



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

PROCESO CONSTRUCTIVO EN PILAS DE 2.50 METROS DE  
DIAMETRO CON UNA LONGITUD DE 32.00 METROS

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

**ING. JULIO CÉSAR RAMOS SÁNCHEZ**

DIRECTOR DE TESINA: M. EN I. LUIS CANDELAS RAMÍREZ

## **AGRADECIMIENTOS.**

A Dios por darme la oportunidad de poder estudiar hasta donde yo he querido.

A mi familia por darme el apoyo moral y económico.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

A la empresa C.C.E. CIMENTACIONES por haberme ayudado en el desarrollo de mi trabajo de tesina.

## INDICE

<b>OBJETIVO.</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES.</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>7</b>
<b>1. CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES Y TRABAJOS PRELIMINARES PARA LA PERFORACIÓN.</b>	<b>11</b>
1.1. Conocimiento del Tipo de Suelo.	11
1.1.1. Zonificación de la Ciudad de México de acuerdo al tipo de suelo.	11
1.1.2. Ubicación de la zona en la que se encuentra la obra.	11
1.1.3. Tipo de Suelo que existe en el Sitio.	13
1.2. Equipo de perforación.	16
1.2.1. Características de la Pila.	17
1.2.2. Características del Equipo de Perforación.	18
1.2.3. Herramienta del Equipo de Perforación.	19
1.3. Equipo de Izaje.	20
1.3.1. Armado de la Pila.	20
1.3.2. Características del Equipo de Izaje.	21
1.3.3. Herramienta del Equipo de Izaje.	22
1.4. Trabajos Preliminares.	23
<b>2. CAPÍTULO 2: PERFORACIÓN.</b>	<b>28</b>
2.1. Lodo Bentonítico.	34
2.1.1. Introducción.	34
2.1.2. Propiedades.	36
2.1.3. Dosificación.	41
2.1.4. Ventajas.	45
2.2. Perforación Guía.	46
2.2.1. Ubicación del Punto de Perforación.	46
2.2.2. Referencias.	47
2.2.3. Procedimiento de la Perforación Guía.	48
2.3. Perforación Definitiva.	50
2.3.1. Procedimiento de la Perforación Definitiva.	50

<b>3. CAPÍTULO 3: ARMADO DE LA PILA.</b>	<b>52</b>
3.1.Habilitado del Acero de Refuerzo.	54
3.1.1.Dobleces.	55
3.1.2.Corte de la Varilla.	56
3.1.3.Zunchos.	57
3.2.Maniobra para el Izaje del Armado de la Pila.	57
3.2.1.Anclaje del Armado a la Grúa.	57
3.2.2.Unión del Armado Inferior con el Armado Superior.	63
3.3.Colocación del Armado.	69
3.3.1.Fijación del Armado.	69
<b>4. CAPÍTULO 4: COLADO DE LA PILA.</b>	<b>75</b>
4.1.Tubo Tremie.	76
4.1.1.Armado del Tubo Tremie.	78
4.1.2.Colocación del Tubo Tremie.	81
4.2.Concreto.	83
4.2.1.Características del Concreto.	83
4.2.2.Dosificación y Mezclado.	85
4.2.3.Transporte.	85
4.2.4.Colocación.	86
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES.</b>	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>97</b>

## OBJETIVO.

Describir a detalle todas las actividades que se involucran para poder llevar a cabo la construcción de una pila desde conocer el tipo de suelo con el que vamos a estar trabajando hasta el colado de la pila.

## ANTECEDENTES.

Cimentación: Parte de la estructura que transmite las cargas al suelo.

El estudio del suelo en el que se apoyará una estructura es primordial, ya que su resistencia y comportamiento ante cargas externas definirán el tipo de cimentación que garantizará la estabilidad de la estructura.

El estudio de mecánica de suelos permitirá determinar la configuración y composición de los diferentes estratos, las propiedades índice y las propiedades mecánicas e hidráulicas del subsuelo. Esta información servirá de base para la correcta selección de los estratos de apoyo y de los elementos que transmitirán las cargas al subsuelo.

Al elegir un tipo de cimentación, es necesario definir el procedimiento constructivo que se aplicará considerando los recursos existentes, con el propósito de que su construcción sea viable, respetando las especificaciones geotécnicas y estructurales, considerando también que la solución sea económicamente aceptable y conduzca a tiempos de ejecución reales y convenientes, preservando constantemente la calidad de los elementos de cimentación.

### Clasificación de Cimentaciones.

Las cimentaciones pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- Cimentaciones Superficiales: son aquellas que se construyen sobre estratos resistentes superficiales, donde por lo general no se requiere de maquinaria pesada ni procedimientos constructivos especiales y su diseño no acepta esfuerzos de tensión. Las cimentaciones superficiales más comunes son las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas, Fig. 1.1.

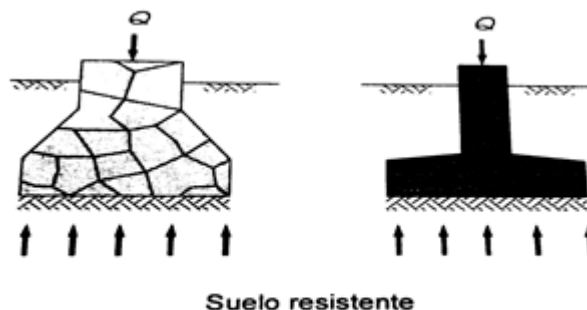


Figura 1.1, Cimentaciones Superficiales

- Cimentaciones Compensadas: son aquellas en las que se busca reducir el incremento neto de carga aplicado al subsuelo mediante una excavación en donde aloja un cajón de cimentación, Fig.1.2. Si la transmisión de carga neta al subsuelo en el desplante del cajón resulta positiva, nula o negativa, la cimentación se denomina parcialmente compensada, compensada o sobrecompensada, respectivamente.

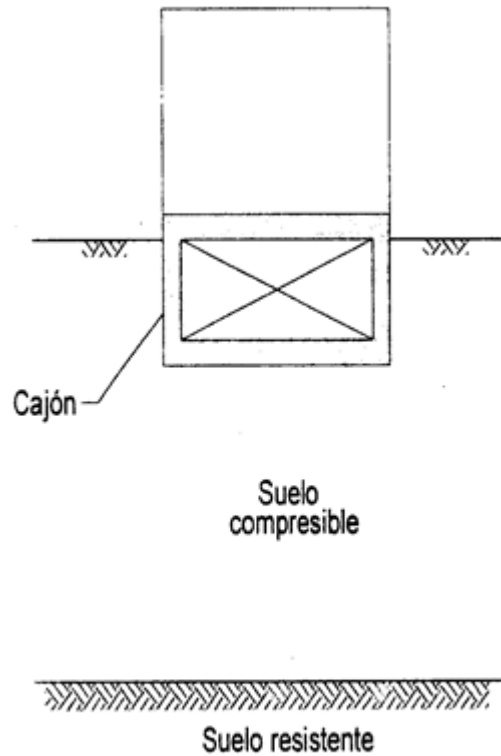


Figura 1.2, Cimentaciones Compensadas

- Cimentaciones Profundas: Son aquellas que alcanzan estratos profundos que tengan la capacidad de soportar las cargas adicionales que aplican al subsuelo, utilizándose generalmente procedimientos constructivos y equipos especiales, Fig. 1.3.

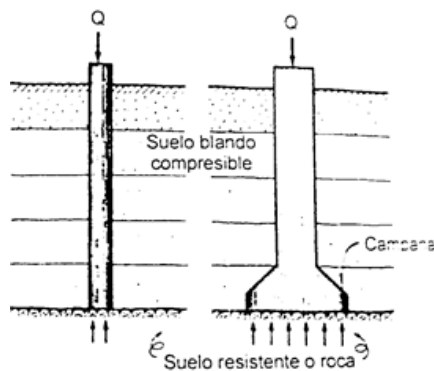


Figura 1.3, Cimentaciones Profundas

### Clasificación de Cimentaciones Profundas.

- Material de Fabricación:
  - Concreto:
    - Elementos Prefabricados: Los elementos estructurales de cimentación profunda son fabricados en moldes, de acuerdo con las especificaciones, antes de ser instalados en el subsuelo.
    - Elementos Colados en el Lugar: El concreto es depositado directamente en perforaciones realizadas en el subsuelo, por lo que la cimentación es fabricada en el lugar donde quedará ubicada.
  - Acero:
    - La capacidad de los perfiles de acero estructural en ocasiones es suficiente para transmitir las cargas a los estratos de suelo, siendo la sección “H” la más utilizada.
  - Mixtos:
    - La combinación de materiales que con mayor frecuencia se especifica para la construcción de las cimentaciones profundas, es el concreto reforzado con acero, ya sea este último de perfiles estructurales o de varillas de acero.
  - Madera:
    - La madera ha dejado de emplearse como elemento de cimentación profunda, aunque en algunos trabajos se utiliza como cimentación provisional.
- Procedimiento Constructivo:
  - Pilas de Concreto Coladas en el lugar
    - Son fabricadas con concreto reforzado. El colado se debe realizar con tubería tremie para evitar la segregación y contaminación del concreto.
- Transmisión de Carga al Subsuelo:
  - Carga Vertical:
    - Punta: La carga vertical es transmitida al estrato localizado en la punta de los elementos de la cimentación profunda, Fig. 1.4. Se utilizan cuando el estrato del suelo superficial es blando y compresible, y cuando el peso y cargas de la

superestructura son importantes. La ventaja de la pilas es que se puede acampanar su base aumentando así su carga útil.

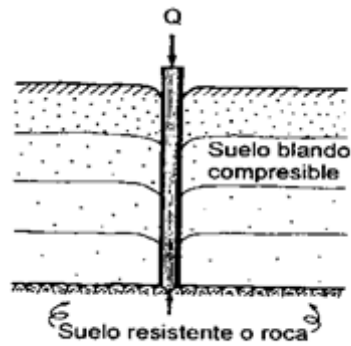


Figura 1.4, Pilas de Punta

- Fricción: Transmiten su carga al suelo que los rodea. Esta solución se utiliza cuando no se encuentra ningún estrato resistente en el que se podría apoyar una pila de punta, Fig. 1.5.

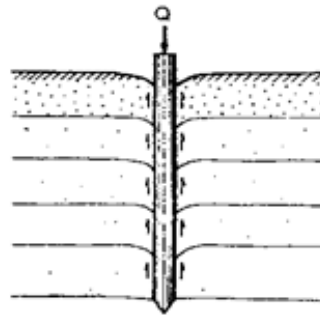


Figura 1.5, Pilas de Fricción

- Punta con Empotramiento: El empotramiento incrementa la capacidad de carga de la pila, estas se pueden empotrar a una cierta profundidad en el estrato resistente, Fig. 1.6.



Figura 1.6, Pilas de Punta con Empotramiento



○ Carga Vertical y Horizontal:

En estructuras que generan cargas horizontales hacia la cimentación, además de las verticales, puede ser recomendable el uso de pilotes inclinados, con el propósito de que la fuerza resultante sea transmitida adecuadamente al subsuelo por la cimentación profunda elegida. Si la carga horizontal es moderada, es preferible usar pilotes instalados verticalmente y aprovechar la reacción pasiva del suelo superficial, Fig. 1.7.

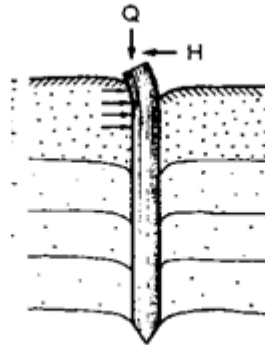


Figura 1.7, Pilas con Carga Vertical y Horizontal

**Descripción de Pilotes y Pilas**

Los elementos de cimentación profunda más utilizados son los pilotes y las pilas:

- Pilotes: son elementos esbeltos de cimentación profunda que transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación, con el propósito de lograr la estabilidad del conjunto.

Los pilotes pueden ser de madera, concreto, acero o mixtos (concreto con varilla corrugada de acero), Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Características de los Pilotes

Elemento	Dimensiones (cm)	Proceso Constructivo	Material	Sección
Pilote	20-50	Colado en el Sitio	Concreto	Circular
		Prefabricado	Madera	Cuadrada
		Colado en Obra	Acero	Rectangular
				Sección "I" Octagonal

- Pilas: son elementos de cimentación profunda con secciones mayores que la de los pilotes, las cuales también transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación con el propósito de lograr la estabilidad de conjunto.

Las pilas se fabrican directamente en el subsuelo, por lo que se le conoce como elementos fabricados in situ, pueden construirse bajo el nivel freático, Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Características de las Pilas

<b>Elemento</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Proceso Constructivo</b>	<b>Material</b>	<b>Sección</b>
Pila	80-en adelante	Colado en el Sitio	Concreto	Circular

## INTRODUCCIÓN.

La empresa encargada de llevar a cabo la construcción del nuevo y primer hotel francés “Hotel Sofitel México Reforma” en la Ciudad de México es GRUPO ECO DEVELOPERS, esta línea de lujosos hoteles franceses es operada por la empresa ACCOR que actualmente cuenta con 124 hoteles repartidos en los cinco continentes.

El hotel Sofitel México Reforma tendrá 41 pisos, donde se incluirá un estacionamiento subterráneo de 6 niveles, cinco boutiques finas, pisos de recepción, restaurantes, salas de eventos y 290 habitaciones, divididas en 8 tipos, incluidas 60 suites, para satisfacer los gustos y necesidades de los clientes. El complejo tendrá las características que distinguen a la marca de lujo, con las que cuentan todos los hoteles, incluidos el toque francés de la empresa y el servicio personalizado, Figura 1.8.



Figura 1.8, Hotel Sofitel México Reforma

El proyecto se desarrolla en un predio con geometría rectangular (65.00 x 20.00 metros), contempla seis niveles de estacionamiento en sótano. Bajo el sexto sótano se presenta una construcción de una cisterna y cuarto de máquinas. A partir del nivel de banquetea se eleva la estructura que alojará a los 41 niveles del hotel, Fig. 1.9.

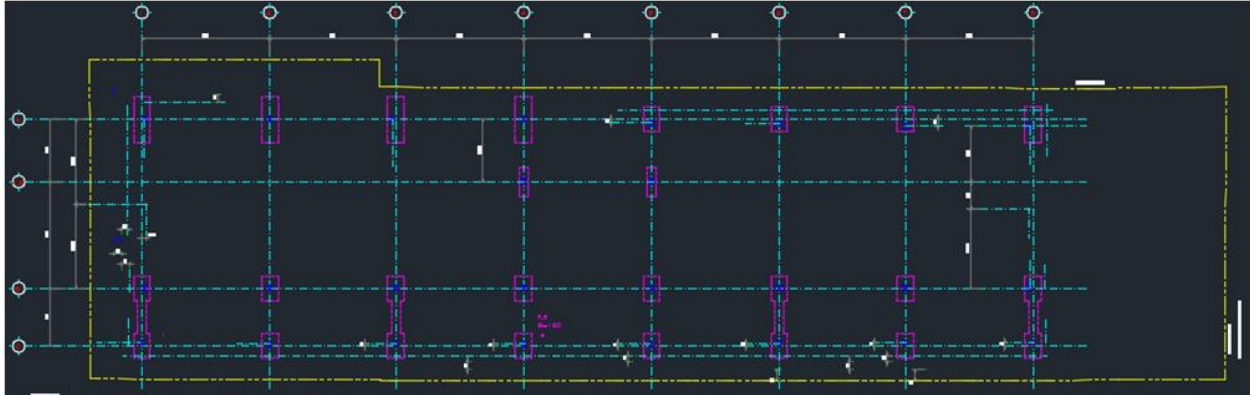


Fig. 1.9, Planta del Terreno

El proyecto arquitectónico marca que se debe construir un estacionamiento subterráneo de seis niveles que abarca toda el área del predio y construir 41 niveles, dicho lo anterior se requiere proponer una alternativa de cimentación para resolver el problema de las cargas tan importantes que se transmitirán al suelo, de igual manera es necesario incorporar una alternativa que permita contener el empuje del suelo al momento de estar excavando el área que alojará los sótanos además de proteger las estructuras vecinas (Embajada de Estados Unidos y Edificios de Oficinas).

El estudio de mecánica de suelos nos recomienda para la protección de las estructuras vecinas y contener los empujes del suelo al momento de estar excavando hacer un sistema de retención a base de muro Milán con preparaciones para integrar las losas de los sótanos, con objeto de dar seguridad a la excavación que se efectuará al paño de la colindancia para alojar los sótanos y la cimentación.

El muro Milán tiene 60.00 cm de ancho y una longitud de 26.50 metros considerando el empotramiento de la pata debido a la generación del pateo que ocurre al vencerse la resistencia del suelo frente al muro.

También recomienda una cimentación a base de pilas desplantadas a 50.00 metros de profundidad con respecto al nivel de banqueta de la calle lateral de Pase de la Reforma.

El sembrado de las pilas muestra la posición de las pilas, la longitud de las pilas va a ser de 32.00 metros, Fig. 1.10 y Tabla 1.3.

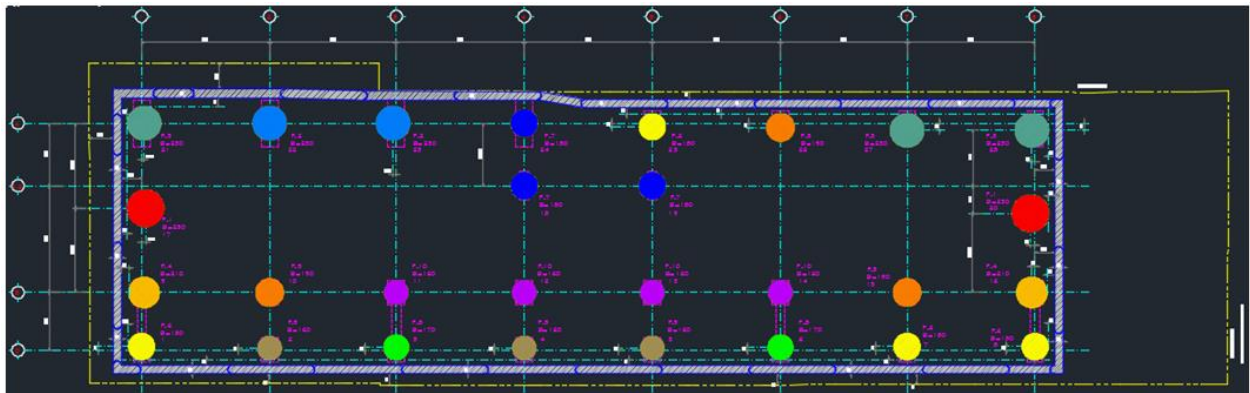


Fig. 1.10, Sembrando de Pilas y Muro Milán

Tabla 1.3, Cuantificación de Pilas

Diámetro de la Pila (metros)	Cantidad (pzas)
2.50	2.00
2.30	5.00
2.10	2.00
1.90	3.00
1.80	7.00
1.70	2.00
1.60	7.00
<b>TOTAL</b>	<b>28.00</b>

Dicho lo anterior el procedimiento constructivo para el estacionamiento subterráneo se va a realizar con el sistema "TOP-DOWN" que consiste en la construcción de un muro pantalla que sirven como contención mientras que unos puntales de acero prefabricados se incrustan en el terreno para sostener la carga de la construcción, al momento de la excavación se va ir desplantando las losas que van a servir como troqueles dejando espacios libres en las losas para poder meter maquinaria y sacar material producto de excavación, Fig. 1.11.

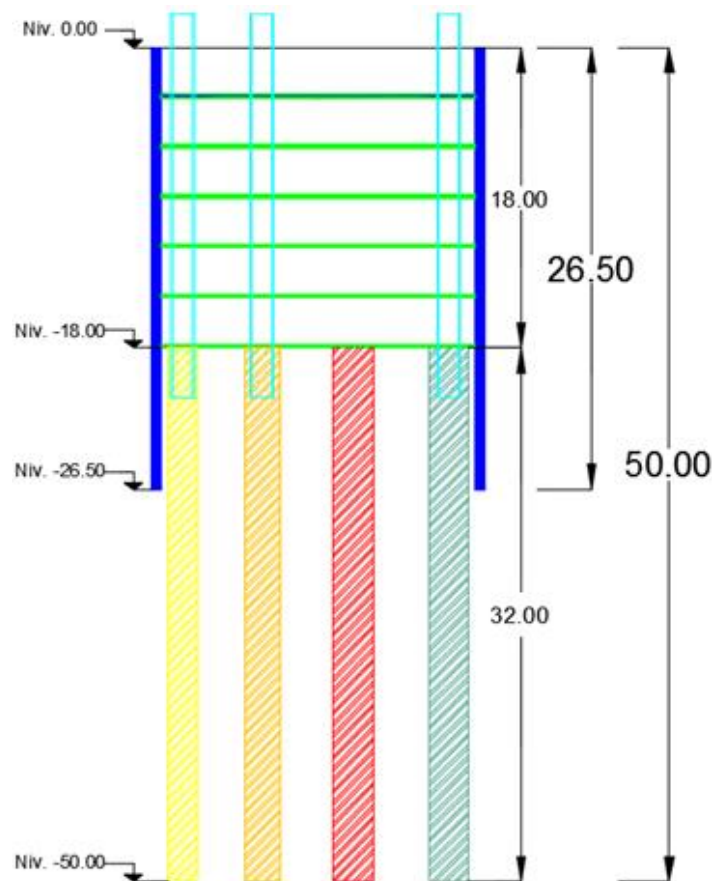


Fig. 1.11, Corte Transversal: Sotanos, Pilas, Muro Milán, Puntales Metálicos

En la Fig. 1.11 se muestra el muro Milán (azul), pilas de cimentación (amarillo, naranja, rojo y azul claro), losas (verde) y puntales metálicos (cyan). Con el estudio de mecánica de suelos nos dice que las pilas se van a desplantar hasta los 50.00 metros con una longitud de 32.00 metros, poniendo el nivel 0.00 a nivel de banqueta la losa de fondo se va a desplantar hasta el nivel -18.00, al ser 6 losas en total el estacionamiento va a medir de 18.00 metros de altura, el muro Milán se va a desplantar en el nivel -26.5 por lo tanto el muro Milán va a medir 26.5 metros de altura y los puntales metálicos se van a ahogar en el concreto 3.00 metros y van a medir 23.00 metros de largo.

Para este proyecto los puntales de acero prefabricado se van a dejar ahogados en las pilas de cimentación una vez terminado el colado, la longitud promedio de los puntales son de 23.00 metros y solo se van a utilizar para el área de estacionamientos para poder seguir con columnas de concreto reforzado. A la única pila que no se le va a colocar el puntal de acero va a ser a la de 2.50 metros de diámetro la cual simplemente va a servir de apoyo para la estructura.

Para poder abatir el nivel de aguas freáticas (NAF) el sistema que recomienda usar el estudio de mecánica de suelos es por medio de un sistema formado por una serie de pozos semi-profundos trabajando por gravedad, los cuales tendrán el objetivo de secar el área de excavación y de captar el agua que se llegue a filtrar por la juntas del muro Milán, por lo que deberán construirse con longitudes de 24.50 metros, respecto al nivel de banqueta.

## CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES Y TRABAJOS PRELIMINARES PARA LA PERFORACIÓN.

### 1.1.- Conocimiento del Tipo de Suelo.

Antes de iniciar la perforación debemos de tener en cuenta que tipo de suelo vamos a perforar, si es un suelo blando o suelo duro, nos podemos apoyar en la Zonificación de la Ciudad de México de acuerdo al tipo de suelo para saber qué tipo de suelo nos vamos a encontrar en la zona en donde vamos hacer la perforación.

#### 1.1.1.- Zonificación de la Ciudad de México de acuerdo al tipo de suelo.

En la Ciudad de México se tiene una clasificación de los suelos según en la zona en la que nos encontremos que son las siguientes:

- Zona 1.- Lomas, está formada por suelos resistentes, poco compresibles con una estratigrafía heterogénea, ausencia del nivel de aguas freáticas (NAF) y la existencia de zonas minadas.
- Zona 2.- Transición, presencia de arcillas lacustres (blandas, de baja resistencia, compresibles) con espesores de 20 metros o menos e intercalación de estratos arenosos y limos arenosos. El nivel del NAF está entre 3.00 y 8.00 metros.
- Zona 3.- Lacustre, presencia de suelos lacustres con consistencia blanda a muy blanda, baja resistencia y muy compresibles, esta zona compuesta de arcillas altamente compresibles separados por capas arenosas con contenido diverso de limo y arcilla, las capas están generalmente medianamente compactadas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a metros.

#### 1.1.2.- Ubicación de la zona en la que se encuentra la obra.

La obra se ubica en la calle Paseo de la Reforma #297 y calle Río Papaloapan #38 y #40, colonia Cuauhtémoc, C.P.06500 México, D.F.



Fig. 1.12, Ubicación del Sitio





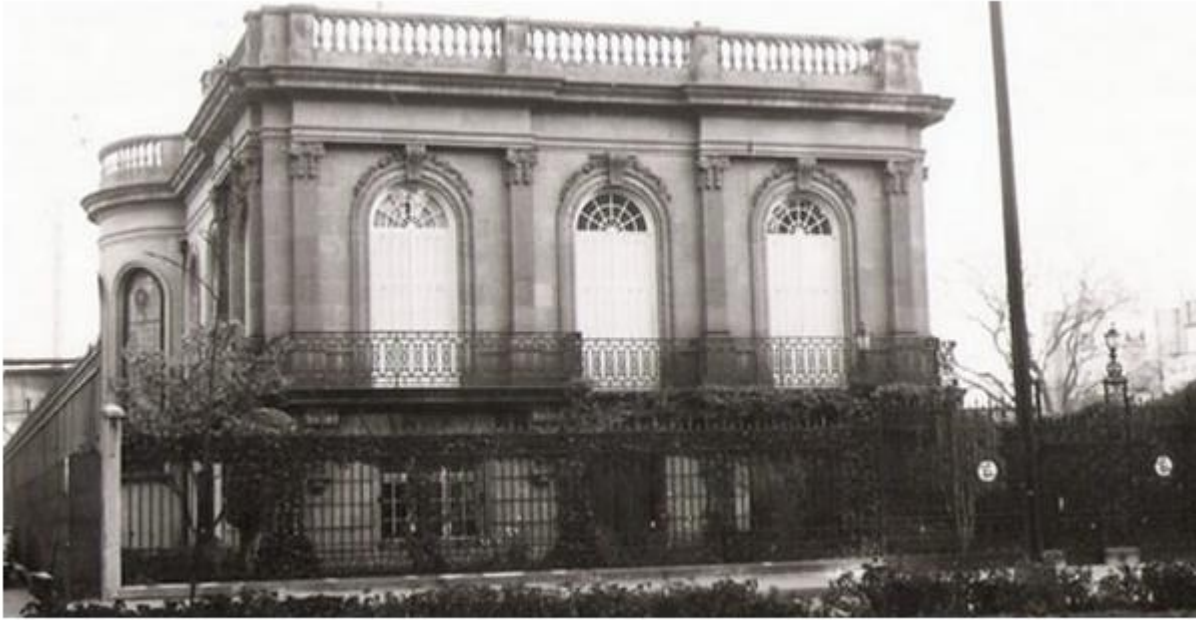


Fig. 1.13, Antigua Casa

### 1.1.3.- Tipo de Suelo que existe en el Sitio.

Para poder conocer el tipo de suelo que hay en el sitio es necesario hacer un estudio de mecánica de suelos para poder determinar el tipo de cimentación más conveniente en base al proyecto arquitectónico con los resultados del muestreo, exploración del subsuelo, pruebas de laboratorio y el análisis de los mismos.

Para investigar las características del subsuelo, se realizaron dos sondeos a 70.00 metros de profundidad, el primer sondeo de tipo exploratorio denominado SE-1, mediante el muestreo alterado con la herramienta de penetración estándar, el segundo sondeo de tipo mixto denominado SM-1; en el que se combinó el muestreo alterado con herramienta de penetración estándar con el muestreo inalterado a través del hincado a presión de tubo de pared delgada tipo shelby Fig. 1.14.

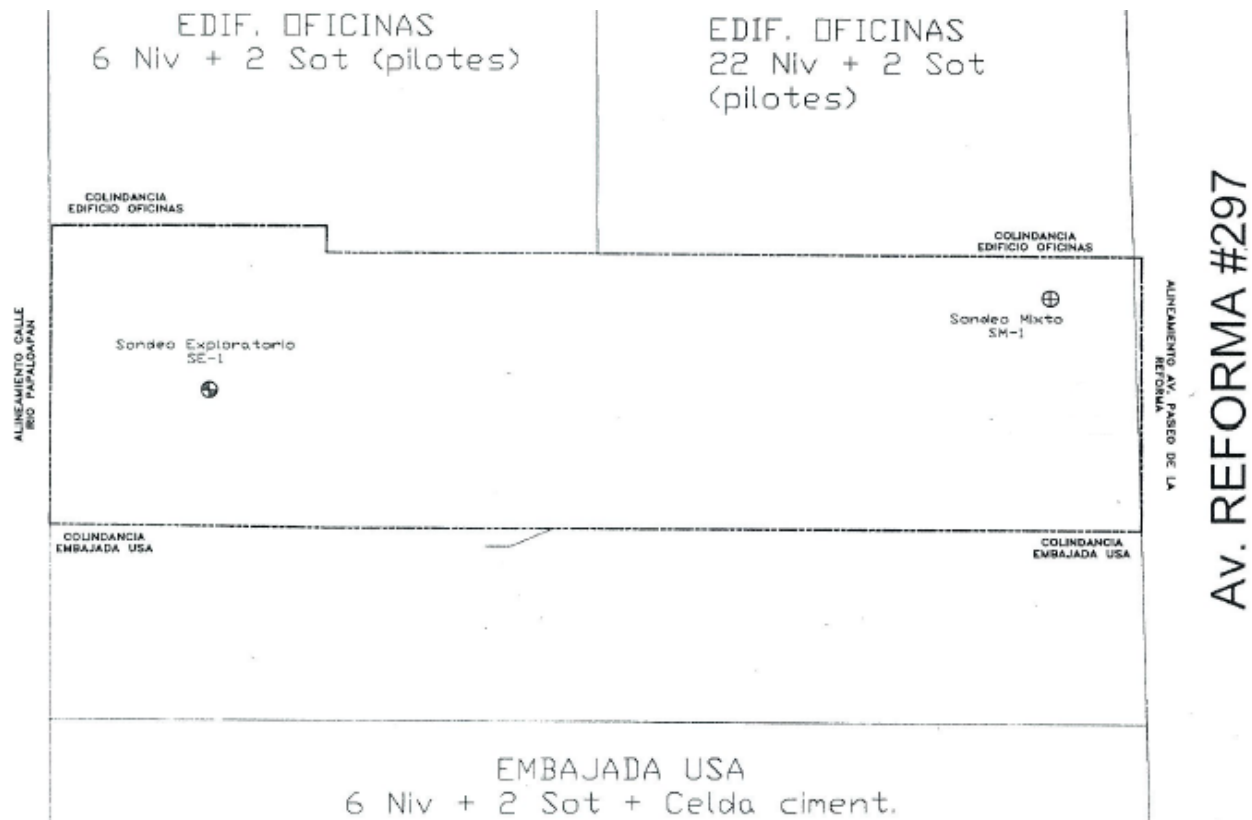


Fig. 1.14, Sondeos SE-1 Y SM-1

La prueba de penetración estándar consiste en hincar a golpes un muestreador de dimensiones 60.00 cm de largo por 5.00 cm de diámetro con un martinete de 63.5 kg de peso que se deja caer desde una altura de 76.00 cm. El muestreador se hince una longitud de 60.00 cm y se conoce como la resistencia a la penetración estándar, al número de golpes necesarios para hincar los 30.00 cm centrales del muestreador.

El muestreo inalterado consiste en hincar un tubo de acero de pared delgada a presión y velocidad constante de 1 cm/segundo, una vez hincado se deja reposar un lapso de 3 a 5 minutos para que se adhiera la muestra a las paredes del tubo muestreador y se corta girando la tubería, extrayendo de inmediato la muestra.

Las muestras obtenidas se clasificaron en forma visual y al tacto, en estado húmedo y en seco, mediante pruebas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Para determinar los parámetros de resistencia del suelo se efectuaron ensayos a compresión simple, compresión triaxial no consolidada no drenada.

En base a los datos obtenidos de los dos sondeos se hace un perfil estratigráfico que conforman el subsuelo en el predio estudiado que son los siguientes: costra superficial con espesor variable entre 4.8 y 5.5 metros formada por arcilla, arenas, arena arcillosa, formación arcillosa superior localizada entre 4.8 y 5.5 metros y que se profundiza hasta 27 y 28.3 metros, formada por arcillas muy compresibles y de baja

resistencia al esfuerzo cortante. Primera capa dura que se localiza entre 27 y 30.3 metros de profundidad y con espesor de 2.2 y 2.5 m, formada por limos y arcilla arenosas de bajo contenido de agua y alta resistencia a la penetración estándar (mayor a 50 golpes). Formación arcillosa inferior localizada entre 29.5 y 35 metros en el sondeo SE-1 y entre 30.5 y 34.5 metros en el sondeo SM-1, formada por arcilla y arcilla arenosa. Depósitos profundos localizados a partir de 35.00 metros en el sondeo SE-1 y de 34.5 metros en el sondeo SM-1 y encontrándose hasta la máxima profundidad explorada 70.00 metros, formada por arcilla arenosa con grava y por arenas gravosas poco arcillosa y resistencia a la penetración estándar mayor a 50 golpes, Fig. 1.15

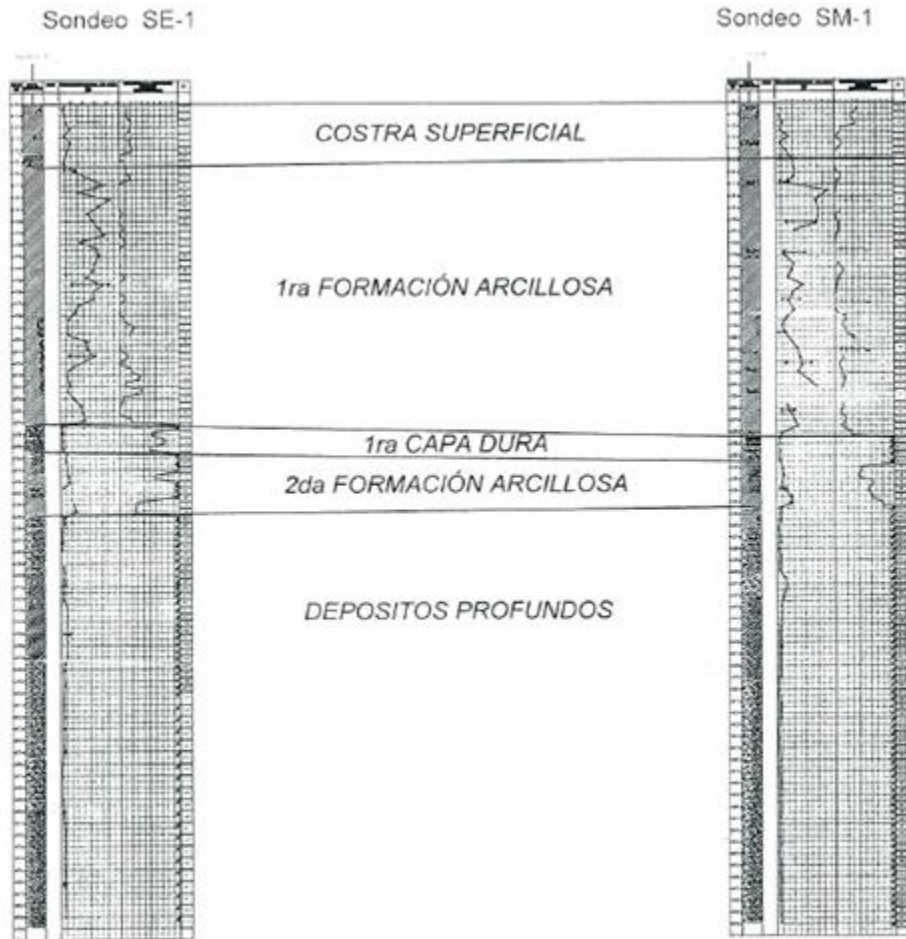


Fig. 1.15, Perfil Estratigráfico

El nivel freático se encontró a 1.50 metros de profundidad respecto al nivel de banqueta de la lateral de Paseo de la Reforma.

Dicho en el punto anterior el predio de interés se encuentra dentro de la Zona III o Zona de Lago en donde hay suelos constituidos predominantemente por estratos de arcilla lacustre.

## 1.2. Equipo de Perforación.

Existen diversos equipos que perforación por ejemplo:

- Grúas: en la construcción de cimentaciones profundas se usan grúas móviles de pluma rígida, para que se puedan montar equipos especializados de perforación, usualmente las grúas tienen una capacidad nominal de 45 a 80 toneladas con plumas rígidas de 18.30 metros de largo, Fig.1.16.

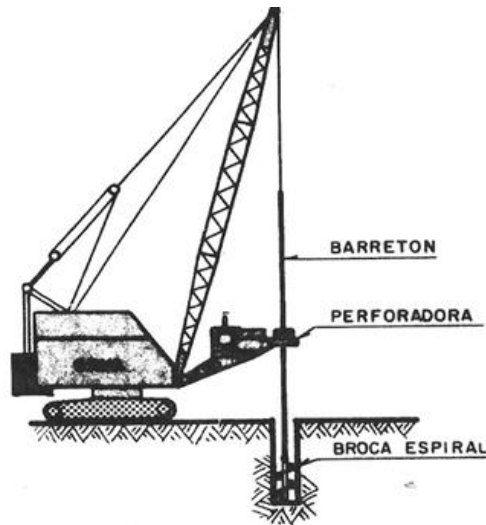


Fig. 1.16, Equipo de Perforación Montado en Grúa.

- Perforadoras: Son equipos que tienen la capacidad de hacer barrenos en el suelo, por rotación o por percusión.
  - Perforadoras Rotatorias: la torsión se transmite por medio de una barra que en su extremo inferior se coloca una herramienta que permita el avance de la perforación como una broca, un bote cortador, una hélice. Se emplean para la construcción de cimentaciones profundas dos tipos de perforaciones con sistema rotatorio:
    - Barretón o Kelly: esta puede ser montada sobre orugas, sobre grúa o sobre camión. El barretón puede ser de una sola pieza o bien telescópico de varias secciones. El suelo se extrae de manera intermitente, Fig. 1.17.

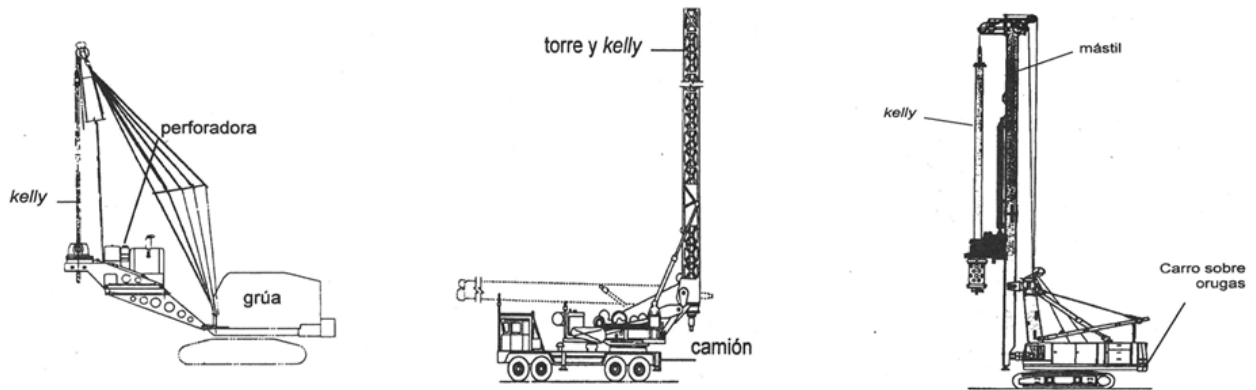


Fig. 1.17, Perforadora Rotatoria con Barretón o Kelly

- Hélice Continua: esta puede ser montada sobre grúa o sobre orugas. El suelo se extra de manera continua, conforme se va perforando el suelo, Fig. 1.18.

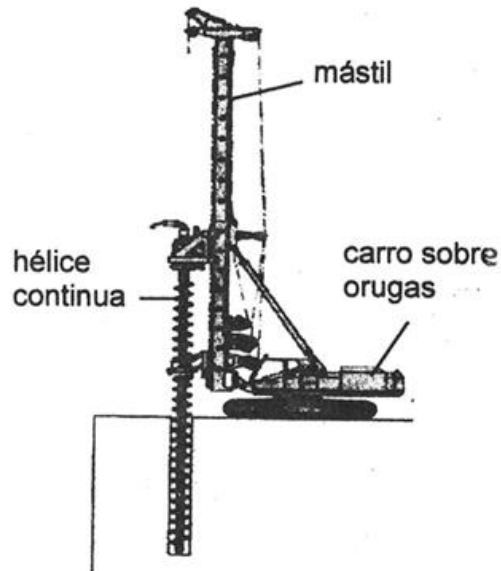


Fig. 1.18, Perforadora Rotatoria de Hélice Continua

Sabiendo el tipo de suelo y a la profundidad a la que se va a excavar, podemos saber qué equipo de perforación es el ideal.

Necesitando una máquina que tenga la capacidad de poder perforar hasta una profundidad de 50 metros y tener los accesorios necesarios para poder perforar al diámetro requerido.

### 1.2.1.- Características de la Pila.

La pila de cimentación tiene de diámetro 2.50 metros con longitud de 32.00 metros hecha de concreto reforzado colada en sitio para ser desplantada a hasta una profundidad de 50.00 metros. Con un recubrimiento de 7.5 cm, Fig. 1.19.

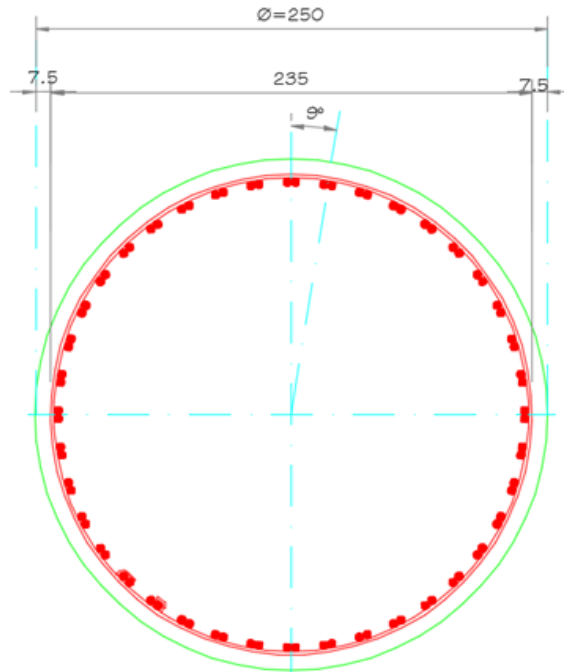


Fig. 1.19, Dimensiones de la Pila

### 1.2.2.- Características del Equipo de Perforación.

El equipo de perforación que se seleccionó fue una Perforadora Hidráulica CASAGRANDE B180HD, Fig. 1.20 y 1.21.



Fig. 1.20, Perforadora Rotatoria B180HD CASAGRANDE

<b>Prestazioni Pali</b>	<b>Piling</b>		
Profondità max.	Max. depth	223 ft	68 m
Diametro max.	Max. diameter	71/87* in	1800/2200* mm
<b>Argano principale uso Kelly</b>		<b>Kelly main winch</b>	
Tiro max.	Max. line pull	25,180 lbs	11.14 ton
Velocità max. fune	Max. line speed	410 ft/min	125 m/min
<b>Motore</b>		<b>Engine</b>	
Potenza a 2200 rpm	Power at 2200 rpm	305 HP	227 kW
<b>Testa rotary</b>		<b>Rotary head</b>	
Coppia max.	Max. torque	132,761 lb ft	18.35 ton/m
Velocità max. lavoro	Max. drilling speed	34 rpm	34 rpm
<b>Peso</b>		<b>Weight</b>	
Attrezzatura in condizioni di lavoro	Weight in working condition	~62 ton	~63 t

\* Sotto mast / Under mast element

Fig. 1.21, Perforadora Rotatoria B180HD CASAGRANDE

### 1.2.3.- Herramienta del Equipo de Perforación.

Los accesorios que se usaron, fueron un conjunto de botes (1.20, 1.50, 1.80 y 2.00 metros) y brocas (90.00cm, 1.50 metros, 1.80 metros), Fig. 1.22.



Fig. 1.22, Botes y Brocas

### 1.3.- Equipo de Izaje.

Conocer el peso del armado de la pila es importante debido a que se tiene que utilizar un equipo capaz de levantar el armado de la pila y que lo pueda colocar en la perforación que le corresponde.

#### 1.3.1.- Armado de la Pila.

El armado se constituye por acero de refuerzo  $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ , para el armado inferior son 40 varillas del número 12 y estribos del número 5 a cada 30.00 cm, para el armado superior era 80 varillas del número 12 y estribos del número 5 a cada 10.00 cm Fig. 1.36. Longitud del armado 31.35 metros.

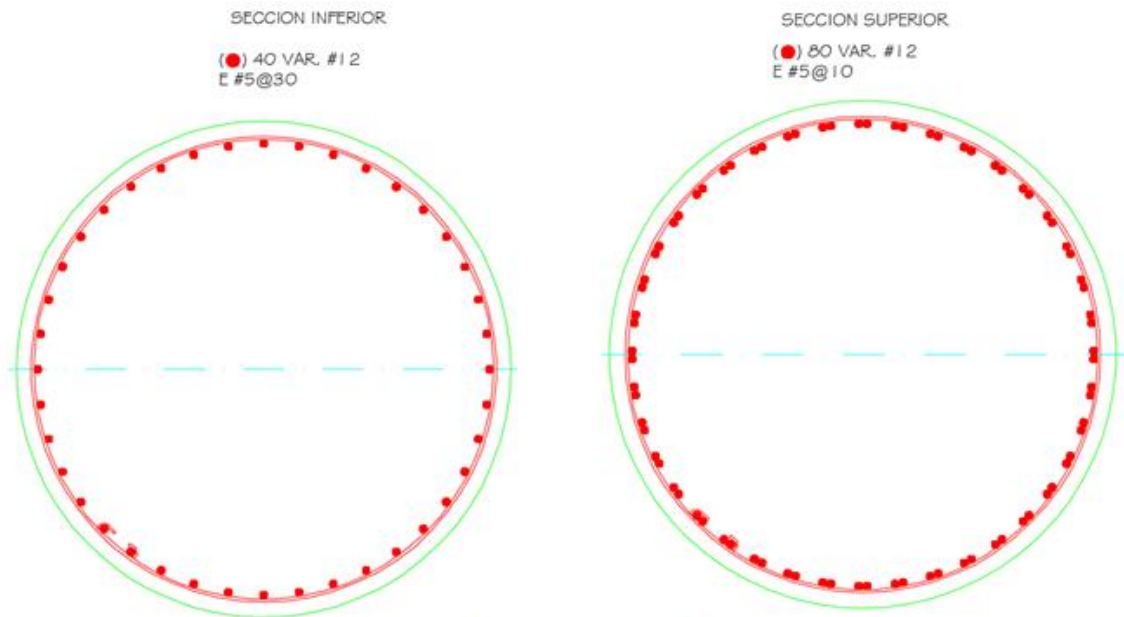


Fig. 1.36, Armado de la Pila

Todo el acero refuerzo que se pedía ya venía habilitado (cortado, roscado, con escuadra), las varillas que venía completas eran solo las que se usaban para zunchar, al venir la varilla roscada se utilizaron conectores LENTON, lo único que se soldaba eran las ojeras de izaje Fig. 1.37 y Fig. 1.38.



Fig. 1.37, Conectores Lenton





**Fig. 1.38, Oreja de Izaje**

Al armado superior se le dejaba una preparación para la conexión con el armado inferior que consiste en hacer un refuerzo provisional de un diámetro mayor para dejar las varillas longitudinales abiertas para que sea más fácil la conexión, al terminar la conexión se quitaba.

El peso total del armado es de 23.00 toneladas.

### 1.3.2.- Características del Equipo de Izaje.

Dado que se tiene un armado que pesa 23.00 toneladas cuyo peso es el máximo de todas las pilas que se van a construir se decidió utilizar una grúa sobre orugas capaz de levantar ese peso, la grúa que se ocupó fue una LINKBELT LS-418A capaz de levantar elementos de 30 toneladas puestos sus contrapesos A y B, Fig 1.23.



Fig. 1.23, Grúa sobre Orugas LINKBELT LS418A

### 1.3.3.- Herramienta para el Equipo de Izaje.

El izar un armado tiene sus cuidados, si nosotros izamos un armado de este tipo sólo con estrobos se vería de la siguiente manera, Fig. 1.24, al momento de izar el armado lo que va a ocurrir es que el armado se va cerrar provocando que se deforme por eso necesitamos un accesorio que estabilice y de seguridad a la hora de izar el armado.

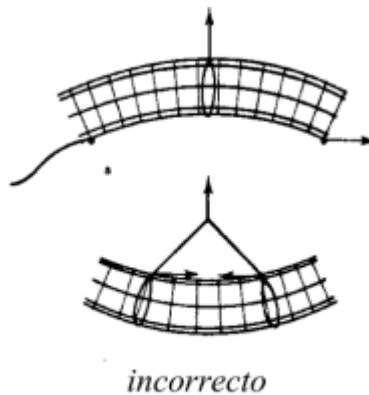


Fig. 1.24, Manejo Incorrecto

Un balancín es un elemento intermedio entre el gancho de elevación de una grúa o polipasto y la carga. Otorga estabilidad y seguridad en el manejo de cargas de grandes dimensiones o potencialmente inseguras. Estos se usan cuando se requiere elevar y/o mover un elemento que excede en dimensiones normales por tamaño o peso, o cuando se requiere de elementos que aporten estabilidad y seguridad en la maniobra. Están hechos de acero estructural de alta resistencia, Fig. 1.25.

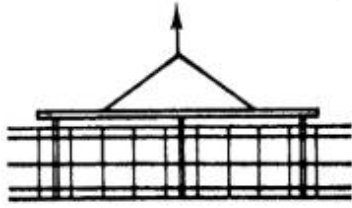


Fig. 1.25, Balancín Manejo Correcto

#### 1.4.- Trabajos Preliminares.

Se tienen que hacer trabajos previos en cada punto de las perforaciones, como es retirar todos los restos de cimentaciones que pueden impedir o afectar la construcción de las pilas.

En cada punto de perforación, previo a la perforación de las pilas, deberá construirse un brocal de concreto armado. Los brocales serán 10.00 cm mayor que los diámetros de cada pila con un ancho de 40 cm con una profundidad de 1.50 metros. Superficialmente integradas al brocal se dejarán unas placas metálicas niveladas y alineadas para que sirvan de apoyo a las viguetas metálicas que van soportar el armado, Fig. 1.26, Fig. 1.27, Fig.1.27 BIS, y Fig. 1.27.1

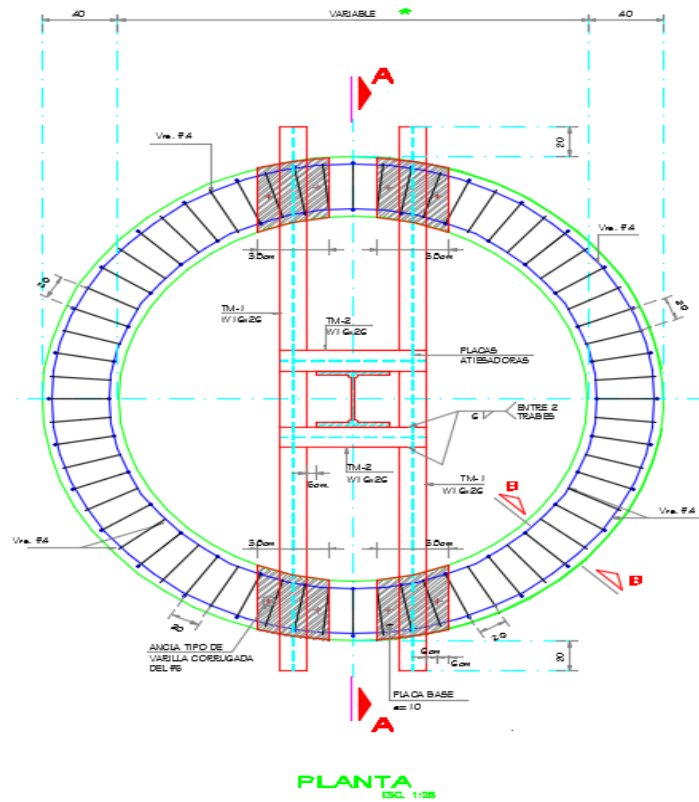
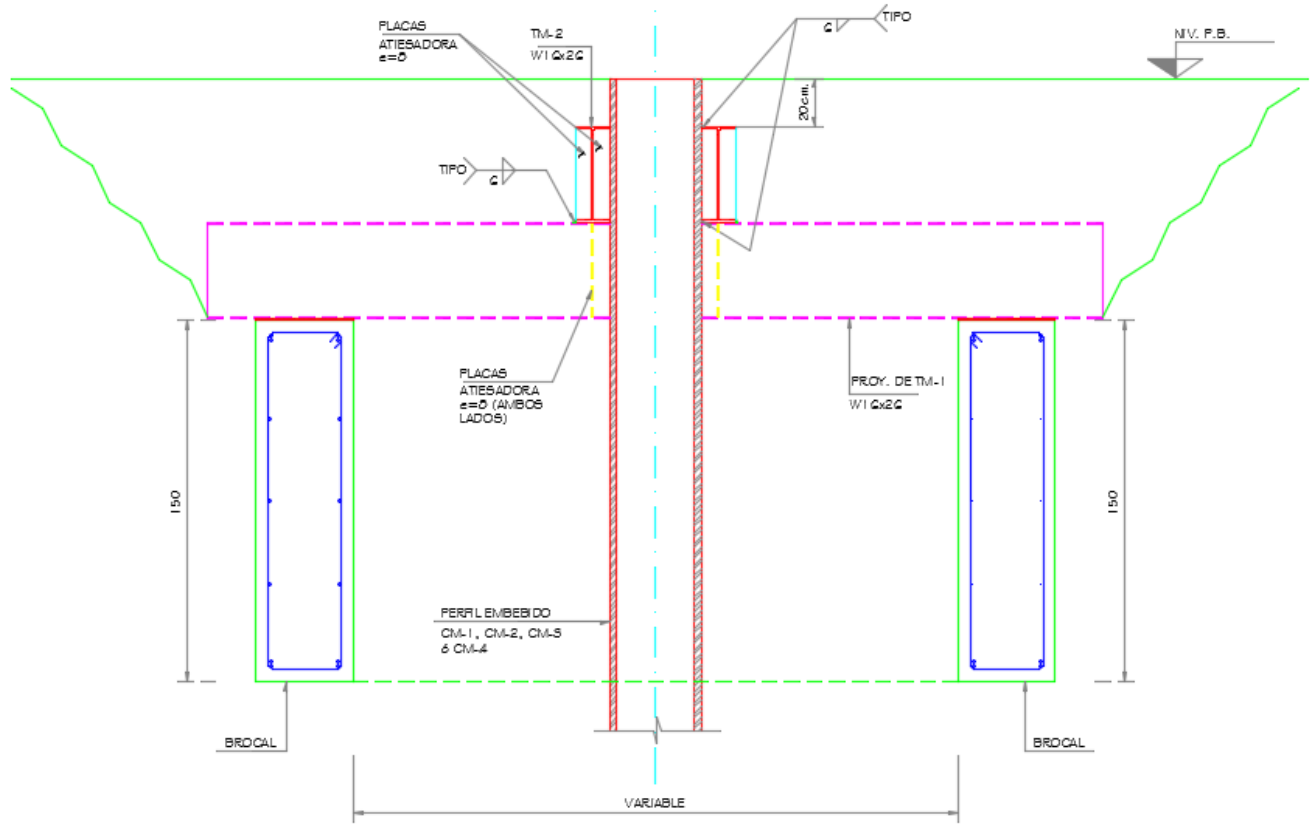
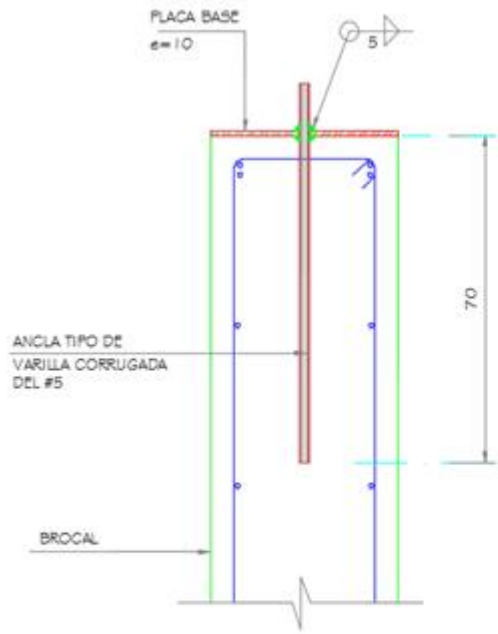


Fig. 1.26 Planta Brocal



**CORTE A-A**  
ESC. 1:25

Fig. 1.27 Corte Transversal Brocal



**DETALLE DE PLACA  
BASE Y ANCLA**

**Fig. 1.27 BIS, Detalle de la Placa y Brocal Construido**



**Fig. 1.27.1, Nivelación de las Placas de Apoyo**

El brocal es una estructura de concreto armado, la finalidad de la construcción, obedece a la necesidad de contar con una guía que permita garantizar la posición y verticalidad correctas del equipo guiado durante el proceso de excavación.

Terminando la construcción del brocal se fueron relleno con grava por seguridad y al momento de que se comenzara la perforación, se destapa el brocal nuevamente y se hace un mejoramiento de suelo con el material excavado para que la maquina este bien apoyada y no se hunda en el suelo al momento de estar perforando, Fig. 1.28, Fig. 1.29, Fig. 1.30.



Fig. 1.28, Destape del Brocal



Fig. 1.29, Destape del Brocal II



Fig. 1.30, Mejoramiento del Terreno

## CAPÍTULO 2: PERFORACIÓN.

La perforación puede dividirse en varias etapas: aflojar el suelo, retirarlo o removerlo y el soporte temporal de la perforación.

En cada etapa se presentan distintas técnicas, herramientas y equipos todo esto va a depender del tipo de suelo que se va a perforar, geometría de la perforación, las condiciones estratigráficas e hidráulicas.

- Etapa 1 Aflojar el Suelo:
  - Corte:
    - Almeja de Gajos: Es una herramienta de forma semicircular y penetra el suelo por caída libre, Fig. 1.30.



Fig. 1.30, Almeja Hidráulica

- Dientes planos, cuchillas, botes y brocas: Estos dientes son utilizados en perforaciones rotatorias. El suelo aflojado va en función de la inclinación de los dientes, Fig. 1.31, Fig. 1.32 y Fig. 1.33.



	con fondo plano
	con fondo rotatorio

Fig. 1.31, Botes









		<b>Aplicación</b>
		Suelos blandos a compactos
		Roca no fracturable
		Roca fracturada y masiva, suelos con boleos y fragmentos de roca
		Roca no fracturada

Fig. 1.32, Brocas

*medidas en pulgadas*

		N°	Aplicación
		TO-1	<i>Portadientes</i> Acepta los dientes 101
		TO-5	<i>Portadientes</i> Acepta los dientes 201, 211
		101	<i>Diente pequeño</i> Suelos duros, compactos, coral suave. Rotación recomendada 40 rpm
		201	<i>Diente estándar</i> Suelos duros, compactos, coral suave. Rotación recomendada 40 rpm
		211	<i>Diente estándar de orilla</i> Suelos duros, compactos, coral suave. Rotación recomendada 40 rpm

Fig. 1.33, Dientes Planos

- Ripeado:
  - Dientes de bala en botes y brocas: El ripeado se realiza en suelos duros o roca con dientes de punta de bala, pueden ser con aplicaciones de carburo de tungsteno, estos se colocan en un ángulo de ataque y va cortando trozos de suelo durante la rotación de la herramienta de rotación. Cortado el suelo o roca el suelo se remueve con herramientas equipadas con dientes planos, Fig.1.34.






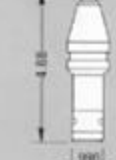




<i>medidas en pulgadas</i>		N°	Aplicación
		C-31	Rocas extremadamente duras y corte en concreto. Punta extendida para mayor durabilidad
		C-32	Amplia variedad de condiciones de roca
		C-31HD	Rocas extremadamente duras y corte en concreto
		C-33	Amplio rango de condiciones de roca. Las aletas laterales mejoran la rotación
		C-30 BLOCK	Portadiente para la serie C-30

Fig. 1.34, Dientes de Bala

- Etapa 2 Remoción del Suelo:

- Transporte intermitente de material: el suelo se recoge del fondo de la perforación con una herramienta que se extrae a la superficie y depositado ahí. La herramienta vuelve a la perforación.
  - Almeja: Cuando se cierra los gajos formado una semiesfera tomando el suelo para extraerlo a la superficie dejando esa porción y volver a introducir la almeja para poder ir tomando más porciones del suelo excavado, Fig. 1.30.
- Perforación Rotatoria: esta es la más usada para la construcción de pilas de cimentación, la rotación se transmite de una toma de fuerza (mecánica o hidráulica) hacia una mesa rotaria, que a la vez transmite rotación al barretón o kelly, el kelly le transmite el par de torsión a la herramienta para poder realizar la perforación, estas herramientas pueden ser brocas de hélice y los botes, Fig. 1.17.

- Transporte continuo de material: La remoción del material es continua, el suelo cortado se mezcla con un agente fluido (agua, bentonita, polímero) para ser extraído a la superficie.
  - Flujo Directo-Chifloneo con agua: En el proceso de perforación se bombea aire o agua a través de la columna de perforación (sarta de perforación) hasta el fondo de la perforación. El material excavado se transporta a la superficie a través de la tubería. Las velocidades de corriente varían entre 15 y 30 m/s y las velocidades del chiflón de agua alrededor de 1 m/s, Fig. 1.34.

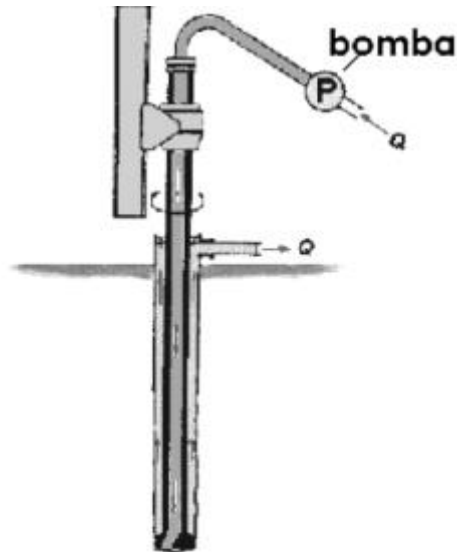


Fig. 1.34, Esquema de Flujo Directo

- Flujo Indirecto: La mezcla del fluido y el suelo se transporta a la superficie por dentro de la tubería de perforación, mientras que el fluido entra por un espacio anular entre la tubería y el suelo. Esta circulación se puede alcanzar de la siguiente forma:
  - Air Lift: Se inyectan cantidades pequeñas de aire ( $6$  a  $10 \text{ m}^3/\text{min}$ ) bajo la tubería de perforación. La diferencia en gravedad específica entre la mezcla aire-agua y el fluido se convierte en un gradiente de presión, que provoca un efecto de succión, Fig. 1.35.

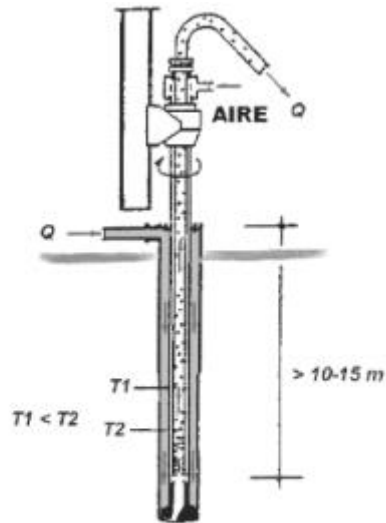


Fig. 1.35, Esquema de un Sistema Air-Lift

- Hélice continua: Es conocida como augercast. Se perfora utilizando una broca con hélice continua con una longitud mayor a la de la perforación, luego se bombea concreto a través de la hélice hueca, al mismo tiempo que la hélice se retira sin rotación, Fig. 1.18.

## 2.1.- Lodo Bentonítico.

### 2.1.1.- Introducción.

La protección de las perforaciones es importante para poder estabilizar las paredes ya sea por la inestabilidad del material o por la presencia aguas freáticas, existen diferentes tipos de protección en las perforaciones por ejemplo:

- Ademes metálicos: estos se hincan en el suelo para proteger el inicio de la perforación, el ademe se apoya en un suelo estable o puede hincarse en toda la longitud de la pila, todo depende del espesor del estrato inestable Fig. 2.1.

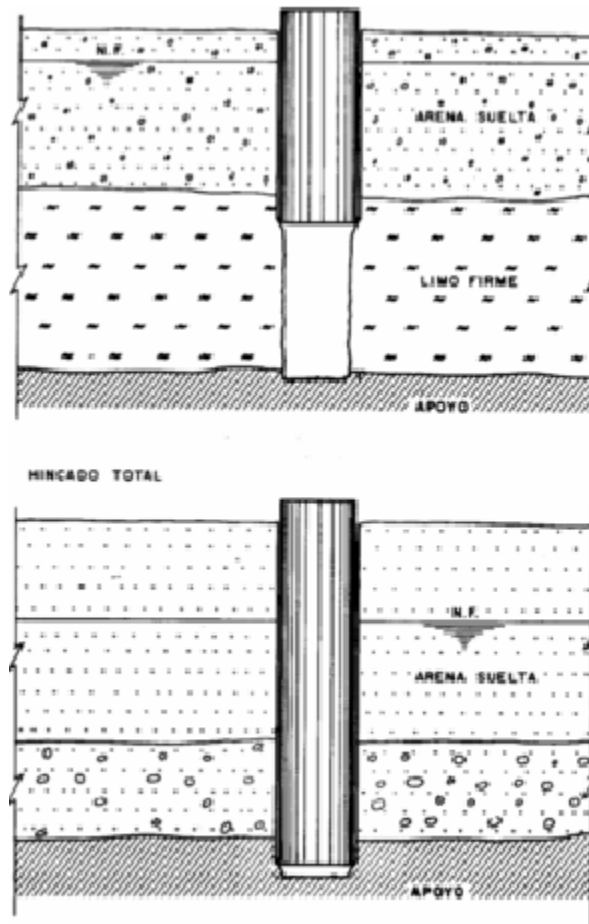


Fig. 2.1, Ademe Metálico

- Lodos de perforación: es un fluido que sirve como soporte temporal en el proceso de perforación como puede ser:
  - Soporte de Agua: Es utilizar agua simplemente para darle soporte a la perforación, este se utiliza en arcillas, limos y arenas finas. Para lograr una carga hidráulica que se mantenga constante debe ser mayor a del nivel freático cuando menos 2 metros.
  - Soporte con Polímero: Es un fluido que consiste de una solución compuesta por una cadena larga de moléculas con un peso molecular bajo diluida en agua. Su estructura es de tipo red provocando que mantenga en suspensión las partículas pequeñas y muestra propiedades similares a las de la bentonita.

El lodo bentonítico juega un papel importante en la perforación debido a que nos va dar la estabilidad en las paredes de la perforación, a medida de que vamos perforando vamos sustituyendo un equivalente de lo ya perforado por la adición del lodo bentonítico, la adición de agua dulce con arcilla bentonítica sódica se forma el lodo bentonítico, en conclusión el lodo bentonítico sirve para dar soporte en la perforación.

La adición del lodo bentonítico dentro de la perforación va a generar una presión hidrostática y la formación de un sello llamado costra (cake) que se va a formar cuando los vacíos del suelo se llenan de partículas de bentonita, el trabajo conjunto del cake con la presión hidrostática estabilizará las paredes de la perforación evitando caídos Fig. 2.2, y Fig. 2.3.

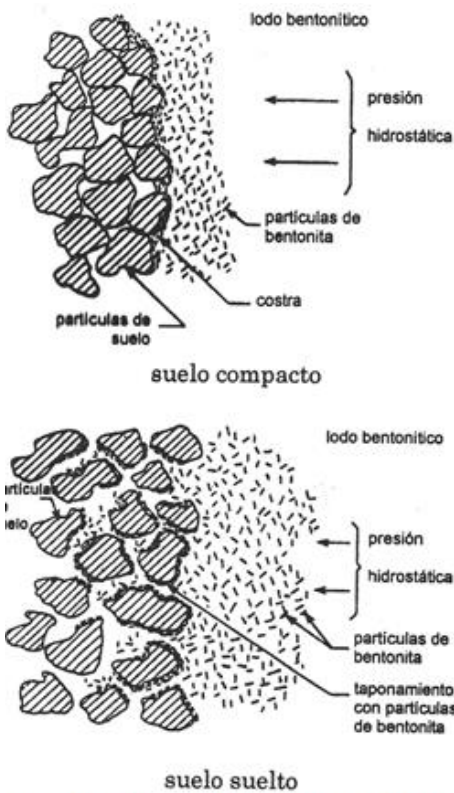


Fig. 2.2, Formación de la Costra (Cake)



Fig. 2.3, Formación de la Costra (Cake) II

### 2.1.2.- Propiedades.

Para poder garantizar que el lodo bentonítico está trabajando de manera correcta debemos verificar sus propiedades que son las siguientes:

- **Densidad:** la densidad común del lodo bentonítico está entre  $1.02 \text{ g/cm}^3$  y  $1.04 \text{ g/cm}^3$  y si se requiere incrementar su densidad es necesario añadirle un aditivo como el sulfato bórico (baritina) que tiene una densidad de  $4.20 \text{ g/cm}^3$  hasta  $4.35 \text{ g/cm}^3$  logrando densidades en lodos bentoníticos de hasta  $2.4 \text{ g/cm}^3$  con la capacidad de ser bombeables.

Para poder conocer cuál es la densidad de nuestro lodo bentonítico en obra, se utiliza un instrumento llamado balanza de lodos Fig. 2.4, se compone de un recipiente donde se va a colocar la muestra de lodo Fig. 2.5, una tapa con un orificio para que podamos colocar una muestra de lodo bentonítico y dejar escurrir la muestra a través del orificio y garantizar un volumen constante Fig. 2.6, un contrapeso para nivelar la balanza Fig. 2.7, un nivel de gota para



corroborar que la balanza esté nivelada Fig. 2.8, una base para poder apoyar la balanza de lodos y el brazo de la balanza que esta graduado, en la parte superior tenemos la graduación para saber la densidad en  $\text{g/cm}^3$  y la parte inferior tenemos la graduación para saber el peso del lodo en gramos (g) Fig. 2.9.



Fig. 2.4, Balanza de Lodos



Fig. 2.5, Recipiente para colocar la muestra



Fig. 2.6, Tapa con orificio



Fig. 2.7, Contrapeso



Fig. 2.8, Nivel de Gota



Fig. 2.9, Grduación de la Barra

La American Petroleum Institute (API) recomienda hacer métodos estándar en pruebas de laboratorio para los fluidos que se van a utilizar en la perforación estos métodos se pueden consultar en la norma API-RP 13 B-1 y B-2: Procedimientos Estándar para pruebas en campo base agua en fluidos de perforación.

Para las perforaciones que se realizaron en la obra incluyendo la perforación para la pila de 2.50 metros de diámetro se utilizó un lodo bentonítico con una densidad de  $1.04 \text{ g/cm}^3$ , esta densidad es dada por el estudio de mecánica de suelos que recomendaba una densidad  $1.04 \text{ g/cm}^3$  como mínimo y  $1.07 \text{ g/cm}^3$  y se le hizo la prueba con la balanza de lodos para asegurar que la densidad fuera la deseada.

- Viscosidad Marsh: conocer cuantos segundos transcurre cuando el lodo bentonítico escurre o pasa por el cono Marsh a través de un orificio de 5 mm de diámetro en la parte inferior de dicho cono, la cantidad de lodo con la que se llena el cono Marsh es de aproximadamente 1 litro.

Las dimensiones que tiene el cono Marsh son: un diámetro mayor de 15.2 cm Fig 2.10, un diámetro menor de 5 mm, una altura de 35.4 cm Fig. 2.11.



Fig. 2.10, Cono Marsh

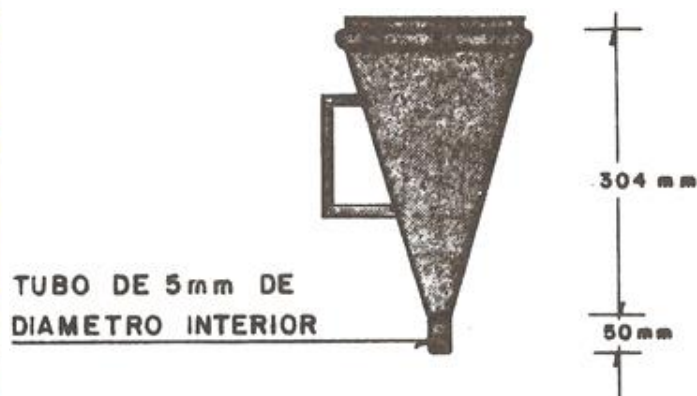


Fig. 2.11, Cono Marsh II

La prueba consiste en llenar el cono Marsh hasta el borde previamente se le coloca el dedo en la parte inferior del cono para que no empiece a escurrir antes de tomar el tiempo, en la parte superior del cono tiene una malla que tiene de abertura 1/16" Fig. 2.12 que sirve para retener las partículas gruesas, lleno el cono se retira el dedo que está tapando el orificio de la parte inferior del cono Marsh y se empieza a tomar el tiempo. Los valores para el lodo bentonítico van de los 35 segundos a 60 segundos.

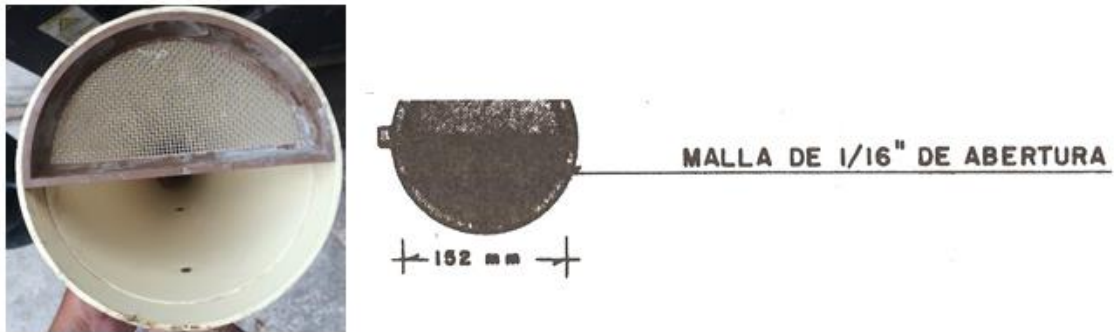


Fig. 2.12, Malla de 1/16" de Abertura

Los segundos en que tenía que escurrir el lodo bentonítico que se utilizó para todas las perforaciones incluyendo la perforación de la pila de 2.50 metros de diámetro era entre 38 segundos a 40 segundos. El estudio de mecánica de suelos proponía una viscosidad Marsh de 38.00 segundos como mínimo a 55 segundos como máximo.

- Contenido de Arena: es necesario conocer el contenido de arena que tiene el lodo bentonítico para que cumpla con el objetivo de poder estabilizar las paredes de la perforación con la formación del cake y la presión hidrostática.

Para poder conocer el contenido de arena que tiene el lodo bentonítico se puede definir como la cantidad de partículas que se retienen en la malla No. 200 (200 hilos en una pulgada que equivalen a 0.074 mm), por lo que se hace pasar una muestra de 100 cm<sup>3</sup> de lodo bentonítico por un tamiz Fig. 2.13, las partículas que se queden en la malla No. 200 se llevan a una probeta graduada en % Fig. 2.14 para tomar la lectura de cuanto contenido de arena tiene.

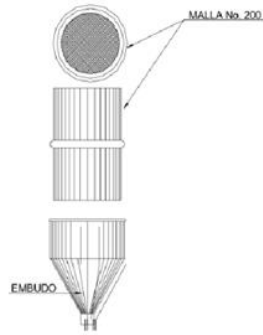


Fig. 2.13, Tamiz



Fig. 2.14, Probeta Graduada

Es importante tener en cuenta que si nuestro lodo bentonítico tiene un contenido de arena arriba del 15% sufre un cambio de densidad que repercute en la viscosidad, en el espesor del cake y provocando daños en el quipo, herramienta y tuberías.

En el estudio de mecánica de suelos marcaba un contenido de arena del 0.00% como mínimo hasta un 10% como máximo.

- **Filtración:** El agua que se utiliza para mezclar con la bentonita una parte se queda libre entre los granos sólidos, la prueba de filtración permite ver la capacidad que tiene un lodo bentonítico para formar la costra (cake) en las paredes de la perforación.

En esta prueba se necesita un instrumento llamado filtro prensa Fig. 2.15, se compone de un recipiente metálico de  $500 \text{ cm}^3 = 500 \text{ ml}$  de capacidad, este recipiente es capaz de recibir una presión de aire de  $7 \text{ kg/cm}^2$  y en la parte inferior se tiene un papel filtro donde va a pasar el agua filtrada y un orificio para que salga y se deposite en una probeta graduada en  $\text{cm}^3$ .

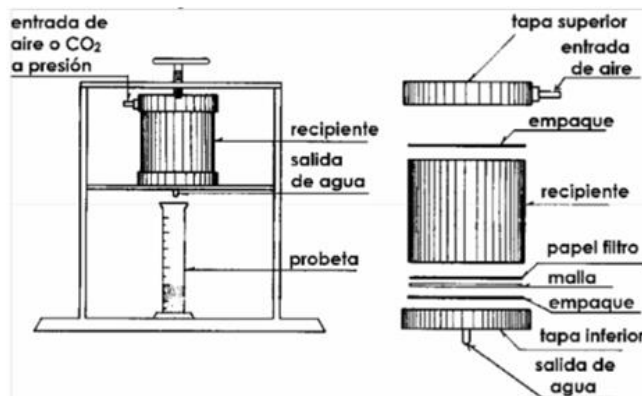


Fig. 2.15, Filtro Prensa

La prueba dura 30 minutos, pasado ese tiempo se mide el volumen de agua filtrada y se mide el espesor del cake que va estar pegada en el papel filtro. Para decir que el lodo bentonítico es bueno debe tener menos de 20 cm<sup>3</sup> de agua filtrada con un espesor de costra de 0.5 cm.

- Potencial Hidrógeno: el potencial hidrógeno (PH) representa el grado de acidez o alcalinidad, para el lodo bentonítico durante la perforación se tiene que tener un PH de entre 7 a 12, con la ayuda de un papel indicador podemos saber con el cambio de color comparado con la escala de PH que valor de PH tiene el lodo bentonítico.

En el estudio de mecánica de suelos marcaba como potencial de hidrógeno como mínimo de 7 y como máximo 9.5.

### 2.1.3.- Dosificación.

Para la dosificación se necesita conocer cuanta bentonita se le tiene que adicionar al agua, esto va a depender de la densidad que vayamos a requerir en base al tipo de suelo.

La Tabla 2.1 muestra algunos valores que sirven de partida para la dosificación de los lodos bentoníticos:

Tabla 2.1, Dosificación típica de lodo bentonítico (Soilmec)

kg de bentonita/ m <sup>3</sup> de agua	% Bentonita	Densida (g/cm <sup>3</sup> )	Marsh (segundos)
0	0	1.000	27
20	2	1.010	28
30	3	1.020	30
40	4	1.025	35
50	5	1.035	40
60	6	1.035	40
70	7	1.040	45
80	8	1.045	55
90	9	1.070	60
100	10	1.075	70

La proporción que se utilizó para hacer el lodo bentonítico era de 60kg/m<sup>3</sup> para todas las perforaciones de la pilas.

Para el mezclado se pueden utilizar los mezcladores llamados coloidales Fig. 2.16 y los de chiflón Fig.2.17, el tiempo de mezclado que se emplea en estos sistemas van de los 3 minutos a 10 minutos para lograr una buena hidratación inicial y se logra un máximo aprovechamiento de bentonita dejándola de 8 horas a 24 horas en reposo con el objetivo de que se hidrate para que sus propiedades aumenten.

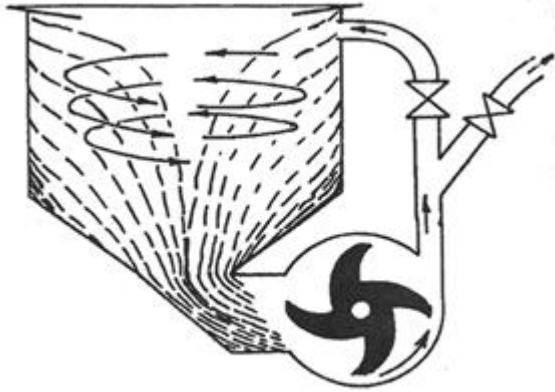


Fig. 2.16, Mezclador Coloidal

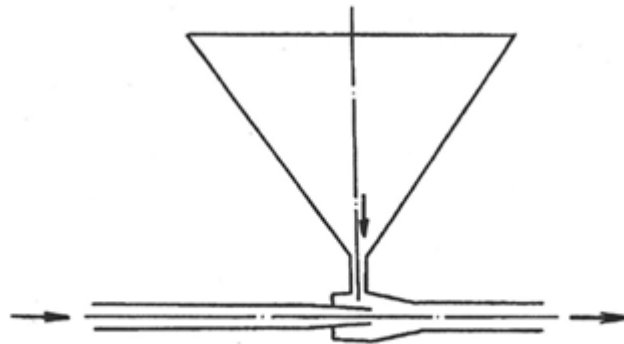


Fig. 2.17, Mezclador de Chiflón

Para la mezcla se utilizó una bentonita PERFOBENT C de AIDSA (Arcillas Industriales de Durango, S.A. de C.V.) Fig. 2.18, se usa en excavaciones profundas y en aplicaciones combinadas con cemento.



Fig. 2.18, Bentonita



Fig. 2.19, Mezclador de Chiflón II

El mezclador que se utilizó fue el de chiflón Fig. 2.19 que se compone de dos partes, la primera es un cono que se encuentra en la parte superior en donde se va ir colocando la bentonita para que baje gradualmente y se valla mezclando con el agua, la segunda parte es un tubo venturi que se encuentra en la parte inferior, es el que va hacer el efecto de chiflón y gracias al aumento de velocidad generado por el tubo venturi el agua se va ir mezclando con la bentonita fácilmente depositándose en el contenedor Fig.2.20 con la ayuda de una bomba Fig. 2.21. Una vez que se termina el mezclado, el lodo que fue bombeado al contenedor, con la ayuda de un compresor de aire Fig. 2.22 se va a estar recirculado para que no se asiente el lodo bentonítico y no genere grumos Fig. 2.23.



Fig. 2.20, Contenedor



Fig. 2.21, Bomba de Gasolina



Fig. 2.22, Compresor



Fig. 2.23, Recirculación del Lodo

En el estudio de mecánica de suelos se recomendaba una hidratación de la bentonita con un tiempo no menor a 8 horas y utilizar un mezclador de chiflón.

La planta de lodo bentonítico se conformaba de 2 contenedores con capacidad de  $70.00 \text{ m}^3$  cada uno Fig.2.37, un tanque vertical con capacidad de  $35 \text{ m}^3$  que servía para recibir el lodo bentonítico de los contenedores ya hidratado para que por simple gravedad fuera mandando lodo a la perforación Fig.2.38, un tanque horizontal con capacidad  $30 \text{ m}^3$  para almacenar agua para la mezcla con la bentonita Fig. 2.39, un mezclador de chiflón Fig. 2.40 y bomba de diésel Fig. 2.41.



Fig. 2.37, Contenedor  $70 \text{ m}^3$





Fig. 2.38, Tanque Vertical 35 m<sup>3</sup>



Fig. 2.39, Tanque Horizontal 30 m<sup>3</sup>



Fig. 2.40, Mezclador de Chiflón



Fig. 2.41, Bomba de Diesel

#### 2.1.4.- Ventajas.

- El lodo bentonítico se puede reutilizar esto va depender de que tan contaminado esta, se puede contaminar con arcillas o con arenas que causen un cambio en la densidad ya se aumentándola o disminuyéndola.

Para que el lodo bentonítico se pueda reutilizar al estar contaminado existen varias formas:

- Se le agrega agua para diluir la mezcla cuando está contaminado de arcillas.

- El uso de tanques sedimentadores donde se envía el lodo bentonítico dejándolo un periodo de tiempo suficiente para que ocurra la separación por simple sedimentación cuando está contaminado de arena.
- El uso de mallas vibratorias, de diferentes aberturas colocadas en serie con la ayuda de un motor va transmitiendo vibraciones en donde el lodo bentonítico va pasando a través de ellas y el lodo filtrado se va recurando para volverlo a usarlo.
- El mezclado es rápido y sencillo.
- El cake es flexible.
- Durante el colado el concreto no se mezcla con el lodo bentonítico salvo la parte de la cabeza de la pila pero esa se demuele.

En la Tabla 2.2 se muestra cuanto lodo bentonítico se utilizó para para poder estabilizar la perforación a 50.00 metros para la pila 2.50 metros.

**Tabla 2.2, Lodo Bentonítico utilizado para pila 2.50 metros.**

Proporción Lodo Bentonítico (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (m <sup>3</sup> )	Bentonita (kg)	Bultos Bentonítico 50 kg (bultos)	Lodo Bentonítico 50 metros profundidad (m <sup>3</sup> )	Lodo Bentonítico que se quedó después del colado (m <sup>3</sup> )
60.00	245.44	14,726.22	295.00	245.44	80.99

## 2.2.- Perforación Guía.

### 2.2.1.- Ubicación del Punto de Perforación.

Con el plano de trazo y el Topógrafo Fig. 2.24 se pudo identificar la ubicación de los ejes de las pilas y mantener la verticalidad del barretón (kelly), esta ubicación de las 28 pilas se hizo para la construcción de los brocales y cuando se iba a iniciar la perforación, se identifican con una varilla pintada de un color llamativo Fig. 2.25 y teniendo la ubicación del eje de la pila se pueden obtener las otras referencias.



Fig. 2.24, Topógrafo.



Fig. 2.25, Referencias

### 2.2.2.- Referencias.

Con la ubicación del eje de la pila representada con una varilla se pueden obtener las referencias, con estas referencias va a trabajar el operador de la perforadora para cuidar la verticalidad de la perforación junto con el nivel que tiene la perforadora.

Las referencias se colocan de manera que no estorben a la hora de estar perforando por lo menos de 40 cm a 50 cm alejados del brocal Fig. 2.26, por lo regular se ponen dos referencias que deben ser ortogonales entre ellas y de esta forma se garantiza que el operador está perforando verticalmente.

Para que nosotros estemos seguros de que las referencias sean ortogonales utilizamos el teorema de Pitágoras debido a que se forma un triángulo rectángulo Fig. 2.27. Para la pila de 2.50 metros de diámetro las referencias se colocaron a 40 cm por lo que el cateto opuesto y cateto adyacente miden 1.65 m para garantizar su ortogonalidad se basa en conocer el valor de la hipotenusa aplicando el teorema de Pitágoras Fig. 2.28 se calcula el valor de la hipotenusa 2.33 metros y simplemente se mide con el flexómetro.

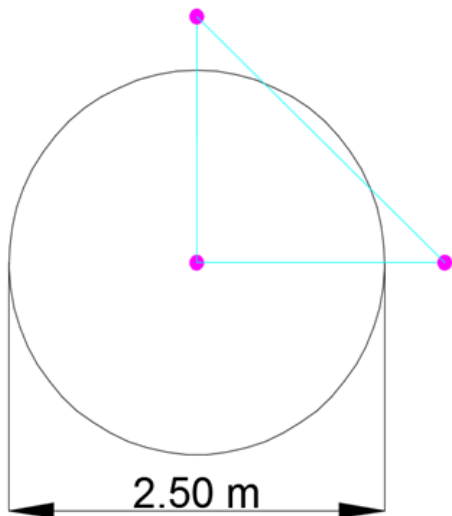


Fig. 2.27, Formación de Triángulo Rectángulo

$$hip = \sqrt{co^2 + ca^2}$$

Fig. 2.28, Teorema de Pitágoras

### 2.2.3.- Procedimiento de la Perforación Guía.

Para iniciar la perforación guía se empieza por destapar el brocal, por motivos de seguridad se tapa para que ningún trabajador corra peligro de caerse Fig. 2.29, ya abierto el brocal se empieza a llenar de lodo bentonítico para comenzar con la perforación Fig. 2.30.



Fig. 2.29, Brocal Destapado



Fig. 2.30, Llenado del Brocal

Una vez que el lodo bentonítico llena el brocal aproximadamente a la mitad Fig. 2.31, se inicia la perforación con la ayuda de la broca de 90.00 cm de diámetro y el bote 1.20 metros de diámetro, el operador va perforando sacando poco a poco el material que va quedando en la broca Fig. 2.32 pero no olvida que todavía sigue habiendo suelo suelto que no puede sacar con la broca provocado por la misma perforación y lo hace con el bote, Fig. 2.33, el operador va determinando cuando hay que cambiar la broca de 90 cm de diámetro por el bote de 1.20 metros de diámetro Fig. 2.34 para sacar el suelo que falta hasta llegar aproximadamente a una profundidad de 3.00 metros, el operador va ir pidiendo que le

vayan enviando lodo bentonítico, esta operación se va ir repitiendo hasta llegar a los 50.00 metros de profundidad. El cambio que se hace de la broca por el bote o viceversa es porque el operador ve que ya no está cortando con el bote debido a la presencia de un suelo duro, se hace cambio para que la broca vaya aflojando el suelo hasta que el operador ya no sienta que le está costando trabajo perforar vuelve hacer el cambio por el bote para seguir perforando y a la vez va retirando el material excavado.



Fig. 2.31, Inicio de la Perforación Fig. 2.32, Material que se queda en la broca



Fig. 2.33, Material Recogido por el Bote



Fig. 2.34, Cambio de la Broca por el Bote

La misma operación se repite pero ahora con una broca de 1.50 metros de diámetro y un bote de 1.50 metros de diámetro hasta llegar a la profundidad de 50.00 metros de profundidad, luego esa misma operación se vuelve a repetir con una broca de 1.80 metros de diámetro y un bote de 1.80 metros.

La perforación guía se hace debido a que hay zonas en donde el suelo es duro o zonas donde el suelo es blando, podríamos dañar el equipo de perforación junto con su herramienta, el abrir poco a poco el terreno resulta ser lo más viable para poder llegar al diámetro deseado.

### 2.3.- Perforación Definitiva.

#### 2.3.1. Procedimiento de la Perforación Definitiva.

Como no se tenía un bote de 2.50 metros de diámetro se utilizó el bote 2.00 metros de diámetro y para poder llegar al diámetro se utilizaron unos dientes hechos en obra (rimas) de 25 cm de largo que se les pusieron al bote en cada en cada extremo.

A continuación se muestra en la Fig. 2.35 como se fue excavando:



Fig. 2.35, Esquema de Excavación

Las rimas (dientes) se utilizaron para poder dar el diámetro requerido en la perforación puesto que no se tenía el bote con la dimensión que marcaba el proyecto, regularmente se fabrican en obra con placas metálicas soldadas, el soldador fabrica el porta dientes (caja metálica) en los extremos del bote con un barreno para que se pueda fijar el diente con una tuerca, Fig. 2.36.



Fig. 2.36, Dientes (Rimas), Porta Dientes (Caja Metálica)

El volumen de excavación total que se hizo fue de 245.44 m<sup>3</sup>, para poder tener la excavación a los 50.00 metros con el diámetro de 2.50 metros se tardaron aproximadamente 4 días, es decir, se excavaban 12.5 metros/día y se extraían 61.35 m<sup>3</sup>/día.

En la Tabla 2.3 se muestra los volúmenes de excavación.

Tabla 2.3, Volúmenes de Excavación

Barreno (m)	Profundidad (m)	Espesor que Cortó (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen Excavado (m <sup>3</sup> )	
Perforación Guía	0.90	50.00	0.90	2.54	127.23
	1.20	50.00	0.15	0.49	24.74
	1.50	50.00	0.15	0.64	31.81
	1.80	50.00	0.15	0.78	38.88
Perforación Definitiva Bote 2.00 metros con rimas 25 cm en cada lado	2.50	50.00	0.35	0.46	22.78
<b>Total</b>					245.44

### CAPÍTULO 3: ARMADO DE LA PILA.

Terminado el armado, este deberá ser lo suficientemente robusto para su manejo, izaje y descenso dentro de la perforación sin que sufra deformaciones.

Los elementos principales de un armado para pilas son el acero longitudinal y transversal que se unen con amarres o soldadura, el refuerzo transversal puede hacerse con estribos o un refuerzo transversal con espiral, Fig. 3.1.

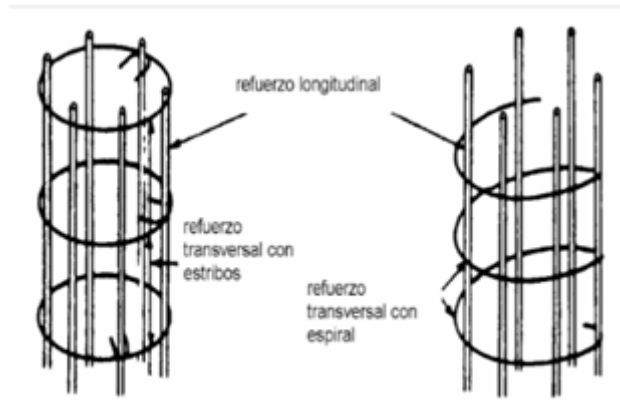


Fig. 3.1, Armado Longitudinal y Transversal

La función del acero de refuerzo longitudinal es resistir los momentos flexionantes aplicados, mientras que el acero de refuerzo trasversal tiene tres funciones: mantener en posición el acero longitudinal, resistir fuerzas cortantes y prevenir grietas.

Cuando el elemento necesita varillas cuya longitud son mayores a las de una varilla normal (12.00 metros) es recomendable usar traslapes para poder alcanzar la longitud requerida del elemento. Varillas del No. 8 y menores los más recomendable es usar traslapes de longitud equivalente a 40 veces el diámetro de la varilla. Para varillas del No. 10 o mayores no se recomienda el traslape y debe recurrirse al soldado de las mismas o conectores mecánicos o conexiones especiales.

Para tener una adherencia adecuada del acero de refuerzo al concreto se recurre a la técnica de hacer dobleces en el extremo de la varilla con el fin de formar ganchos o escuadras, Fig. 3.2.

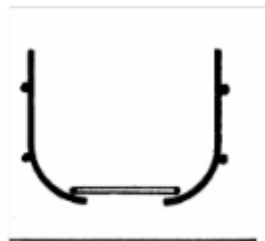


Fig. 3.2, Adherencia del Acero de Refuerzo al Concreto



La geometría de los dobleces va a depender del diámetro de la varilla, la resistencia tanto del concreto como la del acero y de la ubicación de la varilla respecto al espesor del elemento estructural.

Medidas recomendadas para formas ganchos o escuadras, Fig. 3.3 y Tabla 3.1.

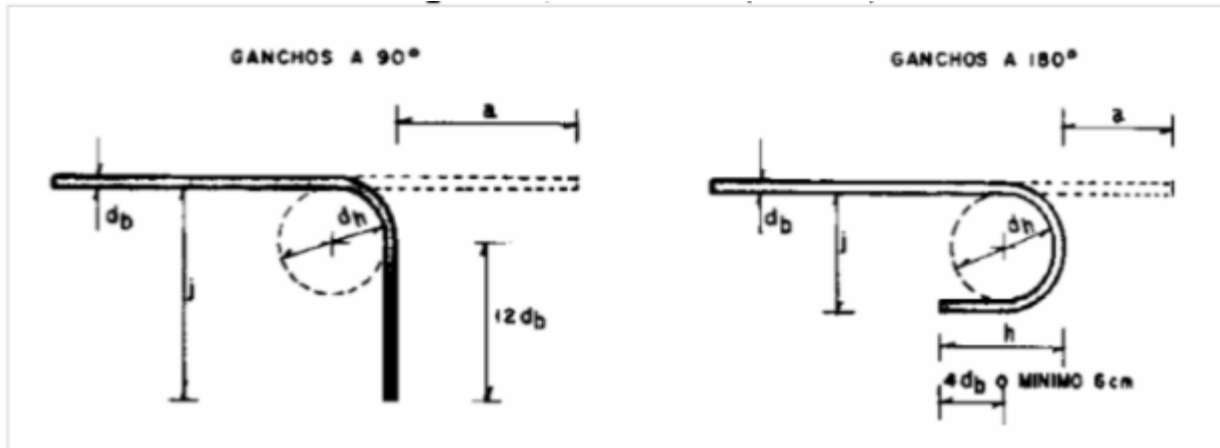


Fig. 3.3, Geometría y dimensiones de ganchos y dobleces

Tabla 3.1, Dobleces Recomendados

Varilla No.	dh	Ganchos a 90°		Ganchos a 108°		
		a (cm)	j (cm)	a (cm)	j (cm)	h (cm) aprox.
2	6 db	9	10	10	5	9
2.5	6 db	11	13	12	6	10
3	6 db	14	15	13	8	10
4	6 db	19	21	15	10	12
5	6 db	23	27	18	13	13
6	8 db	27	32	20	15	15
7	8 db	32	37	25	18	18
8	8 db	37	42	33	25	23
9	10 db	42	49	38	29	26
10	10 db	47	59	50	39	32
12	10 db	58	71	60	50	40

En el manejo para el acero de refuerzo de las pilas, se debe colocar un refuerzo adicional para a la hora de manipular y trasladar el armado no se deforme o surjan movimientos, desplazamientos del acero longitudinal o transversal.

La forma de armar el acero de refuerzo para permitir su manejo y dependerá de la longitud, peso y el equipo con el que se vaya a manejar.

Considerar la longitud del armado es importante para poder determinar la posible presencia de deformaciones o bien determinar si se requiere introducir el armado en dos partes. Este problema se

resuelve colocando rigidizadores en los armados para que al momento de maniobrarlo no presente deformaciones y evite que se desprendan los zunchos o estribos, Fig. 3.4.

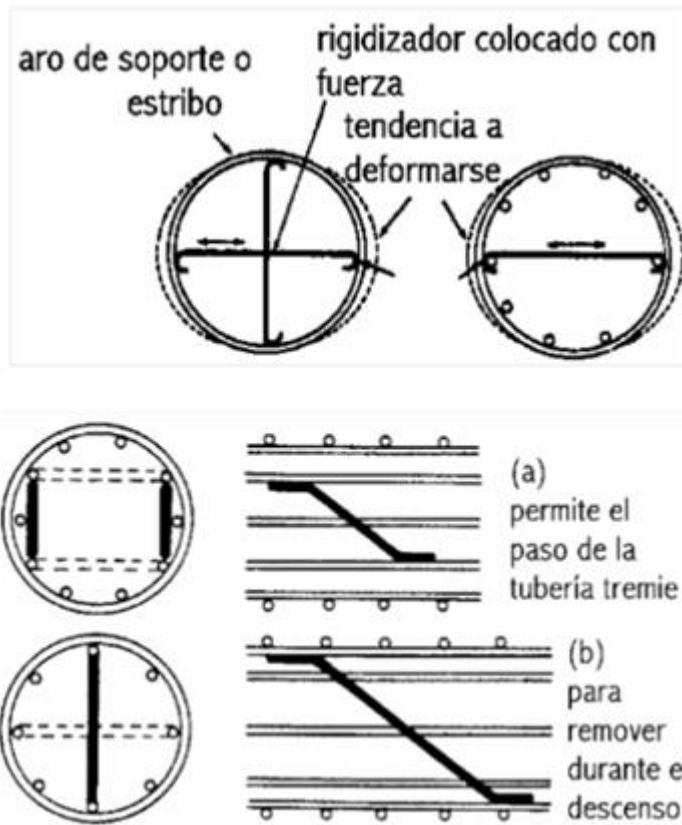


Fig. 3.4, Rigidizadores

### 3.1.- Habilidad del Acero de Refuerzo.

Para poder realizar el armado de las pilas, la varilla ya llegaba habilitada (cortada, roscada, con escuadra), esto se hizo con la finalidad de reducir el tiempo de habilitado y por el espacio reducido que se tenía no había oportunidad de poder almacenar y tener un área fija de habilitado. Las únicas varillas que llegaban sin habilitar eran las que se utilizaban para estribar o zunchar que son las de menor diámetro, Fig. 3.5.

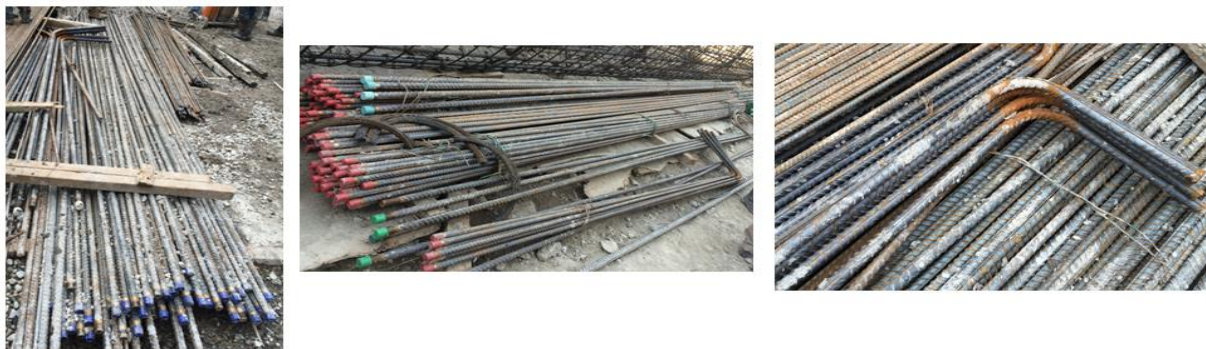


Fig. 3.5, Habilidad del Acero

### 3.1.1.- Dobleces.

Todos los dobleces se hicieron en una mesa de doblado hecha en obra Fig. 3.6 previamente los fierros hacen una guías con pedacería de varilla con el dobles exacto para cuando se empieza a doblar la varilla esta quede doblada con el ángulo deseado, en la Fig. 3.7 se muestra como los fierros al momento de estar doblando la varilla comparan la varilla doblada con la guía. Los dobleces que se hicieron en obra eran para los rigidizadores del armado de la pila, Fig. 3.8.



Fig. 3.6, Mesa de Habilitado de Acero



Fig. 3.7, Habilitado de Acero



Fig. 3.8, Rigidizadores

### 3.1.2.- Corte de la Varilla.

Para el corte de la varilla se utilizó un equipo de corte conformado por gas butano, oxígeno y soplete con boquilla del No. 3 Fig. 3.9 y Fig. 3.10 (equipo de oxicorte), este equipo de corte se utilizó para poder habilitar y hacer los cortes necesarios durante la maniobra de izaje y la unión del armado inferior con el superior que más adelante se detalla.

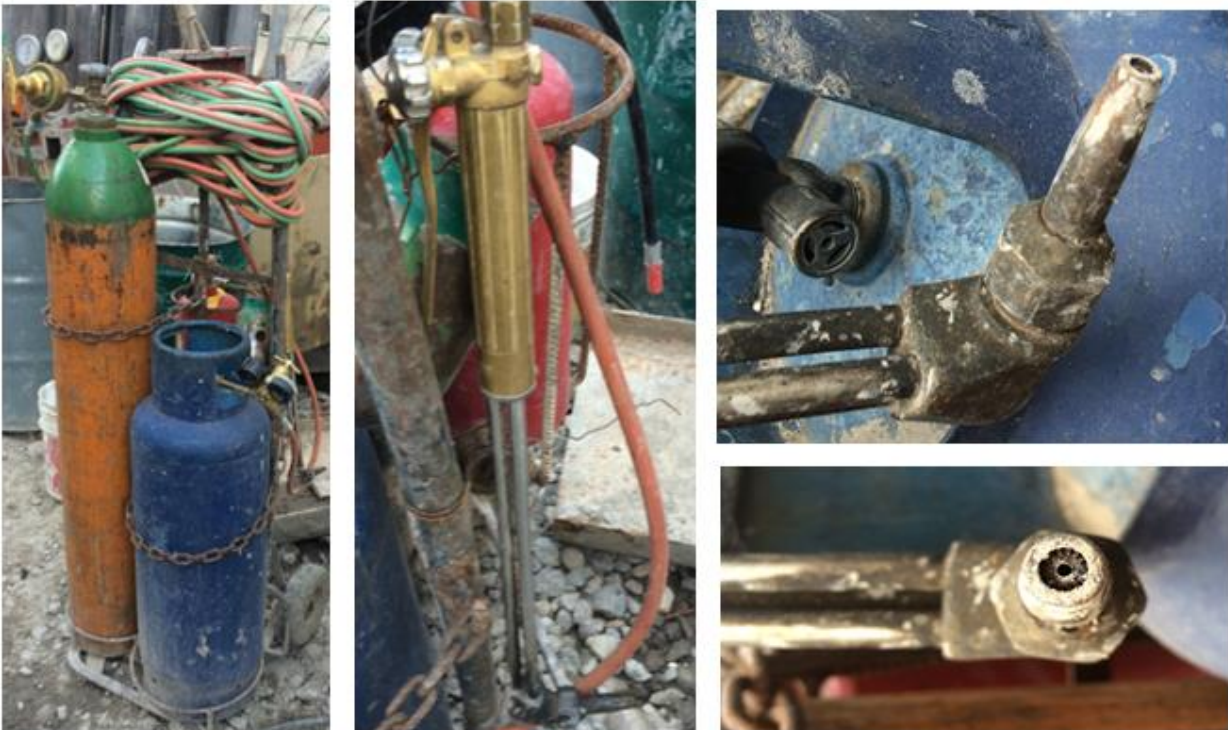


Fig. 3.9, Equipo de Oxicorte



Fig. 3.10, Varilla Cortada

### 3.1.3.- Zunchos.

Todos los zunchos se hicieron con varilla del número 5 y se habilitaba con la misma mesa de doblado hecha en obra Fig. 3.11, previamente se le hizo el dobles (gancho), para que al momento de la conexión el tiempo de zunchado fuera más rápido y también a la hora de estar armando la parte inferior y superior.



Fig. 3.11, Zuncho

## 3.2.- Maniobra para el Izaje del Armado de la Pila.

### 3.2.1.- Anclaje del Armado a la Guía.

Este armado se construyó en dos partes debido a que el espacio del terreno era reducido y a las dimensiones de la pila, por lo que primero se hizo la maniobra de izaje con la parte inferior y luego la parte superior Fig. 3.12.



Fig. 3.12, Armado Inferior y Superior

Una vez terminado el armado se le colocaron los estrobos con los cuales van a izar el armado Fig. 3.13, para la parte inferior se le colocaron en la zona donde todavía estaba reforzada con un par de grilletes para que de ahí se sostuvieran los estrobos, Fig. 3.14, Al balancín se le conectaron otro par más de grilletes para que si hiciera la conexión con los extremos libres de los estrobos Fig. 3.15.

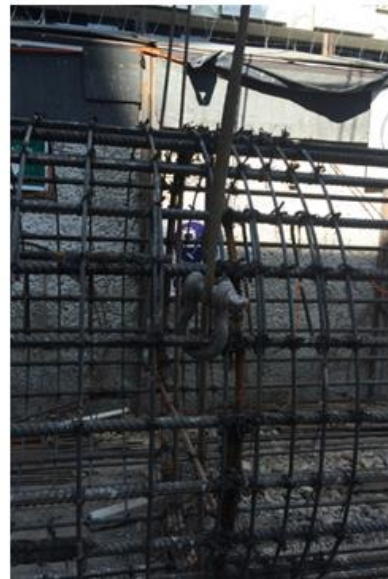


Fig. 3.13 y 3.14, Estrobos y Grilletes



Fig. 3.15, Conexión Armado Inferior con el Balancín

Para la parte superior se le van conectar un par de estrobos en la parte interna del armado Fig. 3.16, otro par de estrobos que se le van a conectar unas de agujas Fig. 3.17, otros dos pares más para que se pueda trampear el armado y una par más que se van a conectar a las orejas de izaje para poder llevarlo hasta la perforación Fig. 3.18.

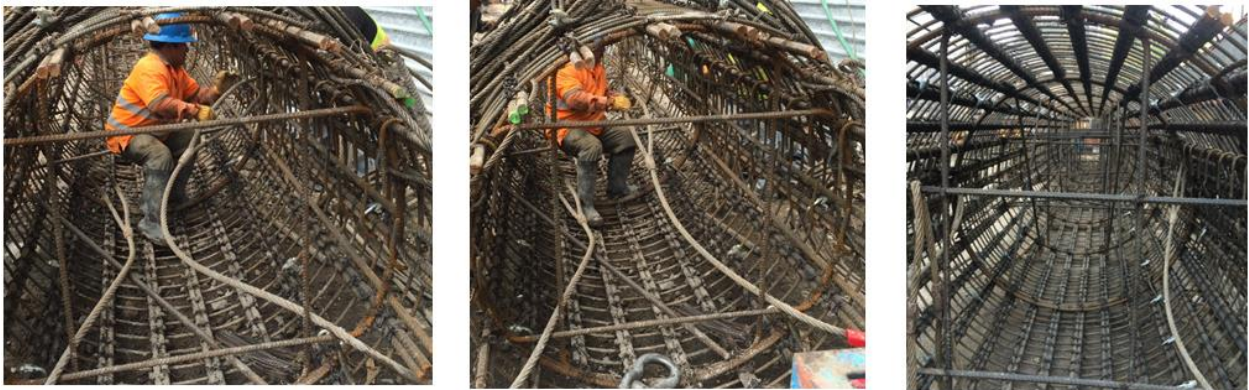


Fig. 3.16, Estrobos por dentro del Armado Superior



Fig. 3.17, Agujas con Estrobos

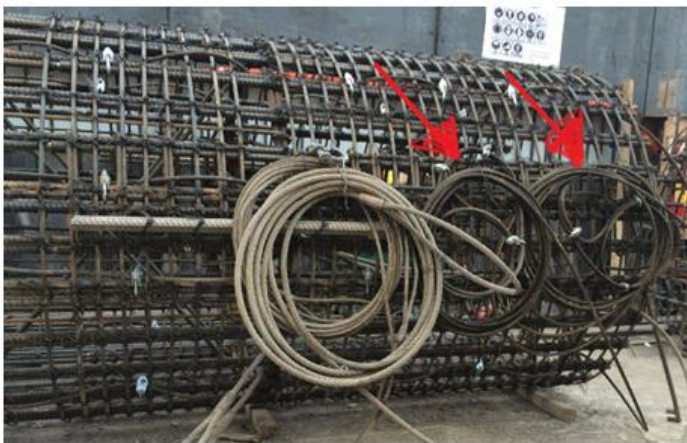


Fig. 3.18, Estrobos para el Trampeo Definitivo

Los estrobos que van en la parte interna del armado y los que están conectados con las agujas van a trabajar de forma conjunta, al introducir uno de los extremos del par de estrobos en el armado se les hacen un dobleces para que quede una "U", esto se hace para que esas "U" salgan del armado y se puedan introducir las agujas, ya introducidas estas se fijan al armado con alambre Fig. 3.19. La función que van a hacer las agujas es sostener los estrobos que se conectaron en la parte interna del armado, es decir, el operador al momento de que ya están conectados el par de estrobos internos al balancín va a tensarlos para que el armado se apriete, esto va a hacer que los estrobos internos aprieten a las agujas y no se salgan, esto se hace en la parte de estar introduciendo el armado en la perforación.





**Fig. 3.19, Colocación de Ajuga en Estrobos Internos**

Para los dos pares de estrobos que son los que van a sostener el armado dentro de la perforación, se van a conectar entre el armado fijados con perros y uno de sus extremos se le van hacer unas orejas igualmente para mantener esas orejas se van a usar perros y estos van a quedar ahogados en el concreto, Fig. 3.20 y Fig. 3.21.



Fig. 3.20, Colocación de Estrobo para Trampeado Final



**Fig. 3.21, Orejas y Trampeado Final**

### 3.2.2.- Unión del Armado Inferior con el Armado Superior.

Los trabajadores empiezan con el anclaje del armado inferior a la grúa, van a conectar un extremo de cada estrobo a los grilletes que están en el armado y el otro extremo va a ser conectado al balancín con otro grillete, Fig. 3.15. Los trabajadores le hacen la señal al operador de que ya puede empezar la maniobra, el operador empieza a izar el armado poco a poco para que no se empiece a deformar el armado, Fig. 3.22, teniendo el armado izado lo lleva directo a la perforación y los trabajadores en el transcurso de que se está llevando el armado a la perforación van cuidando el armado para que no se baile, Fig. 3.23, al momento de que se llega a la perforación los mismos trabajadores acomodan el armado para que entre de forma correcta, le hacen la señal de que lo vayan bajando, Fig. 3.24.



Fig. 3.22, Armado Izado



Fig. 3.23 y 3.24, Colocación del Armado Inferior a la Perforación

Ya que el armado llega a un punto en el cual ya va a estar totalmente introducido a la perforación los trabajadores le hacen una señal al operador para que se detenga y lo puedan trampear de manera momentánea con unos tubos de acero, Fig. 3.25, estos tubos van a soportar toda la parte inferior del armado para que los trabajadores quiten los grilletes del armado junto con los estrobos, para llevárselos y puedan conectárselos a las orejas de izaje del armado superior, Fig. 3.26. Los tubos de acero se van a introducir al armado de manera que queden atravesados, esto se hace en la zona reforzada y se van a estar apoyando en el brocal, Fig. 3.27.



**Fig. 3.25 Colocación de Tubos Metálicos para Trampeo**



Fig. 3.26 Colocación de los grilletes y estribos a las orejas de izaje



Fig. 3.27, Traqueo del Armado Inferior

Trampeado el armado inferior los trabajadores empiezan a conectar los grilletes y estrobos en las orejas de izaje del armado superior y lo conectan al balancín, Fig. 3.28. El operador empieza a izarlo y de igual forma como en el armado inferior se va cuidando para que no se baile, se iza lento y una vez que el operador llega a donde está el armado inferior levanta el armado superior y lo va uniéndolo con el armado inferior, Fig. 3.29, para facilitar la conexión se le hizo unos refuerzos provisionales en el extremo donde se va hacer la conexión, los refuerzos se le hicieron un poco más grande que el diámetro de la pila para que las varillas quedaran abiertas, Fig. 3.30. Una vez hecha la conexión los trabajadores empiezan a cortar los refuerzos provisionales, Fig. 3.31, terminada ese trabajo llegan los fierros para empezar a zunchar la parte de la conexión no olvidando que la parte inferior sigue trampeada con los tubos apoyados en el brocal y el operador manteniendo izada la parte superior, Fig. 3.32.



Fig. 3.28, Conexión del Balancín al Armado Superior



Fig. 3.29, Conexión Armado Superior con Inferior



Fig. 3.30, Arreglo para Facilitar Conexión Armado Inferior con Superior



Fig. 3.31, Corte de Refuerzos Provisionales





Fig. 3.32, Zunchado

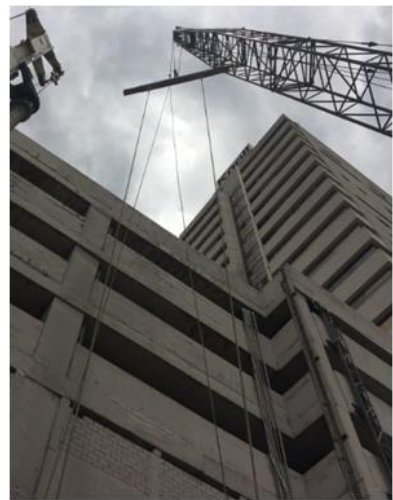
### 3.3.- Colocación del Armado en la Perforación.

#### 3.3.1.- Fijación del Armado.

Terminado el zunchado de la pila los trabajadores quitan el trampeado, se le da la indicación al operador para que pueda seguir bajando el armado, al momento de llegar a la zona donde se encuentran los otros estrobos que se pusieron previamente antes de comenzar la maniobra de izaje se vuelve a trapear el armado para que los trabajadores empiezan a desenredar los estrobos, Fig. 3.33, terminando de desenredar los estrobos desconectan los estrobos que están en las orejas de izaje y también del balancín. Luego los trabajadores conectan al balancín los estrobos que están en la parte interna del armado para que el operador empiece a tensar y así mismo estos agarren a las agujas, Fig. 3.34, ya tenso los estrobos internos los trabajadores desamarran las agujas y conectan al cable auxiliar, Fig. 3.35 los estrobos que están conectados a las agujas, se vuelve a izar el armado para poder quitar el trampeado y así poder ir bajando el armado quedando sumergido en la bentonita.



**Fig. 3.33, Desenredo de Estrobos**



**Fig. 3.34, Conexión de estrobos internos al balcón y Tensado**



Fig. 3.35, Desamarre de las Agujas

Luego los trabajadores empiezan a colocar dos viguetas de acero estructural en el brocal que van a servir de apoyo para los otros cuatro estrobos, estas viguetas se van apoyar en las placas metálicas que se le colocaron al brocal previamente Fig. 3.36, una vez que ya están colocadas las viguetas en las placas los trabajadores empiezan a colocar los estrobos en la viguetas para que cuando terminen el operador pueda seguir bajando Fig. 3.37, al ver que los cuatro estrobos ya están tensos el operador empieza a bajar el balancín junto con el cable auxiliar para poder sacar los estrobos Fig. 3.38, una vez que los estrobos fueron sacados se desconectan del balancín y del cable auxiliar para que después desconecten el balancín de la grúa Fig. 3.39.



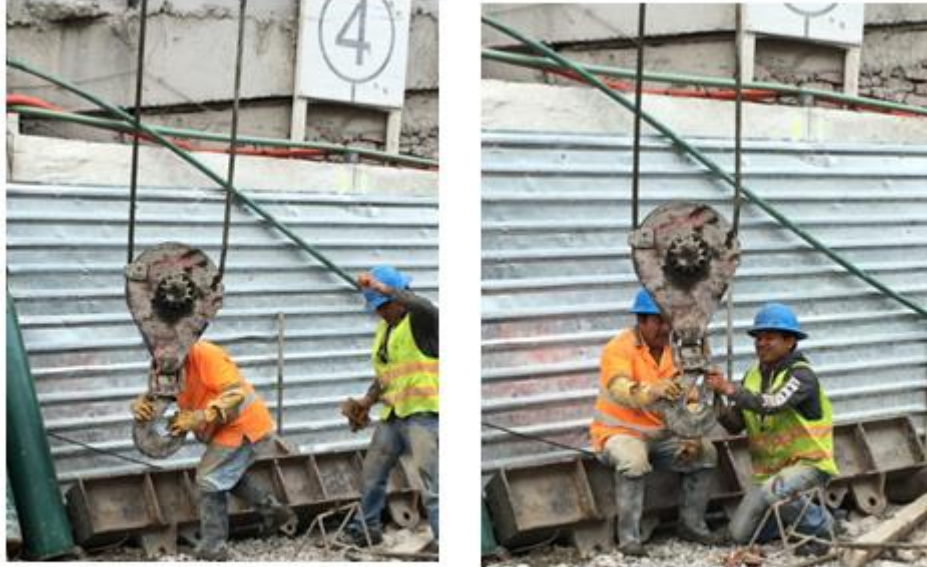
Fig. 3.36, Colocación de Viguetas Metálicas en Placas Metálicas del Brocal



Fig. 3.37, Colocación de Estrobo en las Viguetas



Fig. 3.38, Sacando Estrobo Internos y Agujas



**Fig. 3.39, Desconectando el Blancín de la Garrucha**

Las viguetas son soldadas a las placas y se le sueldan unas varillas en la parte superior para evitar que se muevan y el armado quede fijo Fig. 3.40. Terminando de soldar los trabajadores ponen unas marcas en las viguetas indicando en donde va tener que quedar puntal metálico que se va colocar dentro de la perforación una vez terminado el colado Fig. 3.41.



**Fig. 3.40, Soldado de Viguetas y Varillas**



Fig. 3.41, Colocación de Marcas para Identificar la Posición del Puntal Metálico

#### CAPÍTULO 4: COLADO DE LA PILA.

Se utilizan concretos de alto revenimiento o auto-compactables, generalmente se utilizan resistencias mínimas de  $250 \text{ kg/cm}^2$  que incrementan hasta  $400 \text{ kg/cm}^2$  con revenimientos mayores a 17.50 cm. El colado debe ser continuo para evitar que se formen juntas frías.

Es importante que el agregado pase por todos los espacios del armado para que el concreto ocupe o rellene la perforación, se recomienda que el tamaño máximo del agregado no sea mayor a 2/3 partes de la abertura mínima entre el acero de refuerzo o del espesor del recubrimiento. Se recomienda que los siguientes recubrimientos.

La Federation of Piling Specialits muestra tres mezclas recomendadas para los diferentes revenimientos típicos y sus condiciones de uso, Tabla 4.1.

**Tabla 4.1, Mezclas Recomendadas para Concreto**

Mezcla para Pilas	Revenimiento (cm)	Condiciones de Uso
A	12.5	Para perforaciones en seco. Acero de Refuerzo Ampliamente espaciado para libre movimiento del concreto entre las varillas
B	15	Acero de Refuerzo no esté lo suficientemente espaciado para permitir libertad de movimiento en las varillas. Cuando el diámetro de la pila se menor de 60.00 cm
C	> 17.5	La colocación del concreto sea con el sistema tremie bajo agua o lodo bentonítico

#### 4.1.- Tubería Tremie.

Para colar una pila de cimentación bajo agua o lodo bentonítico, el método más usado es el colar por medio de tubería tremie.

La tubería tremie está hecho de acero en tramos de 1.00 a 6.00 metros, con uniones herméticas lisas para que no se atoren con el acero de refuerzo, en la parte superior de la tubería se acopla una tolva para recibir el concreto, con forma de cónica y con un ángulo entre 60° y 80°, Fig. 4.1.

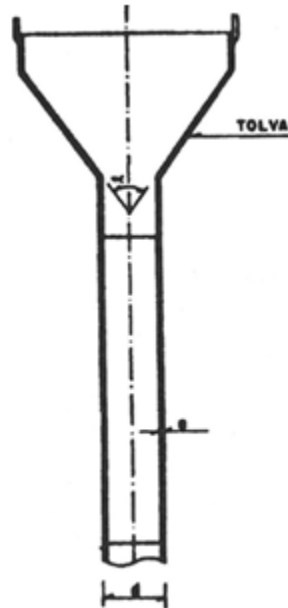


Fig. 4.1, Tubo Tremie

El manejo de la tubería tremie está integrado por varios tramos que se desmontan fácilmente por lo que se recomienda que tenga cuerdas o uniones rápidas. Para la protección de las cuerdas el uso de anillos especiales roscados engrasados, Fig. 4.2.

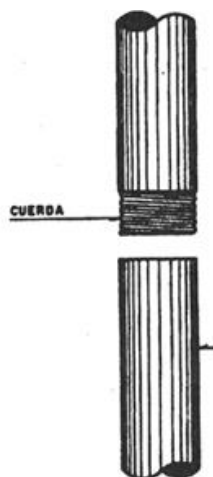


Fig. 4.2, Tubo Tremie con Cuerda



La función de la tubería tremie es colocar el concreto a partir del fondo de la perforación dejando embebido el extremo inferior de la misma, con el avance del colado se tiene un desplazamiento continuo de lodo bentonítico o agua, Fig. 4.3.

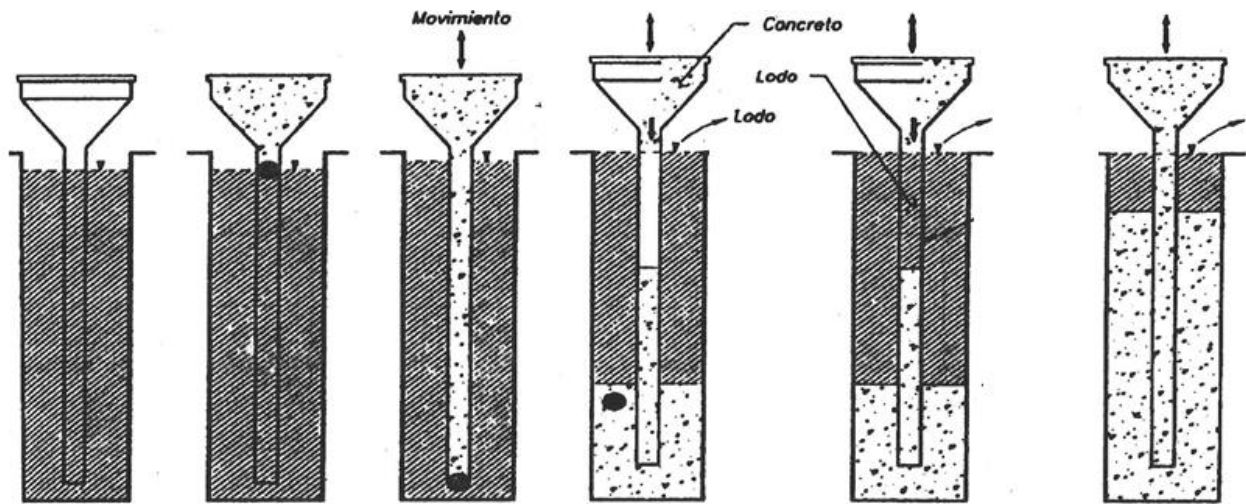


Fig. 4.3, Funcionamiento Tubo Tremie

Con el tubo lleno de concreto se genera una fricción concreto-tubo la cual se rompe con un movimiento vertical brusco para que el concreto fluya vaciándose de manera correcta en la perforación y solo requiere pequeños movimientos verticales para facilitar la descarga. El exceso de movimientos verticales puede ocasionar un ascenso del acero de refuerzo.

La diferencia de densidades del concreto de ( $2.4 \text{ t/m}^3$ ) y el lodo bentonítico ( $1.04 \text{ t/m}^3$ ) influye para que se dé el desplazamiento.

Para poder separar la bentonita del concreto se usa una válvula separadora que es un tapón deslizante (diablo), puede ser una cámara de balón inflada, una esfera de polipropileno o un atado de bolsas vacías de cemento o bentonita, la función de este tapón es evitar la segregación del concreto al iniciar el colado, Fig. 4.4. Al finalizar el colado, el concreto que está en la parte superior se considera un concreto débil o contaminado por el contacto del lodo bentonítico, por lo que se recomienda colar alrededor de 50.00 cm a 1.00 metro más de concreto.

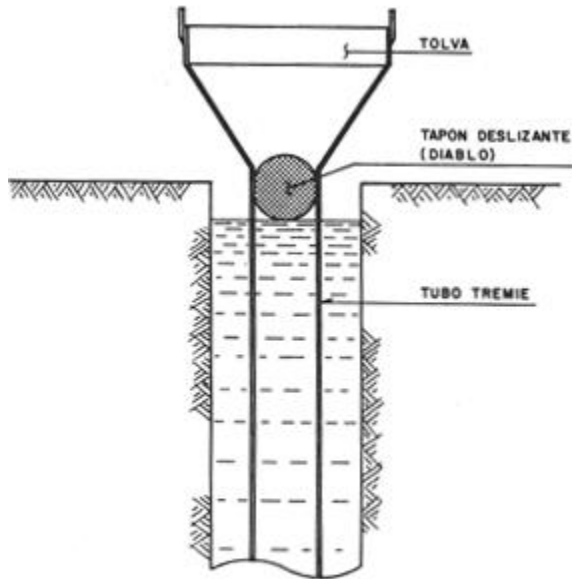


Fig. 4.4, Tapón Deslizante (Diablo)

En momentos el tubo tremie que está en la perforación se le tiene que quitar tramos de la tubería o acoplar tramos de tubería, para que pueda sostener el tubo tremie que está dentro de la perforación se coloca un dispositivo (trampa) para que sostenga de manera momentánea la tubería en lo que se le acopla o retira tramos de tubería, está hecha a base de placas de acero, Fig. 4.5.

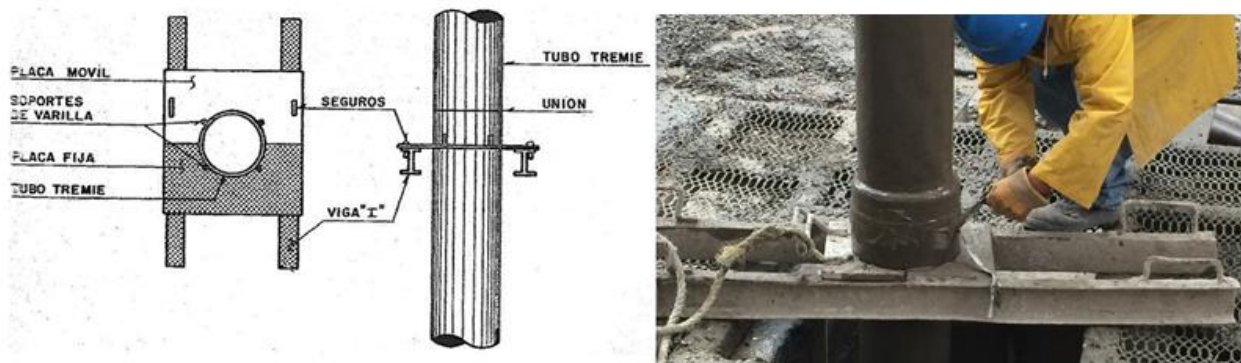


Fig. 4.5, Dispositivo para sostener tubería tremie (trampa)

#### 4.1.1.- Armado del Tubo Tremie.

Para el armado del tubo tremie previamente se tiene que engrasar las partes en donde se va acoplar cada tramo de la tubería. En este caso el tubo tremie se conforma de 16 tramos de 3.00 metros de longitud y un tramo de 1.00 metro de longitud para que quedara un tubo tremie de 49.00 metros aproximadamente, Fig. 4.6.



**Fig. 4.6, Tubería Tremie**

Teniendo el armado introducido en la perforación los trabajadores colocan una plataforma metálica sobre las viguetas antes mencionadas para que puedan trabajar con facilidad a la hora de colar, esta plataforma tiene en el centro un espacio libre para que pueda entrar la tubería tremie y el centro debe de quedar al centro de la perforación para que el tubo no choque con el armado a la hora de estarlo bajando y para que el concreto se distribuya de manera correcta en toda la perforación, Fig. 4.7.



**Fig. 4.7, Plataforma**

Ya puesta la plataforma los trabajadores empiezan armar el sistema de bombeado para el lodo bentonítico con la bomba sumergible, Fig. 4.8, y la tubería tremie, para empezar con el armado de la tubería tremie un trabajador se sube al rack para colocarle a las orejas de la tolva un par de estrobo para que con el cable auxiliar de la grúa lo puedan ir izándolo, Fig. 4.9. El trabajador le da la señal al

operador para que pueda izar la tolva y la coloque en un tramo de la tubería, ya colocada la tolva el trabajador le da la indicación que se detenga para que le coloque el chicote (cable de acero) dentro del tubo y este haga que se fijen las dos partes, una vez que el trabajador termina de introducir el chicote le da la señal al operador de izar el tubo para poder guiarlo al siguiente tramo de la tubería y volver a colocar otro chicote para que se fijen. Esta operación se repite para los siguientes tramos, Fig. 4.10.



Fig. 4.8. Armado Sistema de Bombeo



Fig. 4.9, Tolva, Conexión a la Grúa.



**Fig. 4.10, Chicote, Armado Tubería Tremie**

#### 4.1.2.- Colocación de la Tubería Tremie.

Los trabajadores armaban la mitad de la tubería y la introducen a la perforación, cabe mencionar que al momento que la tubería se fuera introduciendo los trabajadores le hacen la señal al operador para que se detenga y los trabajadores puedan colocarle cinta gaffer en cada unión de los tramos de la tubería para evitar que haya fugas de concreto Fig. 4.11, una vez introducida la mitad de la tubería los trabajadores le colocaban al tubo la trampa para poder sostener y quitar la tolva para poder armar la otra mitad de la tubería tremie, la trampa lo que hace es sostener el tramo de la tubería que está dentro de la perforación Fig. 4.12.



**Fig. 4.11, Colocación de Cinta Gafferr**



Fig. 4.12, Colocación de la Trampa para sostener la tubería tremie

Una vez armado la otra mitad del tubo se vuelve a repetir la colocación de la cinta gaffer en cada unión de los tramos de la tubería, al último se vuelve a colocar la trampa para volver a quitar la tolva para colocar el tramo de 1.00 metro para así tener toda la tubería tremie armada Fig. 4.13. Colocado el último tramo la tubería queda lista para el colado Fig. 4.14.



Fig. 4.13, Colocación del último tramo de la tubería tremie



**Fig. 4.14, Tubo Tremie armado listo para el colado**

## 4.2.- Concreto

### 4.2.1.- Características del Concreto.

La empresa que suministró el concreto premezclado para las pilas fue GRUPO KLINKA.

El concreto que se utilizó para el colar todas las pilas se muestra en la siguiente Tabla 4.2:

**Tabla 4.2 Características del Concreto**

Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	TMA (mm)	Revenimiento (cm)	Tipo de Concreto
350	28	20	22	Clase 1: Peso Volumétrico en estado fresco 2.2 t/m <sup>3</sup>

El volumen de concreto para la pila de 2.50 metros de diámetro es de **157.00 m<sup>3</sup>**

En obra la característica que se revisa al momento de que llega y antes de ser colocado es el revenimiento, se le hace la prueba de revenimiento de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-156-ONNCCE-1997, esta prueba la hace una persona certificada por el ACI (American Concrete Institute) y el

decide si el concreto tiene el revenimiento correcto en base a la tolerancia y a la hoja de remisión Figura 4.15 y 4.16.



Fig. 4.15, Prueba de Revenimiento

**GRUPO KLINKA**  
 Bosques de Duraznos 75 Piso 11 - 1108  
 Bosques de las Lomas, Deleg. Miguel Hidalgo  
 México, D.F. C.P. 11700  
 R.F.C. GKL-140313-BR8  
 T. 5247 7304 - 5248 2251 - 5245 0214

**PLANTA VALLEJO**  
 FOLIO:  
 DIA MES AÑO

REMISION *4* *1800m<sup>3</sup>*  
 3104663  
 11-200-15

FACTURAR A: **INDUSTRIA VALLEJO SA DE CV**  
 ENTREGAR EN: **REFORMA 297**  
 AV. PASEO DE LA REFORMA 297. COL.  
 COAHUYEMOC, DELEG. COAHUYEMOC

OPERADOR: **JESUS GRANADOS** TAMAUCARDIS PRODUCTO: 0016 DESCRIPCION: Eduardo Lopez

M3 PEDIDOS	M3 ENTREGADOS	M3 CARGADOS	PRODUCTO	CLASE	EDAD	TMA	REVENIMIENTO	COLOCACION	BOMBA
138.00	28.00	7	350N2022C1B0		28	20	22		
ADITIVOS ADICIONALES			350		28	20	22		
			SALIDA PLANTA		15:40		LLEGADA A OBRA		16:18

OBSERVACIONES: PERMANENCIA 4 HRS  
*Pila 22 Ex 2/A*

RECIBO: *[Signature]*

**AYUDENOS A SERVIRLE MEJOR: HACIENDO SUS PEDIDOS CON ANTICIPACION.**  
 Al firmar el cliente esta nota de remisión, acepta que el concreto entregado satisface las características de revenimiento especificadas en las mismas y por lo tanto, no se aceptan reclamaciones posteriores originadas por cualquier aumento en el revenimiento originado y permitido por el comprador que modifique en a obra las características del concreto entregado.

4664

Fig. 4.16, Hola de Remisión



#### 4.2.2.- Dosificación y Mezclado.

La dosificación y mezclado para un concreto se puede realizar de varias maneras:

- Botes.
- Plantas dosificadoras
- Plantas dosificadoras y mezcladoras
- Pala
- Revolvedora

Al ver que se necesitaría un volumen importante de concreto se pensó cual sería la solución ideal para poder proveer esos volúmenes de concreto.

Debido al poco espacio libre que se tenía en la obra no se podía poner una planta provisional de concreto, tampoco se podía almacenar los bultos de cemento, grava y arena para poder hacerlo en obra por lo tanto se decidió que el concreto fuera premezclado hecho en la planta dosificadora y mezcladora de GRUPO KLINKA.

#### 4.2.3.- Transporte.

Existen muchas maneras de transportar el concreto por ejemplo:

- Botes.
- Carretillas.
- Camión revolvedor.
- Auto-concretera.
- Camión concretero.
- Camión de volteo.
- Camión agitador.
- Camión flow-boy.

El concreto premezclado se transportó por medio de camiones revolvedores cuya capacidad es de 7.00m<sup>3</sup> Fig. 4.17.



**Fig. 4.17, Comión Revolvedor**

Para poder colar los 157.00 m<sup>3</sup> se necesitaron 22 camiones revolvedores.

#### 4.2.4.- Colocación.

El concreto se puede colocar de varias maneras:

- Bandas transportadoras.
- Banda transportadora montada sobre camión revolvedor.
- Bachas.
- Grúa y bacha.
- Bombas.
- Extendedora de Tornillo.
- Camión revolvedor con canaleta.

Para la colocación del concreto se utilizó la canaleta del camión revolvedor, esta se colocaba cerca del cono del tubo tremie para verter el concreto Fig 4.18.



Fig. 4.18, Colocación de Concreto en Tubo Tremie

Para vibrar el concreto se hacía un sube y baja del tubo tremie (chaqueteo) con la ayuda de la grúa para que el concreto se distribuyera de manera correcta en la perforación.

Cuando se cuela una pila y su perforación tiene bentonita lo que va hacer el concreto es ir desplazando la bentonita de manera ascendente de tal forma que el concreto va ocupar el espacio de la bentonita, para que esto suceda se debe tener embebido el tubo tremie 2.00 metros en el concreto por eso es importante que sepamos cuantos metros sube de lodo bentonítico por cada olla de concreto en este caso subía 1.43 metros/olla de concreto. En el momento en que el lodo bentonítico empieza a subir, este se bombea a los contenedores por medio de una bomba de lodos, ente caso se usó una bomba NABOHI de 7.5 HP Fig. 419.



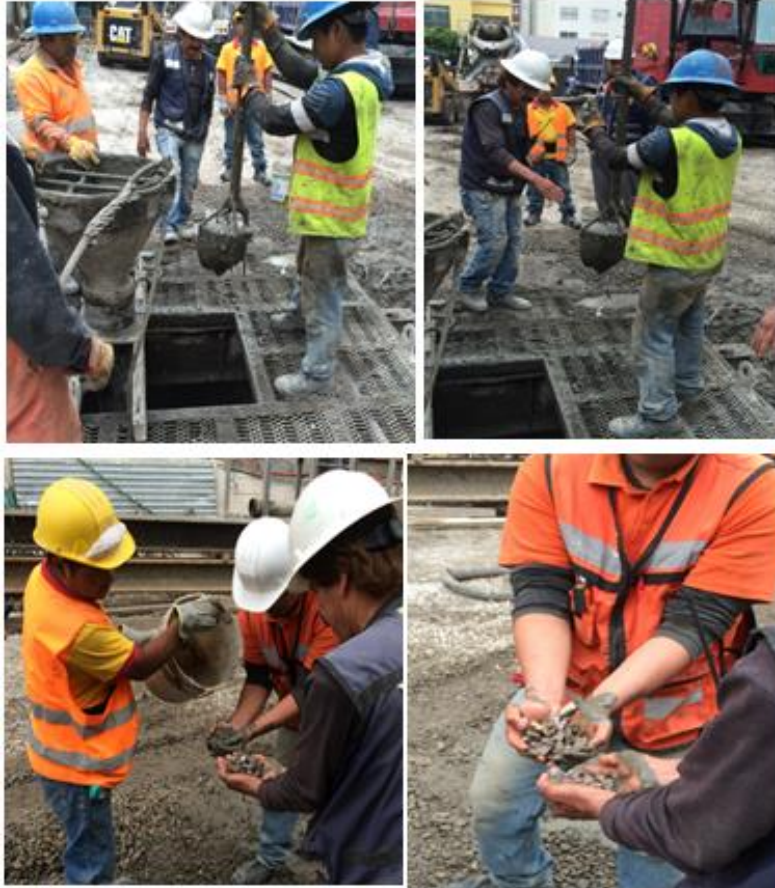
Fig. 4.19, Bomba sumergible, Contenedor

Lo anterior es de mucha importancia tanto para los trabajadores que están en el colado como para los trabajadores que están monitoreando el nivel del lodo bentonítico, para los trabajadores que están en el colado van a determinar cuándo es necesario empezar a quitar tramos de tubería para que al término del colado no les sea difícil sacar el tubo tremie así que se decidió sacar dos tramos de tubería (6.00 metros) a las 12 ollas de concreto, luego otros 2 tramos de tubería a las 16 de ollas de concreto y 2 tramos más de tubería a las 18 de ollas de concreto, en el caso de los trabajadores que monitorean el nivel de lodo bentonítico es necesario que estén viendo que el lodo bentonítico no se salga de la perforación y la bomba siga sumergida en lodo.

Al vaciar la última de olla de concreto (olla número 22) con un tiempo de colado de 8 horas, se introducía una sonda a la perforación para corroborar que el concreto estuviera en el nivel planeado (nivel -18.00 metros), esta sonda en un extremo se le colocó una castilla para que al momento de que llegara a los 18 metros esta recogiera una muestra de concreto y en el otro extremo se le colaba una marca para saber que donde eran los 18 metros, con la ayuda de la grúa se introducía y al momento de sacarla se veía que la castilla tuviera concreto Fig. 4.20 y 4.21.

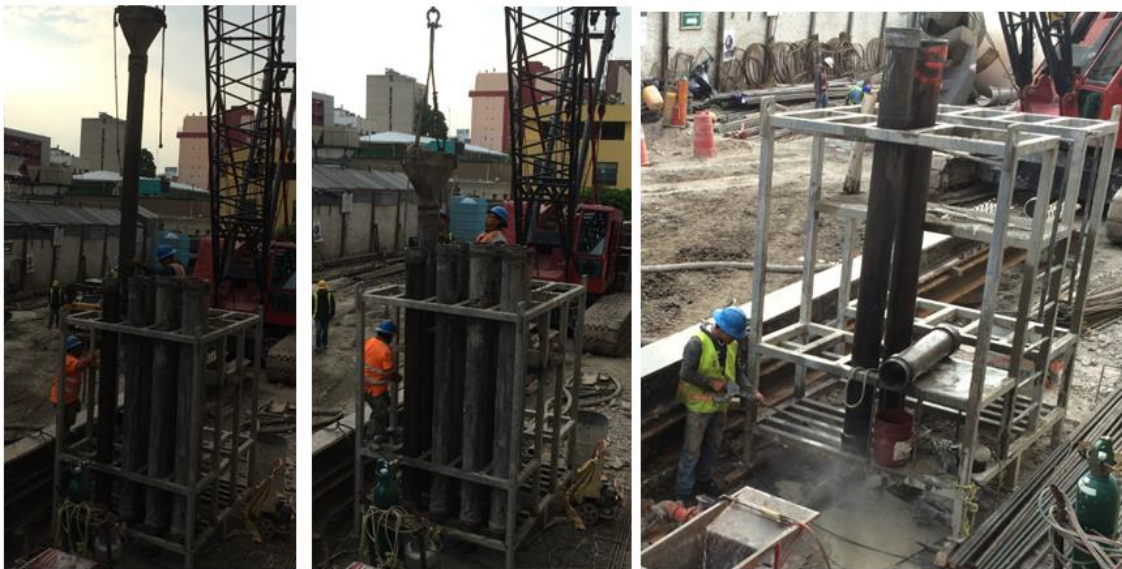


Fig. 4.20, Sonda.



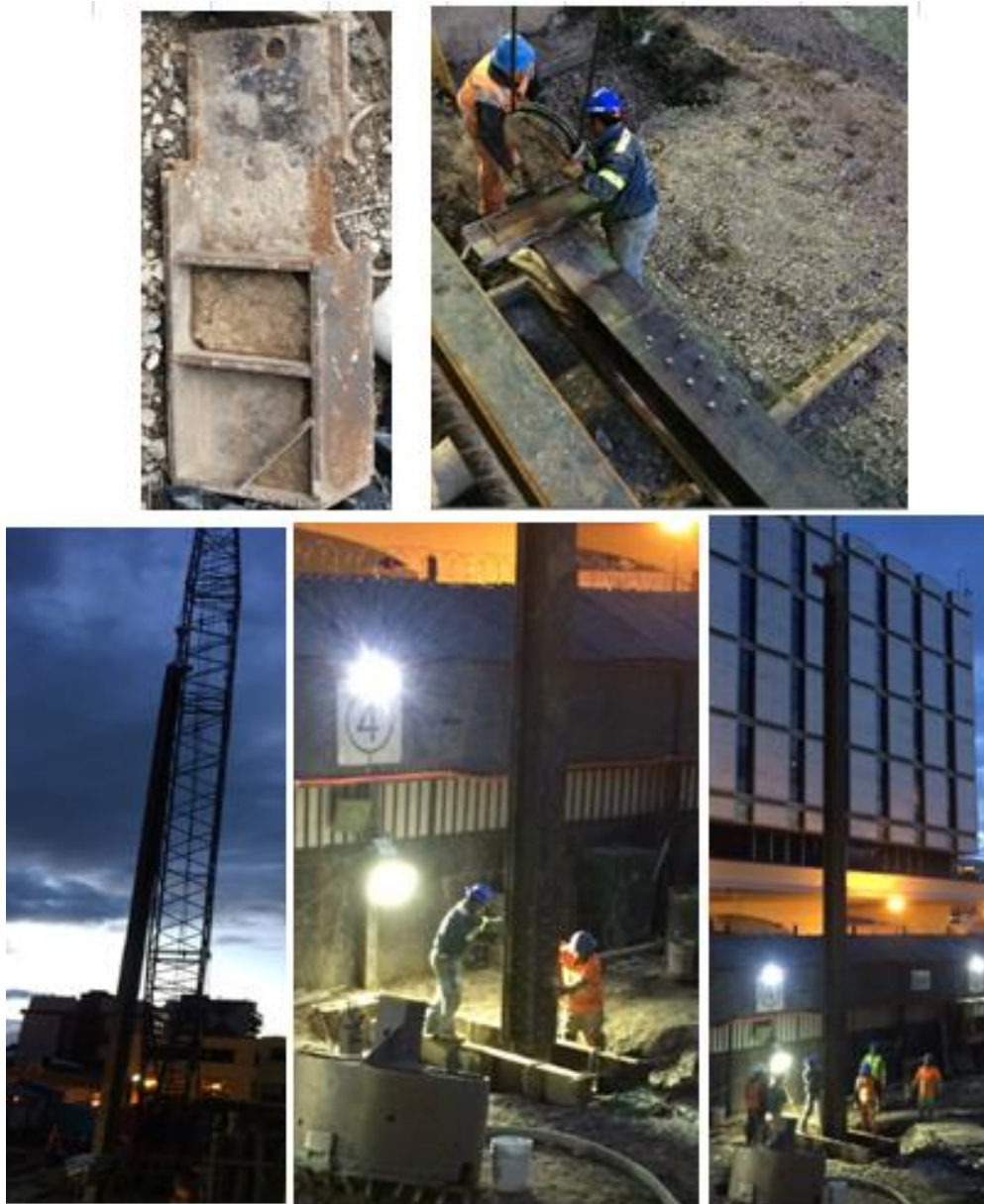
**Fig. 4.21, Obtención Muestra de Concreto**

Después de hacer el sondeo los trabajadores empezaban a desarmar el tubo tremie y colocaban los tramos de nuevo en el rack con la ayuda de la grúa para limpiarlos después con la Karcher Fig. 4.22.



**Fig. 4.22, Desarmado Tubería Tremie, Lavado Tubería Tremie**

Lo que se describirá a continuación solo forma parte de los trabajos que se hicieron para el sistema “Top Down”. Una vez que se quitó el tubo tremie se colocaba el puntal metálico de una longitud de 23.00 metros en pila y quedaba embebida en el concreto 3.00 metros, la colocación de la columna metálica se hacía con la ayuda de la grúa y previamente se le soldaba una pieza para poder izarla Fig. 4.23, terminada la colocación se retiraba la plataforma y se le colaba a los costados unas viguetas metálicas para que no se fuera a mover del centro, estas también se soldaban tanto en el puntal metálico como en las viguetas que ya se habían puesto que sostenían al armado Fig. 4.24.



**Fig. 4.23. Colocación Puntal Metálico**



**Fig. 4.24, Posición Final Puntal Metálico**

Al día siguiente quitaban todos los cordones de soldadura que se hicieron para poder fijar la columna metálica a las viguetas con en el equipo de corte, así mismo se cortaban los estrobos que estaban soportando al armado, también se quitaban los cordones de soldadura que les hicieron a las viguetas que estaban apoyadas en las placas metálicas del brocal y la pieza que soldó para poder izar el puntal metálico Fig. 4.25.



**Fig. 4.25, Corte Estrobo y Corte de Cordones de Soldadura**

También se bombeaba el exceso de lodo bentonítico hasta que quedara en el nivel inferior del brocal (1.50 metros), para que se rellenara después de grava simplemente por medidas de seguridad ya que había un flujo continuo de trabajadores Fig. 4.26 y Fig. 2.27.





Fig. 4.26, Bombeo Exceso Lodo Bentonítico



Fig. 4.27, Relleno de Perforación con Grava

En la Tabla 4.3 se muestra el volumen total de concreto que se colocó en la pila 2.50 metros y tiempo de colado.

**Tabla 4.3, Volumen de Concreto**

<b>Diámetro (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Horas de Colado (hrs)</b>
2.50	32.00	4.91	157.08	8.00

## CONCLUSIONES.

El estudio de mecánica de suelos es el parteaguas para poder empezar el proyecto dado que este nos va a decir que tipo de cimentación utilizar, estructura de contención se tiene que construir para que el edificio no presente ninguna falla y a que profundidad se encuentra el estrato que puede resistir todo el peso del edificio, va a proporcionar recomendaciones de las dimensiones que debe tener la cimentación y que comportamiento va a tener la estructura a lo largo de toda su construcción. Puedo decir que sin un estudio de mecánica de suelos estaríamos trabajando a ciegas suponiendo muchas cosas que pueden repercutir a la hora de la ejecución del proyecto.

Lo que va hacer que avance la construcción de la pilas de cimentación es primordialmente el lodo bentonítico que realmente va a ser el que va a contener o estabilizar las paredes de la perforación para que haya un avance en la perforación y de nuevo el estudio de mecánica de suelos va jugar un papel importante debido a que nos va decir que densidad tenemos que tener el lodo bentonítico, la viscosidad, el contenido de arena y el PH en base a los sondeos que se hacen para saber qué tipo de suelo hay. Puedo decir que la bentonita representa el 90% de todo el proceso constructivo.

El tener una planta de lodo bentonítico con la capacidad suficiente para poder proveer el volumen que se necesita para poder estabilizar las perforaciones, al no tener esa capacidad, puede representar atraso a la perforación al no tener la planta, la capacidad de poder hacer el volumen requerido para la perforación.

En el proceso del armado es muy importante que todas las piezas estén correctamente conectadas y amarradas, colocar los refuerzos necesarios para cuando se comience el izaje el armado no sufra deformaciones o se desamarran. Lograr que el armado mantenga su forma.

Para la maniobra de izaje es importante que el operador empiece a manipular el armado lo menos brusco posible para que el armado al momento de estar izado no esté bailando y no provoque daños a la grúa o a trabajadores, al momento de que la grúa avance a la perforación los trabajadores deben de ir cuidando que el armado se mantenga estable en todo momento.

El colado debe ser continuo no se debe de parar en ningún momento, para evitar que se formen juntas frías, es muy importante que cada olla de concreto que llegue a la obra se le realice la prueba de revenimiento, al momento de estar colocando el concreto en el tubo tremie revisar que el concreto se vaya depositando en la tolva de manera correcta, si el concreto sale de la olla en forma de bola los trabajadores tendrán que romper esa bola con una varilla para entre al tubo de manera correcta.

La maniobra de izaje, la colocación del armado en la perforación, el colado de la pila y la colocación del puntal metálico son actividades que se tienen que hacer el mismo día, la perforación entre menos días la tengamos abierta es mejor porque si hacemos cada actividad mencionada anteriormente en diferente día lo único que va a suceder es que se vaya generando azolve dentro de la perforación y haga que se modifiquen las propiedades de la bentonita, dañando esa costra que se forma en las paredes de la perforación y va provocar que se desestabilice con presencia de caídos.

## **RECOMENDACIONES.**

- 1.- Revisar las propiedades del lodo bentonítico en base al proyecto.
- 2.- El operador que este perforando siempre este revisando la referencia con el barretón para conservar la verticalidad de la perforación.
- 3.- El suministro de lodo bentonítico a la perforación debe ser continuo.
- 4.- Se debe de estar revisando el nivel de lodo bentonítico al momento del colado para que este no se empiece a salir de la perforación, por lo que se debe de estar bombeando continuamente al momento de colar la pila.
- 5.- Hacer un mejoramiento del terreno en donde va estar la perforadora para que esta se mantenga estable y no haya riesgo de que se pueda hundir en el terreno.
- 6.- Tener el área despejada para las actividades como la maniobra de izaje, colocación de la parte inferior y superior del armado, colado de la pila y colocación del puntal metálico.
- 7.- Fijar y colocar de manera correcta los estrobos que se le colocan al armado superior antes de izarlo.
- 8.- Al momento de armar el tubo tremie revisar que todas las partes estén correctamente ensambladas y selladas para evitar filtración de concreto.
- 9.- Buena comunicación entre los trabajadores con el operador que está izando el armado para que no haya riesgo de que se dañe el armado.
- 10.- Terminado el colado, limpiar el tubo tremie tanto en el exterior como en el interior para que no quede ningún residuo de concreto.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos, A.C., Manual de Cimentaciones Profundas, SMMS, 2010.

Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos, A.C., Manual de Diseño y Construcción de Pilas y Pilotes, SMMS, 1989.

J. Masal Raúl, Notas Sobre el Diseño y Construcción de Cimentaciones en el Distrito Federal, CFE, 1986