sano se encuentre al nivel superior de proyecto de la pila. Deberán evitarse recesos mayores a 30 minutos en el transcurso del colado con el fin de eliminar las juntas frías.

El concreto a utilizado, tuvo un revenimiento mínimo de 20 cm y agregado máximo de 20 mm, cuya resistencia a 28 días fue como mínimo de 300 kg/cm². De ser necesario puede agregarse fluidificante y retardador de fraguado para mejorar las características de fluidez del concreto y garantizar que el concreto permanezca sin fraguar durante el tiempo que tome el colado de la pila completa.

Al finalizar el colado se levantan y empotran las columnas de acero en cada una de las pilas coincidentes con los cruces de ejes principales (Fotografías 11, 12 y 13). Una vez que se completo la construcción de las pilas, las perforaciones restantes se rellenaron vaciando grava en el lodo bentonítico para así estabilizarlas y poder continuar con la excavación para alojar los sótanos.



Fotografía 11



Fotografía 12



Fotografía 13

4.3.- Estructura Metálica

Con el proyecto ejecutivo estructural se procede a la cuantificación del acero grado 50 clasificándolo por tipo de perfil a fin de su localización en el mercado ya que no siempre los perfiles están disponibles con la misma acerera, a la vez procedemos a la elaboración de los planos de taller para la fabricación de cada elemento estructural.

En función de la secuencia del procedimiento constructivo, primeramente se fabrican las columnas las cuales fueron conformadas de sección cuadrada con 4 placas de 0.45 x 0.45 m. con placa de 1" y largo de acuerdo al Plano 5, las columnas se fabricaron en una sola pieza en taller para cuidar la geometría recta de las mismas, a continuación se presentan Fotografías 14, 15,16, y 17 de la fabricación, una vez terminadas se envían a la obra en donde se montan adentro de las pilas de cimentación tal y como se vio en el apartado anterior referente a las Pilas de cimentación.



Fotografía 14.- Corte con pantógrafo de la placa.



Fotografía 15.- Armado y soldado de la columna.



Fotografía 16.- Armado de la columna



Fotografía 17.- Columnas terminadas listas para embarque a obra.

Una vez que se concluye con el montaje de las columnas dentro de las pilas, se procede a realizar el levantamiento topográfico de la ubicación exacta de las columnas que se asoman en el terreno natural, con objeto de obtener las medidas reales entre columnas que nos servirán para el corte y fabricación de las traveses principales y secundarias de la losa de planta baja (nivel de banqueta), con esta información se elaboran los planos de taller con los que se fabrica en taller mandando las traveses a la obra de acuerdo a la secuencia del montaje explicado en el Capítulo 3, apartado 3.2. El diseño de la planta baja esta sobre dimensionado en virtud de las sobrecargas por la maquinaria y equipos que trabajaran y circularan durante la excavación y montaje del Top – Down.

Ya en obra se procede con ayuda de la grúa al montaje y soldado de las traveses a las columnas y al muro milán para conforman los tableros de la planta baja mediante las conexiones de cortante y de momento, de igual manera procedemos con las traveses secundarias.

En los niveles inferiores del sótano 1 al 4, igualmente procedemos a realizar un levantamiento topográfico de la ubicación de las columnas para la fabricación exacta de las traveses, el ritmo de éste y de los demás procesos van de acuerdo al avance de la excavación, por lo que los rendimientos bajan sustancialmente comparativamente contra un proceso a cielo abierto, aquí los montajes se realizan con la ayuda de las mini excavadoras, con tirfos y diferenciales, en un ambiente difícil por el lodo y gases propios del proceso.

Para conectar las traveses principales al muro Milán, se fijaron placas de 19 mm. al muro mediante taquetes mecánicos de 19 mm. de diámetro y 200 mm. de largo, Plano 9 y 10, los barrenos de cada placa fueron realizados en campo ya que por cada placa de conexión se tuvo que realizar una plantilla pues las perforaciones realizadas con taladro pegaban con la varilla del armado del muro modificando la ubicación del barreno hasta no topar con acero, lo importante es que cada placa conservara el numero de taquetes de proyecto.

Para rematar y descansar la losa en la periferia del muro Milán se monto un ángulo perimetral taqueteado al muro.

A continuación se presenta detalle fotográfico del proceso:



Fotografía 18.- Montaje estructura metálica en planta baja, conexión a columnas



Fotografía 19.- Montaje estructura metálica en planta baja.



Fotografía 20.- Montaje estructura metálica en planta baja y excavación a cielo abierto



Fotografía 21.- Montaje estructura metálica en planta baja



Fotografía 22.- Montaje estructura metálica en planta baja



Fotografía 23.- Estructura metálica en sótano 1



Fotografía 24.- Montaje estructura metálica con tirfo en sótano 1



Fotografía 25.- Montaje estructura metálica con mini excavadora en sótano 1



Fotografía 26.- Soldadura en conexiones



Fotografía 27.- Conexión a muro Milán y ángulo losacero



Fotografía 28.- Nodo estructura metálica



Fotografía 29.- Conexión trabe primaria a secundaria



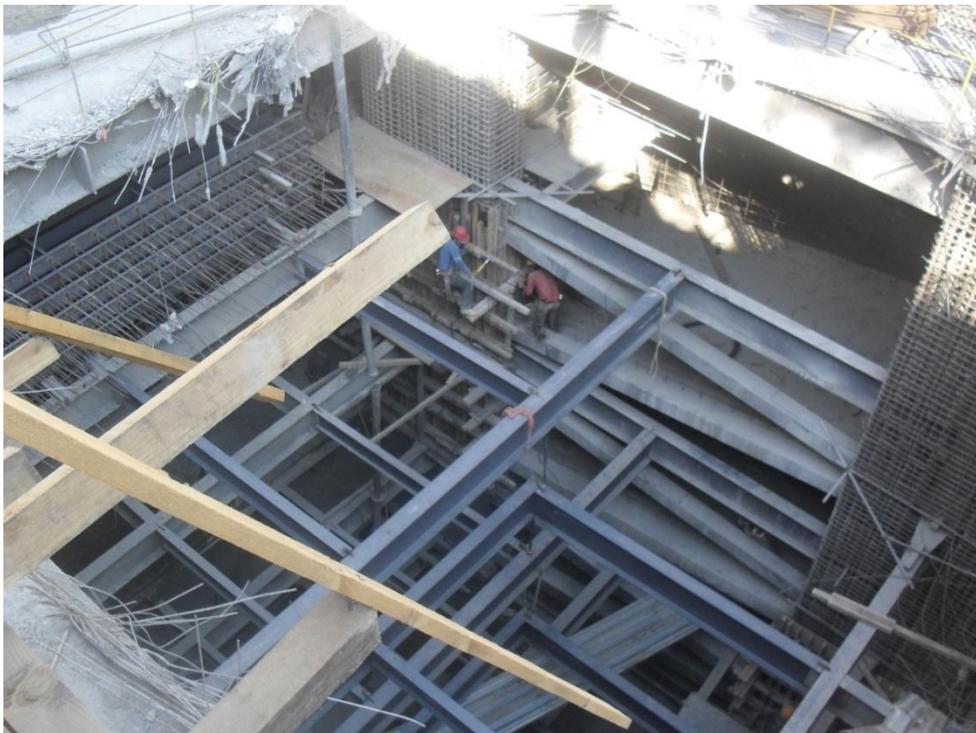
Fotografía 30.- Conexión a momento



Fotografía 31.- Detalle montaje



Fotografía 32.- Bajada de traveses a sótanos



Fotografía 33.- Cierre de lumbra con estructura metálica

4.4.- Sistema de Piso

El sistema de piso está compuesto por losacero sección 4 calibre 22 con conectores de cortante tipo Nelson de 4 3/16" x 3/4", con un firme de compresión de 6 cm. armado con malla electrosoldada 6x6 10-10 y una parrilla de varilla de 3/8 " a cada 40 cm. el concreto con una $f'c$ de 300 kg/m²

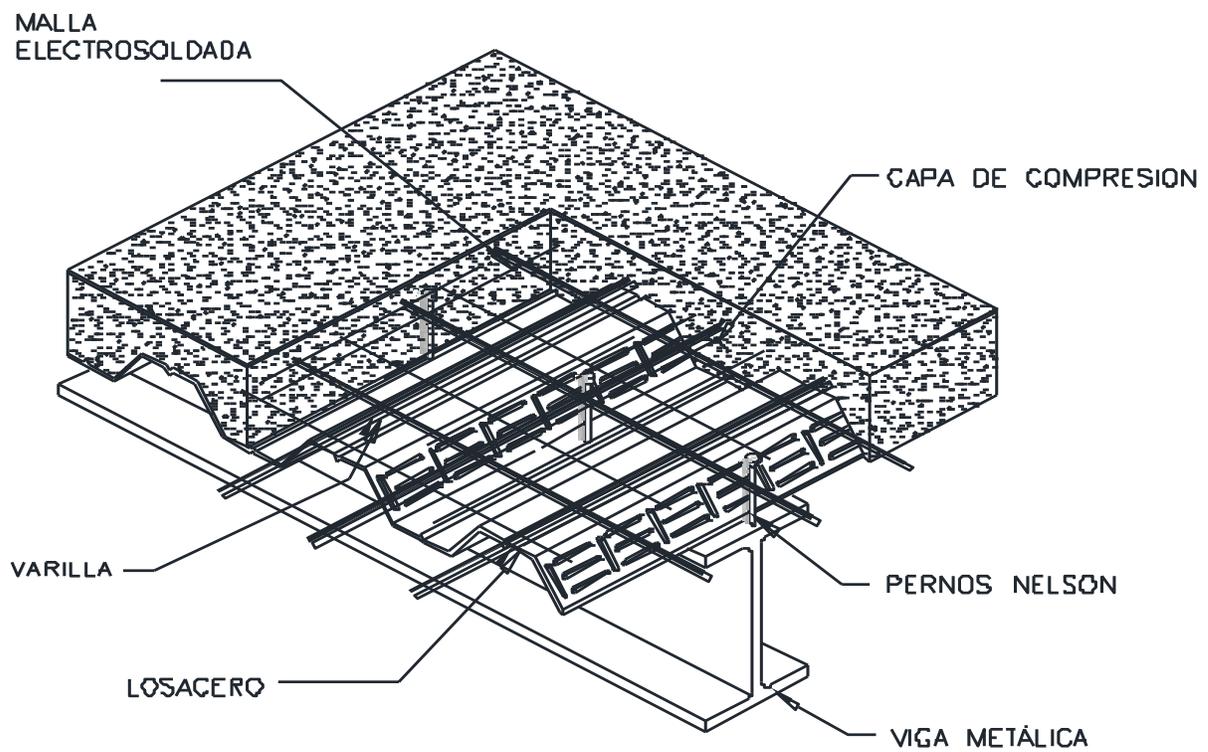
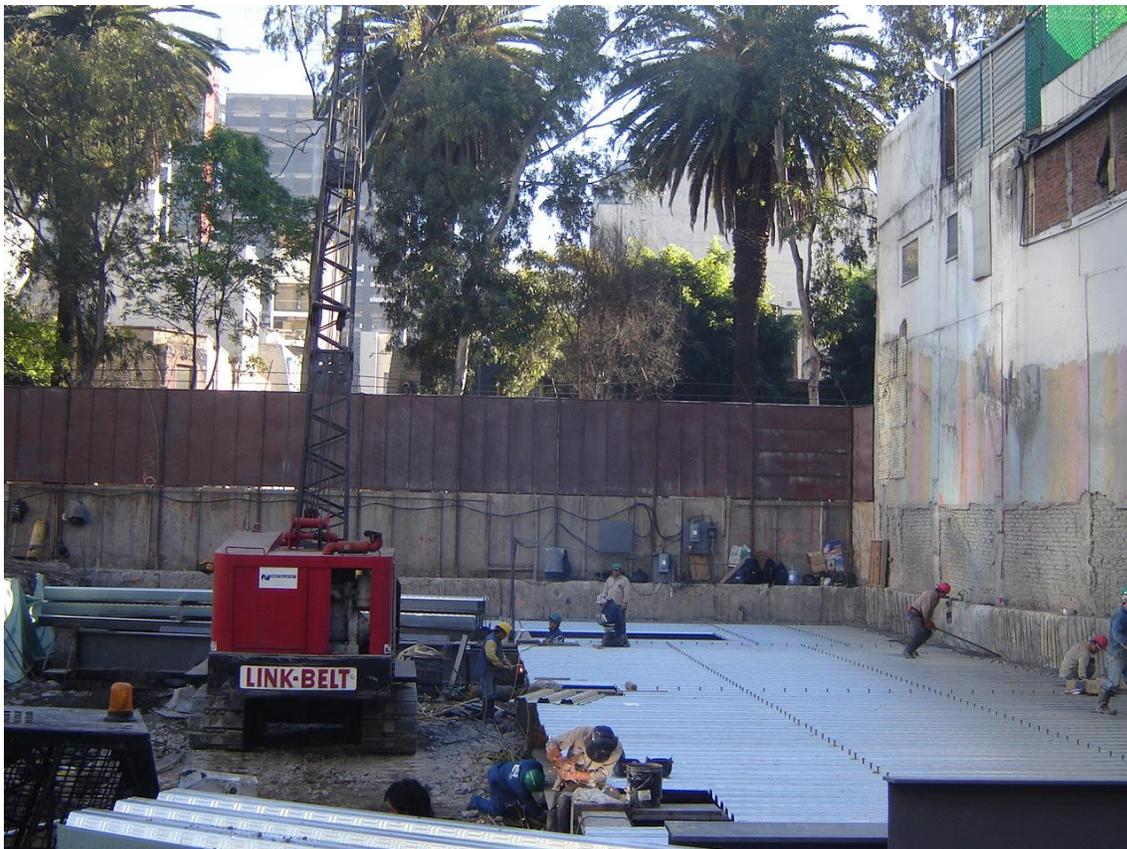


Figura 6.- Sistema de Piso

La losacero debe despiezarse por entrepiso para realizar el pedido a la medida del largo al fabricante, ésta se monta sobre los tableros de la estructura metálica y se fija a las trabes mediante los pernos Nelson, enseguida se continúan colocando los demás pernos de cortante a cada valle mediante una pistola perneadora , después armamos la losa, se sopletea para limpiarla y colocamos las fronteras del colado, el concreto es premezclado y se bombea desde la superficie, se vibra, se le da un acabado pulido y se cura, al siguiente día se cortan los tableros en cuadrículas de 3 por 3 m. creando juntas de dilatación que después se sellan con un sellador elastoplastico.

A continuación se presentan fotografías del procedimiento:



Fotografía 34.- Losacero en planta baja



Fotografía 35.- Detalle losacero con pernos Nelson



Fotografía 36.- Colocación de pernos Nelson



Fotografía 37.- Losacero y excavación



Fotografía 38.- Pulido losa



Fotografía 39.- Losa terminada

4.5.- Excavación

La excavación a -18.00 m. de profundidad se realizó hasta -1.00 m. del nivel de banqueta con retroexcavadora a cielo abierto para abrir el espacio del montaje de la losa de planta baja y de ahí hacia abajo se realizó por etapas de acuerdo a la secuencia planteada en el Capítulo 3, apartado 3.2, con mini excavadoras que ingresaron y se fueron abriendo camino por las lumbreras que se dejaron en la losa de la planta baja, como anteriormente se comentó mientras no se colaran tableros de lado a lado de los muros Milán no se podía iniciar con la excavación del sótano inmediato inferior, pues se requería del troquelamiento logrado con las losas, las mini excavadoras cortaban el suelo y lo traspaleaban a la lumbrera en donde el material fue rezagado desde la superficie con retroexcavadoras de brazo largo que directamente cargaban a los camiones para transportar el suelo excavado al tiro autorizado.

A continuación se presentan fotografías del procedimiento:



Fotografía 40.- Mini excavadora traspaleando a lumbrera



Fotografía 41.- Retroexcavadora rezagando a camión.



Fotografía 42.- Vista general procesos



Fotografía 43.- Excavación desde lumbrera sótano 2



Fotografía 44.- Vista general procesos



Fotografía 45.- Vista general procesos



Fotografía 46.- Excavación



Fotografía 47.- Vista general sótano 1,2 y 3



Fotografía 48.- Excavación sótano 1



Fotografía 49.- Excavación



Fotografía 50.- Excavación



Fotografía 51.- Trabajos en losa de fondo

4.6.- Sistema de Abatimiento del Nivel Freático

Sistema de bombeo.- Estuvo compuesto por una retícula de pozos ubicados uno por cada 50 m²; los pozos se perforaron en 30 cm de diámetro, usando agua limpia (por ningún motivo se permitió el uso de lodo como fluido de perforación), y mediante un avance continuo con broca de aletas que evito remodelar las paredes; se llevaron hasta un metro por debajo del estrato de arena detectado a 25.5 m de profundidad aproximada; se lavo la perforación con circulación continua hasta que salió totalmente limpia. Se uso ademe en toda longitud, formado por un tubo ranurado de PVC de 6 pulg, cubierto de malla de mosquitero y con centradores que garantizaron la posición del tubo en el eje de la perforación; el espacio anular entre la perforación y el ademe se relleno mediante grava-arena con tamaño máximo de 1/2 pulg.

A continuación se presenta una secuencia fotográfica:



Fotografía 52.- Vista de pozo (manguera) durante la excavación



Fotografía 53.- Detalle de pozo de abatimiento, ademe, manguera



Fotografía 54.- Pozos descubiertos durante la excavación

4.7.- Sistema de Ventilación

El hecho de ejecutar la excavación con mini excavadoras con motores de combustión interna que generan monóxido de carbono, por debajo de la losa ya colada de la planta baja y demás losas de los sótanos, donde las lumbreras que se dejan en las losas son las únicas entradas de luz natural y aire fresco de la superficie, nos obliga a instalar un sistema de ventilación que por un lado inyecte aire fresco de la superficie y por otro lado extraiga el aire contaminado del fondo de la excavación, toda vez que la seguridad de los obreros que laboran bajo las losas es prioritaria.

El sistema de ventilación fue constituido por grandes ventiladores eléctricos de 2 H.P. ubicados en cada sótano en las esquinas de la excavación y en las bocas de las lumbreras, algunos inyectaban aire desde el exterior y otros extraían el contaminado.

A continuación se presentan fotografías del sistema:



Fotografía 55.- Ventilador de inyección en la esquina de la lumbrera en planta baja



Fotografía 56.- Ventilador de extracción

4.8.- Muros de Concreto Reforzado

Conforme se fue avanzando en la excavación se fue descubriendo el muro Milán y se puede revisar físicamente como quedó el muro colado, no siempre los muros Milán quedan perfectamente colados, a veces el acero de refuerzo queda expuesto sin el recubrimiento necesario para su trabajo estructural, también en otras ocasiones por condiciones de los estratos del subsuelo queda el muro con panza.

En el caso de la falta de recubrimiento (Fotografía 57) debemos proceder a demoler con pistolas neumáticas el concreto dejando las varillas limpias abriendo una caja en el concreto que nos permita cimbrar con madera la parte afectada para volver a colar esa parte y que quede el concreto del muro con su recubrimiento de diseño.

En el caso de muros con panza, debemos proceder a la demolición de la panza cuidando no dañar el recubrimiento considerado en el diseño.



Fotografía 57.- Acero de refuerzo expuesto muro Milán.

4.9.- Columnas Híbridas de Concreto Reforzado y Acero Estructural

El procedimiento constructivo Top – Down va ligado a la utilización de columnas metálicas empotradas en las pilas de la cimentación necesarias para el montaje del sistema de piso de los sótanos, sin embargo las columnas metálicas por si solas no soportan las cargas verticales de un edificio de 33 niveles y los esfuerzos horizontales del empuje del suelo al muro Milán, su transmisión a las traveses y estas a las columnas, más las fuerzas sísmicas, por ello el diseño estructural nos obligó a que las columnas fueran híbridas, es decir con un núcleo de acero estructural y recubiertas con concreto armado.

El armado de las columnas es considerable y muy cerrado (Fotografías 58 y 59), los concretos utilizados fueron de 700 kg/cm², una vez que se va avanzando con la

excavación y terminación estructural de los sótanos de arriba hacia abajo se van armando las columnas metálicas a las cuales previamente se les colocan en sus cuatro lado pernos de cortante tipo Nelson, cuando llegamos con la excavación a la losa de fondo se procede a la construcción de los dados de cimentación ligándose estos con el armado del recubrimiento de la columna metálica, las columnas metálicas ya recubiertas con el armado del diseño se cimbran y se van colando entre piso por entre piso de abajo hacia arriba, es decir del sótano 4 hacia la planta baja, así mismo el núcleo de la columna metálica también se rellena con concreto simple de la misma resistencia.



Fotografía 58.- Columnas híbridas.



Fotografía 59.- Columnas híbridas.

CAPITULO 5.- INDICADORES Y COSTOS GENERALES

5.1.- Indicadores Técnicos

El presente apartado tiene por objeto señalar algunos indicadores o parámetros obtenidos de ésta obra, particularmente relacionados con el procedimiento constructivo Top - Down, los cuales no son comparables contra parámetros obtenidos de otros procedimientos constructivos, pero definitivamente nos aportan información interesante de comentar.

Muro Milán

Largo del muro (perímetro del predio)= 230.75 m.

Profundidad del muro = 24.00 y 30.00 m.

Ancho del muro= 0.60 m.

Area del muro a 24.00 m. = 5,538.00 m².

Volumen del muro a 24.00 m. (concreto armado) = 3,322.80 m³.

Acero de refuerzo del muro = 291.64 ton.

Densidad de acero en el concreto = 87.77 kg/m³

Duración de la construcción del muro (se trabajo 1 turno/día) = 50 días

Rendimiento promedio diario de la construcción del muro (m/día) = 4.62 m/día

Rendimiento promedio diario de la construcción del muro (m³/día) = 66.53 m³/día

Pilas de Cimentación

Profundidad de desplante de las pilas = 48.00m.

Largo de las pilas = 35.00 m.

Diámetro de las pilas = variable entre 1.20 y 2.00 m.

Número de pilas = 120 pzas.

Volumen promedio por pila (concreto armado) = 70.37 m³.

Acero de refuerzo promedio por pila = 10.31 ton.

Densidad de acero en el concreto = 146.51 kg/m³

Duración de la construcción de las pilas (se trabajo 1 turno/día) = 150 días

Rendimiento promedio diario de la construcción de pilas (pza/día) = 1.25 pza/día

Rendimiento promedio diario de la construcción de pilas (m³/día) = 87.96 m³/día

Estructura Metálica

Toneladas totales de los sótanos = 940.26 tons.

Densidad de acero estructural planta baja reforzada (kg/m²) = 84.40 kg/m²

Densidad de acero estructural planta sótano tipo (kg/m²) = 74.26 kg/m²

Duración de construcción de los entrepisos metálicos = 100 días

Número de sótanos = 4

Rendimiento promedio diario montaje estructura metálica (tons/día) = 9.40 tons/día

Sistema de Piso

Area cubierta con losacero = 12,276.00 m²

Acero de refuerzo total en losas = 182.92 ton.

Volumen de concreto en losas (firme de compresión) = 1,104.84 m³.

Densidad de acero en el firme de compresión (kg/m²) = 14.90 kg/m²

Duración de montaje de losacero y colado de firme de compresión = 100 días

Rendimiento promedio diario de montaje de losacero y colado de firme de compresión
(m²/día) = 122.76 m²/día

Excavación

Volumen excavado no abundado = 55,242.00 m³

Duración de la excavación (se trabajo 1 turno/día) = 94 días

Rendimiento promedio diario excavación = 587.68 m³/día

Columnas híbridas de acero estructural y concreto reforzado

Longitud de las columnas = 15.00 m.

Sección de las columnas = variable, promedio rectangular de 2.20 y 1.80 m.

Número de columnas = 29 pzas.

Volumen promedio por columna (concreto armado) = 59.40 m³.

Acero de refuerzo promedio por columna = 16.58 ton.

Densidad de acero en el concreto = 279.12 kg/m³

Duración de la construcción de las columnas (se trabajo 1 turno/día) = 29 días

Rendimiento promedio diario de la construcción de columnas (pza/día) = 1.00 pza/día

Rendimiento promedio diario de la construcción de columnas (m³/día) = 59.40 m³/día

5.2.- Costos Generales

A continuación presentamos los costos generales de los sótanos construidos con el procedimiento Top – Down:

Muro Milán:

Concepto	Importe
Suministro y colocación de concreto y acero de refuerzo	\$ 11'054,567.94
Excavación, lodo bentonítico, montaje de armado y colado	\$ 11'500,000.00
Total Muro Milán	\$ 22'554,567.94

Costo/m2 = \$ 4,074.69/m2

Pilas de Cimentación

Concepto	Importe
Suministro y colocación de concreto y acero de refuerzo	\$ 37'239,511.20
Excavación, lodo bentonítico, montaje de armado y colado	\$ 20'600,000.00
Total Pilas de Cimentación	\$ 57'839,511.20

Costo/pila promedio = \$ 481,995.93/pila

Estructura Metálica

Concepto	Importe
Suministro, fabricación y montaje de estructura metálica	\$ 27'474,397.20

Costo/kg promedio = \$ 29.22/kg

Sistema de Piso

Concepto	Importe
Suministro y colocación de losacero y pernos Nelson	\$ 3'339,072.00
Suministro y colocación de concreto y acero de refuerzo	\$ 5'653,098.00
Total Sistema de Piso	\$ 8'992,170.00

Costo/m2 = \$ 732.50/m2

Excavación

Concepto	Importe
Excavación, carga, acarreo y tiro	\$ 13'700,000.00

Costo/m3 no abundado = \$ 248.00/m3

Sistema de pozos de abatimiento del nivel freático

Concepto	Importe
Suministro, perforación, colocación, operación de pozos	\$ 1'000,000.00

Costo/pozo = \$ 16,677.00/pozo

Sistema de ventilación

Concepto	Importe
Suministro y colocación de ventiladores	\$ 640,000.00

Costo/ventilador = \$ 20,000.00/ventilador

Columnas híbridas de concreto reforzado y acero estructural

Concepto	Importe
Suministro y colocación de concreto y acero de refuerzo	\$ 18'581,942.85

Costo/m promedio de columna = \$ 640,756.65/columna

Losa de fondo, dados y contrarabes

Concepto	Importe
Suministro y colocación de concreto y acero de refuerzo	\$ 17'668,233.00

Costo/m² = \$ 5,757.00/m²

Gran Importe Total de los Sótanos	\$ 168'450,822.20
-----------------------------------	-------------------

Costo/m ² sótanos incluye cimentación = \$ 13,721.96/m ²
--

Costo/m ² sótanos sin la cimentación = \$ 7,571.12/m ²
--

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La tendencia mundial es que las grandes ciudades crezcan verticalmente, por lo que los edificios altos irán desplazando a las construcciones bajas, en la zona central de la Ciudad de México, tenemos suelos blandos con casas o edificaciones bajas que han quedado rodeadas por grandes edificios, predios que son adquiridos para dar lugar a edificios altos con sótanos profundos que requieren de una solución constructiva particular, segura, confiable, con costo y tiempo de construcción razonable como el Top - Down; como se comento en el Capítulo 1 la selección del procedimiento constructivo Top - Down para la construcción de sótanos en suelos blandos está determinada por la convergencia de variables geotécnicas, de ubicación, colindancias, geometría del predio y normativas-legales.

El procedimiento constructivo Top - Down como se vio en ésta tesis, utiliza, combina, complementa y coordina diferentes procedimientos constructivos aplicados todos aquí, que de manera aislada son utilizados en otro tipo de obras:

- El muro Milán.
- La perforación y construcción de pilas desde el nivel de banqueta (planta baja).
- El ir montando primero la estructura propia de los sótanos antes de excavar y que ésta sirva de contención definitiva de los muros Milán trabajando como diafragma.
- La apertura de lumbreras para ir bajando la excavación mediante mini excavadoras que trabajan en espacios confinados, reducidos por la altura de entepiso de los sótanos.
- El abatimiento del nivel freático con pozos de bombeo que nos permite trabajar sobre lodo pero sin acumulación de agua.
- La ventilación inducida durante la excavación de los sótanos.
- El montaje poco mecanizado de la estructura metálica, maximizando la utilización del ingenio.
- La estructuración híbrida combinada en las columnas de núcleo de acero estructural y concreto reforzado.

La conjunción en una sola obra de todo lo anterior, como proceso constructivo ingenieril lo vuelve altamente enriquecedor e interesante, esto me motivo para la realización de ésta tesis cuya intención final es documentar el procedimiento para generaciones actuales y futuras.

En este tipo de obras, se pone a prueba el ingenio, los conocimientos, la tolerancia, la capacidad de coordinación y cooperación entre las diferentes especialidades que laboran afuera (sobre la planta baja) y adentro de la excavación, pues los espacios son reducidos, la maquinaria tiene que ser compartida, el ambiente es húmedo con aire enrarecido, la sustentación es poco firme al trabajar sobre el lodo y la iluminación es artificial.

El Top – Down no es comparable con otros procedimientos, sin embargo podemos mencionar:

- Los rendimientos en el montaje de la estructura metálica son bajos por varias razones: la estructura se va montando en función de las áreas que son excavadas por las mini excavadoras las cuales tienen que ser por tableros de acuerdo a la secuencia de excavación previamente planeada, además conforme avanza la excavación se va descubriendo el muro Milán el cual puede tener abultamientos o panzas que hay que demoler y eso se traduce en tiempo de espera para el montaje; la orden de fabricación al taller de las traveses que se conectan al muro Milán depende de la verificación de la medida real entre el muro y la columna que solo se puede tomar una vez que se descubre el muro, al cual hay que taquetearle las placas de conexión; el montaje es en su mayoría manual y las mini excavadoras ayudan en tiempos coordinados con la excavación. Todos estos procesos se traducen en rendimientos bajos muy por debajo de un montaje a cielo abierto asistido por grúas.
- La densidad de la estructura metálica en un sótano donde no se requiere que ésta trabaje como un puntal del muro Milán es de aproximadamente 60 kg/m², en el sistema Top – Down al diseñarse adicionalmente como troquel tenemos densidades de 74 kg/m² o sea un 23 % adicional, y en la planta baja la cual además soporta el sobrepeso de la maquinaria y camiones que trabajan y circulan sobre de ella tenemos 84 kg/m² de densidad.
- Los rendimientos de la excavación en el Top – Down son aproximadamente la mitad de una excavación a cielo abierto, pues las mini excavadoras CAT 305 tienen cucharones con capacidad de 0.30 m³/cucharón, o sea un tercio de una retroexcavadora CAT 320 cuya capacidad es de 0.90 m³/cucharón, adicionalmente en la excavación se realizan traspaleos para llevar el material suelto excavado a la boca de las lumbreras donde lo carga a camión la retroexcavadora de brazo extendido, los rendimientos pudieran aumentarse introduciendo más equipo pero por espacio no es posible, como se comento solo

se tuvieron 2 y 3 mini excavadoras en el frente y el horario del tiro tampoco permitió trabajar más de un turno en la rezaga.

- El trabajar sobre lodo y con aire enrarecido baja también los rendimientos de los procesos.

Lo comentado anteriormente hace que el procedimiento Top – Down no sea precisamente el más económico, pero si es la mejor solución cuando las variables convergen, entonces el costo – beneficio lo justifica.

En cualquier obra de ingeniería es básica la planeación y no se debe escatimar en las semanas que esto representa, pues a la larga una mala planeación conlleva a errores, sobrecostos y sobretiempos.

Cuando los tiempos lo permitan, si se puede hay que planear que la excavación se realice en la época seca, evitando las lluvias que complicarían los procesos.

Debido al hundimiento regional provocado por el bombeo profundo para abastecer a la ciudad de México, el edificio presentará emersiones durante su vida útil; de acuerdo con mediciones recientes, esta emersión podría ser el orden de 8 cm/año, lo cual deberá considerarse en el diseño de instalaciones y accesos.

Indudablemente la Ingeniería Civil mexicana se encuentra posicionada como una de las mejores del mundo, el hecho anterior no solo se debe a los conocimientos que nos imparten los Profesores en la Facultad de ingeniería de la UNAM, al Equipamiento y Laboratorios propios de la Facultad, a los Planes de Estudio, a las Practicas Foráneas, a la diversidad Económica, Política y Social de nuestra Universidad, sino que también influye que en nuestro país contamos con retos que nos impone la Naturaleza con una amplia variedad geológica, geográfica, climática, sísmica y ecológica que nos obligan a pensar, a aplicar lo aprendido, a innovar, a experimentar, a ingeniar, por ello cada obra es diferente, cada una tiene su complejidad y nosotros los Ingenieros estamos para Planear, Construir, Operar dentro de la seguridad, sustentabilidad, costo y tiempo haciendo rentables y útiles los Proyectos para la Sociedad.

BIBLIOGRAFIA

Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones (6 de octubre de 2004), Gaceta oficial del Distrito Federal, tomo II, No. 103-bis.

Ingeniería de Cimentaciones, Tamez, E. et al. (2001). México, publ.TGC Geotecnia

Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods, FHWA-IF-99-025, O'Neill, N. W. y L. C. Reese (1999)

Estudio Geotécnico para la Cimentación de Edificio Av. Paseo de la Reforma No. 342, Del. Cuauhtémoc, México D.F., GeoConstrucción S.A. de C.V. Sept. 2007.

Procedimientos Constructivo Estructura Metálica, Tecnolomet S.A. de C.V. , Jun. 2007.

Proyecto Estructural Edificio Av. Paseo de la Reforma No. 342 Del. Cuauhtémoc, México D.F, Cadae Ingenieros, 2008.