

23

24



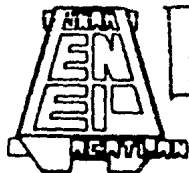
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

UTILIZACION DE MUROS COLADOS, "IN SITU" Y MUROS PRECOLADOS PARA EL SOPORTE DE SUELOS

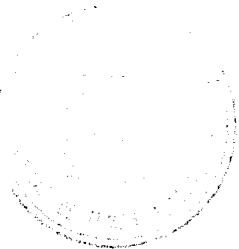
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTA: ROBERTO RICARDEZ MERIDA



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.



1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I PRINCIPIOS GENERALES DE LOS MUROS	
I.1 Análisis de diseño	3
I.1.1 Introducción	3
I.1.2 Empujes que actúan sobre los muros	4
I.1.3 Empuje de presiones redistribuido	10
I.2 Aspectos del proceso constructivo	23
I.2.1 Excavación de las zanjas para brocales	25
I.2.2 Características de los muros colados "in situ" y de los muros precolados	31
CAPITULO II MUROS COLADOS "IN SITU".	
II.1 Excavación de las zanjas para tableros	34
II.2 Estabilización de la excavación	37
II.2.1 Propiedades de los lodos	38
II.2.2 Preparación de los lodos bentoníticos	42
II.2.3 Acción estabilizadora	44
II.2.4 Descripción del método de estabilización	48
II.2.5 Limpieza de la excavación	49
II.3 Colocación del armado	50
II.4 Colado de los muros	54
II.4.1 Concreto	54
II.4.2 Colocación del concreto	54
CAPITULO III MUROS PREFABRICADOS.	
III.1 Excavación de las zanjas para los muros	58
III.2 Estabilización de la excavación	61
III.3 Colocación de los muros	63

	Pág.
CAPITULO IV EJEMPLOS DE APLICACION.	
IV.1 En cimentaciones	68
IV.2 En líneas del Metro	88
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFIA	104

INTRODUCCION

Para detener el empuje de suelos que se genera en una excavación se han utilizado elementos de concreto, madera y elementos prefabricados como son el acero y los precolados.

Dentro de los elementos de concreto están los muros colados "in situ" o muros Milán como se les conoce generalmente.

En el segundo grupo que corresponde a elementos prefabricados se encuentran los muros precolados o tablaestacas precoladas, teniendo dos tipos de tablaestacas precoladas; el primer tipo se caracteriza por que aquí el elemento precolado es más flexible y su colocación se hace através de hincado del elemento por medio de martinetes; el segundo tipo se diferencia del primero por que aquí la tablaestaca precolada es más rígida y su colocación se hace através del método del muro Milán.

En este trabajo de tesis se hablará de dos elementos de contención, los cuales son los muros colados "in situ" o muro Milán y las tablaestacas precoladas que se colocan por medio del método del muro Milán.

En los últimos años los muros colados "in situ" y los muros prefabricados, se han utilizado satisfactoriamente para soportar el empuje de suelos que se genera en la construcción de cajones de cimentaciones y de líneas del Metro.

Se ha adquirido una gran experiencia en la Ciudad de México en la utilización de los muros colados "in situ" desde que se empezaron a utilizar en la construcción del Metro subterráneo y por lo consiguiente fueron de vital importancia los conocimientos y la experiencia que se adquirió para utilizarlos en la construcción de cajones para cimentaciones de grandes edificios en la Ciudad de México.

En cambio los muros prefabricados que son construídos por el método del muro Milán, solo se han utilizado en la construcción de cajones de líneas del Metro y por lo tanto no se tiene experiencia en la utilización de éstos elementos precolados en cimentaciones, actualmente se les considerará como un método a prueba.

En este trabajo de tesis se da información general en los procesos constructivos de ambos elementos de soporte, además de presentarse dos ejemplos prácticos de aplicación de ambos elementos.

En el capítulo primero se da en forma sencilla, el diseño de los muros colados "in situ" y de los muros precolados, también se explican algunos aspectos del proceso constructivo, en los cuales hay una similitud en ambos elementos de soporte.

El proceso constructivo de los muros colados "in situ" y de los muros prefabricados se explica en el capítulo segundo y tercero respectivamente.

El capítulo cuarto presenta dos ejemplos de aplicación; primero en la cimentación de un edificio, en el cual se utilizó muro colado "in situ" el segundo ejemplo práctico que se presenta en este trabajo corresponde a la construcción de un tramo de la línea 9 del Metro, en el cual se utilizó muros prefabricados o tablaestacas prefabricadas.

CAPITULO UNO

PRINCIPIOS GENERALES DE LOS MUROS

I.1 Análisis de Diseño.

I.1.1 Introducción.

En este capítulo se tratará el tema de la determinación de los empujes de tierras que se ejercen sobre los muros colados "in situ" y los muros precolados. El muro se diseña como un muro tablaestacado.

Para el análisis estructural de los muros tablaestacados se establecen dos condiciones bajo las cuales el suelo ejerce un empuje activo. La inicial que corresponde a la etapa de la excavación del bloque de suelo entre muros y la final, a la etapa posterior a la excavación.

Para el cálculo de empujes correspondientes a la condición inicial se considerará que antes de la colocación del primer nivel de troqueles, el empuje total estaría integrado por el empuje de suelo propiamente dicho y del empuje hidrostático. Se consideró que conforme avanza la excavación entre muros, estos tienen libertad de girar hacia la excavación sobre un eje imaginario, longitudinal a ellos, localizado en su base, con lo cual dentro de la masa de suelo contenida por ellos, se genera un estado de equilibrio plástico.

De esta manera el empuje de suelo que se genera bajo esta condición corresponde al empuje activo de Rankine.

Conforme continua la excavación entre muros y el apuntalamiento entre los mismos, el empuje de suelo se redistribuye de una manera que depende fundamentalmente de la continuidad y flexibilidad de los muros y de la forma en que se coloque cada puntal o troquel con una presión predeterminada.

L.1.2 Empujes que actúan sobre los muros.

Como se dijo anteriormente los empujes que actúan en los muros tablaestacas están regidos por la teoría de Rankine para empujes activos y empujes pasivos. Se considerará que el tipo de equilibrio plástico susceptible a establecerse detrás de un muro depende del movimiento que pueda tener este último. Esta teoría supone que el esfuerzo vertical es el principal y que corresponde al peso del terreno (figura 1.1).

$$P_v = \gamma Z$$

en donde:

γ = peso específico del suelo que se encuentra arriba del elemento.

Z = profundidad a la que se encuentra el elemento de suelo considerado.

Bajo los efectos de la presión vertical, en el suelo se generarán esfuerzos laterales, debido a esto el suelo adyacente al elemento reaccionará con una presión horizontal (P_h), que, con base a la experiencia, se ha aceptado como directamente proporcional a la presión vertical (P_v), es decir:

$$P_h = K_o P_v$$

en donde:

K_o = coeficiente de presión de tierras en reposo.

- SUELOS FRICCIONANTES

De acuerdo con Rankine se dirá que un suelo está en estado plástico cuando se encuentre en estado de falla incipiente generalizado. En la práctica existen dos métodos para llevar un suelo a la falla.

a) Disminuir el esfuerzo horizontal y mantener el vertical constante (figura 1.2).

$$\sigma_1 = P_A = K_A Z$$

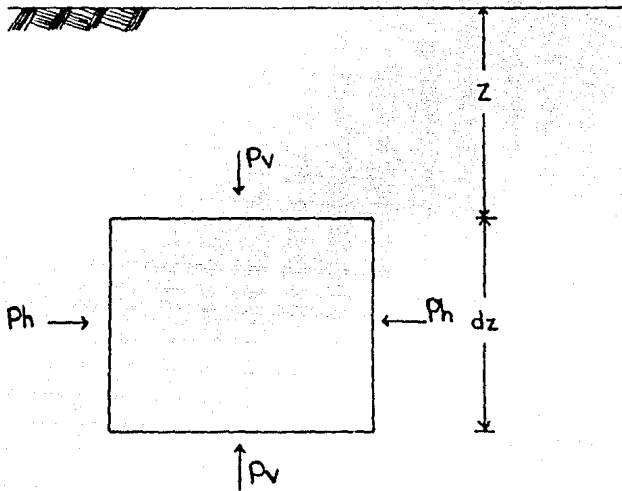


FIG. 1.1 PRESIONES EN UN ELEMENTO DE SUELO

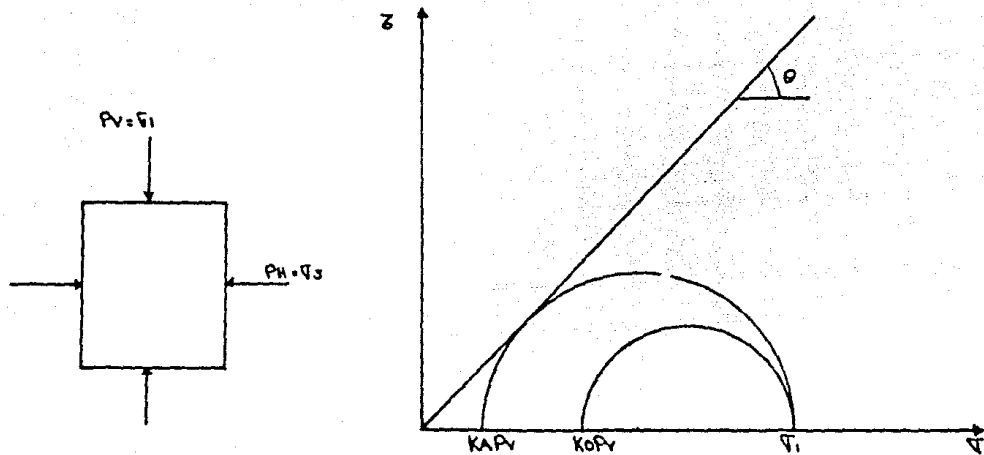


FIG. 1.2 DESARROLLO DE LA PRESION ACTIVA

en donde:

\bar{V}_3 = esfuerzo principal menor

K_A = coeficiente de presión activa en tierras, se obtiene a partir de la formula:

$$K_A = \tan^2 (45^\circ - \beta/2)$$

en donde:

β = angulo de fricción interna del suelo.

b) Aumentando el esfuerzo horizontal con el vertical constante (figura 1.3).

$$\bar{V}_3 = P_p = K_p Z$$

en donde:

K_p = coeficiente de presión pasiva de tierras, se obtiene con la formula:

$$K_p = \tan^2 (45^\circ + \beta/2)$$

por lo tanto:

$$K_A = K_p^{-1}$$

De acuerdo con lo anterior existen dos estados de equilibrio plástico. El activo, que se obtiene con el esfuerzo horizontal y cuando este alcanza su valor mínimo ($K_A Z$), el pasivo, que ocurre cuando dicha presión horizontal alcanza su valor máximo ($K_p Z$).

Se sabe que la presión activa horizontal es $P_A = K_A Z$; efectuando la integración de la formula para una altura dz y un ancho unitario nos quedará que la fuerza que actúa por unidad de longitud del muro tablaestacado será:

$$E_A = 1/2 K_A H^2 \quad (\text{Empuje Activo})$$

$$E_p = 1/2 K_p H^2 \quad (\text{Empuje Pasivo})$$

De acuerdo con lo anterior se tendrá diferentes fórmulas para distintos tipos de suelos como se indica a continuación:

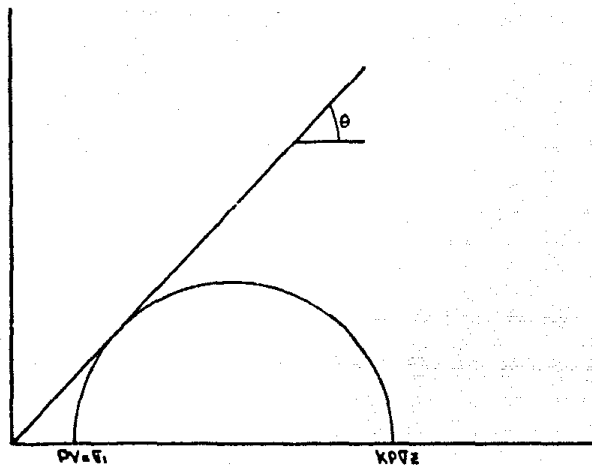
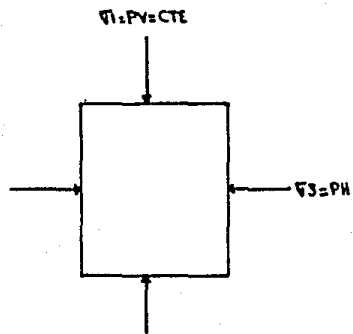


FIG. 1.3 DESARROLLO DE LA PRESION PASIVA

- SUELOS COHESIVO.

Se tendrá de acuerdo a Rankine las siguientes fórmulas:

$$E_A = 1/2 \gamma H^2 - 2HC$$

$$E_P = 1/2 \gamma H^2 + 2HC$$

que corresponden al empuje activo y pasivo en estratos arcillosos.

- SUELO COHESIVO - FRICCIÓNANTE

Según Rankine se utilizan las siguientes fórmulas:

$$E_A = 1/2 K_A \gamma H^2 - 2C \sqrt{K_A} H$$

$$E_P = 1/2 K_P \gamma H^2 + 2C \sqrt{K_P} H$$

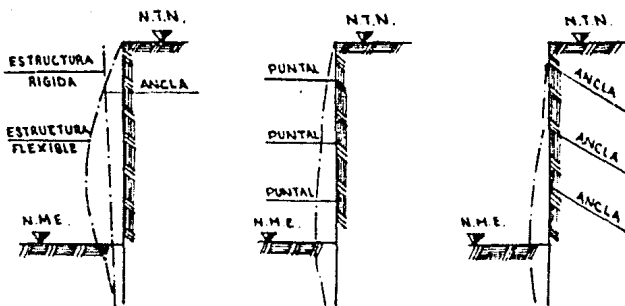
I.1.3 Empuje de presiones redistribuido.

Los muros tablaestaca son estructuras de retención que se considerarán flexibles y los empujes que se toman en cuenta para su análisis, siguen una distribución de esfuerzos diferentes a la que se utiliza para analizar las estructuras de contención rígidas.

En la (figura 1.4) se observa que las deformaciones en el extremo superior de una estructura flexible son considerablemente menores que las deformaciones de una estructura rígida, mientras que en el nivel máximo de excavación ocurre lo contrario en consecuencia, la magnitud de la presión de tierra contra los muros es diferente a la presión activa calculada con las teorías de Rankine, ya que la distribución de presiones no es lineal y depende básicamente de las propiedades mecánicas del suelo que lo soporta, de los desplazamientos laterales que se producen en el terreno y de la relación entre la profundidad a la que se colocan los troqueles con una presión predeterminada y de la profundidad de la excavación.

TABLAESTACAS APUNTALADAS.

El diagrama de presiones que actúa sobre este tipo de estructuras se puede comprender si se toma en cuenta la forma en que el suelo se deforma al ir avanzando la excavación. Al colocar el puntal superior no se permitirá desplazamiento horizontal apreciable del suelo en ese punto. Al llegar la excavación a un nivel más bajo, el suelo tenderá a desplazarse hacia fuera hasta que se coloque el siguiente puntal. Así pues, el esquema general del desplazamiento del suelo es una rotación en torno a un cierto punto próximo al extremo superior del tablaestacado (punto O de la figura 1.5).



a) TABLAESTACA ANCLADA b) TABLAESTACA APUNTALADA c) ADEME ACLADO

FIG. 1.4 DEFORMACIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES

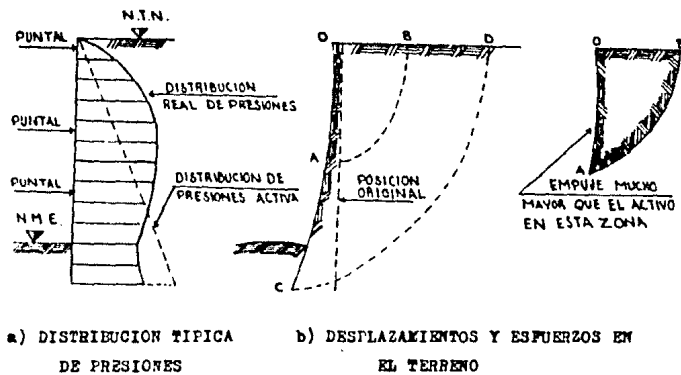


FIG. 1.5 DISTRIBUCION DE PRESIONES, DESPLAZAMIENTOS Y ESFUERZOS EN UNA TABLAESTACA APUNTALADA

Aunque la distribución de presiones sobre un tablaestacado apuntalado es muy diferente a la distribución del empuje activo propuesta por Rankine, el valor del empuje total es muy similar, por lo tanto se permite calcular un diagrama de presiones equivalente llamandosele a éste, empuje de presiones redistribuido, el cual representa una envolvente de posibles distribuciones reales de presiones (figura 1.6).

Los dos puntos principales que se deben de considerar al analizar el apuntalamiento del tablaestacado son los siguientes:

- a) Los puntales superiores estarán sometidos a cargas mucho mayores de la que podrán deducirse a partir del análisis considerando el empuje activo.
- b) Los puntales a compresión constituyen un sistema en equilibrio inestable que pueden fallar en cuanto comienza a ceder elásticamente de manera que para evitar esta falla, muchas veces se aplica una precarga inicial.

Las elevaciones de los diferentes puntales se eligen por comodidad para evitar interferencias con la estructura que se va a construir dentro de la zona que se esta aislando, y para evitar grandes deformaciones durante la excavación.

Una vez que se a elegido las elevaciones, se obtiene la carga con la que deben diseñarse los puntales, partiendo del diagrama de presiones redistribuido. Si no se colocan los puntales en el fondo de la excavación, la parte tributaria de la carga que le corresponde, es tomada como reacción del suelo dentro de la porción embebida de la tablaestaca considerandola como empotrada.

La profundidad máxima de la excavación del muro tablaestaca depende fundamentalmente de la revisión por pateo de la misma ya que el valor del empuje pasivo nos va a determinar la profundidad de apoyo, como se verá en las etapas de análisis.

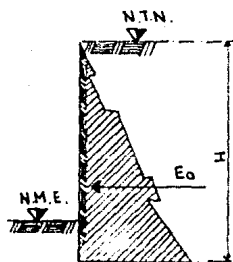
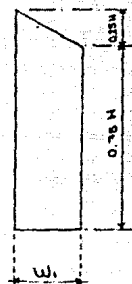


DIAGRAMA DE
EMPUJE ACTIVO

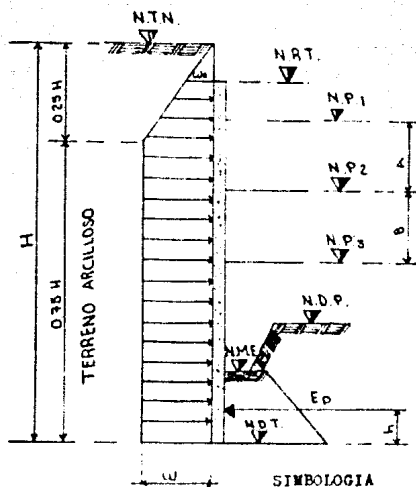


a) ARCILLAS



b) ARENAS

FIG. 1.6 EMPUJE DE PRESIONES REDISTRIBUIDO



$$EA = (H + 0.75H) \frac{W}{2}$$

DE DONDE:

$$W = \frac{2EA}{175H} = 1.14 \frac{EA}{H}$$

- SIMBOLOGIA**
- N.T.N. = NIVEL DE TERRENO NATURAL
 - N.R.T. = NIVEL DE REMATE DE TABLAESTACA
 - N.D.I. = NIVEL DE DESFIANTE DE FILANTILLA
 - N.M.E. = NIVEL MAXIMO DE EXCAVACION
 - N.D.T. = NIVEL DE DESPLANTE DE TABLAESTACA
 - E_T = EMPUJE PASIVO
 - W = EMPUJE REDISTRIBUIDO
 - W_0 = EMPUJE REDISTRIBUIDO EN EL N.R.T.
 - N.P.1 = NIVEL DE PUNTALE 1
 - N.P.2 = NIVEL DE PUNTALE 2
 - N.P.3 = NIVEL DE PUNTALE 3

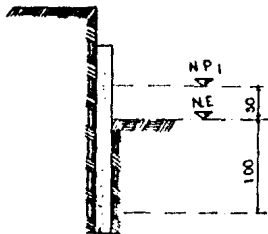
FIG 1.7 ETAPAS PARA ANALISIS ESTRUCTURAL DE UNA TABLAESTACA
AJUNTADA DE CONCRETO

Etapas de análisis.

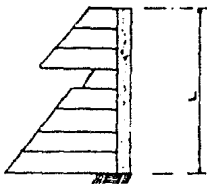
1. Excavación hasta 30 cm abajo del N_1

Observaciones

- a) El puntal 1 no trabaja
- b) El empotramiento del muro tablaestacado se considera a un metro abajo del nivel de excavación.
- c) El empuje que se considera es el activo.



a) ESTRUCTURA



b) IDEALIZACION

FIG. 1.8

2. Excavación hasta 30 cm., abajo del NF2

Observaciones.

- a) El puntal 1 se considerará como apoyo
- b) El puntal 2 no trabaja
- c) El empotramiento del muro tablaestacado se considera a un metro abajo del nivel de excavación.
- d) El empuje que se considera es el redistribuido.

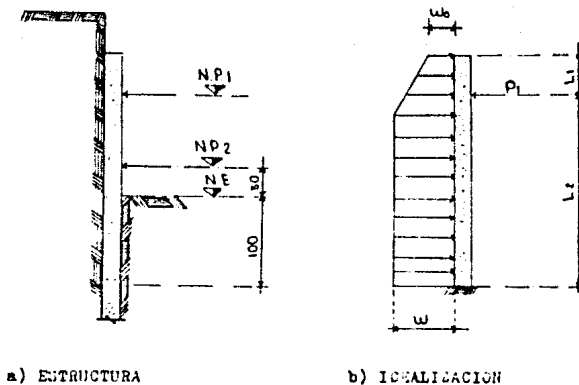


FIG. 1.9

3. Excavación hasta 30 cm., abajo del NP_3

Observaciones.

- Los puntales 1 y 2 se consideraran como apoyos
- El puntal 3 no trabaja
- El empotramiento del muro tablaestacado se considera a un metro abajo del nivel de excavación.
- El empuje que se considera es el redistribuido.

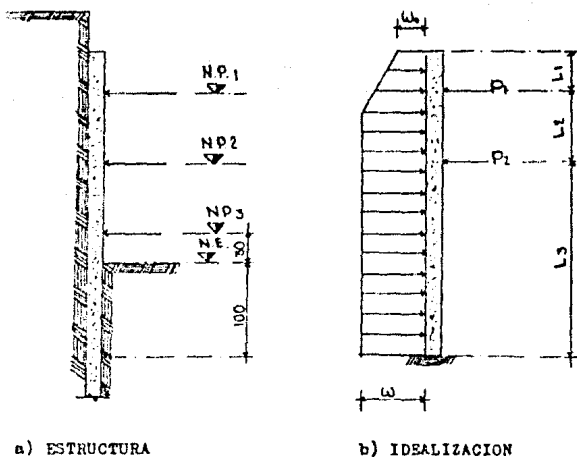


FIG. 1.10

4. Excavación hasta el nivel máximo de excavación.

Observaciones.

- Trabajan los tres puntales como apoyos
- Se considera un apoyo a donde se localiza la resultante del empuje pasivo que actúa en la pata del muro tablaestacado.
- Se revisa el pateo del muro tablaestaca considerando un factor de seguridad de 1.5

$$\frac{E_p}{R_p} \geq 1.5$$

en donde:

 E_p = Empuje pasivo R_p = Reacción obtenida al analizar el muro tablaestacado como viga continua.

- El empuje que se considera es el redistribuido.

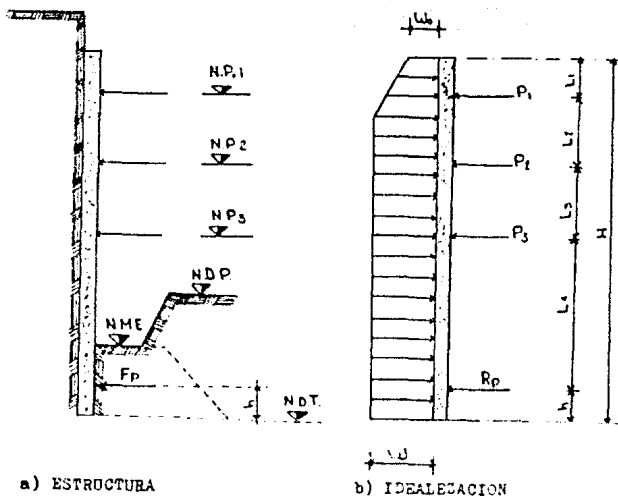


FIG. 1.11

5. Revisión del volteo respecto a P_3

Observaciones.

- a) El momento de equilibrio o resistente se calcula considerando los valores del empuje redistribuido que se localiza arriba de NP_3 y del empuje pasivo que actúa en la pata del muro tablaestaca:

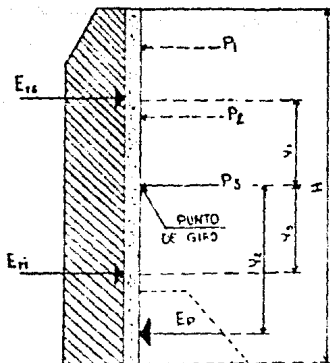
$$M_e = E_{rs}Y_1 + E_pY_2$$

- b) Los puntales P_1 y P_2 no se consideran en el análisis
 c) El momento de volteo se calcula considerando los valores del empuje redistribuido que se localiza abajo del NP_3

$$M_v = E_{ri} Y_3$$

- d) El factor de seguridad contra volteo debe ser mayor que 1.3

$$FSV = \frac{M_e}{M_v} \quad 1.3$$



E_{rs} = Empuje redistribuido - superior

E_{ri} = Empuje redistribuido - inferior

E_p = Empuje pasivo

Y_1 = Coordenadas de las fuerzas con respecto al punto de giro.

FIG. 1.12

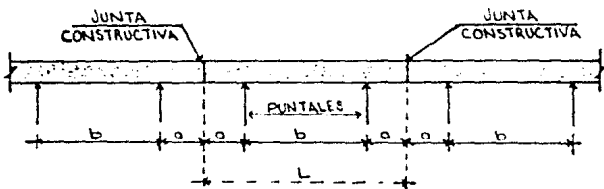
6. Refuerzo vertical.

Para especificar el armado vertical, se utiliza el valor máximo del momento positivo y negativo, obtenido de los análisis realizados en las 4 primeras etapas.

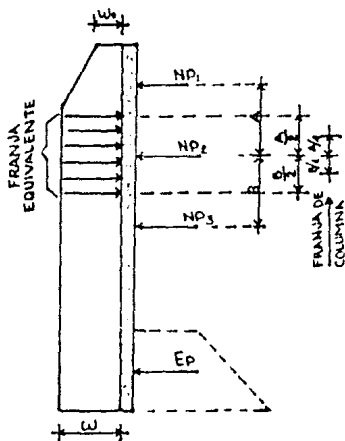
7. Refuerzo horizontal.

En la otra dirección de análisis, el muro tablaestaca se analiza como una losa plana apoyada en dos puntales y con dos voladizos en sus extremos, actuando sobre ella una carga equivalente producida por el empuje redistribuido correspondiente al área tributaria del análisis.

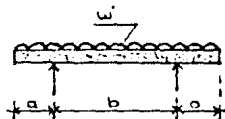
Los valores A y B que se muestran en la siguiente figura, no necesariamente son las distancias de NP_1 a NP_2 y de NP_2 a NP_3 respectivamente, sino que A puede ser de NP_2 a NP_3 y B de NP_3 al punto de aplicación del empuje rasivo de la rata del muro tablaestaca.



a) ESTRUCTURA (P L A N T A)



b) ESTRUCTURA (E L E V A C I O N)



$$w' = \frac{A + H}{2} w$$

$$k(+)= \frac{\left[\frac{w'b^2}{8} - \frac{w'a^2}{2} \right] 0.6}{\frac{A + B}{4}}$$

c) IDEALIZACION

FIG. 1.13

1.2 Aspectos del Proceso Constructivo.

Se trata de dar en forma objetiva los distintos aspectos de construcción de los muros colados "in situ" y de los muros -- precolados, en los cuales hay procedimientos que se hacen en forma similar en ambas estructuras.

En lo referente a las líneas del Metro, existen dos alternativas utilizadas para la construcción de los muros tablaestacas ya sean coladas "in situ" o precoladas estas son: Muros -- tablaestacas estructural de acompañamiento y muro tablaestaca estructural.

MURO TABLAESTACA ESTRUCTURAL DE ACOMPAÑAMIENTO.

En este caso el muro tablaestaca es un elemento estructural -- temporal, que únicamente tiene utilidad durante la etapa de -- excavación, para esta solución se han desarrollado también -- dos alternativas:

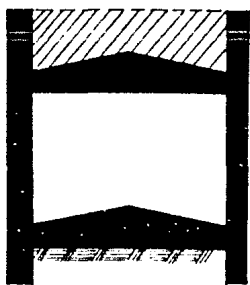
- a) Con el cajón cubierto con relleno compactado
- b) Con la losa de cubierta superficial

Ambas alternativas se muestran en la (figura 1.14).

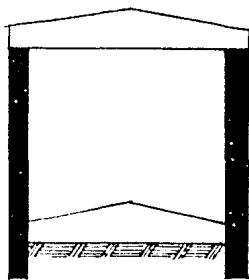
MURO TABLAESTACA ESTRUCTURAL.

El cajón esta formado por muros tablaestaca unidos estructu-- ralmente a las losas de fondo y de cubierta; para esta solu-- ción se tienen dos alternativas geométricas:

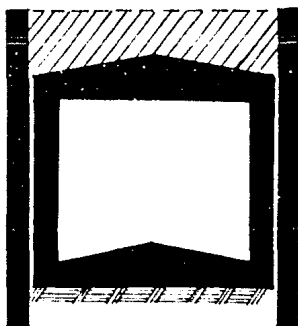
- a) En cajón cubierto con relleno superficial compactado
- b) En cajón con losa de cubierta superficial, que constituye-- la superficie de rodamiento de vehículos o del paso de pes-- tonos (figura 1.15).



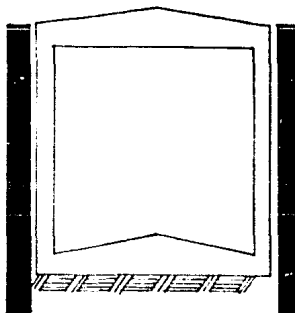
MURO ESTRUCTURAL CON
RELLENO SUPERFICIAL



MURO ESTRUCTURAL SIN
RELLENO



MURO ESTRUCTURAL DE ACOMPAÑA-
MIENTO CON RELLENO SUPERFICIAL



MURO ESTRUCTURAL DE ACOMPAÑA-
MIENTO SIN RELLENO

FIG. 1.15

I.2.1 Excavación de las zanjás para brocales.

En cuanto al proceso constructivo de los muros, ya sean colados "in situ" o precolados existe una similitud en cuanto a la construcción de las zanjás para brocales que a continuación se detalla.

BROCALES.

Son piezas en forma de ángulo recto, a la parte horizontal del brocal se le conoce como alarón y a la parte vertical como faldón; los brocales tienen la finalidad de retener los rellenos sueltos superficiales y de servir de guía a las herramientas de excavación utilizadas en la construcción de las zanjás que alojaran a los muros, en ocasiones también sirven para evitar la falla local por la proximidad del equipo.

La construcción de la zanja guía corresponde a la primera etapa de la excavación. Su profundidad depende del proyecto y el ancho de la excavación será función del tipo de brocal a usarse y del espesor del muro tablaestaca, los límites más normales están comprendidos entre 0.80m y 1.50m.

La construcción de la zanja deberá hacerse con las precauciones necesarias para no dañar las instalaciones municipales que se pudieran encontrar en el subsuelo. La excavación puede hacerse a mano o con máquina.

Considerando los materiales y proceso de su formación, los brocales podrán ser de concreto colados en el lugar; de concreto precolado y metálicos. De acuerdo al proyecto y al costo se determinará el tipo de brocal a utilizar.

- a) Brocales de concreto colados en el lugar. A continuación se indican los requisitos que se deberán cumplir en el procedimiento para la construcción de estos brocales.

1. Las dimensiones, forma y armado deberán ser las indicadas en el proyecto.
 2. El concreto será del tipo y de la resistencia especificadas en el proyecto.
 3. La excavación para la colocación del brocal se efectuará a cielo abierto, con una estructura de contención constituida por elementos de madera (figura 1.16).
 4. Una vez alcanzada la profundidad indicada para cada nivel se armará, ciembrará y colará el faldón del brocal, dejando ahogada la cimbra que sirvió de aísle durante la excavación.
 5. Si durante la excavación se presentan filtraciones que impidan o dificulten los trabajos, éstas se canalizarán por medio de zanjas que conduzcan a cárcamos desde donde se extraerá el agua por medio de un bombeo continuo de achique.
 6. Las compuertas para aislar tramos de zanjas correspondientes a la longitud del tablero de muro que se va a construir, podrán ser de madera o de acero y se colocarán en las zanjas libres de estorbos.
- b) Brocales de concreto precolado. Las características geométricas, tales como forma, dimensiones y armado serán los fijados por el proyecto, la fabricación y colocación de estos brocales deberá cumplir con los siguientes lineamientos:
1. El concreto será de la resistencia y características especificadas en el proyecto; podrá ser elaborado en la planta de fabricación, en la obra o premezclado.
 2. Para la construcción de las cimbras se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

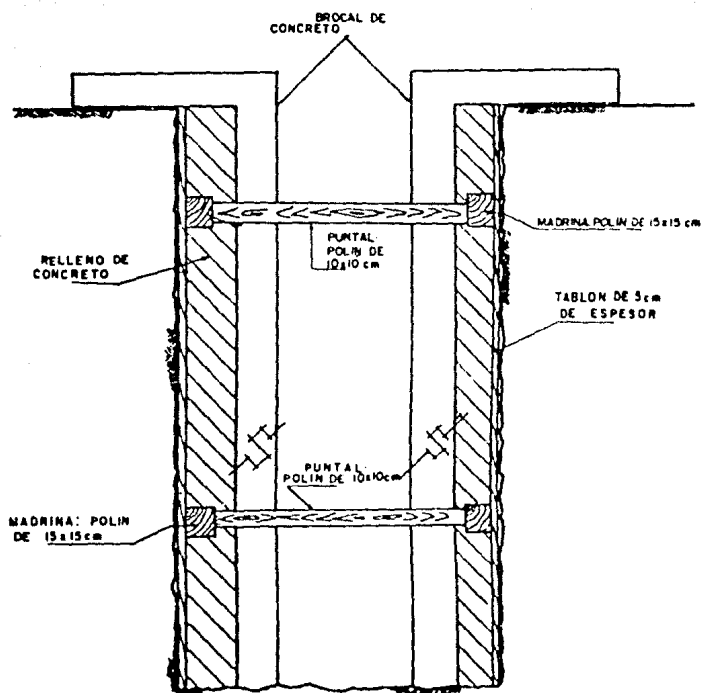


FIG. 1.16 BROCALES COLADOS EN EL LUGAR

- Los moldes podrán ser de madera, plástico o metal; en caso de que sean de madera, ésta tendrá cuando menos 2 cm. de espesor después de cepillada y se les aplicará un tratamiento, con objeto de hacerlos impermeables.
 - A menos que otra cosa se indique, las esquinas o rincones de los moldes serán terminados con un chafián de dos centímetros.
3. El colado de cada tramo del brocal será en forma continua en una sola operación y se compactará con vibrador.
 4. Las piezas no se moverán de su lugar de colado hasta que hayan adquirido la resistencia necesaria para su manejo.
 5. Toda la superficie de los brocales deberá ser lisa, continua y exenta de salientes, oquedades o rugosidades perjudiciales.
 6. Los brocales precolados serán colocados e hincados en el lugar, en la forma, a la elevación y a la penetración fijada en el proyecto, y deberán tomarse todas las precauciones necesarias para no dañar los brocales ni las ranjas. Las zonas huecas de las superficies del brocal y del terreno se rellenarán con mortero, cuya proporción será la indicada en el proyecto (figura 1.17).
- c) Brocales metálicos. Se construirán con elementos de aceros tales como tubos, rieles o perfiles laminados y deberán cumplir con los siguientes lineamientos:
1. Deberán protegerse con pinturas anticorrosivas, con el número de aplicaciones que aprueba el proyecto.
 2. Su almacenamiento y manejo se hará de tal manera que no se dañen, debiendo estibarlos sobre calzos en número suficientes para evitar que los perfiles sufrán deformaciones permanentes. El lugar de almacenamiento se mantendrá seco, limpio y bien drenado.
 3. Los elementos de sujeción para su colocación serán de las características que indique el proyecto (figura 1.18).

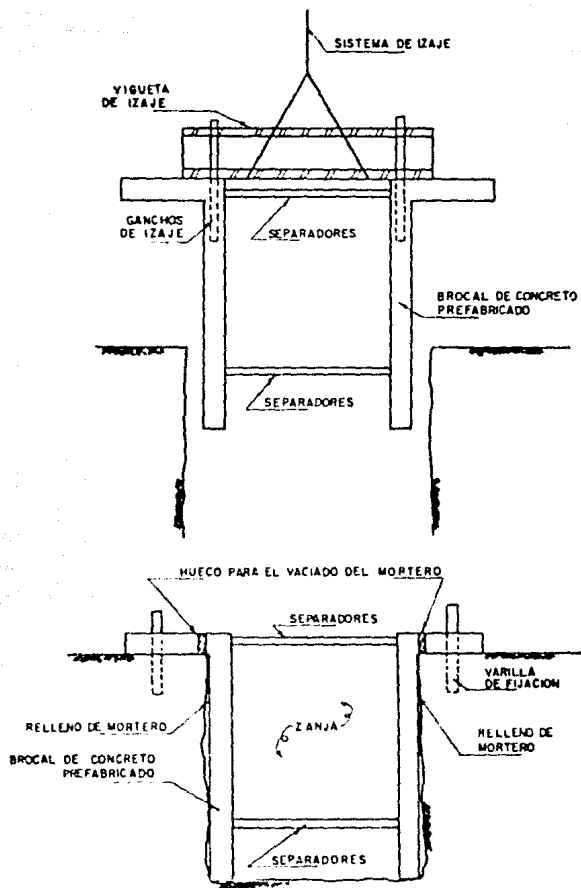


FIG. 1.17 COLOCACION DE LOS BROCALES DE CONCRETO PRECOLADO

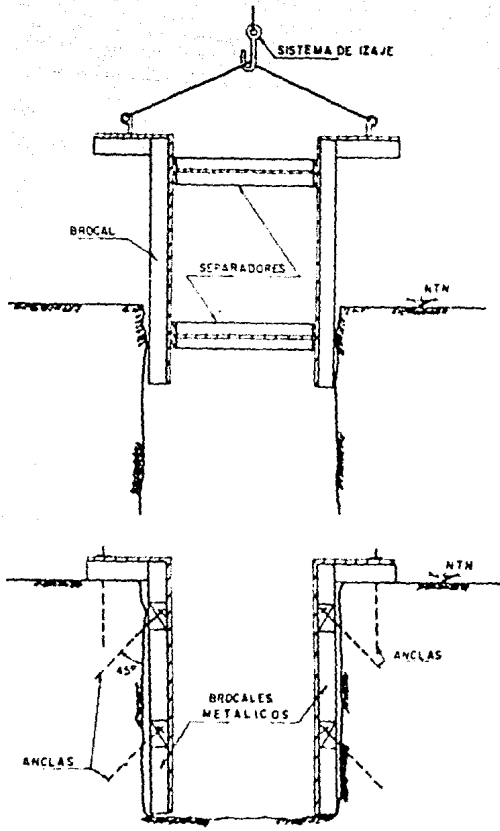


FIG. 1.18 PRESENTACION DEL BROCAL METALICO

I.2.2 Características de los muros colados "in situ" y de los muros precolados.

MUROS COLADOS "INSITU".

El muro ademe colado "in situ" es una estructura que por su espesor (de 60 a 80 cm.) y por tener varilla de refuerzo en sus dos caras, es capaz de soportar las cargas horizontales sin el empleo de maderas de repartición, pudiendo así apoyar los troqueles directamente sobre el muro en las juntas entre tableros.

Las juntas se localizan a cada 5.0 m. cuando menos, por lo que la influencia del abatimiento del NAF, en el subsuelo vecino es mínima.

Se construye en tableros alternados, con longitudes variables de 2.50, 5.00 y 7.50 m. Su profundidad depende del proyecto.

MUROS PREFABRICADOS.

Los muros prefabricados o precolados son, como su nombre lo indica, estructuras de concreto preesforzado, los cuales van a estar constituidos en su interior por cajas de poliestireno y cuya función principal va a ser la de mantener la estabilidad del terreno natural, para que en conjunto con los elementos complementarios (losa de fondo, plantilla, tabletas prefabricadas, etc.), proporcionen al cajón la seguridad y eficiencias requeridas.

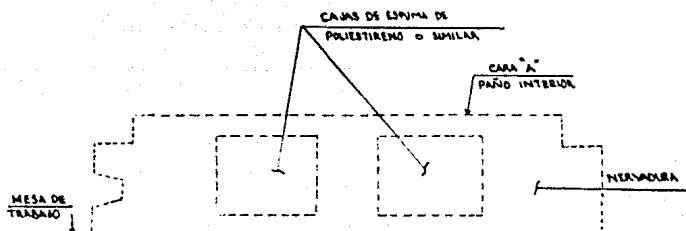
La secuencia que se sigue para la construcción de las tabletas prefabricadas es la que se muestra a continuación:

Primera etapa : Limpiar y nivelar la mesa de trabajo donde se colará la tablatura.

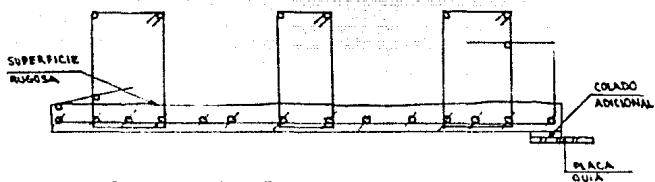
Segunda etapa : Habilitar armado de la losa de la cara "B" - así como también el armado de las nervaduras - previniendo de la posición de la placa guía, - anclas y placas de apoyo del gancho, así como ganchos para izaje, barra FVC y colar 10 cm. Como se indica en la (figura 1.13).

Tercera etapa : Colocar las cajas de espuma de poliestireno - como se indica en la (figura 1.13).

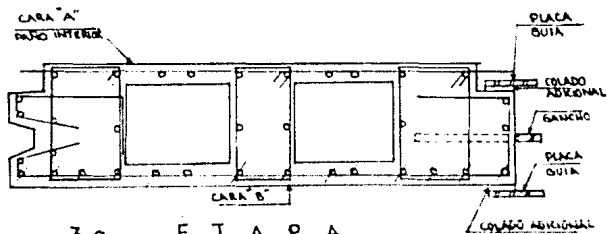
Habilitar armado de la losa de la cara "A", - así como el armado faltante de las nervaduras anclaje del gancho de izaje, placa guía y terminar de colar la estructura.



1ª ETAPA



2ª ETAPA



3ª ETAPA

FIG. 1.19

CAPITULO DOS

MUROS COLADOS "IN SITU"

II.1 Excavación de las zanjas para tableros.

Una vez que se aislado el tramo de zanja y hayan sido colocados los brocales, se procede a continuación a, realizar la excavación para la construcción de las tablaestacas hasta el nivel de desplante proyectado.

Durante el proceso de excavación de las zanjas que conforman los tableros se utilizara simultaneamente según sea el caso del proyecto lodo bentonítico, agua o "lodo arcilloso" para estabilizar las paredes de la excavación, como se muestra en la (figura 2.1).

El equipo de excavación de los muros deberá hacerse con maquinaria cuya herramienta de corte sea guiada, capaz de garantizar la verticalidad y alineamiento de las paredes de la zanja así como permitir alcanzar la profundidad del muro indicado en el proyecto. Por ningún motivo se permitirá que en la excavación se utilice cucharón de almeja libre o cualquier tipo de herramienta no guiada; por lo general para este tipo de excavaciones se utiliza una almeja hidráulica guiada tipo Casagrande la que permite garantizar un mejor ataque, así como la verticalidad de los muros, dicho equipo puede realizar excavaciones hasta profundidades de 40 m.

La excavación de las zanjas se harán en forma alternada, es decir, no deberán excavarse tableros contiguos en forma simultánea. Asimismo, no se excavará ningún tablero hasta que el concreto de los tableros contiguos hayan alcanzado su resistencia necesaria para su buen funcionamiento.

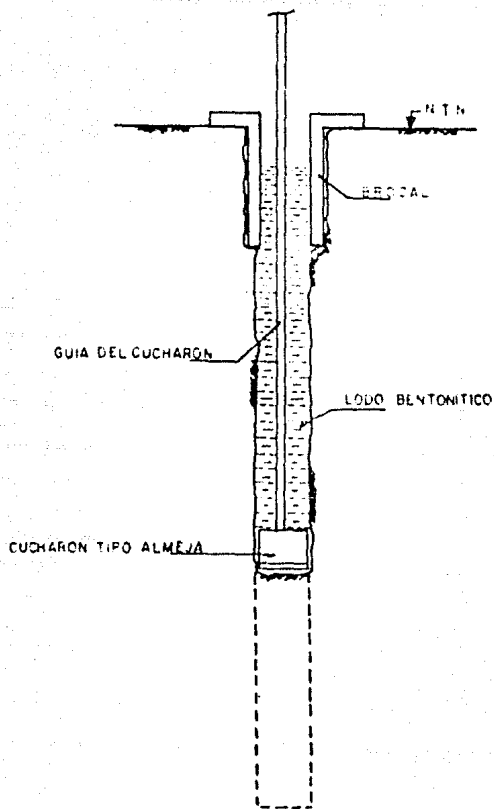


FIG. 2.1 EXCAVACION DE LA ZANJA Y COLOCACION DE LODO BENTONITICO

Al iniciar la excavación de un tablero cualquiera, se colocará el equipo de excavación en posición fija y alineada correctamente. No se moverá de esta posición hasta que haya terminado la excavación de la franja.

La excavación de cada franja deberá hacerse deslizando lentamente el cucharón tanto al bajar como al subir, a fin de evitar choques contra las paredes o producir efectos de embolo, los cuales son perjudiciales para lograr la verticalidad y alineamiento de las paredes de la excavación, cuando el cucharón de la excavación deberá detenerse un momento, abriéndolo ligeramente para dejar escurrir el lodo, a la excavación.

Posteriormente se descargará el material excavado a los camiones para su traslado del material al tiro.

La excavación en el fondo de la zanja deberá hacerse sin dejar caer bruscamente el cucharón, apoyando sus dientes en el piso del suelo y con las mandíbulas totalmente abiertas, a continuación se cerrarán estas en una sola operación; para cortar por ningún motivo el cucharón deberá chicotear ni dejarse caer repentinamente, arrastrarse, sacudirse o levantarse bruscamente.

La excavación de los tableros deberá realizarse en un número impar de franjas. Salvo indicaciones en contrario, se iniciará la excavación en un extremo, terminando éste se pasará el equipo al otro extremo y se concluirá la excavación del tablero cortando el prisma central.

II.2 Estabilización de la excavación.

Al construir muros colados "in situ" en suelos bajo el nivel freático, se hace necesario el empleo de elementos que mantengan además las paredes de la excavación, estos elementos pueden ser: agua, "lodo arcilloso", o lo que comúnmente se utiliza lodo bentonítico. Estos elementos deben ser capaces de --- mantener estable las paredes del suelo, durante la excavación colocación del acero de refuerzo y colado.

LODOS BENTONITICOS.

El lodo bentonítico es esencialmente una suspensión estable de bentonita sódica con agua, de tipo tixotrópico por presentar resistencia al corte en reposo y no presentarla cuando esta en movimiento.

BENTONITA.

La bentonita es una arcilla montmorilonítica de alto poder de hidratación, de estructura suelta, cuyas partículas son de tamaño coloidal (menor de 0.2 micras), con una relación silicio alúmina que varía de 3 a 5.

La bentonita puede ser sódica, que es un material que se produce industrialmente a partir del mineral de arcilla natural, mediante un proceso de molienda y depuración o bentonita cálcica, la cual no es empleada en la elaboración de lodos bentoníticos debido a que reacciona químicamente con el cemento.

COSTRA (cake).

Felícula de pequeño espesor, constituida por moléculas de lodo que se forman en la frontera lodo-suelo y forma una membrana impermeable y resistente.

Esta capa se produce debido, a la tixotropía del lodo al pasar de sol a gel y a las fuerzas electrostáticas y de tensión capilar que se generan entre el lodo y suelo.

II.2.1 Propiedades de los Lodos.

II.2.1.1 Tipos de fluidos.

Atendiendo a la proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, en régimen laminar que presentan los fluidos, éstos pueden dividirse en newtonianos y no newtonianos.

a) fluidos newtonianos.

Pertencen a este primer grupo, los líquidos como el agua y los aceites minerales, en los cuales el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la velocidad de corte, siendo la constante de proporcionalidad, denominada coeficiente de viscosidad, definida como:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\epsilon}}$$

en donde:

τ = esfuerzo cortante, (P/L^2)

$\dot{\epsilon}$ = velocidad de deformación, ($1/T$)

En este tipo de fluidos el coeficiente de viscosidad no se altera con los cambios de esfuerzos y se conserva tanto si los líquidos han estado en reposo como si se han agitado recientemente.

b) fluidos no - newtonianos.

Cuando los líquidos no presentan una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, se denominan no newtonianos; tal es el caso de las lechadas de agua - bentonita.

Dentro de esta categoría existen fluidos en los que la relación mencionada es independiente del tiempo, como en los fluidos plásticos de Bingham, los pseudoplásticos y los dilatantes, o bien depende del tiempo como en los fluidos tixotrópicos.

Destaca en importancia el concepto de fluido plástico de Bingham, según el cual la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte es lineal, pero no pasa por el origen de coordenadas, sino que tiene una ordenada positiva al origen en el eje de los esfuerzos cortantes.

Los lodos bentoníticos en general se acostumbra considerarlos como cueros de Bingham.

II.2.1.2 Viscosidad plástica y punto de cedencia.

La viscosidad plástica (η) es igual a la pendiente de la recta (τ) en función de ($\dot{\gamma}$) (figura 2.2)., se expresa en poises en el sistema CGS y tiene como dimensiones $ML^{-1} T^{-1}$, o bien PTL^{-2} .

El punto de cedencia es la ordenada al origen (τ_0) (figura 2.2 de la curva de flujo, es el valor mínimo del esfuerzo cortante para el cual empieza a ocurrir el flujo; sus dimensiones son $ML^{-1} T^{-2}$ o bien PL^{-2} .

Para determinar estas propiedades en laboratorio se emplean viscosímetros del tipo rotacional que pueden medir la resistencia al esfuerzo cortante a velocidades de 600, 300, 200, 100, 6 y 3 revoluciones por minuto.

La viscosidad plástica de un lodo debe ser pequeña, con objeto de disminuir las pérdidas de carga durante su saneo y permitir una separación adecuada de las arenas que el lodo acarrea al salir de la excavación. A su vez conviene que no sea excesivamente baja ya que ello puede provocar, durante un paro, sedimentación de las arenas en la excavación.

Alberro e Hiriart (1968) en base a expresiones propuestas por --
 Cardwell (1941), establecen una relación entre el punto de cedencia del lodo y el diámetro de las partículas que permanecen sin --
 sedimentar; concluyen que para $\rho = 3 \text{ lb/ft}^2$, se mantienen sin --
 sedimentar todas las partículas menores que las arenas medias --
 (0.6 mm).

El punto de cedencia también define la penetración del lodo en --
 la vicinid de la zanja; al aumentar aquél se reduce su penetración.

II.2.1.3 Densidad.

Es la cantidad de materia contenida en la unidad de volumen, se acostumbra a determinar en laboratorio mediante una balanza diseñada exprofeso, con un recipiente para contener al lodo en un brazo y una escala con un contrapeso deslizante en el otro. Se expresa en dimensiones de PL^{-3} .

La densidad del lodo, condiciona la estabilidad de las paredes que protege. Para aumentarla es necesario añadir al lodo minerales inertes pesados como la barita.

II.2.1.4 Viscosidad de Marsh.

Esta propiedad se mide en el cono del mismo nombre; se expresa en segundos necesarios para que escurran 946 cm^3 de lodo através de un orificio calibrado.

Es una prueba de control de calidad, típica de obra, que proporciona un criterio de reutilización o desecho para un lodo bentónico dado, cuyas propiedades iniciales son aceptables.

Esta prueba no es adecuada para determinar propiedades específicas porque varía en función de la viscosidad plástica, del punto de cedencia y de la densidad del lodo.

II.2.1.5 Filtrado.

Parte del agua que se emplea en la elaboración de un lodo permanece libre entre los granos sólidos. Al efectuar una prueba de filtración es expulsada dejando un residuo plástico llamado cake. Empleando fluidos de igual peso volumétrico que el lodo bentonítico pero que no forman enjarre, no es posible lograr estabilidad de paredes excavadas.

El enjarre tiene importancia en la estabilidad de zanjas ya que crea una membrana impermeable que permite se transmitan las presiones hidrostáticas de la columna del lodo y evita derrumbes locales en las paredes.

Al aumentar el agua libre de lodo cuya relación agua-bentonita sea constante, aumenta el espesor del enjarre con lo cual disminuye su resistencia y se vuelve menos eficiente para estabilizar paredes.

El agua libre se expresa en cm^3 y el espesor de enjarre en mm.

II.2.1.6 Contenido de arena.

Se mide pasando al lodo por la malla 200 y se expresa como porcentaje del volumen aparente de arena en relación al volumen total de lodo.

Al aumentar el contenido de arena, de un lodo con relación agua-bentonita constante, aumenta su volumen de agua libre.

II.2.1.7 PH (Concentración de iones de hidrógeno).

Se ha comprobado que las propiedades del lodo, varían notablemente en función del pH medido.

En la (figura 2.3) se presentan los resultados encontrados para la viscosidad plástica y el punto de cedencia, al variar el pH. En resumen, las propiedades medias de lodos empleados en zanjas son las siguientes:

Viscosidad plástica	10 a 35 (cp) centipoises
Viscosidad de Marsh	40 a 120 segundos
Agua libre	Inferior a 20 cm ³
Espesor del (cake)	Inferior a 5 mm
Contenido de arena	Inferior a 1%
pH	7 a 9.5

(Alberro e Hiriart, 1968)

Tabla II.1

II.2.2 Preparación de los lodos bentoníticos.

Antes de elaborar lodo bentonítico en grandes volúmenes, es aconsejable efectuar ensayos de laboratorio de las materias primas - (bentonita y agua) para definir su proporción de mezclado y en - su caso, utilizar aditivos que constituyen un auxilio para obtener propiedades adecuadas para su función.

II.2.2.1 Rendimiento de la bentonita.

Es usual definir el rendimiento de una bentonita como la cantidad de m³ de lodo con viscosidad plástica de 15 cp que pueden prepararse con una tonelada de bentonita.

Este rendimiento se determina experimentalmente, efectuando, mezclas agua-bentonita en diferentes proporciones, dejándolas reposar y determinando su viscosidad plástica. Mediante una sencilla construcción gráfica se puede establecer la proporción bentonita agua, con lo cual se logra una viscosidad plástica de 15 cp y -- con esta proporción el número de m³ que se pueden preparar con -- una tonelada de bentonita. Por ejemplo:

Si la proporción que logra tener una viscosidad plástica de 15 cp, resulta ser:

$$70 \text{ g/l}$$

Suponiendo que el peso específico de sólidos sea 2.4 g/cm³

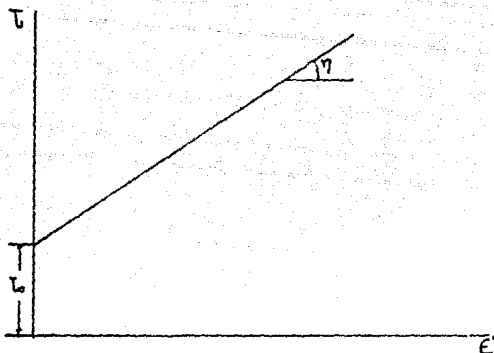
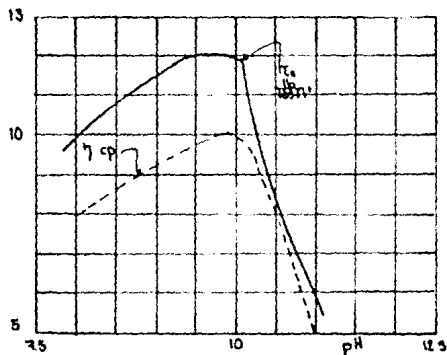


FIG. 2.2 RELACION ENTRE EL ESFUERZO CORTANTE (τ) Y LA VELOCIDAD DE DEFORMACION ($\dot{\epsilon}$) EN UN CUERPO DE BINGHAM



BENTOGEL 15:1
 TIEMPO DE REPOSO = 24 hr.
 AGUA DE TEXCOCO DE PH = 8
 CON CARBONATO DE SODIO
 PURO.

FIG. 2.3 VARIACION DE LA VISCOSIDAD ELASTICA Y PUNTO DE CEDENCIA EN FUNCION DEL PH. (SEGUN ALBERROE HINIART)

el volumen de mezcla será:

$$\begin{aligned}
 \text{Agua} &= 1000.00 \text{ cm}^3 \\
 \text{Bentonita} &= \frac{70}{2.4} = 29.17 \text{ cm}^3 \\
 \text{Volumen de mezcla} &= 1029.17 \text{ cm}^3 \\
 \text{y su rendimiento será:} & \\
 \frac{1029.17 \times 10^6}{70 \times 10^6} &= 14.7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

II.2.2.2 Añejamiento.

Se ha comprobado que las propiedades físicas de un lodo bentonítico mejoran si antes de entrar en operación, se prolonga más de lo necesario el tiempo que transcurre para que la bentonita se hidrate. A esto se le denomina añejamiento.

Es usual permitir que el lodo tenga un añejamiento mínimo de 24 hr., con lo cual su viscosidad plástica y punto de cedencia aumentan y el agua libre disminuye, aunque el espesor del enjarre permanece constante.

Cada bentonita comercial responde en forma diferente al añejamiento, por tanto deben hacerse pruebas en laboratorio para formar criterios específicos.

II.2.2.3 Calidad del agua.

Si el agua contiene sales en solución, en particular calcio o magnesio, se efectúan notablemente las propiedades del lodo bentonítico al no lograrse hidratación de la bentonita, e inclusive lo pueden inutilizar si no se emplean aditivos correctivos.

II.2.3 Acción Estabilizadora.

La densidad del lodo interviene directamente en la presión de la columna de lodo que estabiliza las paredes de la excavación.

El enjarre contribuye a la estabilidad, formando una película impermeable, sobre la que actúa la presión del lodo.

La viscosidad y punto de cedencia ayudan a mantener en suspensión los recortes de material durante la excavación, con lo que se impide la formación de azolves indeseables bajo el apoyo de los muros colados "in situ".

II.2.3.1 Estabilidad de las zanjas.

La acción estabilizadora de los lodos en zanjas puede analizarse tomando en consideración la teoría de Rankine para el caso de empuje activo en suelos. El principio del análisis consiste en comparar el empuje activo del suelo (E_A) más el hidrostático (E_H) con el del fluido estabilizador (E_1) y asegurar que éste último siempre sea mayor.

En términos algebraicos se expresará:

$$E_A + E_H \leq E_1 \quad (1)$$

definiéndose el factor de seguridad (F.S.) como la relación:

$$F.S. = \frac{E_1}{E_A + E_H} \quad (2)$$

Con las expresiones (1) y (2) se podrá valuar el F.S. y el peso-volumétrico del lodo, necesarios para estabilizar una zanja.

Aplicando las ideas anteriores al caso de suelos friccionantes, -cohesivo y cohesivo friccionantes, se tendrán:

Suelos friccionantes.

$$F.S. = \frac{\gamma_L n^2}{K\alpha \gamma F_1 + \gamma_w m^2} \quad (3)$$

$$\gamma_L = \frac{F.S. (K\alpha \gamma F_1 + \gamma_w m^2)}{n^2} \quad (4)$$

Suelos cohesivo.

$$F.S. = \frac{\gamma_L n^2}{\gamma F_1 + \gamma_w m^2 - 4c/H} \quad (5)$$

$$\gamma_L = \frac{F.S. (\gamma F_1 + \gamma_w m^2 - 4c/H)}{n^2} \quad (6)$$

Suelo cohesivo - friccionante.

$$P.S. = \frac{\gamma_L n^2}{K_a \gamma F_1 + \gamma w m^2 - 4C/H \sqrt{N\theta}} \quad (7)$$

$$\gamma_L = \frac{P.S. (K_a F_1 + w m^2 - 4C/H \sqrt{N\theta})}{n^2} \quad (8)$$

en donde:

γ_L = peso volumétrico del lodo, (P/L^3)

γ = peso volumétrico del material excavado, (P/L^3)

γ' = peso volumétrico sumergido del material excavado, (P/L^3)

γ_w = peso volumétrico del agua, (P/L^3)

H = profundidad de excavación

K_a = coeficiente de empuje activo, según Rankine

$N\theta = \tan^2(45 + \theta/2)$

C = cohesión del suelo, (P/L^2)

θ = ángulo de fricción interna del suelo

m, n = ver (figura 2.4)

$F_1 = 1 - m^2(1 - \theta/4)$

Las expresiones (3) a (8) permiten determinar el peso volumétrico de diseño del lodo, en función de la geometría de la excavación, las propiedades del subsuelo y las condiciones hidrostáticas del mismo.

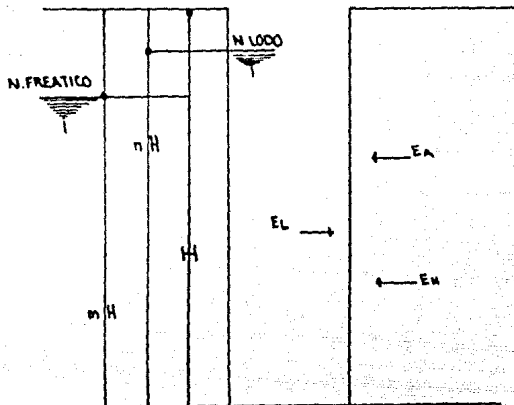


FIG. 2.4 ESTABILIDAD DE UNA ZANJA CON AUXILIO DE LODO BENTONITICO

II.2.4 Descripción del método de estabilización.

Una vez colocados los brocales, se podrá iniciar el vaciado del lodo estabilizador, en las zanjas de los muros colados "in situ". El lodo estabilizador se preparará con un mezclador de chiflón. El tanque de mezclado tendrá una capacidad aproximada de 5 m^3 según el requerimiento de la obra, y contarán con una tolva y -aspas accionadas por un motor de baja velocidad. A medida que se introduzca la bentonita en la tolva se inicia el mezclado cuya duración mínima será de 30 min. De aquí el lodo se bombeará a los recipientes de almacenamiento donde deberán permanecer en reposo durante un período mínimo de 8 hr., dichos recipientes -deberán tener amplia capacidad para satisfacer las necesidades diarias de la obra. De los recipientes se trasladará el lodo a las zanjas con una bomba centrífuga para lodos, o por medio de pipas.

Se podrá dar al lodo estabilizador varios usos mediante desarenado o regeneración y recirculación; la recirculación podrá efectuarse pasando por la planta central de elaboración y almacenamiento, o bien, mediante una batería portátil de hidrociclonas, en este último caso se puede recircular localmente de un tramo de zanja a otro.

El número de usos que se de al lodo estará limitado al cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos en la tabla --II.1 por lo que cuando el lodo haya perdido sus propiedades deberá desecharse y utilizar un lodo nuevo.

No se permitirá el abatimiento del nivel del lodo bentonítico en las zanjas excavadas, bien sea durante un reciclaje o por fuga o pérdidas de lodo, a través de fisuras o grietas o de los poros en los materiales permeables, para la cual deberá preverse la capacidad de almacenamiento suficiente de lodo para cubrir los consumos adicionales.

Cuando se perciba cualquier fuga de lodo durante las operaciones de excavación, deberá tratarse adecuadamente. Por ningún motivo se permitirá colar en un tramo donde se tengan fugas y no se haya tratado. Cuando las fugas sean extraordinarias, podrá usarse aserrín o algún material similar en el lodo para rellenar las grietas. El material de relleno deberá añadirse en los recipientes de mezclado y no después, para evitar que se formen grumos.

II.2.5 Limpieza de la excavación.

Al concluir la excavación de un tablero se procederá a realizar la limpieza de su fondo. Para ello podrá realizarse lo siguiente; inicialmente se repasará el fondo de la excavación con la herramienta de corte, procurando levantar con ello todo el azolve grueso que se haya depositado. Asimismo, se aprovechará esta maniobra para nivelar el fondo tendiendo a dejarlo en un plano horizontal.

1. Para la recolección del azolve, se podrá emplear un tubo eeyector de las dimensiones que vayan de acuerdo con la profundidad de la zanja y de su ancho; o bien se podrá utilizar el equipo de excavación.
2. El lodo que se extraiga se repondrá con lodo nuevo, de manera que el lodo de la zanja se mantenga al nivel especificado.
3. Se deberá verificar con sonda que el fondo haya quedado libre de azolves y que tienda a ser un plano horizontal.
4. Terminada la limpieza de fondo de cada tablero se deberá verificar las propiedades del lodo estabilizador. Si estas propiedades están dentro de las tolerancias especificadas, el tablero estará listo para su colado; en caso contrario, será necesario cambiar el lodo sucio por uno nuevo; este cambio deberá realizarse de manera que no baje el nivel especifica-

do del lodo en el tablero.

No deberá dejarse la zanja totalmente excavada y ademada con lodo por más de 24 hr., a partir del inicio de la excavación de un tablero hasta el inicio de su colado.

II.3 Colocación del armado.

Una vez que se haya concluido la excavación y se haya verificado la profundidad de la zanja y las propiedades del lodo estabilizador, se procederá a la construcción del muro.

JUNTAS.

Las juntas entre cada tablero deben ser machimbradas, con el objeto de que exista un trabajo de conjunto entre tableros. Las juntas deberán ser tubos metálicos huecos y pueden ser de varias formas como se muestra en la (figura 2,5).

A la cara de la junta que quedará en contacto con el concreto -- deberá aplicarse una película de grasa o de algún producto que facilita su extracción posterior. En el interior de la junta no deberá introducirse el concreto, por lo que deberá tener sus extremos cerrados y en su parte inferior tendrá una caja metálica que se hincara y asentara firmemente para evitar que se mueva o deforme durante el colado. Dicha junta deberá lastrarse para evitar su flotación.

Una vez instaladas las juntas se procederá de inmediato a introducir la parrilla de armado dentro de la zanja ademada con lodo.

ARMADURAS.

Las armaduras se montan en forma de cajas rígidas y se colocan dentro del lodo antes del colado.

Naturalmente se han hecho pruebas para ver si la bentonita no -- disminuye la adherencia de las armaduras con el concreto, las -- pruebas efectuadas para estudiar esta hipótesis demuestran que -- la reducción de adherencia es muy pequeña en lo que se re-

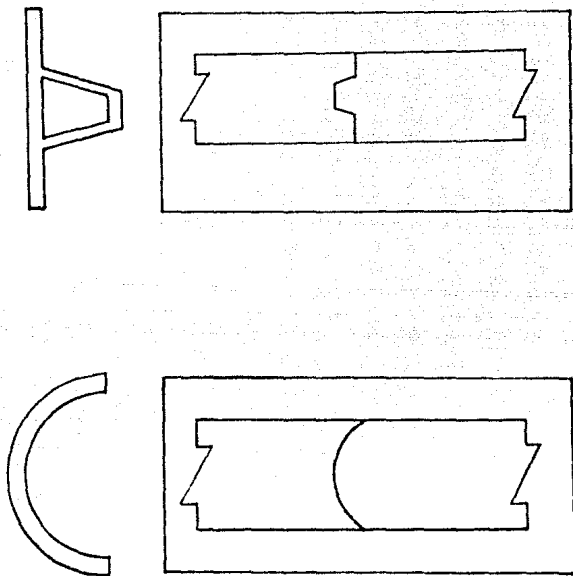


FIG. 2.5

fiere a las armaduras verticales. Es más importante para las armaduras horizontales.

El armado de las parrillas deberá cumplir con lo indicado en el proyecto ya sea para una cimentación, o para las líneas -- del Metro y deberá satisfacer los siguientes lineamientos durante su colocación.

- Dentro de los tableros excavados ahogados en el fluido estabilizador se hará descender las parrillas que formarán el armado de los muros. Las parrillas irán contraventeadas y se bajarán por medio de una grúa, tomando las debidas precauciones con respecto a la verticalidad, el alineamiento y la profundidad.
- Para evitar la tendencia a la flotación de la parrilla de armado y garantizar que permanezca en su lugar, se empujará durante su descenso y una vez colocada en su lugar se instalarán dos gatos hidráulicos en la superficie y apoyados contra el brocal, que impidan que la parrilla se mueva durante su colado. Los gatos se retirarán después de finalizar el colado.
- Para garantizar el recubrimiento de los muros, las parrillas de los muros deberán habilitarse con rodetes de contacto fijados al acero principal de la parrilla por medio de varillas, localizadas en ambas caras de la parrilla y en tres niveles iguales en el sentido vertical. Cada una de las varillas llevará cuatro rodetes ubicados también iguales en el sentido horizontal.
- Será necesario dejar espacios libres dentro de la parrilla, para el paso de las trompas de colado.
- Cuando el muro tablaestacado forme parte estructural del cajón, se debe impedir el paso del concreto en la zona de unión posterior con la losa de piso, para lo cual podrá colocarse a lo largo de la parrilla una caja con espuma de plástico amarrada con tela de gallinero, debiéndose tomar

las precauciones necesarias durante el descenso y colocación de la parrilla, para que la caja no se deforme, cambie de posición y en su anclaje previsto.

II.4 Colado de los muros.

II.4.1 Concreto.

Los concretos utilizados son muy variables según el uso a que este destinado el muro. Si se trata de un simple muro estanco no estructural puede preferirse utilizar un concreto poco resistente y plástico que pueda adaptarse sin rotura a las deformaciones del terreno. Será primordial por otra parte, la impermeabilidad. En el caso de un muro de revestimiento o estructural, será importante la resistencia del concreto. Existen diferentes tipos de concreto en el mercado, según las necesidades de cada proyecto.

A todos aquellos se les exige que tengan una elevada plasticidad que permite una puesta en obra correcta.

La plasticidad conveniente para una buena puesta en obra debe estar, medida en el cono de Abrahams entre 14 y 18 cm.

El concreto que se utilice para la construcción de los muros-tablaestacas colados bajo lodos bentoníticos, deberá ser premezclado.

La colocación de concreto para formar los muros se llevará a cabo mediante el empleo de una trompa de colado, o tubo tree-me. No se requerirá vibrado posterior a la colocación.

II.4.2 Colocación del concreto.

Una vez colocada, centrada y nivelada la parrilla se introducirá las trompas de colado por tramos.

Los coples de unión de cada tramo de las trompas deberán ser perfectamente herméticos para impedir que la succión de la columna de concreto al bajar, absorva aire o lodo del exterior. Cada tramo tendrá dos metros de largo como máximo y un diámetro no menor de 30 cm. Al tramo que sobresale en la superficie se le conectará un embudo o una tolva.

La boca de esta tolva deberá quedar a una altura conveniente, para descargar directamente el concreto desde las ollas revoledoras. Todo el conjunto tendrá que subir o bajar durante el colado por lo que deberá contarse con el equipo necesario para efectuar estos movimientos. Los tramos de tubos deberán ser lo suficientemente fuertes y pesados para soportar el manejo.

El extremo inferior de la trompa o boca de descarga debe quedar apoyado en el fondo de la zanja antes de iniciar el colado. Una vez introducidas las trompas de colado, se colocará un tapón entre la tolva y el tubo, el cual descenderá obligado por el peso del concreto vaciado, evitando en esta forma la segregación y contaminación del concreto. Así se evitará la descarga del concreto con una energía tal que pueda dar lugar a la contaminación del concreto con el lodo. Para iniciar el flujo del concreto la trompa deberá levantarse a una distancia de 50 cm., del fondo de la zanja (figura 2.6).

La boca de descarga de la trompa de colado no debe quedar nunca ahogada menos de 1.50 m., en el concreto que se este colando.

Para ayudar a que el concreto fluya al principio, puede desplazarse la trompa verticalmente hacia arriba y hacia abajo vigilando que permanezca siempre suficientemente ahogada en el concreto para que no exista contaminación con el lodo.

A medida que el concreto fluya se agregará más concreto a la tolva, manteniendo la columna a una altura conveniente para regular la rapidez del flujo; en esta forma el lodo de la zanja será desplazado hacia la superficie por la diferencia de densidades, practicamente sin necesidad de mover la tubería.

El impulso que lleva la primera mezcla al salir por la boca de descarga, producirá un efecto de arranque en el fondo del table-ro y lo dejará limpio de lodo.

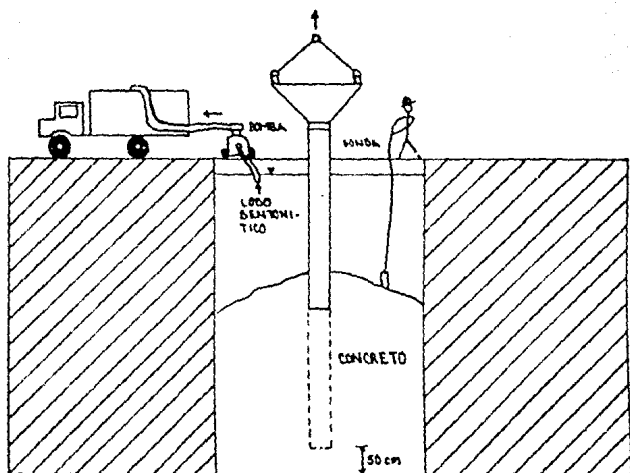


FIG. 2.6

Para lograr un flujo suave y continuo, el concreto no deberá ser vaciado de golpes dentro de la tolva, por lo que además no deberán tener recesos o suspensiones mayores de 15 minutos.

Será necesario llevar un riguroso control de colado, midiendo en forma permanente la variación del nivel de la superficie de concreto y anotándolo en un registro, para poder decidir el retiro oportuno de tramos de las trompas de colado y programar adecuadamente el suministro de concreto para evitar los recesos.

No se deberá excavar el núcleo entre el espacio de los muros colados bajo lodo estabilizador, hasta que estos alcancen la resistencia que se indique en el proyecto.

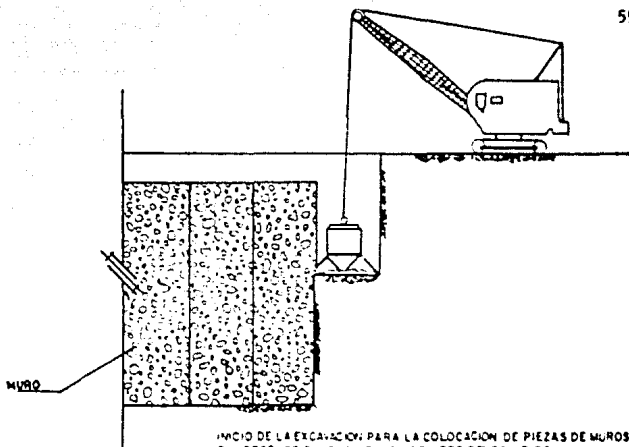
CAPITULO TRES

MUROS PREFABRICADOS

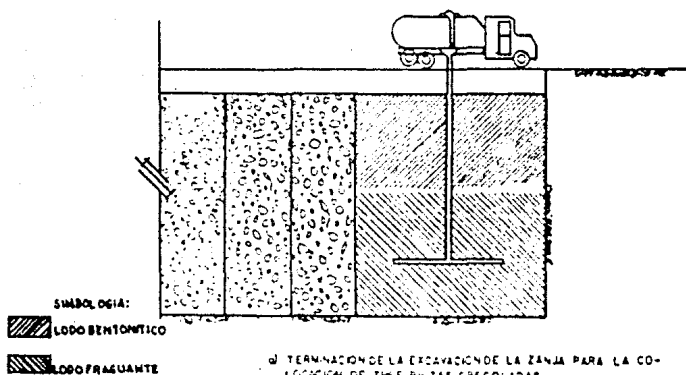
III.1 Excavación de la zanja para los muros.

El procedimiento a seguir en la excavación de las zanjas para -- los muros prefabricados, básicamente es el mismo que el de los -- muros colados "in situ" adicionándole los siguientes lineamientos:

- No se podrá iniciar la excavación de una zanja si no se tienen en el sitio las piezas de los muros prefabricados que se colocarán.
- La excavación de cada zanja deberá ser un proceso continuo, -- desde el momento de su inicio hasta la colocación y plomeo del muro prefabricado dentro de la zanja.
- La duración total de esta etapa, desde el momento en que se -- inicie la excavación, hasta la introducción y plomeo del muro prefabricado dentro de la zanja, no será mayor de seis horas.
- No deberá transcurrir más de dos horas entre el momento que se alcance la máxima profundidad de excavación de la zanja y el -- inicio de la introducción del muro prefabricado.
- La profundidad de la excavación con respecto a la del proyecto deberá cumplir con la tolerancia de $+20$ cm a $- 0$ cm.
- La longitud de las zanjas excavadas que alojarán los muros se indicará en el proyecto para cada caso (tramo o estación), o -- bien se excavará el espacio correspondiente a una longitud de tres piezas (figura 3.1 y 3.2).



a) INICIO DE LA EXCAVACION PARA LA COLOCACION DE PIEZAS DE MUROS E INTRODUCCION SIMULTANEA DE LODO BENTONITICO



SIMBOLOGIA:

 LODO BENTONITICO

 LODO FRAGUANTE

b) TERMINACION DE LA EXCAVACION DE LA ZANJA PARA LA COLOCACION DE LAS PIEZAS PRECOLADAS

SI UNA VEZ ALCANZADO EL NIVEL MAXIMO DE EXCAVACION DE LA ZANJA Y HABIENDO INTRODUCIDO EL LODO BENTONITICO, SE DEPOSITARA EL LODO FRAGUANTE

FIG. 3.1 COLOCACION DE LOS MUROS DE CONCRETO FRECOLADO

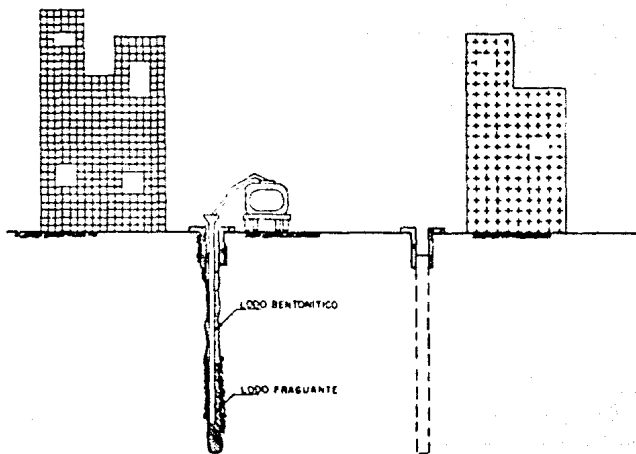


FIG. 3.2 EXCAVACION DE ZANJAS E INTRODUCCION DE LODOS BENTONITICOS Y FRAGUANTES.

III.2 Estabilización de la excavación.

La excavación para alojar los muros prefabricados, se hará simultáneamente con la estabilización de la zanja con lodo bentonítico, de acuerdo a los procedimientos descritos en el capítulo anterior.

Una vez que se haya alcanzado la máxima profundidad de excavación y que las paredes del suelo estén previamente ademadas con lodo bentonítico, se introducirá el lodo fraguante.

El lodo fraguante es un lodo bentonítico al que se le adiciona cemento para lograr su fraguado después de un determinado tiempo. El lodo fraguante se usará por una parte para estabilizar las paredes de la zanja, que se excavarán para alojar los tableros de muros prefabricados que servirán para alojar los tableros de muros prefabricados que servirán como estructura de contención, y por otra parte, ya fraguado el lodo servirá para evitar desplazamientos de los muros y así asegurar el contacto suelo-estructura.

a) Características generales.

1. El lodo fraguante se obtendrá mediante una mezcla agua-bentonita-cemento, cuyo proporcionamiento será el siguiente:

Agua	77%
Bentonita	8%
Cemento	15%

2. Al quedar en reposo el lodo deberá alcanzar su resistencia de diseño, relleno de los espacios comprendidos entre las paredes de la excavación y los paños del muro prefabricados.
3. El lodo no iniciará su fraguado mientras permanezca en movimiento, pero una vez en reposo fraguará rápidamente.
4. El lodo servirá de relleno entre la excavación y los muros prefabricados, y su resistencia al fraguar evitará desplazamientos horizontales que puedan provocar problemas a estructuras vecinas.

b) Propiedades del lodo fraguante. Las propiedades que deberá cumplir el lodo fraguante serán las siguientes:

1. El peso volumétrico será de 1.2 ton/m^3 con una tolerancia de $\pm 5.0\%$.

2. Después de fraguado la resistencia a la compresión axial sin confinar a los 28 días, no deberá ser menor de 78.45 kPa que equivalen a 0.8 kg/cm^2 , con una tolerancia de $\pm 10\%$.

- El valor anterior se obtendrá en probetas cilíndricas de 3.6 cm., de diámetro y con relación de esbeltez igual a 2, las cuales serán extraídas tanto del lodo del depósito como de la zanja.

- Para confirmar las propiedades de resistencia, será necesario realizar ensayos en probetas a 7, 14 y 28 días de edad, obteniendo de cada una de ellas gráficas de esfuerzo-deformación para determinar el módulo de elasticidad. Se harán cuando menos tres series de pruebas por cada 40 m^3 de lodo fraguante.

- El cemento se agregará al lodo bentonítico en un depósito que cuente con agitadores con la potencia necesaria para mezclar el lodo y el cemento. Los agitadores se pondrán en funcionamiento en el momento de agregar al cemento al lodo bentonítico y trabajaran durante un lapso de 15 minutos con objeto de lograr un mezclado homogéneo.

- Concluido el agitado del lodo fraguante, se procederá a transportarlo al frente de trabajo para su vaciado dentro de la zanja. El transporte se podrá realizar en camiones revoladores o a través de una tubería desde el depósito hasta la zanja en cuestión.

El volumen a introducir de lodo fraguante para cada zanja, equivaldrá a tres piezas de muros prefabricados, se depositará el volumen especificado de lodo fraguante en la zanja,

efectuando al mismo tiempo la recolección del lodo bentonítico - desalojado por el lodo fraguante por diferencia de densidades. Para depositar el lodo dentro de la zanja, se utilizará un tubo-distribuidor en forma de "T", cuyas características geométricas son las mostradas en la (figura 3.3).

El lodo se introducirá dentro de la zanja por gravedad a través del tubo distribuidor, el cual se irá subiendo a medida que se - desaloje el lodo bentonítico.

Inmediatamente después de haber depositado el volumen total de - lodo, se introducirán los muros prefabricados en las zanjas y se continuará con la excavación en otro sitio.

Para evitar que el lodo alcance su fraguado inicial antes de depositarlo en las zanjas, el período que trascorra entre el momento de añadir el cemento al lodo bentonítico y la terminación de la colocación del muro prefabricado, no deberá ser mayor de seis horas.

El lodo fraguante desplazado por el muro podrá utilizarse en --- zanjas contiguas, siempre y cuando los resultados de las pruebas de laboratorio en campo de ese lodo, cumplan con los requisitos de calidad establecidos anteriormente. El lodo que no cumpla deberá desecharse, teniendo cuidado de no tirarlo al drenaje municipal.

III.3 Colocación de los muros.

Los muros de concreto reforzado precolados se fabricarán de acuerdo a las dimensiones, procedimientos de construcción y demás - características fijados en el capítulo I.

Todas las superficies del muro terminado deberán ser lisas, continuas y exentas de salientes, ocuredades o rugosidades perjudiciales. Cualquiera superficie que resulte defectuosa, deberá corregirse.

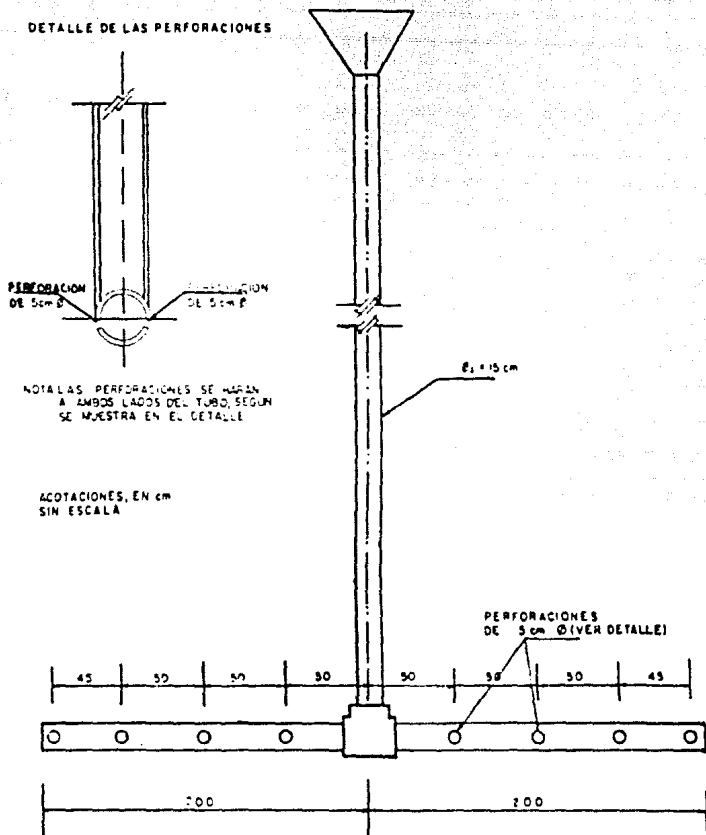


FIG. 3.3 DETALLE DE TUBO DISTRIBUIDOR

Una vez concluida la excavación de las zanjas y habiendo introducido los lodos bentoníticos y fraguantes, se procederá de inmediato a la colocación dentro de la zanja de las piezas prefabricadas (figura 3.4 y 3.5).

Previamente a la introducción de las piezas, se deberá verificar la profundidad de las zanjas ademadas con lodo.

La pieza se hará descender por su propio peso por medio de una grúa, tomando las debidas precauciones con respecto a la verticalidad, el alineamiento y la profundidad.

Las actividades de excavar zanjas introducir lodo bentonítico -- vaciar lodo fraguante y colocar piezas prefabricadas en las zanjas, se repetirá el número de veces que sea necesario para cubrir toda la longitud del tramo.

La excavación del cajón podrá iniciarse tres días después de colocado el muro en cada zanja o cuando las condiciones de bombeo y de longitud de muro se cumplan, de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

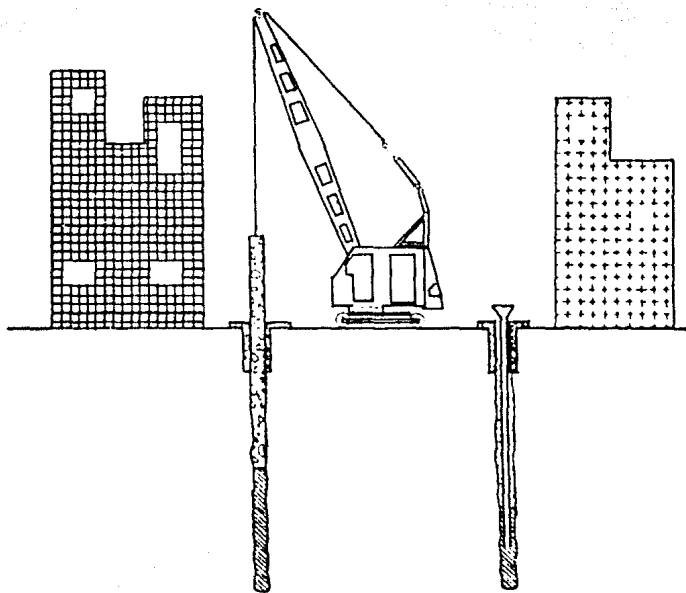
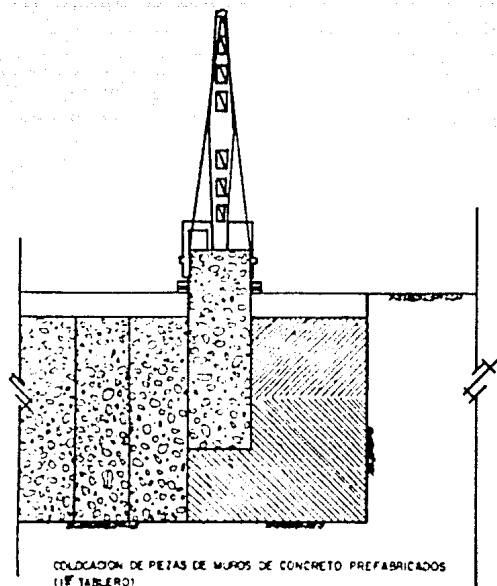
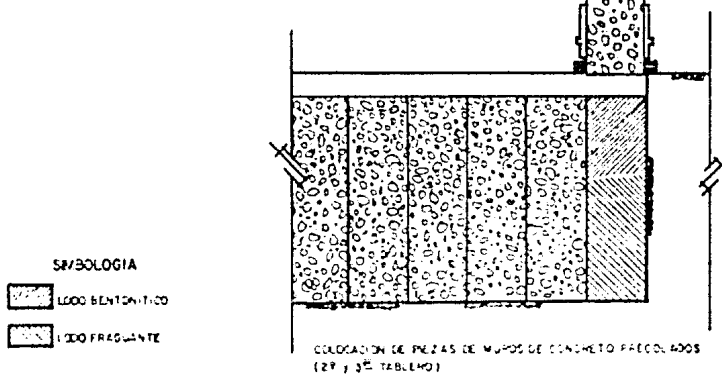


FIG. 3.4 COLOCACION DE PIEZAS DE CONCRETO PREFABRICADOS



COLOCACION DE PEZAS DE MUROS DE CONCRETO PREFABRICADOS
(1º TABLERO)



COLOCACION DE PEZAS DE MUROS DE CONCRETO PREFABRICADOS
(2º y 3º TABLERO)

FIG. 3.5 COLOCACION DE LOS MUROS DE CONCRETO FRESCOLADOS

CAPITULO CUATRO
EJEMPLOS DE APLICACION

IV.1 En cimentaciones.

Como ejemplo para este trabajo de tesis se tomará un edificio de 22 niveles y cuatro sótanos ubicado en la avenida Paseo de la Reforma, entre las calles Fraga y Oxford, cd. de México, para este proyecto se tomó como solución para retener los empujes de tierras de los terrenos colindantes el muro colado "in situ" o muro Milán.

Características del subsuelo.

El edificio en cuestión se localiza en la zona del Lago del Valle de México, la cual se caracteriza por la presencia de potentes mantos de arcillas de origen volánico, altamente compresibles y de baja resistencia al corte.

El estudio de Mecánica de Suelos que se llevó a cabo, proporcionó la estratigrafía siguiente:

De 0.00 a 5.20 - Manto superficial, constituido por rellenos y suelos arenosos y limosos, medianamente compactos.

De 5.20 a 25.50 - Formación arcillosa superior, formada por arcilla blanda, con alto contenido de agua, muy compresible y de baja resistencia al corte.

De 25.50 a 30.70 - Primera capa dura, constituida por limo poco arenoso de consistencia dura,

De 30.70 a 32.90 - Formación arcillosa inferior, formada por arcilla de consistencia media.

De 32.90 en adelante - Depósitos profundos, constituidos por limos arenosos muy compactos cementados.

El perfil estratigráfico y algunas propiedades que son importantes se muestra en la (figura 4.1)

Descripción del proyecto.

Como ya se mencionó, el edificio consta de 22 niveles y cuatro sótanos; considerando la altura de las contratraves de cimentación, la excavación llegó a 13.60 m. (figura 4.2) que es una de las más profundas que se ha llevado a cabo en la cd. de México para este tipo de edificios.

La cimentación del edificio se resolvió mediante pilotes de fricción combinados con la compensación parcial producida por el alivio de presión al excavar a 13.60 m.

Criterio de análisis.

El empuje lateral a que estará sujeto el elemento de contención durante los trabajos de excavación debido a la presión del terreno y las colindancias se determinó mediante las formulas del empuje activo de Rankine.

$$E_A = 1/N (\gamma H^2/2 - 2CH + PH)$$

en donde:

E_A = Empuje activo en ton/m.

γ = Peso volumetrico del suelo (ton/m³)

C = Resistencia al corte en suelos cohesivos (ton/m²)

H = Espesor de estrato considerado

$1/N\phi$ = Coeficiente de empuje activo, igual a $\tan^2(45 - \phi/2)$, siendo el ángulo de fricción interna del suelo.

P = Presión que actúa en la superficie de terreno debido a las colindancias.

Asimismo, con objeto de diseñar adecuadamente el sistema de troquelamiento, el empuje activo se redistribuyó obteniendo una envolvente de presión aparente siguiendo el criterio de Peck (figura 4.3).

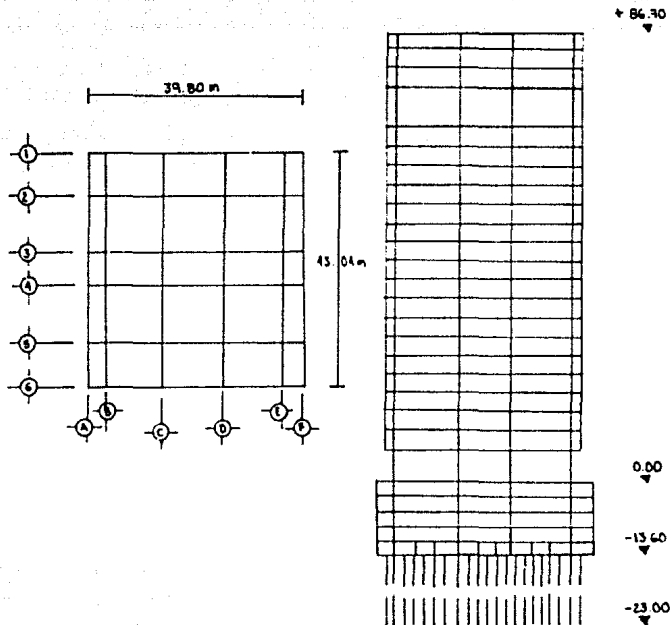


FIG. 4.2

El extremo inferior del muro ademe ("pata") se prolongó 2.0 m bajo el nivel de excavación, con objeto de proporcionar un nivel de troquelamiento natural haciendo trabajar al terreno por empuje pasivo.

La falla de fondo es otro aspecto importante en una excavación; esta se presenta cuando la carga vertical en el exterior de la excavación vence la resistencia al corte del suelo produciendo un levantamiento súbito del fondo de la excavación y un hundimiento en el exterior siguiendo una línea de falla parecida a la mostrada en la (figura 4.4).

Este problema se analiza determinando el factor de seguridad F.S., mediante la siguiente fórmula.

$$F.S. = \frac{C Nc}{\gamma Df + q}$$

en donde:

F.S. = Factor de seguridad por falla de fondo; no debe ser menor de 1.5

C = Resistencia al corte de la arcilla, representada por la cohesión (ton/m²)

Nc = Factor que depende de la relación D/B, siendo D la profundidad del elemento de contención y B el ancho de la excavación abierta.

Df = Presión efectiva del suelo al nivel del fondo de la excavación en (ton/m²)

q = Sobrecarga en la superficie del terreno por las colindancias (ton/m²)

Considerando una resistencia al corte de la arcilla igual a 6 ton/m², sustituyendo valores y utilizando las gráficas de la (figura 4.5), se obtuvo un factor de seguridad del orden de 2.0 aún en caso de efectuar una excavación de 40 m., de ancho por lo que no hay problema de falla de fondo.

El muro se diseñó para proteger la excavación en el perímetro

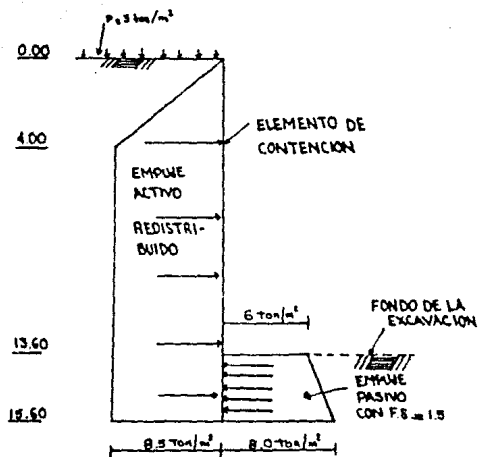


FIG. 4.3

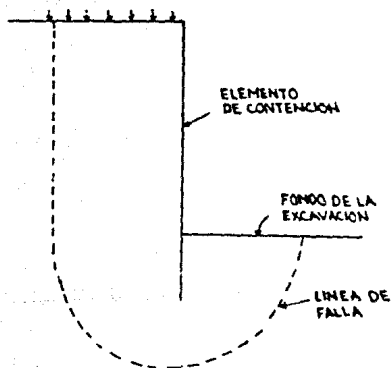


FIG. 4.4

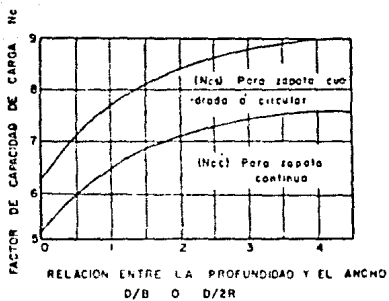


FIG. 4.5

del área y se adicionó un muro auxiliar con las mismas características del tablaestacado perimetral, con lo cual se dividió en dos el área de trabajo por la siguiente razón:

Normalmente en este tipo de edificios se procede a excavar atacando el núcleo central, dejando taludes y bermas que soportan el empuje mientras se ataca hacia los extremos. Sin embargo, dada la profundidad de la excavación requerida en este edificio y las dimensiones del terreno en planta, no fue posible aplicar este método ya que con un talud 1:1 y una berna de 6m., quedaría un espacio muy reducido para atacar el núcleo central (figura 4.6)

Por tal motivo, se construyó el muro auxiliar mencionado, dividiendo en dos el terreno, para así excavar por etapas en secciones completas de área y colocar troqueles entre el muro perimetral y el muro auxiliar (figura 4.7)

Una vez construida la primera mitad de la excavación para la cimentación, se procedió a excavar nuevamente por etapas en la segunda mitad, demoliendo el muro auxiliar y troquelando contra la parte de la cimentación ya construida.

Procedimiento constructivo del muro colado "in situ".

Su proceso constructivo tiene la secuencia siguiente:

1. BROCALES.

Se construyen mediante zanjas recubiertas con una sección de concreto armado.

El armado está formado por Va No. 3 a cada 30 cm. en retícula el concreto es de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, la cimbra se efectúa por medio de tableros de madera o metálicos con un troquelamiento de polines. Una vez colocado el brocal y quitada la cimbra, se troquelan las rareas empleando los polines, con el objeto de que no haya desplazamientos del brocal por la presión del terreno y el tránsito de las máquinas (figura 4.8)

En el caso particular del edificio aquí tratado, se diseñó un muro de 60 cm de espesor y dado que los brocales deben tener cierta holgura para permitir el libre paso de la almeja sin que ésta se atore, el espacio entre cada sección de concreto fue de 66 cm.

2. EXCAVACION.

a) Lodo bentonítico.

Se requiere de una planta de bentonita para el mezclado y regeneración del lodo, estas plantas ocupan un área muy grande por lo que en el caso particular de este edificio se utilizó una planta móvil, sin instalaciones de regeneración de lodos, como la mostrada en la (figura 4.9). Por el tamaño de la planta, se permitió un solo uso para el lodo bentonítico.

Las propiedades básicas de la bentonita empleada, fueron las siguientes:

Densidad	= 1.05 gr/cm ³
Viscosidad Marsh	= 52 seg.
Contenido de arena	= 3.5%
Proporcionamiento	= 7%, o sea 70 kg de bentonita por cada m ³ de agua.

Con lo anterior, las paredes de la excavación tuvieron un comportamiento bastante satisfactorio aún en períodos mayores de 24 horas de permanecer abierto un tablero.

b) Equipo.

Para los muros del edificio aquí tratado, se utilizó una almeja hidráulica guiada de tipo Casagrande (figura 4.10)

3. ARMADO.

El armado de los muros consta básicamente de dos lechos de varilla de No. 6 (3/4) colocadas a cada 15 cm en retícula (figura 4.11).

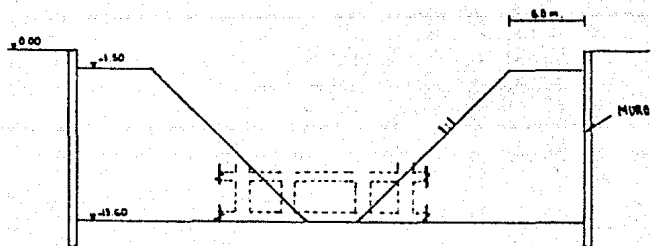


FIG. 4.6

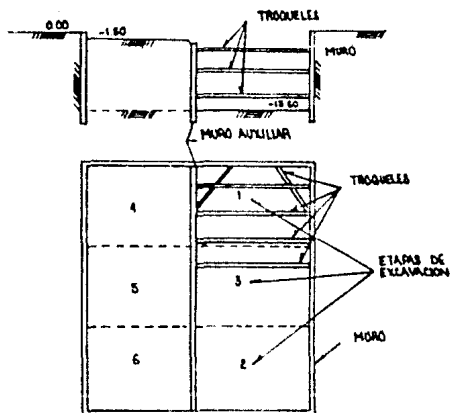


FIG. 4.7

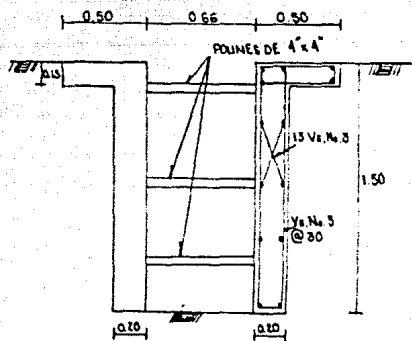


FIG. 4.8

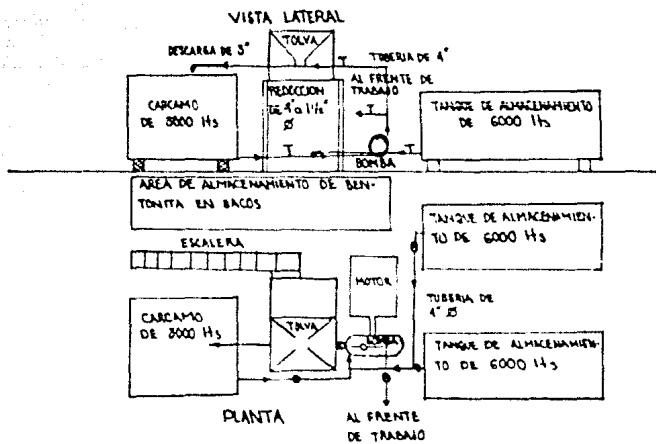


FIG. 4.9

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

79



FIG. 4.10



FIG. 4.11

El armado se realizó en "parrillas", cubriendo la longitud y profundidad de cada tablero (5.0 m. y 15.60 m. respectivamente). Con el objeto de que las parrillas no sufran deformaciones durante las maniobras de izaje y colocación dentro de la zanja, se colocan separadores y rigidizadores como la mostrada en la (figura 4.11); este refuerzo adicional, se fija mediante puntos de soldadura al armado básico.

La maniobra de izaje y colocación se efectúa con una grúa de 20 ton. de capacidad (figura 4.12).

El armado se fijó al brocal mediante gatos de escalera o de tornillo, con el objeto de que este no sea arrastrado hacia arriba al iniciar el vaciado del concreto.

Una vez iniciado el vaciado del concreto y la elevación de la tubería de colado, los gatos pueden ser retirados. Para garantizar el recubrimiento de 5 cm especificado, se utilizaron 4 tubos de acero (tubo tresie) de 2" de diámetro, colocados entre la pared de la excavación y el paño de la parrilla; estos tubos se retiraban al finalizar el colado de cada tablero (figura 4.13).

4. JUNTAS.

Las juntas entre cada tablero deben ser machimbradas, con el objeto de exista un trabajo de conjunto entre tableros (figura 4.14).

Para este efecto, se utilizan moldes metálicos formados por placas de acero soldados (figura 4.15).

Estos moldes se colocan previamente engrasados en la zanja, utilizando para ello la grúa; son retirados una vez que se inicia el fraguado inicial del concreto, se limpian y engrasan nuevamente para ser utilizados en otro tablero.

En los tableros intermedios no se requiere el empleo de estos moldes y únicamente se limpia la junta de la etapa (1), utilizando limpiadores que se conectan a la almeja (figura 4.16).



FIG. 4.12

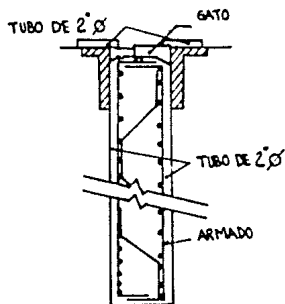


FIG.4.13



FIG. 4.14

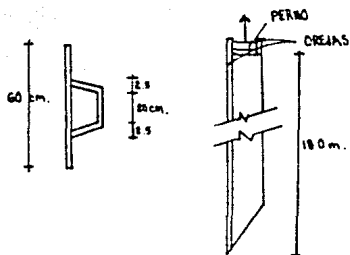


FIG. 4.15

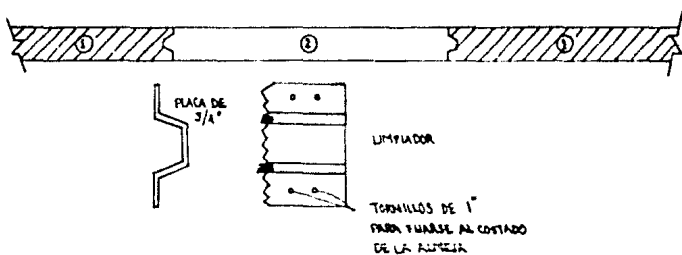


FIG. 4.16

5. COLADO.

El colado se realizó utilizando una tubería de 10" de diámetro ced. 80 en tramos de 1.80 m. cada uno; atornillados por medio de cuerdas de listón grueso; la tubería esta rematada en su parte superior por una tolva de forma cónica (figura 4.17).

El concreto debe ser fluido con T.M.A., no mayor de 20 mm., y revenimiento de 18 +/- 2 cm.

El lodo bentonítico desplazado por el concreto por diferencia de densidades fue bombeado simultáneamente a camiones pipa para ser tirado posteriormente en sitios apropiados. El equipo empleado en esta obra fue el siguiente:

Equipo	Función
1 grúa de 35 ton., de capacidad	= maniobras
1 grúa de 20 ton., de capacidad	= maniobras
1 almeja hidráulica	= excavación
1 bomba de 4" para lodos	= planta de bentonita
1 bomba de 4" para lodos	= extracción y carga a pipas
1 planta soldadora c/motor de gasolina 300 amp.	= armado y servicios

Los volúmenes de obra manejados fueron los siguientes:

Excavación a mano para brocales	332 m ³
Excavación con almeja hidráulica	1,769 m ³
Acero de refuerzo para brocales	6,794 kg
Acero de refuerzo en parrillas	257,109 kg
Concreto f'c = 150 kg/cm ² en brocales	157 m ³
Concreto f'c = 250 kg/cm ² para muros	1,860 m ³

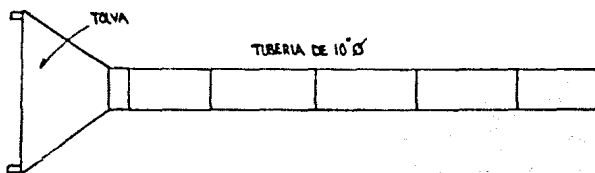


FIG. 4.17

El tiempo de ejecución para toda la obra fue de 47 días hábiles observando los siguientes rendimientos:

Construcción de brocales	14 ml/día
Habilitado de acero de refuerzo para muro colado "in situ"	1750 kg/día
Construcción de muro colado "in situ" en tableros de 5.0 ml de long.	2 tab/día

Comportamiento.

Con objeto de medir los desplazamientos horizontales y verticales del muro, se colocaron puntos de observación en cada uno de los 44 tableros de acuerdo a la (figura 4.18). En el mismo croquis aparecen los movimientos horizontales a una escala mayor, así como la localización de los piezómetros instalados.

El desplazamiento horizontal máximo registrado fue de 11 cm. correspondiendo a los tableros 41 a 43 del muro auxiliar; este movimiento se desarrolló hacia la excavación; también se observó que los tableros 15, 16, 17 sufrieron un desplazamiento de 4 cm., hacia la calle Braga, es decir, en el mismo sentido del desplazamiento de los tableros 41 a 43; los tableros 21 y 22 se desplazaron 8 cm., hacia la excavación.

Fuera de los movimientos antes mencionados, los desplazamientos horizontales en el resto del muro ademe variaron entre 1 y 3 cm., hacia el interior de la excavación.

En el sentido vertical los tableros acusan asentamientos que no exceden de 3 cm en un período de tiempo corto, por lo que se consideran de tipo elástico por acomodo inicial del muro.

Los reportes de las lecturas piezométricas en el perímetro exterior del área de trabajo, acusan un abatimiento del nivel freático de 0.40 m en promedio con 0.80 m como máximo, el cual se considera no afecta las colindancias, por lo que se puede afirmar que el muro cumplió su función dentro del área de trabajo.

En resumen, el comportamiento de la estructura fue satisfactorio; los desplazamientos reportados se consideran normales.

4.2 En líneas del Metro.

Se consideró para el análisis el tramo de la línea 9 del Metro, que corresponde a las estaciones Iztarr Cárdenas - Chabacano, las cuales se encuentran en la zona geotécnica denominada Lago, entre los cadenamientos 13.475,000 a 13.575,000; para este tramo se convino utilizar muros prefabricados para la construcción del cajón del Metro.

Descripción del proyecto.

En este tramo como resultado de los diferentes sondeos que se hicieron a lo largo del mismo, se pudo observar un alto porcentaje de agua, ya que el nivel de agua freática (NAP) se encontró a 1.85 m., por debajo de la superficie de terreno, también se pudo observar la presencia a lo largo de todo sondeo, de arenas, limo y arcilla; siendo estas últimas la de mayor abundancia, por lo que se consideró un suelo arcilloso.

Una vez que se conoce el tipo de suelo donde se encuentra la obra se lleva a cabo la excavación de las zanjas para la colocación de bruciales y posteriormente se inició la excavación para colocar las tablaestacas prefabricadas.

La construcción del cajón del Metro consistió en cinco etapas fundamentales:

Primera etapa	Colocación de las tablaestacas prefabricadas
Segunda etapa	Excavación hasta el nivel N-1.55 m., colocar vigueta madrina y primer nivel de troqueles en el nivel N-1.25 m.
Tercera etapa	Excavación hasta el nivel N-6.05 m., colocar vigueta madrina y segundo nivel de troqueles en el nivel N-5.75 m.

Cuarta etapa

Excavación hasta el nivel N-7.20 m. colar plantilla, habilitar el armado de la losa de piso incluyendo el armado por desdoblamiento de la tablaestaca y colar la losa de piso, 24 hr después se retirará el segundo nivel de troqueles.

Quinta etapa

Colocar tableta prefabricada; habilitar el armado del firme y colarlo cuando el concreto alcanza la resistencia especificada se retirará el primer nivel de troqueles y se colocará el relleno sobre la losa superior. (figura 4.19)

Las características y dimensiones de las tablaestacas prefabricadas que se utilizaron en la construcción del cajón para la línea 9 del Metro se muestran en las (figuras 4.20 y 4.21)

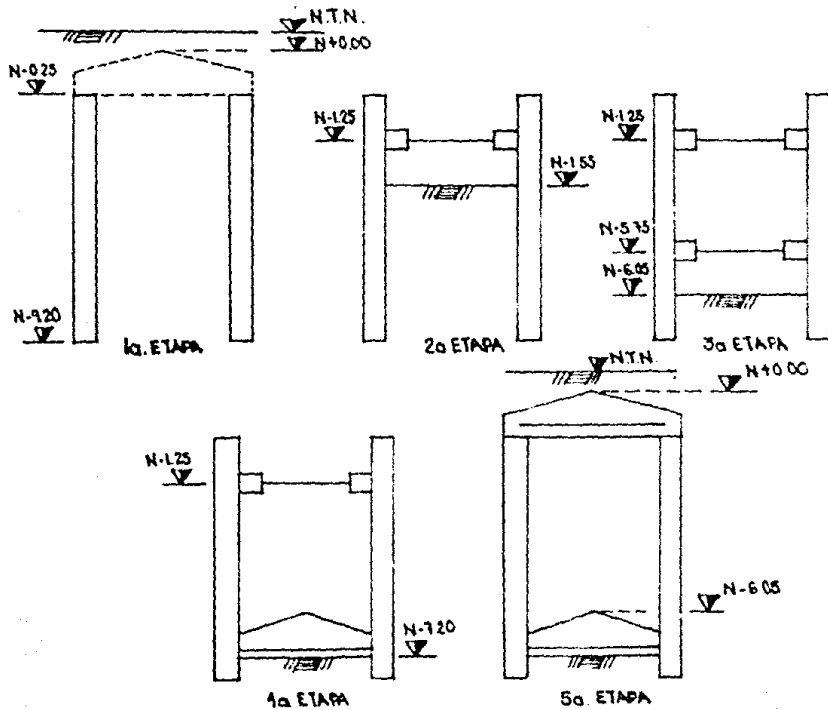


FIG. 4.19

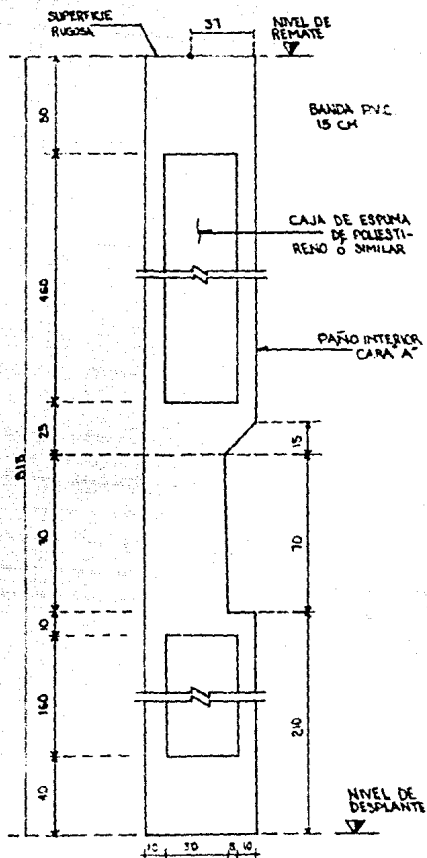


FIG. 4.20

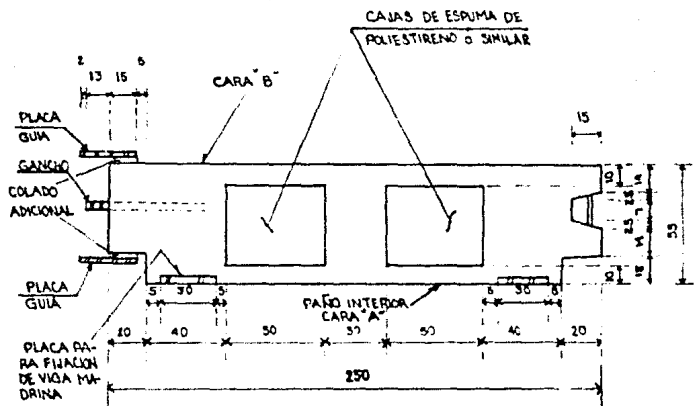


FIG. 4.21

Procedimiento constructivo.

El proceso constructivo tiene la secuencia que a continuación se sigue:

1. CONSTRUCCION DE BROCALES.

La parte horizontal del brocal (alercón) funcionará como una losa pequeña en la que podrá rodar maquinaria, su ancho será de 1.00 m., aproximadamente, el cual podrá modificarse en la obra dependiendo de las condiciones de apoyo que presente el terreno.

La parte vertical o faldón, será de 1.80 m., aproximadamente. (figura 4.22).

Los materiales utilizados en la construcción del brocal fueron concreto de $f'c = 150\text{kg/cm}^2$, con acero de refuerzo de $3/8" \phi$, con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

2. EXCAVACION.

La excavación se efectúa como ya se indicó en el capítulo III.

a) Lodo fraguante.

Las propiedades del lodo fraguante fueron controladas en laboratorios en donde se obtuvo el proporcionamiento adecuado a los materiales utilizados:

- Cemento toteca extra puzolana Portland tipo C2
- Bentonita marca "Minerales no metálicos", S.A.
- Aditivo acelerante Fragusil de Sealcret, S.A.
- Agua potable.

Las dosificaciones usadas fueron las siguientes:

AGUA	- 924 lt
CEMENTO	- 180 kg
BENTONITA	- 96 kg
ADITIVO	- 3.6 kg

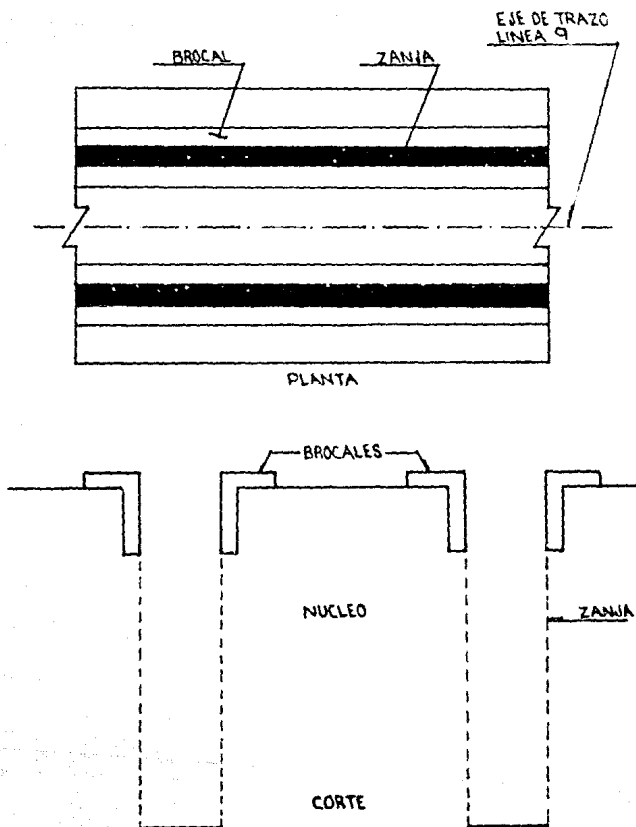


FIG. 4.22

Este será el proporcionamiento en cada una de las zanjas que alojarán a las tablaestacas prefabricadas.

b) Equipo.

Para la excavación de las zanjas que alojarán a las tablaestacas prefabricadas se utilizó una grúa hidráulica de tipo Almeja guiada.

La duración total desde el momento en que se inicie la excavación hasta la introducción y plomeo del muro prefabricado dentro de la zanja totalmente excavada, ademas con lodo bentonítico, no deberá ser mayor de 6 hr.

Las zanjas se excavarán en tramos de 7.5 m., de longitud de tal forma que se obtenga el espacio correspondiente para colocar tres tableros como se indica en el capítulo III.

La profundidad de las zanjas excavadas que alojarán a los muros prefabricados del cajón será de 2.00 m., por debajo de la profundidad máxima de excavación correspondiente a esa zona. Esto es, la profundidad de las zanjas de los muros prefabricados, va a estar 2.00 m., por debajo del nivel de excavación del núcleo del cajón para que en cierta manera quede el muro prefabricado enterrado como si fuera una estaca.

En virtud de que las herramientas de excavación de las zanjas es curva, la máxima profundidad será de 20 cm adicionales a la indicada en el proyecto.

Una vez iniciada la excavación de la zanja se introducirá el lodo a través de una tubería de 6" \varnothing el cual va a ser bombeado por medio de una motobomba para después ser utilizado en el tramo subsecuente.

El volumen de lodo por introducir será de 5.5 m³ por cada zanja, equivalente a tres tablaestacas precoladas.

Durante la excavación se efectuó un control de las propiedades del lodo. Dicho control consistió en realizar las pruebas necesarias para confirmar si las propiedades mencionadas, que dan dentro de los límites especificados.

Los lodos fraguantes con las propiedades ya mencionadas deberán fraguar y alcanzar la resistencia de $0.7 \text{ kg/cm}^2 \pm 10\%$ en un lapso no mayor de 4 hr, por lo que será necesario para cumplir con este objetivo agregar un aditivo acelerante de fraguado.

3. COLOCACION.

La colocación de las tablaestacas prefabricadas se llevó a cabo siguiendo las siguientes etapas:

a) Se iza el tablero de tal manera que tenga una inclinación de 5° con respecto a la vertical, esto con objeto de garantizar que el gancho situado en el extremo inferior del muro tablaestaca quede alojado en la preparación correspondiente del muro contiguo previamente colocado y descienda por dicha preparación hasta ensamblar con la placa correspondiente.

Asimismo, deberá mantenerse centrado el eje del tablero con respecto al eje de la excavación durante las maniobras de introducción.

b) Una vez que el tablero alcance su nivel de desplante indicado en el proyecto que en este caso particular fue de 8.15 m girará hasta la posición vertical cuidando que las placas guías ensamblen con el muro contiguo previamente colocado. Ya terminado el paso anterior, se deberá centrar el tablero con el interior de la zanja y dejarse suspendido mediante un puente tal como se muestra en la (figura 4.23).

El puente estará constituido por una viga IFR 8"x 5 1/4" ($w = 29.8 \text{ kg/m}$) además de un cable de acero trenzado con un gancho en el extremo inferior con el fin de poder sostener el

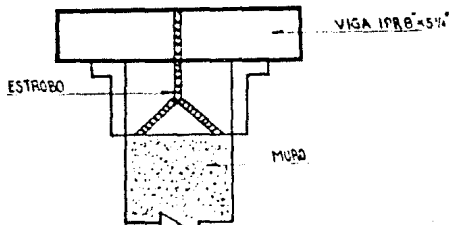
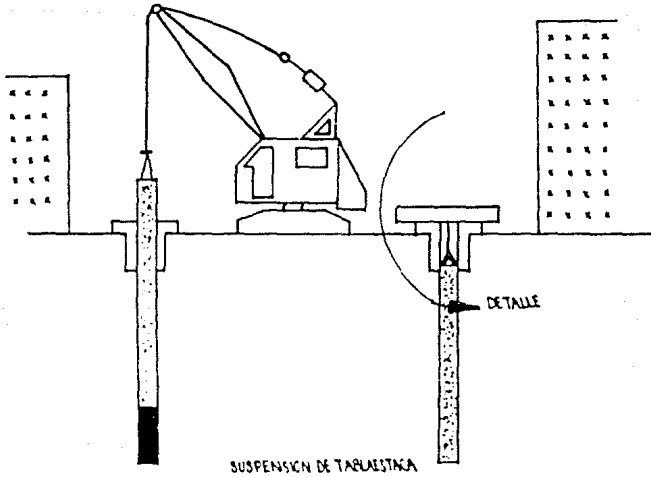


FIG. 4.23

muro por medio del estrobo.

c) Durante la colocación de cada tablaestaca deberá tenerse cuidado en el alineamiento a nivel de remate respecto a los muros previamente colocados, para lo cual se pintarán referencias en las varillas que servirán de liga estructural con el firme de compresión de la losa de techo que se construirá posteriormente.

d) Finalizando la colocación de la primera tablaestaca, se iniciará la colocación del segundo muro prefabricado de acuerdo con las indicaciones antes mencionadas.

e) Una vez colocada la primera y la segunda tablaestaca, se iniciará la colocación del tercer muro, el cual se introducirá en la zanja en forma perfectamente vertical, cuidando que el gancho de azarre en el runto uno descienda en la preparación correspondiente, y que las placas guías ensamblen con el muro adyacente anteriormente colocado.

Previamente a la introducción de los muros prefabricados, deberá verificarse la profundidad de las zanjas. Asimismo, la colocación de los muros prefabricados a todo lo largo del tramo correspondiente se realizará en un solo sentido, es decir, no deberá efectuarse la colocación en más de un frente de trabajo por lado de la excavación.

Para esta obra los materiales utilizados para la construcción de cada tablaestaca prefabricada debió tener las especificaciones siguientes:

Concreto $f'c$	=	200 kg/cm ²
Acero de refuerzo f_y	=	4000 kg/cm ²
T. A.	=	3/4"

El equipo que se utilizó para esta obra fue el siguiente:

1 Grúa de tipo Almeja	= Excavación
1 Grúa de 20 ton. de capacidad	= Maniobras
1 Motobomba	= Lodos
1 Planta soldadora	= Servicios

Análisis de Rendimientos.

El plan de trabajo o programa de obra que se elaboró fue el -- siguiente, teniendo en cuenta que se fabricaron tablaestacas -- para dos frentes diferentes para el lado sur y el lado norte.

Fecha de inicio: Viernes 12 de julio de 1955

Tablaestacados colocados al 21 de julio de 1955

Viernes	12	3 piezas norte (N)
Sábado	13	0
Lunes	15	3 piezas (N)
Martes	16	3 piezas (N)
Miércoles	17	3 piezas (N)
Jueves	18	3 piezas (N)
Viernes	19	6 piezas norte y sur (N y S)
Sábado	20	3 piezas (N)

TOTAL 24 piezas

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{24 \text{ piezas}}{7 \text{ días}} = 3.42 \text{ piezas/día}$$

Este rendimiento se debió incrementar ya que hasta el Viernes 19 se contó con tablaestacas prefabricadas con orientación de lado sur.

Al tener tablaestacas unicamente con orientación norte, no fue posible llevar a cabo actividades simultáneas, ya que de haber existido tablaestacas con orientación sur, mientras se introducía un trío de estas en el lado norte, el equipo guiado hubiera podido excavar en el lado sur, de tal manera que el ciclo queda de la siguiente manera:

CONCEPTO	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18
Excavación norte	▨								
Colocación de tablaestacas norte				▨					
Excavación sur				▨					
Colocación de tablaestacas sur							▨		

Posteriormente y conforme se fue avanzando a lo largo del tramo a prueba, se obtuvieron dos rendimientos más, por tal motivo se calculó un promedio aritmético de los tres datos para ser utilizados como dato real de referencia:

Rendimiento No.1 = 3.42 pzas/día = 4.28 ml/día (de cajón)

Rendimiento No.2 = 3.12 pzas/día = 3.90 ml/día (de cajón)

Rendimiento No.3 = 5.14 pzas/día = 6.42 ml/día (de cajón)
(Óptimo)

El avance real promedio (en el trazo observado) fué el siguiente:

Rendimiento promedio = 3.89 pzas/día = 4.86 ml/día (de cajón).

Los materiales que se requirieron para esta obra son los siguientes:

MATERIALES

Actividades	Totales
Descarga y entongado	78 piezas
Elaboración de lodo	210.60 m ³
Introducción de lodo	210.60 m ³
Introducción de tablaestaca	78 piezas

Nota: Estas cantidades corresponden al total de lodo fraguante que se elaboró y al total de tablaestacas que se colocaron en 25 días efectivos y en 2 turnos de trabajo.

CONCLUSIONES

Aunque hasta ahora los muros prefabricados sólo se han utilizado en líneas del Metro y que se considera todavía como un método a prueba, en el tramo de la línea 9 del Metro que se muestra en este trabajo de tesis dió mejores resultados en cuanto a costo y rendimientos los muros prefabricados que los muros colados "in situ", aunque estos fueron poco significativos.

Por el contrario, los muros colados "in situ" se les ha utilizado desde hace tiempo en la construcción del Metro y cimentaciones de grandes edificios en la Ciudad de México, por lo tanto se tiene mayor experiencia en la construcción de los mismos.

De acuerdo a la experiencia que se ha tenido en la Ciudad de México en la utilización de los muros prefabricados en las líneas del Metro, y de los muros colados "in situ" utilizados tanto en líneas del Metro como en cimentaciones, se ha podido establecer algunas diferencias que se presentan en los procesos constructivos de ambos las cuales son las siguientes:

- En cuanto a tiempo de colocación de las tablaestacas prefabricadas se pierde menos tiempo en éstas que en la construcción de los muros colados "in situ"; ya que la colocación de las tablaestacas prefabricadas es un proceso continuo y no en forma alternada como los muros colados "in situ", donde se pierde más tiempo al esperar que el concreto del tablero adyacente frague y alcance la resistencia necesaria para el colado del tablero continuo.
- En la instalación de troqueles se gana más espacio en los muros colados "in situ", ya que estos se colocan directamente sobre los muros, en las juntas entre tableros.

Por el contrario en los muros prefabricados los troqueles se colocan sobre viguetas madrinas las que resta espacio en

- la construcción para la excavación del núcleo del cajón.
- Existen en la colocación de los muros prefabricados más juntas constructivas por sellar, al ser las tablaestacas más cortas que los muros colados "in situ" esto implica que hay mayor posibilidad de que haya humedad o filtraciones de agua en las tablaestacas prefabricadas.
 - En la actualidad se tiene mayor experiencia en la construcción de los muros colados "in situ" por parte del personal, al ser un procedimiento tradicional el colado de los muros que en la colocación de los muros prefabricados ya que son un método que se le considera a prueba.
 - En la obra se requiere de un mayor número de trabajadores para la construcción de los muros colados "in situ" que para la colocación de las tablaestacas prefabricadas.

Para saber en un proyecto de cimentación o de Línea del Metro que tipo de muro utilizar para la construcción del cajón, se puede tomar en consideración los siguientes puntos:

- La fabricación de las tablaestacas prefabricadas al ser un proceso de producción en línea que es menos costoso, puede ser menos conveniente para el fabricante de las tabletas prefabricadas fabricar una pequeña cantidad de tablaestacas para cubrir el cajón de la cimentación, en comparación con las líneas del Metro que son espacios mucho más largos que se requieren un mayor número de tablaestacas.
 - También se deben tener en cuenta que el transporte de las tablaestacas prefabricadas al lugar de la obra, el costo de del transporte incrementa el precio de la tablaestaca.
- En cuanto a la estiba de las tablaestacas prefabricadas se requiere de espacio en la obra.

BIBLIOGRAFIA

1. Mecanica de Suelos, Tomo II
Juárez Badillo y Rico
Edit. Limusa
2. Especificaciones del Metro, COVITUR
Comisión de Vialidad y Transporte Urbano
3. Cimientos Profundos Colados en Sitio
Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos
Edit. Limusa
4. Apuntes de la Línea 9 del Metro, ISTME
Ingeniería Subterránea de Transporte Metropolitano
5. Construcción de Obras Subterráneas en Suelos
Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y
Obras Subterráneas, A.C.
6. Lodos, SOLUM, S.A.
Alberro, J. y G. Hiriart
SOLUM, S.A.