



---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

“CONSTRUCCIÓN DE MURO MILÁN  
EN EL TRAMO ATLALILCO  
MEXICALTZINGO LÍNEA 12 DEL  
METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O C I V I L

**PRESENTA**

ISIDORO GODOY VARGAS

DIRECTOR DE TESIS:

ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO

MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA 2010





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**DEDICADA:**

*Con cariño y respeto a mis padres  
quienes me dieron la vida*

*Con mucho orgullo a la **UNAM**:  
por brindarme la gran oportunidad de ser y estar*

*Con aprecio y cariño a la Facultad de  
Ingeniería por las experiencias  
y vivencias en ella*

## **AGRADEZCO:**

A **Dios**, por ubicarme en donde lo hizo, mostrándome que las caídas, no son fracasos, sino experiencias para ser mejor.

A la **UNAM** por hacer posible uno de los sueños más importantes de mi vida.

A la **Facultad de Ingeniería** por ser parte de lo que soy y pilar de lo que seré.

A mi director de Tesis **Maestro en Ingeniería Carlos Manuel Chavarri Maldonado** por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, por sus amplios conocimientos, guía y apoyo fundamentales para la concreción de este trabajo.

Al **Maestro en Ingeniería Luis Bernardo Rodríguez**, que por su tiempo, dedicación, paciencia y conocimientos, fue posible la conclusión de esta Tesis, con la proyección de un futuro promisorio.

Al **Ingeniero Rodrigo Morales Mujica**, quien me orientó y dio las bases para realizar este trabajo.

Al **Ingeniero Benito Hernández**, por proporcionarme datos técnicos importantes.

Al **Ingeniero Bernardo Quintana** al frente de la Fundación ICA, por mantener una política de puertas abiertas y de apoyo a la tecnología, propiciando el progreso de México.

A **Mis Profesores** cuyos conocimientos vivencias y enseñanzas, son el regalo más valioso que he recibido sin dar a cambio más que mi eterna gratitud.

Al **Ingeniero Civil Eulalio Enrique Cabrales Quesada**, compañero y amigo con quien me toco estudiar y realizar los primeros proyectos.

A **Mi Amada Esposa** por su apoyo incondicional y constante dedicación, para que pudiera realizar este logro, a ti te lo dedico con todo mi amor deseando que sigamos juntos por el camino de la vida.

A **Mi Hijo**, por su gran apoyo al brindarme este segundo aliento para lograr el término de mi carrera.

A **mi hija**, por el apoyo incondicional que me brindo durante mis estudios.

***Isidoro Godoy.***

## ÍNDICE

INTRODUCCION .....	2
Capitulo 1 ANTECEDENTES .....	4
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO .....	6
1.2 LICITACIÓN DE CONSTRUCCION DE LA LINEA 12. ....	12
1.3DESCRIPCIÓN DEL TRAMO ATLALILCO MEXICALTZINGO .....	19
Capitulo 2 Construcción del Muro Milán en el tramo Atlalilco- Mexicaltzingo, de la línea 12 del metro en la Ciudad de México .....	23
2.1 Secuencia de construcción del muro Milán colado en sitio .....	23
2.2 Inicio de la obra.....	25
2.3 BROCAL DE CONCRETO REFORZADO .....	25
2.3.1 Excavación .....	29
2.3.2 PROCEDIMIENTO.....	30
2.6 IZADO, UNION Y DESCENSO DEL ACERO DE REFUERZO.....	42
2.3 CARACTERISTICAS DEL TUBO TREMIE .....	52
2.4 Resistencia y fluidez del concreto .....	59
FALLAS COMUNES CON EL TREMIE .....	61
2.5 IMPERMEABILIZACION .....	68
2.7 LODO BENTONITICO .....	72
2.8 PROPIEDADES DEL CONCRETO Y DEL ACERO A UTILIZAR.....	79
2.8 CONTROL AL COLAR EL MURO MILAN.....	85
2.9 RECURSOS.....	88
CAPITULO III CONCLUSIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	92

## INTRODUCCION

Este trabajo tiene como objetivo, el tratar los aspectos más relevantes de los muros de concreto reforzado colado en zanja y ademados con lodo bentonítico comúnmente denominado Muro Milán. En el tramo Atlalilco-Mexicaltzingo de la línea 12 del metro.

El proceso constructivo del Muro Milán tiene por objetivo el confinar las zonas de excavación y de soportar los empujes laterales de la masa de suelo inducidos por las estructuras laterales colindantes además de compensar el peso del material en los casos en que se presenten la subpresión para lograr con esto una estructura confiable, estable y definitiva con el fin de brindar seguridad y evitar en lo más posible cambios bruscos en los esfuerzos del suelo para no afectar a terceros aún en caso de sismo además de formar parte importante de la estructura definitiva lo cual evidentemente se ha logrado, pero se aclara que no es posible lograr que un Muro Milán sea impermeable de por si, puesto que el concreto por su naturaleza no es impermeable, esto se logra con procedimientos posteriores si es necesario que el Muro lo sea. En zonas urbanas donde el costo del terreno es de muy alto valor, se utiliza el Muro Milán para la construcción de cimentación compensada y en sótanos, con el fin de optimizar al máximo la excavación para construir en sitios reducidos.

Un Muro Milán colado en sitio puede ser construido de dos maneras (como Muro sencillo o como acompañamiento).



Muro sencillo

Como acompañamiento

En el metro de la ciudad de México, por la presencia de los suelos blandos el comportamiento de ambas soluciones ha sido muy satisfactorio y se puede afirmar hoy en día que su utilización es un éxito.

En nuestro país, el éxito en la construcción de este tipo de Muro depende desde el punto de vista equipo-maquinaria, de planear adecuadamente la selección del equipo pesado y de tomar en cuenta la inversión que se tendrá al adquirirlo ó rentarlo durante el proceso de la obra.

## ANTECEDENTES

En los años de 1952 a 1953 nació el Muro Milán. La idea la concibieron casi simultáneamente dos ingenieros italianos; El ingeniero Carlos Veder y el ingeniero Marconi; independientemente cada uno por su lado desarrollaron la idea de construir un Muro profundo in situ, sin tener que utilizar cimbra para contenerlo. Todo surgió por la necesidad de construir un sistema de transporte colectivo en la ciudad de Milán cuyo suelo aluvial con limos y arenas saturadas presentaban muchos problemas en las excavaciones. Por el éxito obtenido la técnica fue adoptada de inmediato en las ciudades de otros países europeos que se encontraban en intensos programas de reconstrucción después de la segunda guerra mundial en Paris se estableció una reñida competencia entre dos empresas constructoras: La Solentache y la Bache con esto dieron un notable impulso al desarrollo tecnológico del procedimiento constructivo y es el que actualmente se utiliza en el mundo.

En los Estados Unidos en 1962 se construyó el primer Muro Milán para un rascacielos en Nueva York y en 1967 lo utilizaron en la construcción del metro de San Francisco y desde entonces se ha incrementado el empleo de esta técnica en ese país.

La idea consistió en su origen en hacer una excavación rectangular del tamaño adecuado estabilizándolo con lodo para después introducir en ella una parrilla de acero de refuerzo y luego vaciar el concreto que iría desplazando al lodo de estabilización por diferencia de peso y densidades, al mismo tiempo el lodo se podría recuperar para reciclarlo y reutilizarlo pues por ser de importación la bentonita resultaba muy costoso su utilización aunque de resultados muy satisfactorios.

El emplear bentonita para estabilizar pozos de agua y pozos petroleros se inicia en 1910 en los Estados Unidos y en 1938 el ingeniero Carlos Veder lo utilizó para excavar zanjas en el suelo con buenos resultados.

A finales de los años 60, La empresa Solum del grupo ICA pone a prueba con éxito el estabilizar zanjas con lodo bentonítico en la arcilla de la ciudad de México en la colonia Agrícola Oriental.

En un segundo experimento de mayor proyección en el que también colaboraron otras Empresas de ICA construyeron varios muros Milán otra vez en la colonia Agrícola Oriental y en esta ocasión se excavó para verificar la calidad del concreto colado bajo lodo bentonítico.

La información así obtenida permitió la construcción de las tres primeras líneas del metro, con el procedimiento en zanja lo cual resultó de una aplicación práctica comparado con el procedimiento en túnel porque permite establecer numerosos frentes de ataque en beneficio del programa de construcción.

En 1967 en definitiva el sistema se aplica en México y es muy bien recibido porque venía a resolver en gran parte los problemas que se presentan debido a las arcillas blandas del subsuelo de la zona lacustre metropolitana del Lago, pues el nivel freático se encuentra en promedio a dos metros de profundidad.

El ingeniero Enrique Tamez director de la empresa Solum (Geotécnico) lo adaptó o le dio el toque mexicano necesario para utilizarlo aquí: resolvió los aspectos técnicos necesarios para utilizarlo en esta ciudad y se pudo continuar la construcción del metro con excelentes resultados. Hoy en día el muro Milán es un proceso de construcción de gran importancia y de aplicación necesaria en la ciudad de México.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO



Imagen: I-I

Debido a la gran población que habita en la ciudad de México, se ha generado una demanda de construir una nueva línea del Sistema de Transporte Colectivo mejor conocido como METRO.

### Demanda de la línea 12

La demanda estimada es superior a los 367,000 pasajeros diarios en día laborable, con lo cual la Línea 12 pasará a ocupar el cuarto lugar de la Red de Metro, misma que podrá alcanzar los 450,000 con el ordenamiento del transporte colectivo y la redistribución de viajes locales y regionales.

Los estudios y análisis base del propósito son:

1. Estudio de pre factibilidad de Línea 12 (2000-2002)

2. Encuesta de origen y destino 1994.
3. Encuesta de movilidad a 475,000 usuarios en la Red (2007)
4. Encuesta de aceptación organizadas en el presente año, por los jefes delegacionales.
5. Actualización del Estudio de Demanda para la Línea 12 Tláhuac – Mixcoac.
6. Resultados obtenidos mediante el Modelo de Simulación del Transporte Emme/2

<b>DISTRIBUCION</b>	<b>2012</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>
<b>Pasajeros que ingresarían en el periodo matutino de 6 a 9</b>	127,655	139,693	149,880
<b>Pasajeros que ingresarían por día ambos sentidos</b>	455,911	498,904	535,286
<b>Tramo más cargado sentido ote. - pte. en el periodo matutino de 6 a 9</b>	67,809	74,799	81,161
<b>Tramo más cargado sentido pte.- ote. en el periodo matutino de 6 a 9</b>	11,779	12,022	12,208

**Tabla I-1**

Objetivos línea 12

Brindar servicio de transporte masivo de pasajeros en forma rápida, segura, económica y ecológicamente sustentable a los habitantes de siete delegaciones.

- Tláhuac
- Iztapalapa

- Coyoacán
- Benito Juárez
- Xochimilco (desde Tulyehualco)
- Milpa Alta
- Álvaro Obregón

Mejorar el desempeño de la totalidad de la Red del Metro, al proporcionar conectividad con las Líneas 8, 2, 3 y 7 en el sur de la Ciudad de México.

Las 5 delegaciones beneficiadas por esta obra

Beneficio de la Construcción de la línea 12

En esta obra tan importante son 5 delegaciones las que se beneficiaran:

- Iztapalapa: La más poblada
- Tláhuac:
- Coyoacán y Benito Juárez: Con importantes índices de saturación vial
- Xochimilco: Comunicación adicional al centro por Tulyehualco
- Milpa Alta: Comunicación directa al CETRAM Tláhuac por Tecomitl

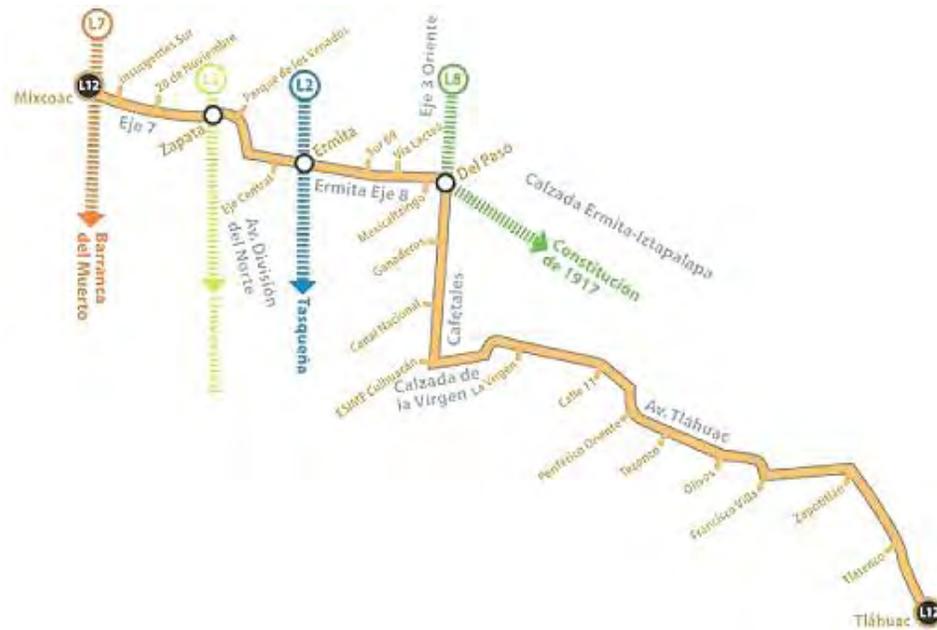


Imagen I-II

### Características físicas y técnicas de la línea 12

- ❖ 24 Kilómetros de Línea subterránea
- ❖ 23 Estaciones
- ❖ 39 Trenes férreos y 6 de reserva con las siguientes características:
  - ✓ compatibles con tecnología neumática
  - ✓ De rodada férrea
  - ✓ De 8 vagones cada uno
  - ✓ 28 trenes (al inicio de la operación intervalos de 3.9 minutos)

- ✓ 35 trenes (intervalo mínimo de 2.5 minutos en horas pico)

Características Técnicas de los Trenes que operaran en la línea 12:

- Puesto de Control de Línea: (PCL)
  - Pilotaje automático: digital
  - Subestaciones de Rectificación: 14 en línea 1 en talleres 1 en plataforma de
  - 4000kw.
  - Alimentación de energía eléctrica: en alta tensión 230 KVA (tarifa HT)
  - Tracción: Línea elevadiza de contacto (catenaria) de 1500 vcc
  - Señalización: en línea
  - Radio telefonía: radio troncalizado digital tecnología Tetra
  - Video vigilancia: basada en CCTV con cámaras vía red (IP) y análogas
- 
- ❖ Intervalo de 2 minutos en hora pico
  - ❖ 12 Millones de pasajeros al mes

La conectividad de esta línea será: Recorrido: Inicia en Tláhuac y avanza por la avenida del mismo nombre hasta Calzada Ermita, donde el trazo se prolonga sobre Eje 8 Sur hasta salir a División del Norte; dará vuelta hacia el Norte hasta el Parque de los Venados, para continuar hacia el poniente en Eje 7 Sur y finalizar en Mixcoac.

4 nuevas estaciones de correspondencias:

- Atlalilco: Línea 8 (Garibaldi – Constitución de 1917)
- Ermita: Línea 2 (Tasqueña – Cuatro Caminos)

- Zapata: Línea 3 (Indios Verdes – Universidad)
- Mixcoac: Línea 7 (El Rosario – Barranca del Muerto)

Para primer transbordo ofrece 7 líneas y 15 estaciones de enlace directo: Salto del Agua, Pino Suárez, Balderas, Tacubaya, Chabacano, Bellas Artes, Tacuba, Hidalgo, Santa Anita, La Raza, Deportivo 18 de Marzo, El Rosario, Centro Médico, Garibaldi y Guerrero.

Conexión con: Tren Ligero, Metrobús Insurgentes, Terminal de Autobuses del Sur y con Metrobús Xola.

- ❖ 4 Estaciones de correspondencia: **Mixcoac:** Línea 7 (El Rosario-Mixcoac)
- ❖ **Zapata:** Línea 3 (Indios Verdes-Universidad) **Ermita:** Línea 2
- ❖ (Tasqueña-Cuatro Caminos) **Del paso:** Línea 8 (Garibaldi-Constitución de 1917), construcción de nueva estación
- ❖ Escaleras Eléctricas
- ❖ Torniquetes mixtos (boleto-tarjeta)
- ❖ Bandas transportadoras
- ❖ Accesibilidad total a discapacitados
- ❖ Señalamientos para personas de la tercera edad y con discapacidad
- ❖ Sistemas modernos de vigilancia
- ❖ Primer Museo de Sitio en el Metro
- ❖ Alimentación eléctrica de 230 mil volts.
- ❖ Transbordos cortos
- ❖ Conectividad al Sur-Oriente

**Servicios adicionales:**

- Sanitarios
- Guarderías
- Centros de internet
- Estaciones con Biciestacionamientos
- TV Metro
- Locales comerciales

**Inversión:** 175,831 millones de pesos

**Conexión con otros transportes:** Tren ligero, Metrobús y Terminal de Autobuses del Sur

**Paraderos:**

- Tláhuac, Periférico Sur y Mixcoac
- Con servicios bancarios, cines y restaurantes
- Bahías para el transporte público

## 1.2 LICITACIÓN DE CONSTRUCCION DE LA LINEA 12.

El Gobierno del Distrito Federal otorgó la concesión para la construcción de la Línea 12 del Metro a las compañías mexicanas ICA, Grupo Carso y la francesa Alstom, quienes ganaron un contrato por 17,583 millones de pesos en (junio 2008) para construir la línea que irá de Mixcoac a Tláhuac.

La construcción de la Línea Dorada del Bicentenario se inicio el 3 de julio 2009 y deberán concluirla el 31 de diciembre de 2011.

De las empresas mencionadas, Alstom se encargará de los aspectos eléctricos y mecánicos mientras que ICA y Grupo Carso se encargarán de la construcción Civil

Desde la terminal de Tláhuac, las estaciones que tendrá la línea 12 serán: Tlaltenco, Zapotitlán, Nopalera, Olivos, Tezonco, Periférico Oriente, Calle 11, Santa Maria Tomatlan , Culhuacán, Ganaderos, Axomulco, Mexicaltzingo, Sur 69, Ermita, Eje Central, Parque de los Venados, Zapata, 20 de Noviembre, Insurgentes Sur y Mixcoac.

Programa: Se contempla que finalice el primer tramo que será de Tlahuac a Atlalilco el 31 de diciembre de 2010 y el segundo tramo de Atlalilco a Mixcoac el 31 de diciembre de 2011.

La línea —~~drada~~” o del —~~bi~~tenario”, como también se le llama a la línea 12, se conectará con las líneas 2, 3, 7 y 8. Tendrá 23 estaciones a lo largo de 24 kilómetros, contará con 39 trenes que transportarán hasta 450,000 personas diariamente.

Se contempla que las finalicen el primer tramo (Tláhuac- Axomulco, Iztapalapa) el 31 de diciembre de 2010 y el segundo (Axomulco -Mixcoac) el 31 de diciembre de 2011.

## ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS PARA LA LÍNEA 12

ACTIVIDADES	AVANCE FÍSICO	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO
Actualización de la demanda (1)	Concluido	1 de Noviembre de 2007	1 de Abril de 2008
Estudios de exploración geotécnica	Concluido	29 de Octubre de 2007	25 de Marzo de 2008
Estudio para la detección de interferencias	Concluido	29 de Octubre de 2007	26 de Febrero de 2008

Ingeniería básica, proyecto operativo, especificaciones y estudio de Impacto Ambiental.	Concluido	29 de Octubre de 2007	30 de Junio de 2008
Estudios para la detección de grietas (2) y fisuras del Subsuelo del Tramo Vía Láctea-Tláhuac de la Línea 12.	Concluido	1 de Julio de 2008	31 de Agosto de 2008
Estudios de Geofísica para la detección de estratos resistentes del subsuelo en el tramo Vía Láctea-Tláhuac de la Línea 12, con la Técnica denominada Radar de Penetración Terrestre (RODAR)	Concluido	7 de Agosto de 2008	6 de Septiembre de 2008
Estudio de Impacto Urbano (3) para la construcción de la Línea 12.	Concluido	13 de Mayo de 2008	12 de Septiembre de 2008
Estudios de Geofísica (4) en cualquiera de sus modalidades para la detección de estratos resistentes del subsuelo tramo Vía Láctea-Tláhuac de la Línea 12, con las técnicas denominadas, sondeos eléctricos verticales (SEV,s), y refracción sísmica, además de la interpretación e informe concentrador de resultados.	Concluido	1 de Julio de 2008	31 de agosto de 2008

Tabla I-II

- Notas:
  - (1) Actualización de la demanda elaborados por el Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales (CIECAS) del Instituto Politécnico Nacional.
  - (2) Estudios para la detección de grietas elaborado por Instituto de Ingeniería de la UNAM.
  - (3) Estudio de Impacto Urbano elaborado por El Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC) de la UNAM.
  - (4) Estudios de Geofísica elaborado por la Escuela Superior de Ingeniería

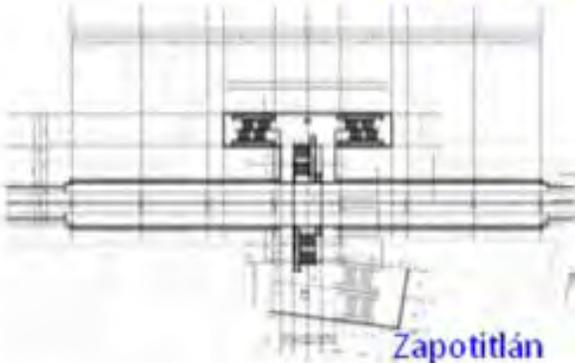
ESIA Ticomán del Instituto Politécnico Nacional.

- El 20 de junio de 2008, el Sistema de Transporte Colectivo presento la Manifestación de Impacto Ambiental Especifica (MIAE), para el proyecto integral de la Línea 12 del Metro Tláhuac – Mixcoac, ante la Secretaría del Medio Ambiente (folio de ingreso 18235/2008).
- El 29 de agosto de 2008, la Secretaría del Medio Ambiente emite el resolutivo SMA/DGRA/DEIA/005417/2008, de la autorización parcial condicionada en materia de impacto ambiental al Sistema de Transporte Colectivo para la construcción y operación de la Línea 12 del Metro Tláhuac - Mixcoac.

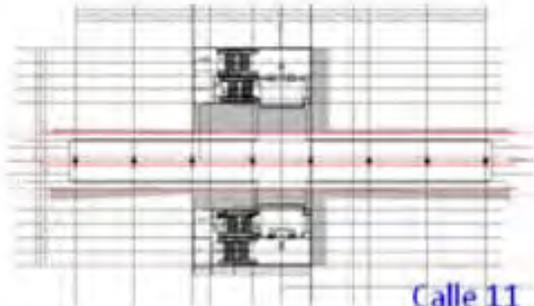
Imágenes de estaciones elevadas: I-III



La Nopalera



Zapotitlán



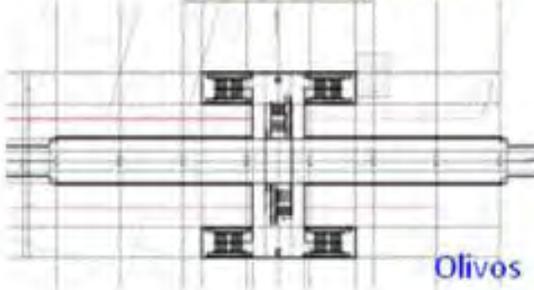
Calle 11



Periférico Oriente



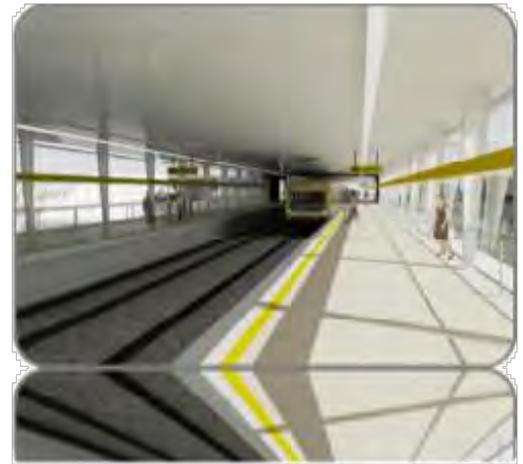
San Lorenzo Tezonco



Olivos

Imágenes Estaciones Elevadas: I-VII

**ESTACION PERIFERICO**



**ESTACION ZAPOTITLAN  
(NOCHE)**



**El Viaducto**

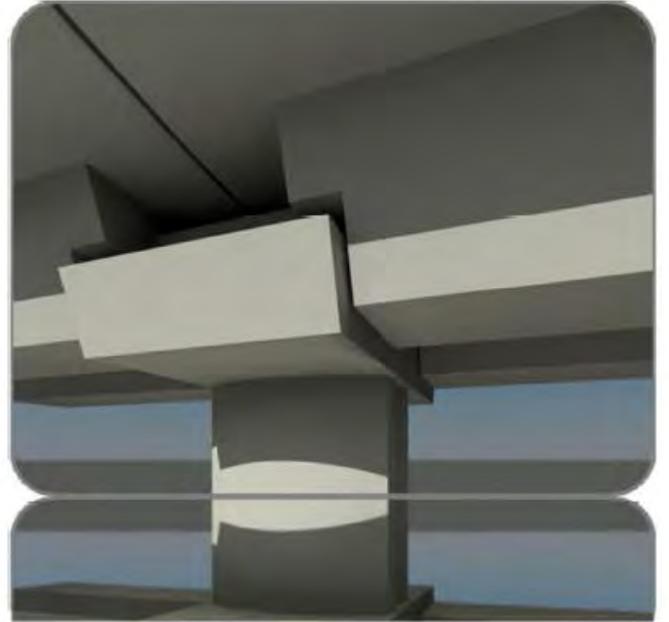
**ESTACION TIPO TRAMO ELEVADO**

**TRANSICIÓN SUPERFICIAL - ELEVADO**

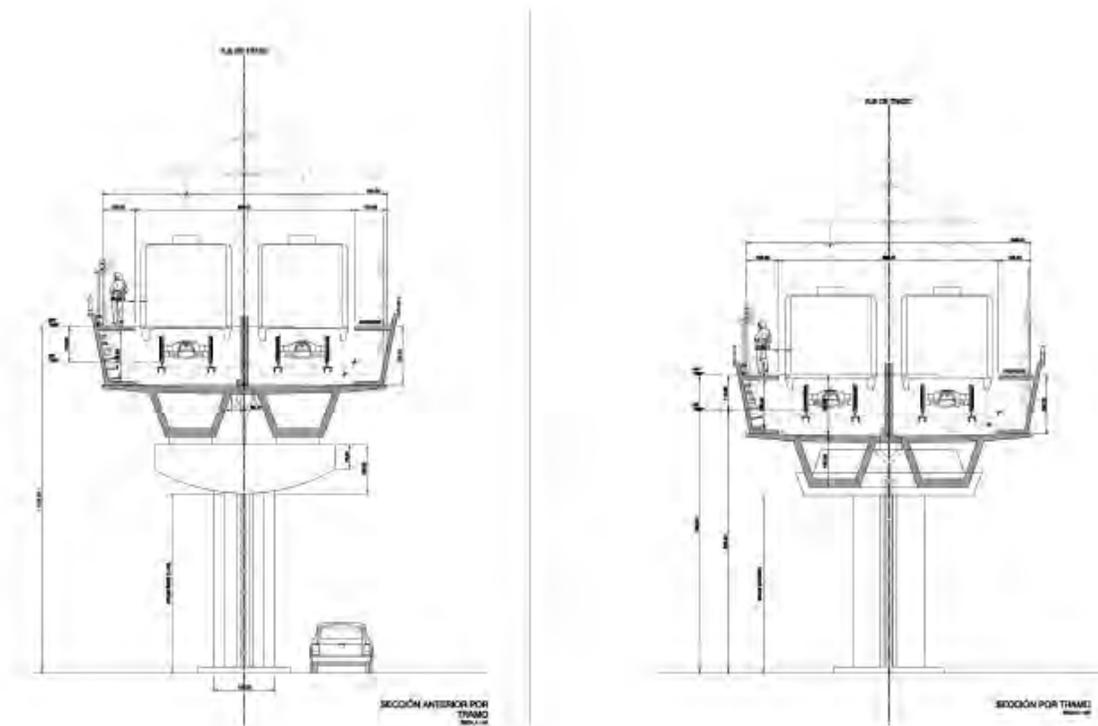


IMÁGENES ESTACIONES ELEVADAS:

I-VIII



DETALLE CABEZAL



IMAGENES ESTACIONES ELEVADAS: I-IX

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO ATLALILCO MEXICALTZINGO

El tramo Atlalilco-Mexicaltzingo comprende de la Calzada de la Viga a Av. Año de Juárez y comienza en el cadenamiento: 20 + 360.266 a 21 + 314.000

Un total de 988 metros lineales de los cuales 850 metros serán construidos con muro Milán y 50.88 metros serán construidos por un sistema de túnel.

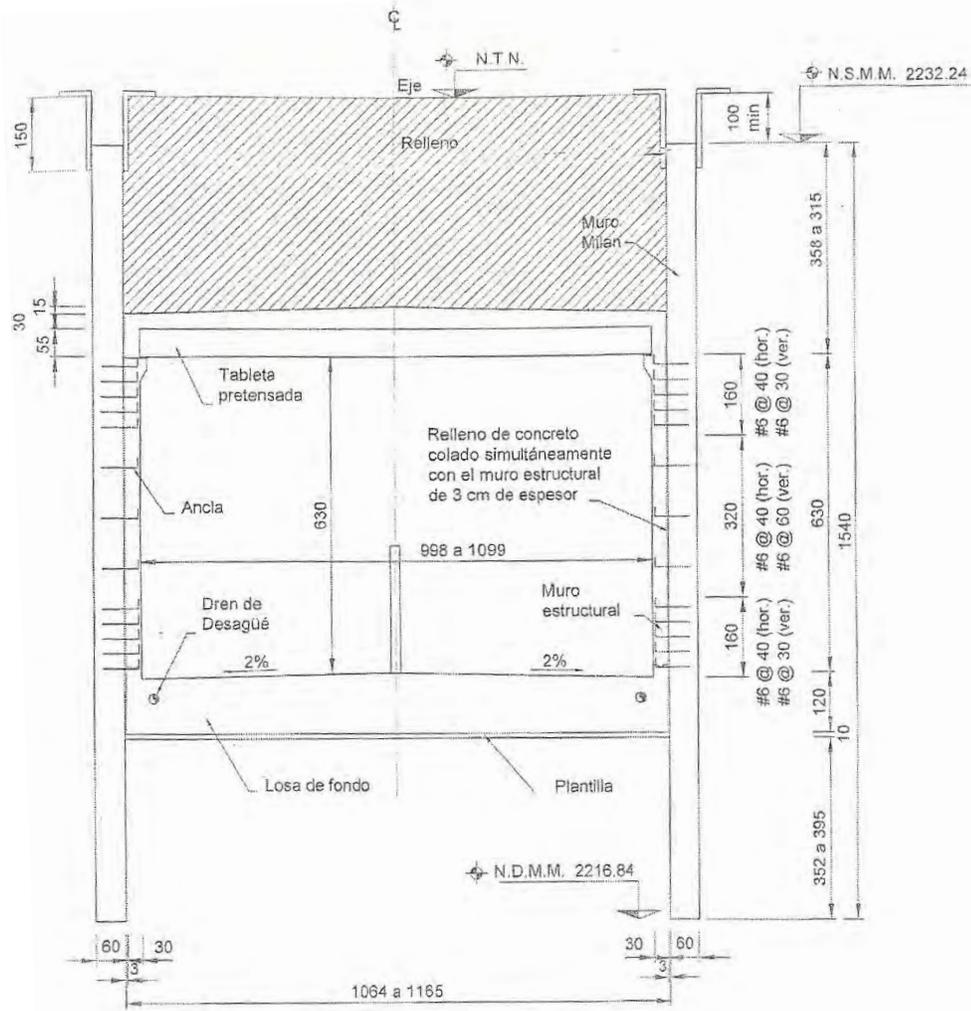
El tramo en muro Milán comienza en Atlalilco con una profundidad de 6 metros y llegará a los 23 metros de profundidad en su conclusión.

Este tramo será realizado con la construcción de dos Muros Milán en cajón con 18 metros de ancho el que será dividido por un muro de 1.0 m. de altura que determinará el sentido de cada tren.

En el extremo del área de cajón se construirá una lumbrera, la que permitirá introducir una tuneladora o escudo.

Zona de Cajón Muro Milán terminado

Figura I-III



**DIMENSIONES GENERALES**  
**Cadenamiento 20+160.644 a 20+182.240**

Escala 1:100

A continuación se observan vistas de la estación actual del metro Atlalilco desde donde inicia el tramo y de los trabajos que se realizan en el mismo. Entradas a la actual estación Atlalilco, inicio del tramo Atlalilco Mexcicaltzingo de la línea 12 situados en Av. Ermita (Eje 8) a la altura de la Av. Tlahuac



Imagen I-X

Imagen I-XI



imagen I-XII





Troqueles deteniendo al muro Milán mientras se efectúan los trabajos de relleno y compactado (Imagen: I-XIII)

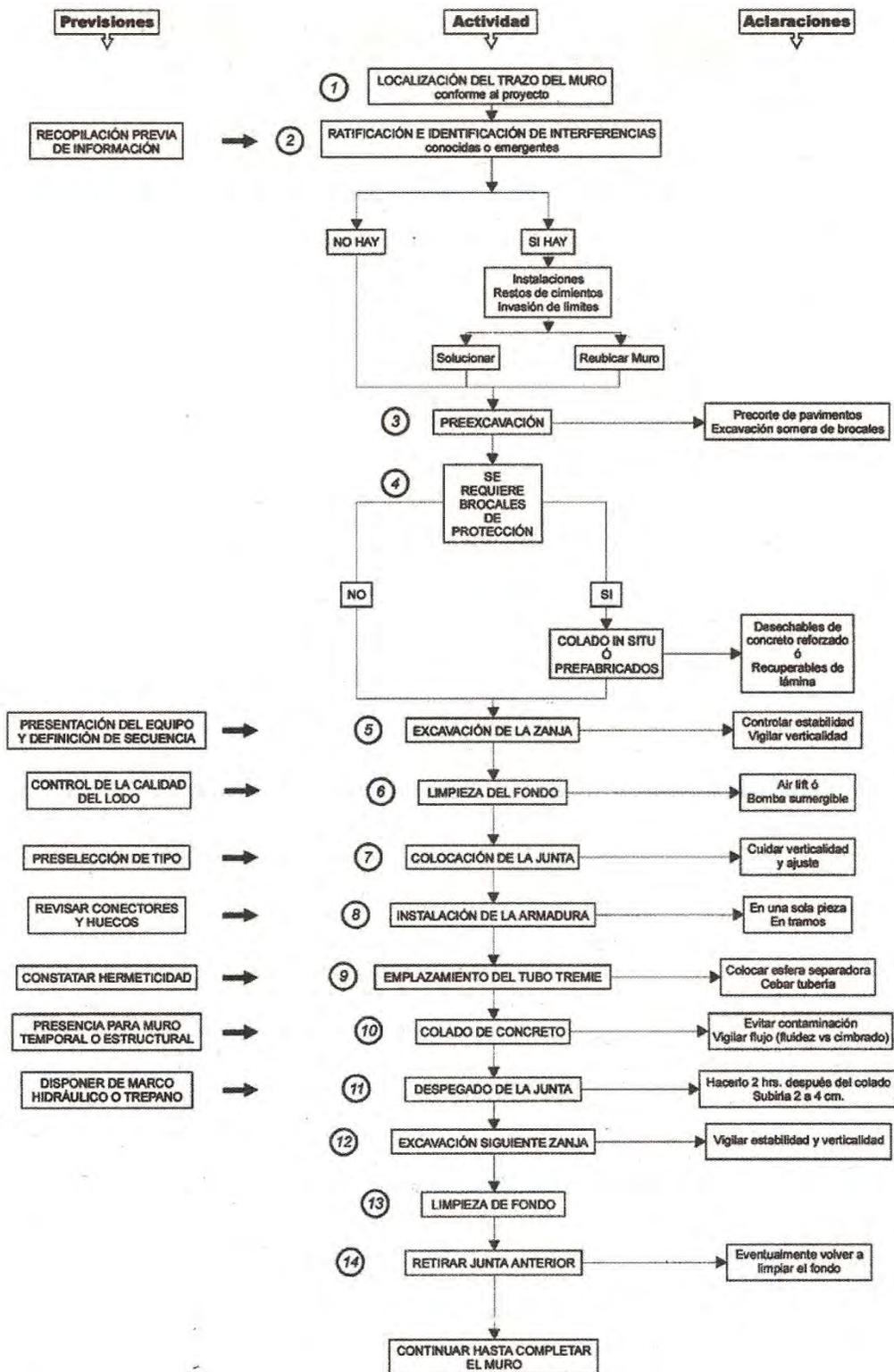


Vista de las parrillas de acero de refuerzo de Muro Milán: imagen I-XIV

## Capítulo 2 Construcción del Muro Milán en el tramo Atlalilco- Mexicaltzingo, de la línea 12 del metro en la Ciudad de México

### 2.1 Secuencia de construcción del muro Milán colado en sitio

Esquema II-I



En principio se realizó un recorrido por el tramo Atlalilco-Mexicaltzingo por ser la zona que involucra el proyecto. Se determinó la zonificación que en este caso fue zona II o transición para saber por qué pruebas o medios se determinarían el tipo y las propiedades de los suelos sobre los que se apoyara el muro efectuando un número adecuado de sondeos. Las propiedades de los suelos deben ser determinadas a través de laboratorios y, se debe determinar si existen condiciones de agresividad en el agua o en los suelos con el objeto de considerar el uso de los aditivos necesarios

Definición de las condiciones geométricas como son : posición, alineamiento, sobrecargas, niveles de agua, altura libre como también las condiciones ambientales. A continuación

- a) Calcular las fuerzas de las presiones laterales que actuarán sobre el muro
- b) Calcular la longitud de empotramiento,
- c) Determinar los momentos flexionantes máximos
- d) Definir la sección del muro en función de los esfuerzos máximos y las condiciones de apoyo
- e) Determinar sistema de apuntalamientos o si es necesario anclaje.

En el diseño de muro Milán es necesario prever o conocer las respuestas del suelo que provocarían la excavación por quitar suelo y agua lo que originaría un movimiento de masa lo que se debe contener y evitar en lo máximo para no afectar estructuras vecinas y a los servicios públicos. Las fallas se pueden presentar por cortantes de los suelos. También prever y evitar fallas de fondo: cuando el abatimiento del nivel freático es insuficiente para evitar el flujo de agua hacia la excavación, las fuerzas de filtración pueden provocar la inestabilidad del fondo. Evitar falla por pateo esto ocurre cuando se vence la resistencia del suelo frente al muro.

## 2.2 Inicio de la obra

Metodología para la excavación de muros Milán colado en sitio

Se inician los trabajos apoyados en los planos del proyecto el personal de topografía de la obra

- a) Localiza y numera cada uno de los tableros
- b) Se comienza la excavación y se realiza a mano a 1.5m de profundidad (con palas y pico) con el fin de localizar y precisar obras inducidas bajo el suelo
- c) Se define la posición topográfica de los muros incluyendo ángulos y curvas necesarias
- d) Se determina exactamente donde se encuentran instalaciones de servicios públicos, ductos, cables, drenajes, tuberías de agua potable y construcciones subterráneas.
- e) Se construye una zanja guía en la que van coladas los brocales de concreto que servirán de guía a las almejas en la excavación y evitará que los bordes de la zanja guía se desmoronen, además deberá soportar el empuje horizontal producido por la maquinaria proporcionando estabilidad a la excavación amén del lodo bentonítico sin el cual no se debe excavar para evitar los caídos laterales.

La bentonita forma en las paredes una costra o cake que evita la infiltración y da resistencia a las paredes verticales.

## 2.3 BROCAL DE CONCRETO REFORZADO

A continuación se ilustra la geometría del brocal de concreto reforzado con varilla 3/8 de pulgada. En todos los casos necesarios es necesario agregar anclas cortas o verticales para fijar la banqueta del brocal al suelo para cuando se necesita levantar el muro o se requiere sobre elevar el nivel del lodo.

La estabilidad de los brocales, requiere que siempre deben mantenerse acañados con puntales de madera para evitar que se muevan horizontalmente, estos puntales se retiran durante la excavación y si es necesario se vuelven a colocar hasta que se inicie el vaciado del concreto.

Las fallas más frecuentes de los brocales también se ilustran en las siguientes figuras [a] el brocal fue corto y favoreció caídos locales justo abajo la solución es profundizar el brocal. b) El tipo de material y mala compactación del relleno provocaron el caído, la solución es sustituirlo por un suelo estabilizado con cemento. c) la ausencia o caído de los puntales permitieron el giro del brocal, un golpe con la máquina excavadora también provoca este tipo de falla, la solución es no cometer ninguno de esos errores.

Imágenes de brocales con sus características:

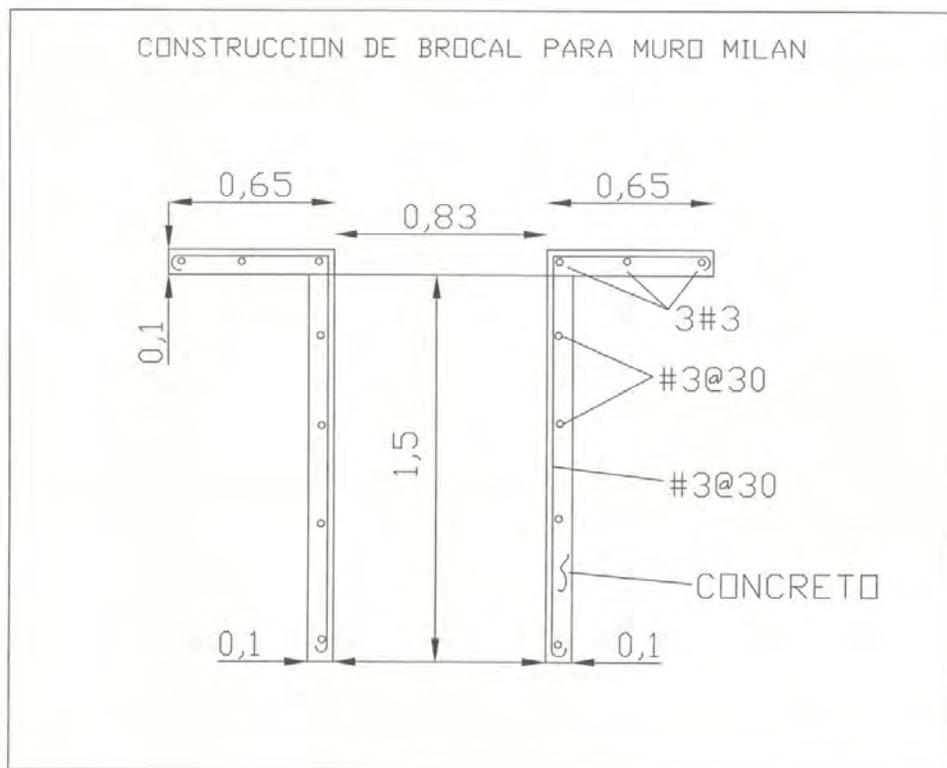
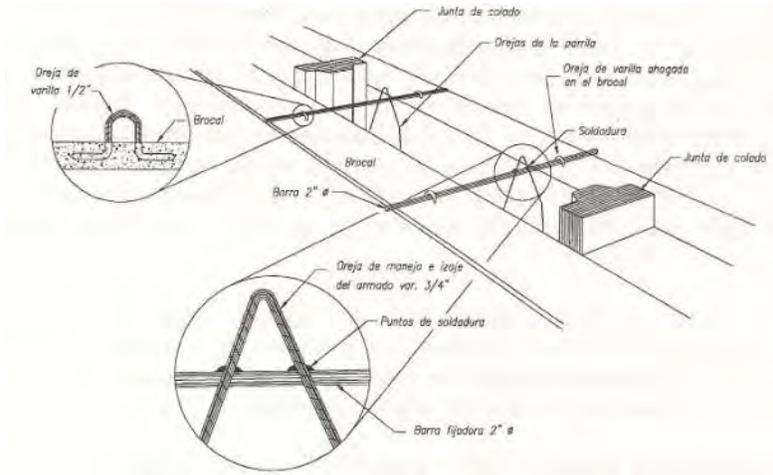
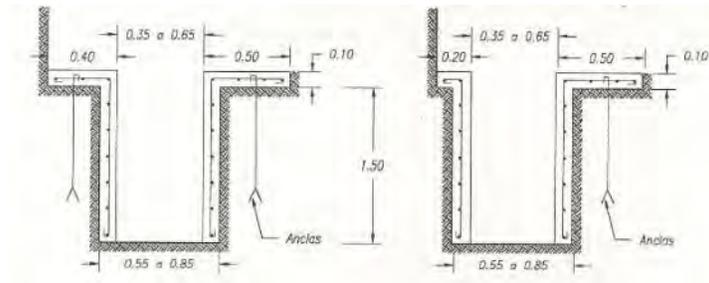


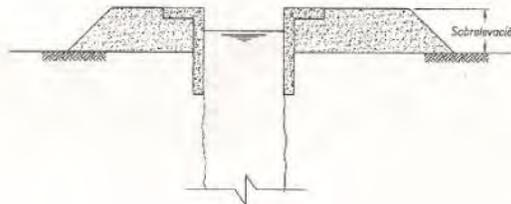
figura II-I



Orejas de fijación del acero de refuerzo (figura II-II)



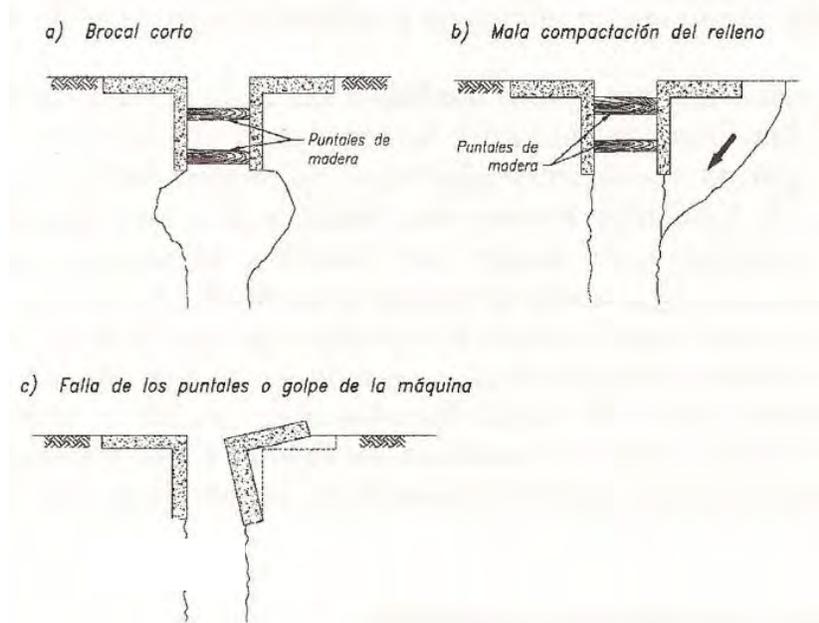
Brocales de colindancia (figura II-III)



(figura II-IV)

Brocal sobrelavado

## Fallas típicas de los brocales. (figura II-V)



Brocales construidos en el tramo Altalilco Mexicailzingo (se detectaron obras subterráneas)

Imagen II-I

imagen II-II

### 2.3.1 Excavación

La excavación se realiza con el equipo Casagrande o equipo guiado por computadora, a mitad de la excavación ya se debe efectuar el armado de varilla que servirá de refuerzo la cual puede llegar a pesar 5,6 o 20 toneladas según el alto y el largo del armado la varilla que se utilizan son  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  y 1 pulgada. El armado debe llevar sus orejas soldadas por medio de las cuales se izará el conjunto.

Habilitado del acero de refuerzo.



Imagen II-III

Es importante en el proceso constructivo de la zanja guía que se haga de una manera cuidadosa para evitar derrumbes porque la misma servirá de molde para el muro y un defecto en la excavación traerá alteraciones en la estructura del muro y en los costos, un muro excedido en dimensiones habrá que demolerlo parcialmente sumando el costo del materia que se usó de mas. Si el muro quedara inclinado en cualquier dirección y su inclinación es excesiva, esto pondría en peligro su estabilidad generando problemas en las construcciones vecinas.

### 2.3.2 PROCEDIMIENTO

Se define como tablero a un tramo de zanja que se profundiza con una máquina excavadora vertical que se coloca en tres posiciones por la abertura de almeja lo cual es de 2 m. a 2.20 m. El personal de topografía de la obra localiza y numera cada uno de los tableros y antes de iniciar la excavación se asientan marcas en los brocales con el fin de tener siempre referencias físicas del tablero que se esté trabajando registrándolo en la planilla de reporte de construcción de muro Milán 9.1 se define como zanja guía a una ranura en la superficie del terreno de ancho igual al muro mas la tolerancia que permita el paso de la almeja de excavación, en cuanto a la profundidad de la zanja se iguala al espesor del material suelto: a 1.5m.. Esta zanja se protege con un revestimiento que es el brocal este refuerza la parte superior de la excavación; las funciones de la zanja guía con brocal son:

- a) Precisar la posición topográfica de los muros incluyendo los ángulos i curvas necesarias.
- b) Comprobar que no hay instalaciones municipales, ductos o cables etc. en la traza del muro
- c) Controlar la operación de excavación obligando a que la almeja entre en posición correcta.
- d) Estabilizar la parte superior de la excavación y evitar caídos locales
- e) Confinar el lodo y facilitar el control de su nivel durante la excavación.
- f) Facilitar la colocación de la junta y servir de apoyo para sostenerla.
- g) Soportar la jaula de acero de refuerzo en posición vertical fija para evitar su flotación y en su caso que penetre en el terreno más de lo debido.

h) Servir de apoyo al paso de la maquinaria pesada de excavación.

Para realizar la excavación se utiliza una almeja guiada montada sobre una grúa Link-belt modelo LS-118 o similar; en función de la longitud de cada tablero y la abertura de boca de almeja se determina en cuantas posiciones de la misma se realizará la excavación en cada una de las posiciones, se debe llegar a la profundidad de proyecto hasta completar el tablero, las posiciones de excavación las debe marcar previamente la topografía con algún color o bien marcadas en el alerón del brocal a modo que pueda ser vista por el sobrestante encargado de la excavación. La profundidad de la misma se va verificando con cable de acero calibrado a cada metro similar a un flexómetro para conocer la profundidad exacta del tablero, la cual siempre se realiza medio metro más profundo de la profundidad estipulada para evitar que el acero se contamine con los lodos y azolves del fondo.

A continuación se anexan fotos e ilustraciones de la utilización del equipo:



Barra guía del equipo Casagrande

imagenI-IV

Draga iniciando excavación

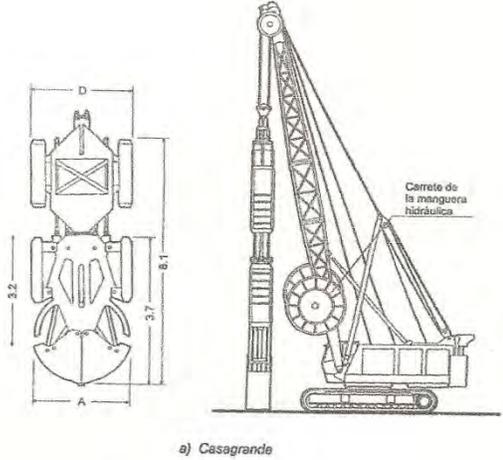
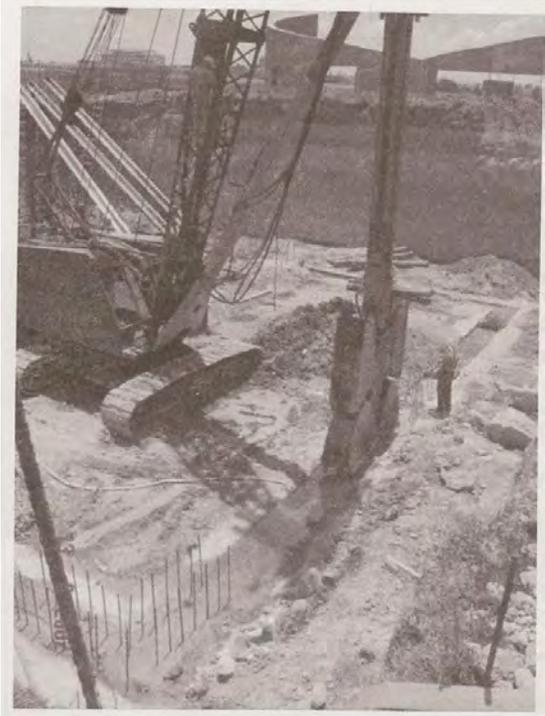


Figura II-VI

Imagen II-V

DRAGA DE CONTROL VERTICAL

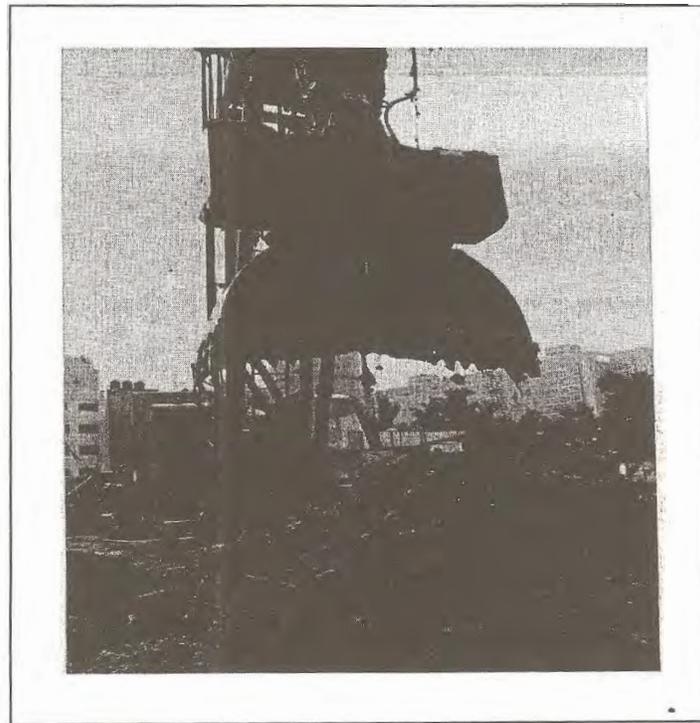


Imagen II-VI

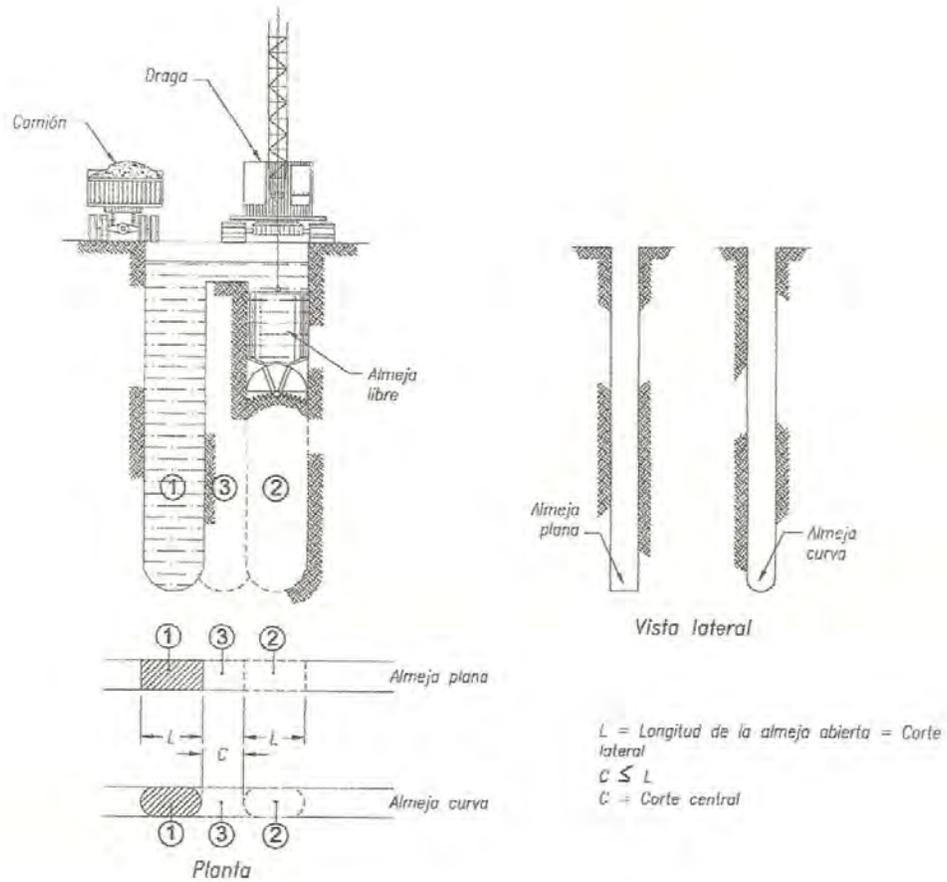
DRAGA MONTADA EN BARRA KELLY



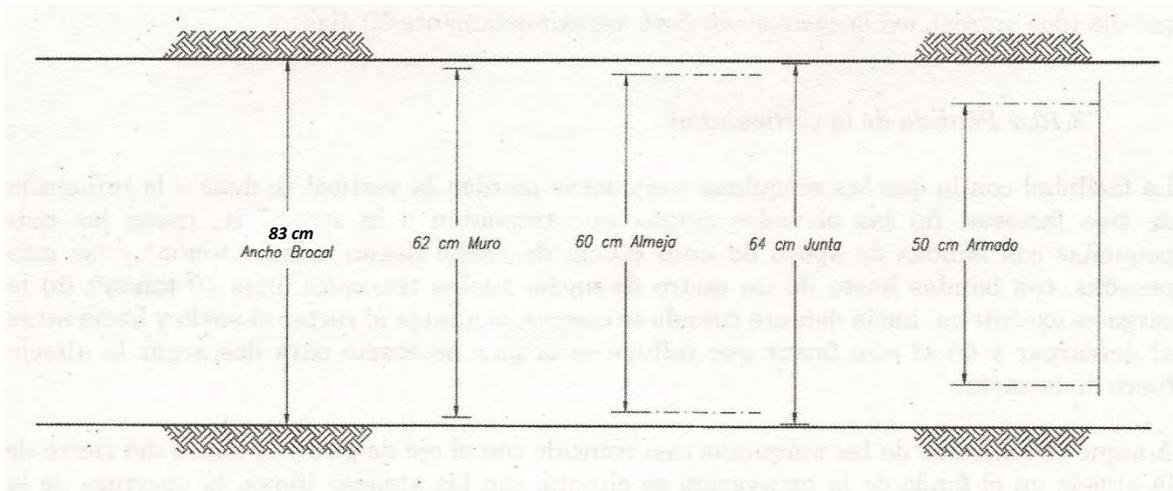
imagen II-VII



Abertura máxima de almeja dentada. Imagen II-VIII



Secuencia de excavación (figura VII)



Dimensiones transversales (figura VIII)

Durante todo el proceso de excavación se debe vigilar atentamente si aparece agua del nivel freático para seguir como se indica en los siguientes puntos a) si aparece agua del nivel freático durante la perforación, se debe buscar la profundidad en que fluye y si esta profundidad es menor de 5 metros, el tablero se mantiene lleno de lodo bentonítico salvo los últimos 50 cm., para evitar que se escurra sobre la superficie. Si la profundidad en la que aparece el agua del nivel freático es mayor de 5m., el lodo bentonítico se debe mantener mínimo 4m. Por arriba de ese nivel.

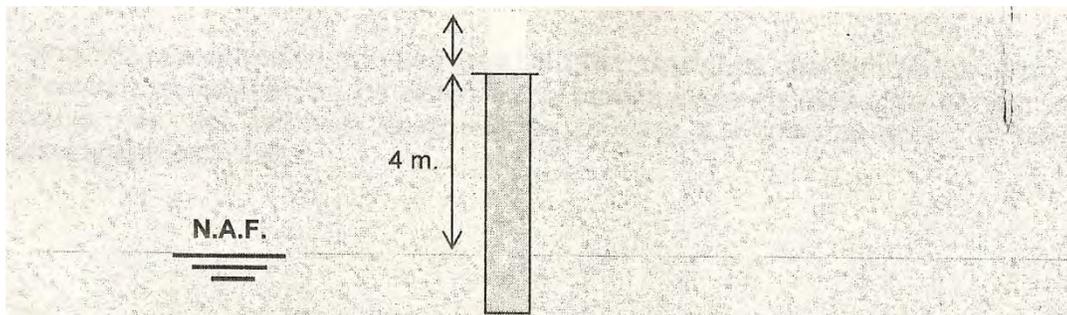


Figura IX



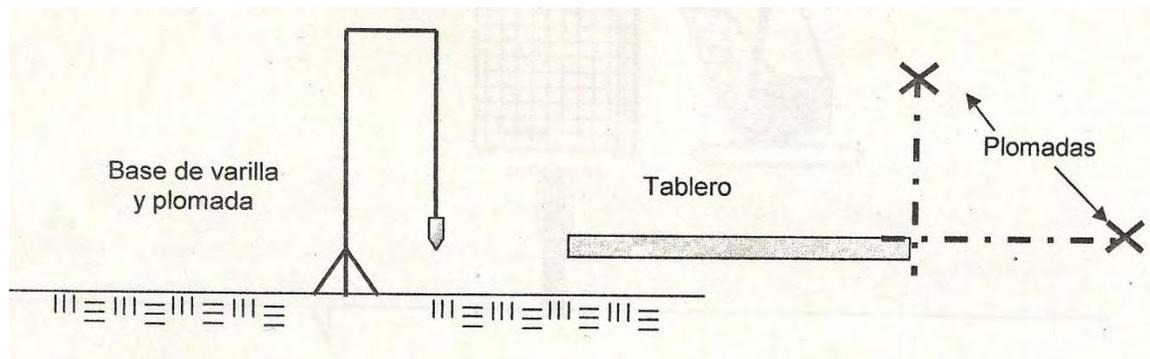
Imagen II- IX

imagen II-X

Finalmente se verifica que el fondo de la excavación esté libre de azolve, limpiando el fondo con la almeja y revisando con una sonda de profundidad total registrándolo en el reporte de construcción de muro Milán .9.1. Cada vez que por

necesidades del trabajo una persona tenga que acercarse al borde de la zanja perforada, esta debe portar un arnés de seguridad y estar asegurado por una línea de vida sujeta a la draga o a otro elemento fijo capaz de sostener el peso de la persona.

Verticalidad: La verticalidad del equipo de excavación se controlara continuamente utilizando dos plomadas de hilo situadas perpendicularmente a 90grados de la posición del eje de excavación y apoyadas en dos bases de varilla, distanciadas adecuadamente de la máquina.

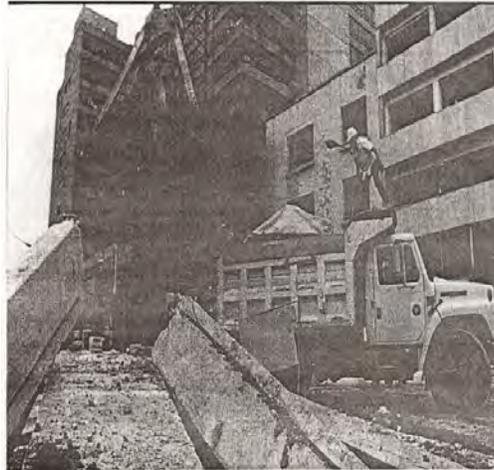


CONTROL DE VERTICALIDAD (figura II-X)

El tiempo que transcurra desde el término de la excavación, hasta colocar el armado de refuerzo del muro Milán no debe ser mayor a 4 horas en ninguna circunstancia en caso contrario se debe repetir la verificación del fondo de la excavación y registrarlo nuevamente en el reporte de construcción de muro Milán

En caso de que se haya utilizado lodo, previo a la colocación del acero de refuerzo, se toman muestras de lodo de la excavación para verificar su contenido de arena y su densidad se encuentren dentro de los parámetros de las especificaciones.

Al término o durante las actividades de excavación, el material extraído será retirado del sitio de trabajo, llevándolo al tiro autorizado.



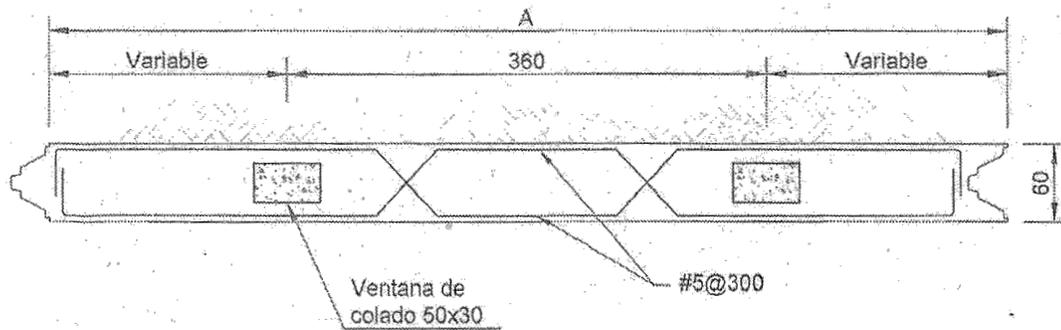
(D) ASPECTO ESTRUCTURAL (imagen II-XI)

**COLOCACION DEL ARMADO:** Concluida la excavación, con una grúa LS-118 o similar (la cual también se utiliza para el colado), se procede a colocar el acero de refuerzo previamente habilitado consistente en varilla corrugada de una pulgada de diámetro en los dos sentidos con una separación de 30cm. entre una y otra.

**PARRILLA DE ACERO DE REFUERZO:** El armado del acero de refuerzo de Muro Milán está formado por una parrilla exterior y otra interior de acero vertical y acero horizontal esto resulta en una armadura compacta que luego deberá izarse e introducirse por gravedad al lodo bentonítico, En la parrilla se dejan dos huecos laterales o ventanas estos huecos serán de 50 x 30cm. y no debe tener interrupciones o algún elemento que pueda servir de obstáculo el tubo debe descender libremente. La colocación de esta parrilla puede producir caídos de las paredes directamente y también puede dañar los brocales y se debe cuidar que no las golpee para tal función, también debe introducirse usando cables y al mismo tiempo hay que empujar el armado con una grúa a efectos de contrarrestar la flotación del acero en el lodo (Esto sucede porque el lodo tiene mayor volumen que se contrapone a la densidad del acero) En el proceso debe tenerse cuidado

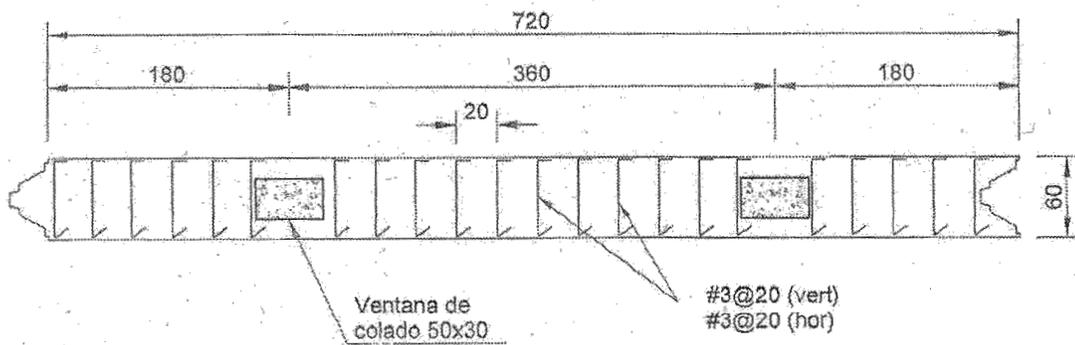
que no se produzcan accidentes con las personas que se desplazan en el entorno de la maniobra cuando se realiza la operación .

DETALLES DE LA PARRILLA DE REFUERZO. Figura II-XI



**CORTE C-C**

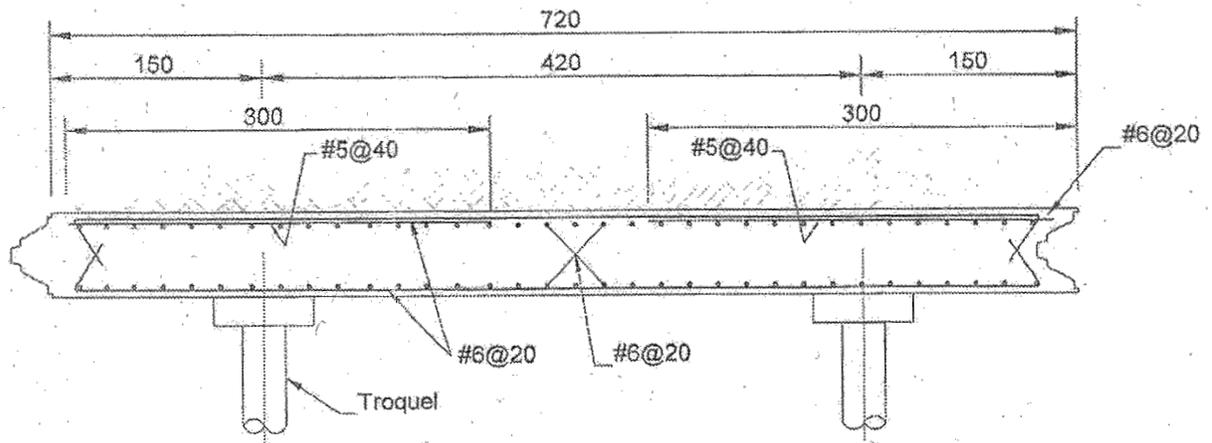
Escala 1:50



**REFUERZO DE CORTANTE**

Escala 1:50

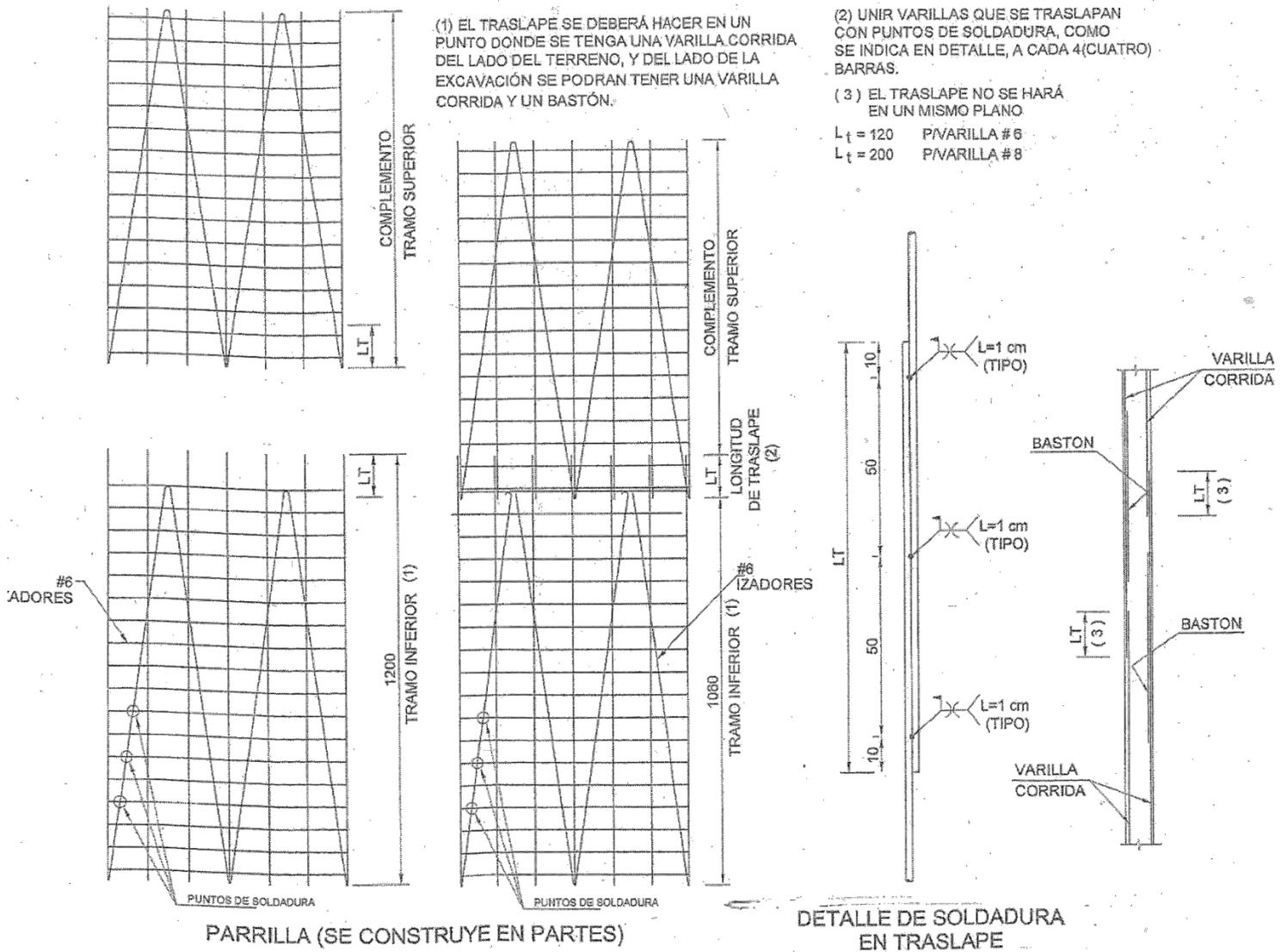
Figura II-XII



## **REFUERZO ADICIONAL EN ZONA DE TROQUELES**

Escala 1/50

Figura II-XIII



**DIVISION DE PARRILLA**

Escala 1:125

Figura II-XIV

DESCENSO DEL ACERO DE REFUERZO: La maniobra se realiza lentamente de manera constante, plomeando verticalmente el armado y haciendo coincidir los centros de la zanja y la parrilla; se debe cuidar que el armado no se asiente en el fondo de la zanja; al terminar de introducir el acero deberá mantenerse suspendido a la elevación correcta para esto las parrillas llevan

soldadas las orejas o lazos de varilla para su anclaje con el brocal. En ambas caras de la parrilla de acero se colocan los separadores de concreto o acero (pollos), que garantizará el recubrimiento mínimo especificado. Esta técnica es adecuada si el rodillo de concreto tiene el ancho suficiente para deslizar sobre las paredes de la zanja sin hundirse; si lo anterior no ocurre, este es el caso de las arcillas blandas del valle de México, es mejor el uso de tubos rectangulares de centrado apoyados en los muros guías como se ilustra en la siguiente figura.

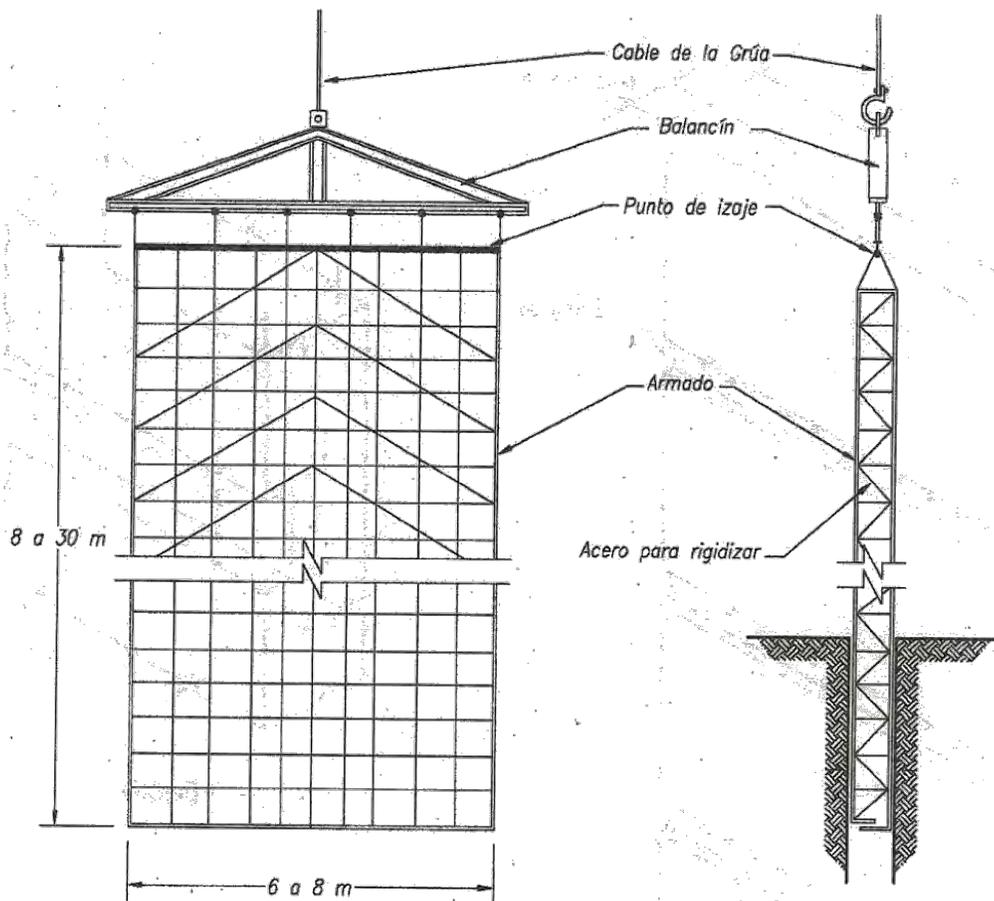


Figura II-XV

Empleó de balancín con 6 puntos de izaje para el manejo de los armados

En ambas caras de la parrilla de acero se colocarán unos separadores de concreto o acero (pollos), que garantizaran el recubrimiento de concreto mínimo especificados.

## 2.6 IZADO, UNION Y DESCENSO DEL ACERO DE REFUERZO.

Izado. Al levantar los armados de acero suelen sufrir distorsiones y deformaciones por peso propio. En el diseño de la jaula de acero de refuerzo es necesario decidir si las parrillas del armado serán una jaula rígida o flexible; las jaulas rígidas se logran agregando varillas soldadas para arriostrar; en muchos casos se prefieren las jaulas flexibles, debido a economía y a que son menos susceptibles a sufrir deformaciones permanentes durante el manejo.

Para el izado de las jaulas se requiere de balancines y dos líneas de estobos que sujetan a las jaulas, de tal manera que se eviten deformaciones por pandeo, una vez que el armado se encuentra en posición vertical se colocan los centradores que permiten que el armado se deslice dentro de la zanja y también aseguran el recubrimiento mínimo, lo cual se describió previamente.

Uniones. La altura de las parrillas está determinada por: la altura libre en obra, la capacidad del equipo disponible, la longitud y profundidad de los muros, las condiciones de apoyo dada por el procedimiento constructivo; si se hace necesario recurrir al corte de las parrillas, la unión de ellas deberá realizarse por medio de traslape, soldadura o de algún dispositivo mecánico.

El procedimiento de unión de las parrillas empieza por levantar e introducir el primer tramo dentro de la zanja, dejando un tramo libre fuera de ella soportado con barras transversales horizontales apoyadas en los muros guía; se iza y se acopla el segundo tramo de acero de refuerzo; para hacer la unión vertical de los dos tramos se recurre a alguna de las siguientes uniones:

- a) Traslape de las varillas con la longitud de especificación y amarre con alambre.
- b) Traslape de las varillas con la longitud de especificación y amarre con perros o grapas "U".
- c) Unión de las varillas en sus puntas con conectores mecánicos de presión.
- d) Soldadura longitudinal de las varillas con la longitud de especificación.

Descenso del refuerzo. La maniobra se realiza lentamente de manera constante plomeando verticalmente el armado y haciendo coincidir los centros de zanjas y parrilla; se deberá cuidar que los armados no se asienten en el fondo de las zanjas; al terminar de introducir el acero deberá mantenerse suspendido a la elevación correcta, por lo que las parrillas deberán tener orejas o lazos de varillas para su anclaje con el brocal.

A continuación se anexan ilustraciones:

## Centradores del acero de refuerzo

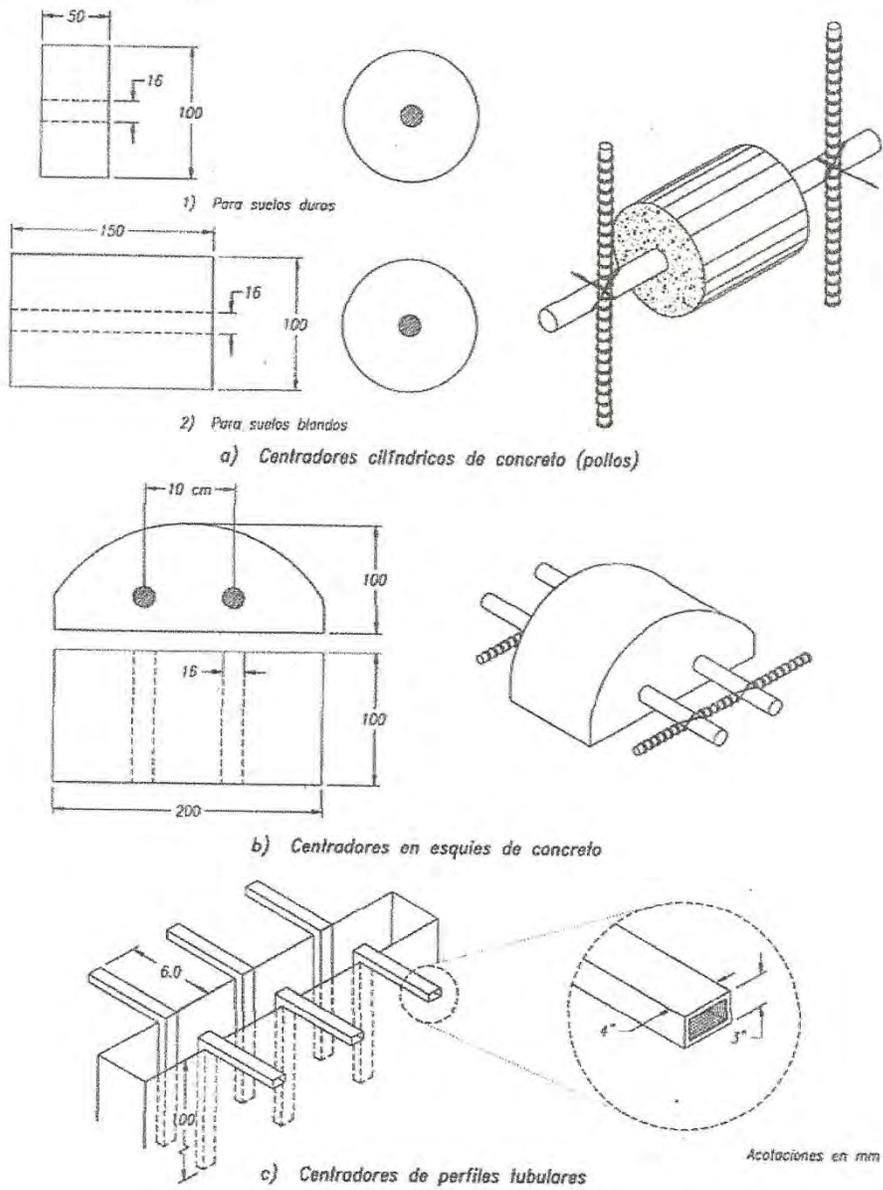


Figura II-XVI

## LEVANTADO DEL ACERO DE REFUERZO

### SUJECIÓN DEL ARMADO DE REFUERZO

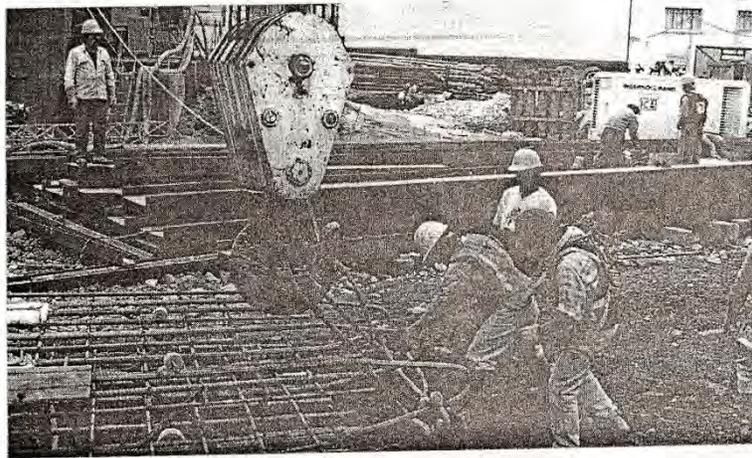


Imagen II-XII

Secuencia de levantado del acero



Imagen II-XIII

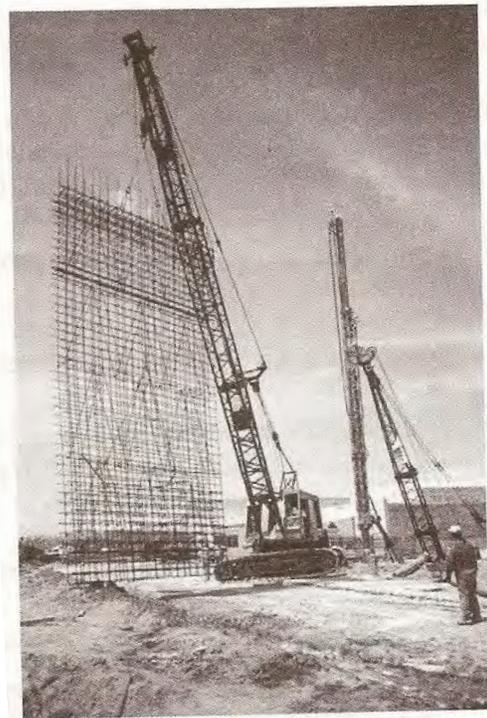


Imagen II-XIV

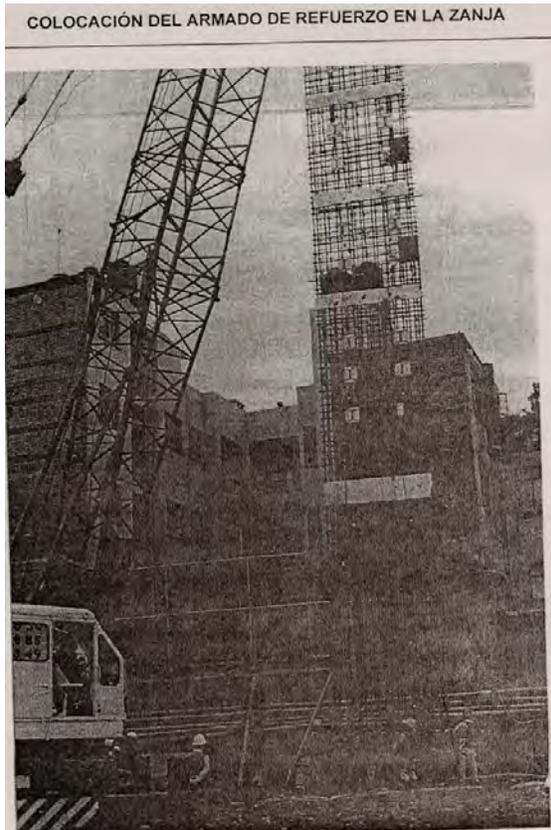


Imagen II-XV

Una vez introducida la parrilla se colocan en cada uno de sus extremos las juntas de colado de acero que también deben ser plomeadas para verificar su verticalidad las cuales deben ser quitadas o despegadas antes de que el concreto se endurezca demasiado para evitar se queden pegadas, la longitud de las juntas deben ser igual a la profundidad de la zanja, la junta de acero de colado lleva anexa al centro una banda de PVC rectangular la cual quedará empotrada la mitad en un tablero y quedará libre la otra mitad para que sirva de liga con el tablero vecino.



Imagen II-XVI

Si la profundidad de la zanja es bastante grande la junta de colado se fabrica en dos partes las cuales se ensamblan para ser instaladas en la etapa del colado.



Juntas de Colado imagen II-XVII

## POSICION CORRECTA DE LA JUNTA DE COLADO

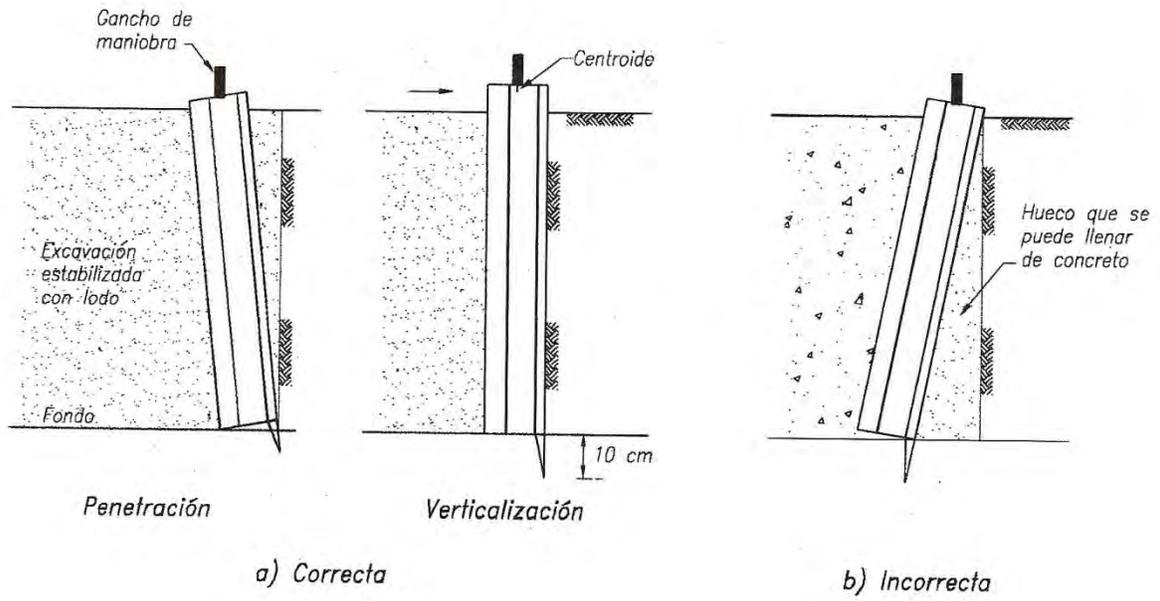


Figura II-XVII

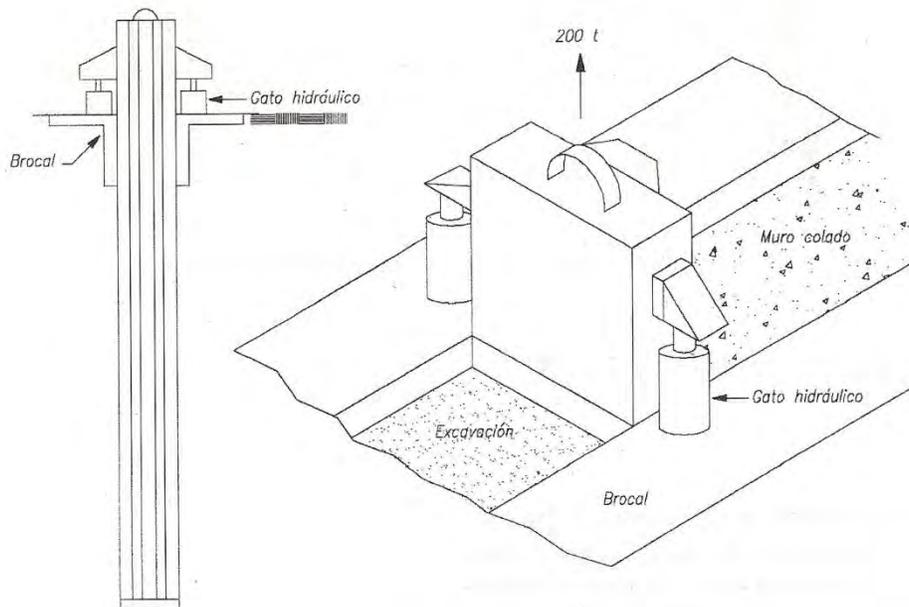
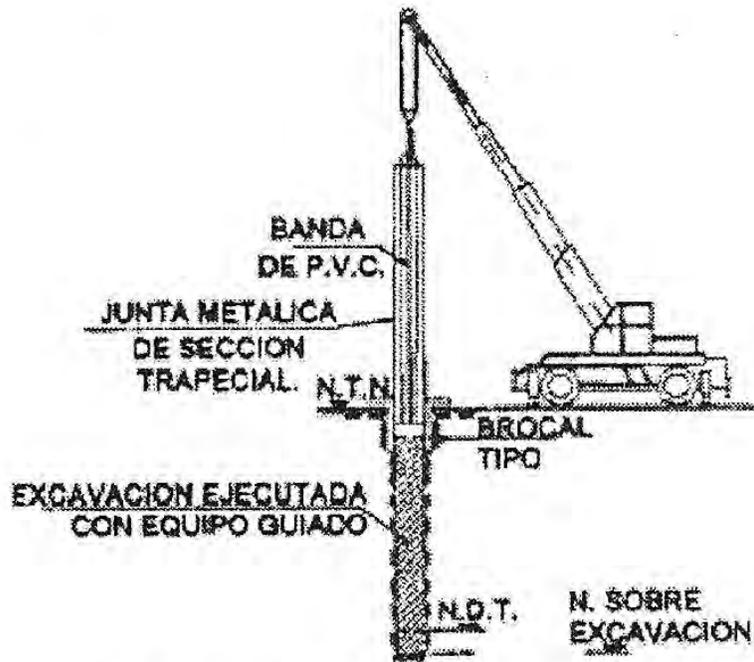


Figura II-XVIII Extracción de la junta de colado



**INTRODUCCION DE JUNTAS METALICAS  
PREVIA A LA EXCAVACION DEL MURO**

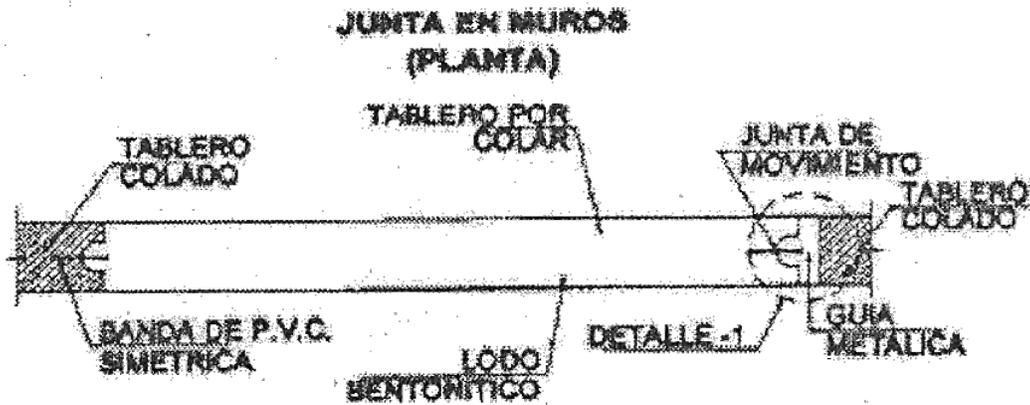


Figura II-XIX

**COLOCACION DEL CONCRETO:** Ya colocado el acero de refuerzo dentro de la zanja y bien sujetado en los lados, se procede a introducir tubería tremie de 10 pulgadas de diámetro procurando tengan acceso libre para que pueden bajar y subir sin obstáculo con ayuda de una grúa, los tubos se dejan a 30cm. del fondo de la excavación para iniciar el colado procurando que el entorno del muro donde se va a colar este sin obstáculos que impidan la maniobra o puedan provocar

accidentes. La olla revoladora de concreto con capacidad de  $8m^3$  debe acercarse lo más posible sin que haya hundimientos en el suelo {esto debido al mejoramiento que se llevo a cabo, antes de iniciar los trabajos}, en la tubería de colado se coloca un balón de látex para formar una barrera para evitar la contaminación del concreto cuando se vacía.

**VERIFICACION DE LA PROFUDIDAD DE LA ZANJA:** Antes de iniciar el colado del concreto se verifica nuevamente la profundidad de la excavación siendo la finalidad calcular el volumen del concreto que se va a utilizar y el avance del concreto que se tiene hacia arriba con estos datos se verifica si hubo alguna desviación al hacer la excavación para solicitar el faltante de concreto a la planta con anticipación el procedimiento se lleva a cabo con un carrete o zonda de cable de acero e  $3/8$  de pulgada el cual lleva en la punta adicionado un contrapeso para que el cable baje hasta encontrar el nivel máximo de la excavación.

#### VERIFICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN

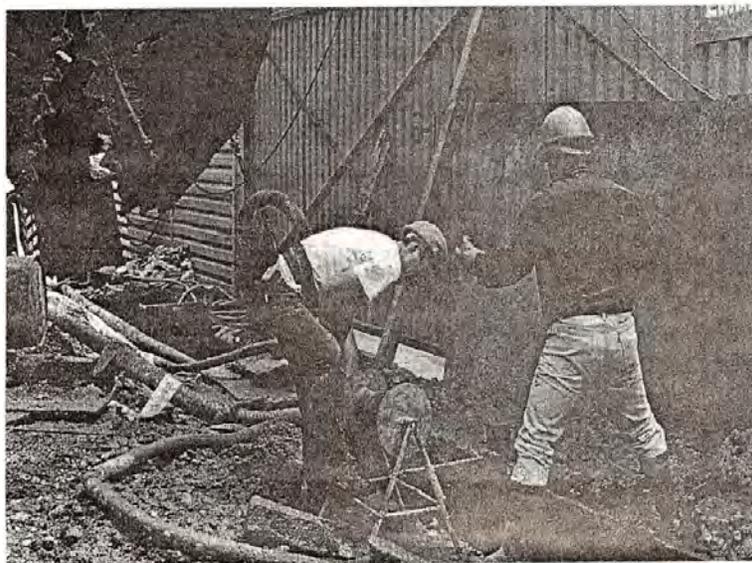


Imagen II-XVIII

**MANEJO DEL TUBO TREMIE:** El sistema Tremie consta de tubos de acero formado en tramos de 2m. unidos en coples y diámetros de 30cm. mas una tolva en la parte superior donde será vaciado el concreto debido a su peso se requiere manejarlo con dos orejas de acero soldadas en la tolva se coloca coloca

un cable con el cual es levantado por la grúa, a medida que va subiendo el concreto dentro de la zanja se van retirando los tramos de tubo para que la tolva quede siempre a nivel de la revolvedora, siendo necesario, sujetar el tubo para evitar que se vaya adentro de la zanja porque puede ocasionar severos problemas. Necesariamente hay que fijar el conjunto con una trampa de acero seccionado en dos partes que por peso del tubo lo sujeta. en caso de un deslizamiento

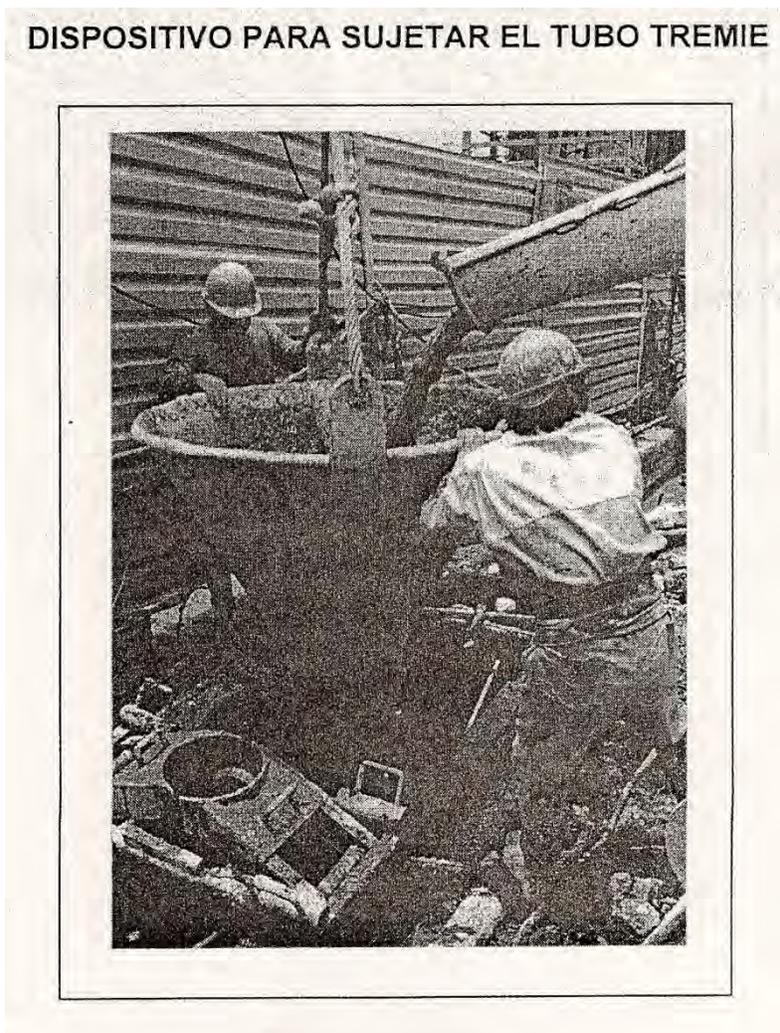


Imagen II-IX

**VACIADO DEL CONCRETO HIDRAULICO EN LA ZANJA:** El proceso se lleva a cabo, primero colocando la bola de hule o látex en la parte superior de la tolva, inmediatamente después se vacía el concreto dentro de la tolva para que

poco a poco vaya desplazando la bola hacia abajo y limpie el interior del tubo del lodo bentonítico, también regula que la primera colada no baje con demasiada fuerza al fondo para evitar la segregación del concreto.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DEL TUBO TREMIE

a) Los tramos de tubería deben ser relativamente cortos máximo 2mts de longitud con uniones roscadas que les permita desconectarse fácilmente. Las de listón con por lo menos 2 entradas son las adecuadas; las empresas italianas constructoras de muro Milán adaptaron la unión con un cable dentro de una ranura interna que trabaja por cortante. Esta última solución es ahora la manera más frecuente de unir los tramos de tubo que se está utilizando en la construcción de muro Milán en la línea 12.

b) La tubería deberá ser de preferencia lisa en el exterior; en el caso de que los coples sobresalgan debe evitarse que lo hagan en ángulo recto; deben tener acabado cónico para evitar que se atoren con el acero de refuerzo.

c) La tubería interiormente debe ser liza para evitar taponamientos de concreto.

d) La tubería deberá ser resistente con un espesor mínimo de 8mm.

e) El diámetro interior del tubo debe ser unas 6 veces el tamaño máximo del agregado grueso.

f) El diámetro exterior en el cople debe dejar una distancia libre al acero de refuerzo de al menos 4 veces el tamaño máximo del agregado grueso.

g) El tapón deslizante de separación del concreto y el lodo usualmente es la cámara interior de un balón de fútbol o pelota similar, la cual debe ajustar con perfección en la pared interior del tubo, sin embargo, como esa cámara o pelota puede quedar atrapada en el acero, se ha dado por sustituirla por una bolsa de tela llena de concreto fresco.

h) Cuando se cuelean muros muy profundos en los que se desconfió de la cámara de balón se recurre a un tapón de pie que se desprende con el peso del concreto que se va inyectando.

i) Los tramos de tubería se van desmontando a medida que avanza el colado y se extrae la tubería, los acoplamientos deben ser rápidos y a prueba de fugas. El equipo deberá cumplir los requisitos mínimos siguientes:

j) Los tramos de tubería deben ser relativamente cortos, máximos 2 m de longitud, con uniones que les permita desconectarse fácilmente; si consiste de cuerdas, las de listón con por lo menos dos entradas son las adecuadas; la unión con un cable dentro de una ranura interna que trabaja por cortante,; esta última solución es ahora la manera que se está utilizando en la construcción del muro Milán de la línea 12 del metro.

k) Deberá tenerse en la obra tubos de 2m. de longitud evitando secciones largas en la parte superior que dificulten la maniobra.

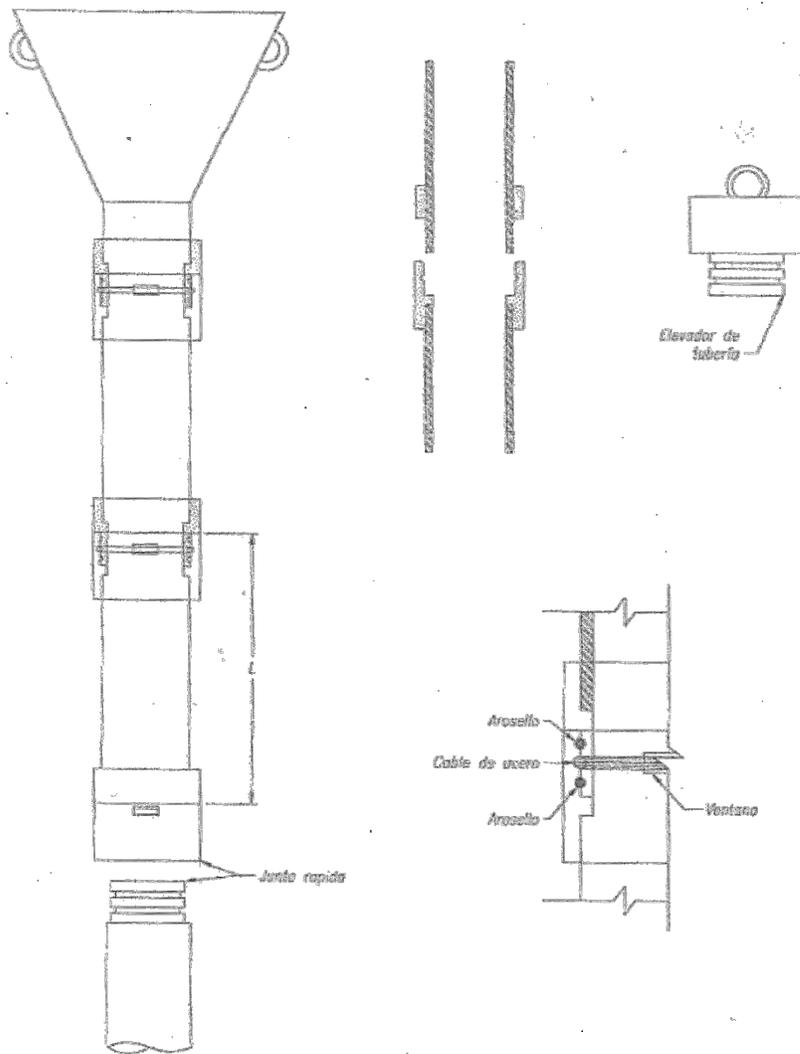
l) Se deberá contar con la herramienta suficiente para conectar y desacoplar rápidamente las secciones

m) Se deberán usar dispositivos para centrar y estabilizar el tubo tremie en la zanja,

n) Se deberá contar con una caja depósito de tubos tremie con cajas de depósito de los segmentos de tubo Tremie y con una tolva cónica de 60 a 80°.

o) El diámetro exterior en el cople debe dejar una distancia libre del acero de refuerzo de al menos 4 veces el tamaño máximo del agregado grueso.

p) Todo inconveniente o corrección en la colocación del concreto deberá anotarse en el reporte de construcción de Muro Milán 9.1. Anexo:1.



Partes del tubo  
treime figura II-XX

**OPERACIÓN DEL TUBO TREMIE:** La herramienta para la introducción del concreto fresco en zanjas estabilizadas con lodo es el tubo tremie, su adecuada operación permite lograr muros de buena calidad y exentos de contaminación, pero es indispensable que se respeten las reglas elementales de esta técnica.

Es necesario advertir que por la sencillez aparente de su manejo se pueden cometer errores y descuidos en los detalles, los resultados son muros defectuosos que hasta que se realiza la excavación del cajón se pueden descubrir, con el propósito de evitar este problema a continuación se describen

los aspectos más simples que deben observarse rigurosamente y se anexan imágenes de los problemas que se deben evitar.

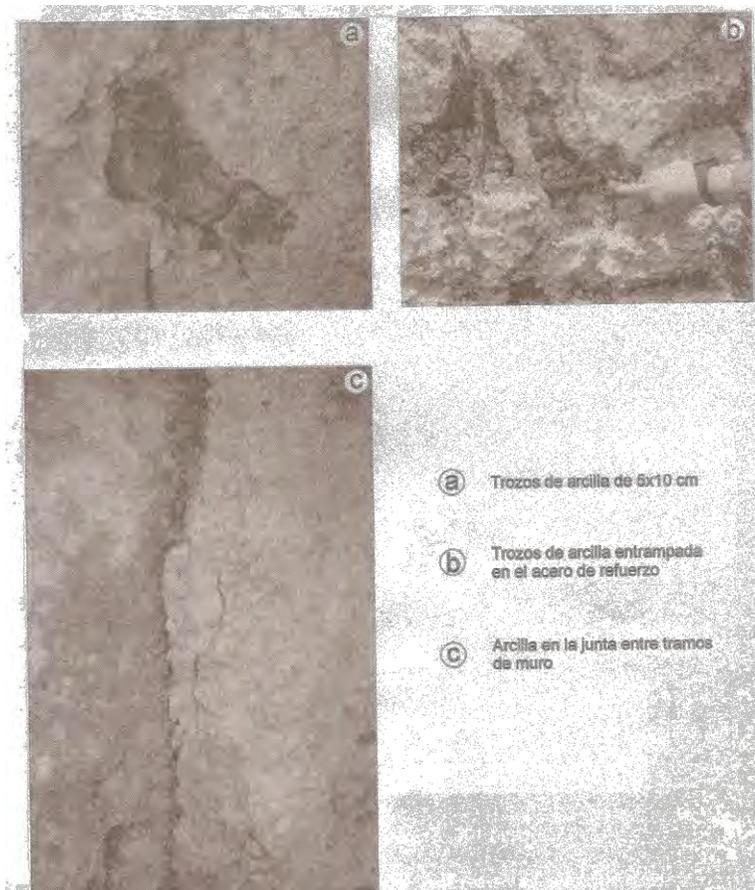


imagen II-XX

Trozos de arcilla en la masa del concreto

TAPONES DESLIZANTES Y SEPARADORES DEL CONCRETO Y LODO ESTABILIZADOR.

Se ilustran esos dispositivos en las siguientes figuras, se recomienda la bolsa

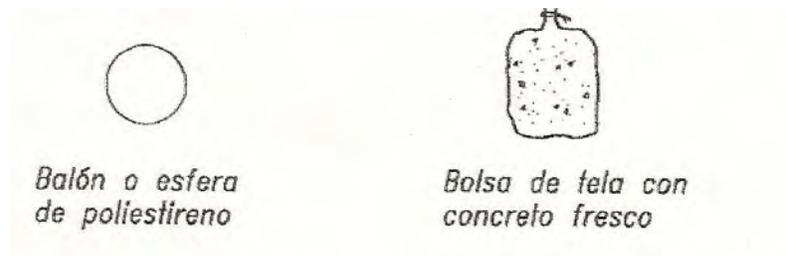
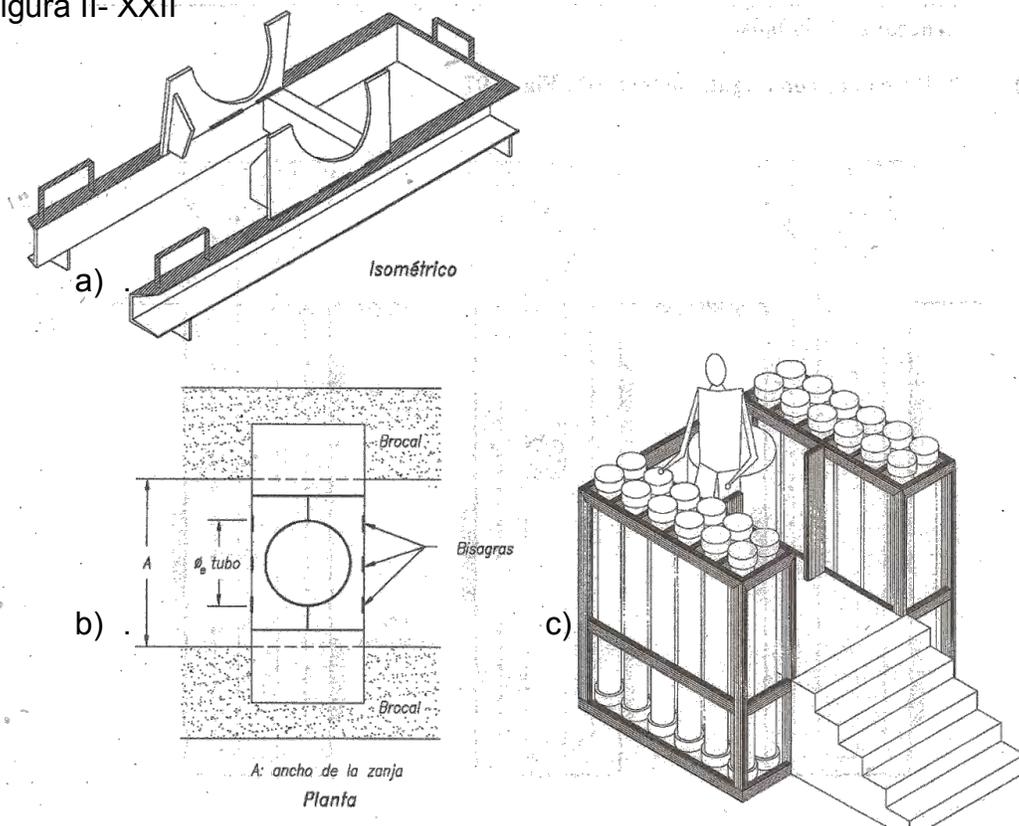


Figura II-XXI

**Limpieza previa.** Previamente a la introducción de la jaula de acero de refuerzo y del tubo tremie se requiere practicar una absoluta limpieza del fondo de la excavación, empleando la almeja Casagrande para retirar los trozos de suelo, así como restos de caídos y azolve de arenas.

**Colocación del tubo.** El tubo tremie deberá estar completamente libre en su interior; será bajado a través del lodo en el espacio central dejado en la parrilla del acero de refuerzo, o ventana de tremie permitiendo que su punta descansa en el fondo de la excavación, después lo usual es levantar el tubo unos 5 cm por arriba del fondo de la trinchera para que descargue el concreto, Posteriormente se ensambla la tolva en la porción superior de la tubería y se coloca la válvula de separación del concreto y el lodo.

Figura II- XXII



BAJADO DEL TUBO TREMIE PARA INICIAR  
EL COLADO DEL CONCRETO DEL MURO MILÁN

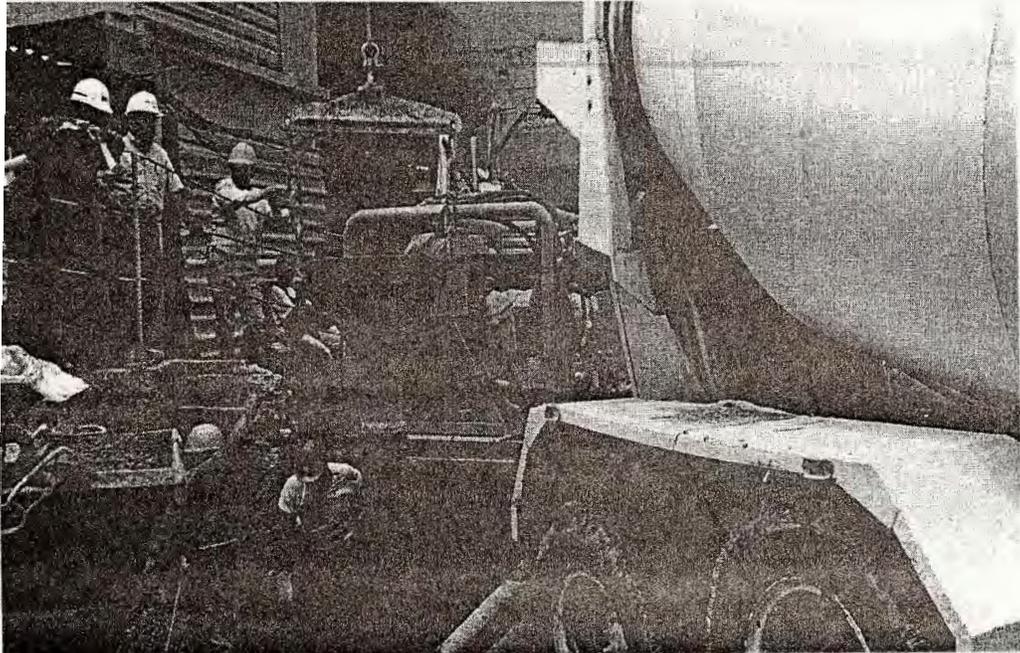
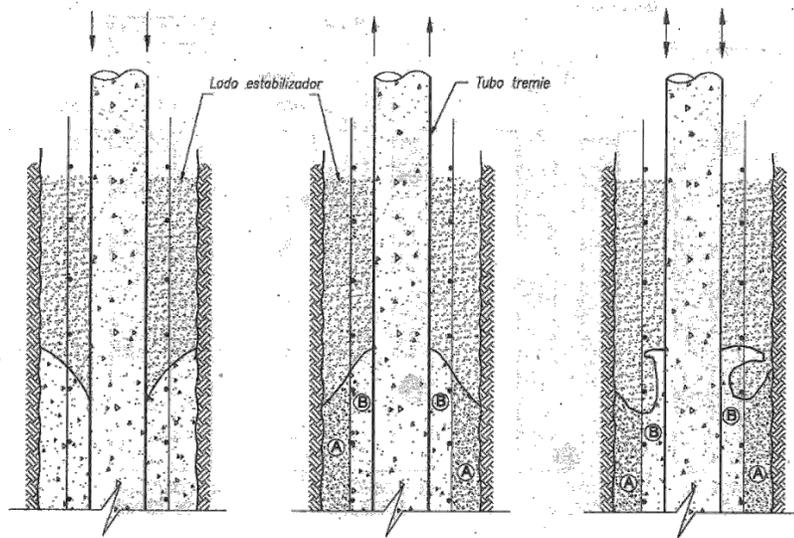


Imagen II-XXI



a) Movimiento descendente

b) Movimiento ascendente

c) Movimiento combinado

Ⓐ Concreto que ha alcanzado cierta rigidez

Ⓑ Concreto más fluido

Efectos de los movimientos ascendentes y descendentes del tubo tremie que entrapa lodo en el concreto (LCPC, 1978)

Figura II-XXIII

## 2.4 Resistencia y fluidez del concreto

### Restricciones básicas

El concreto que se requiere para la construcción de muros Milán tiene varias diferencias fundamentales con el concreto convencional empleado para la superestructura, sus características deben ser las siguientes:

- a) Fluidez para ser capaz de descender a lo largo del tubo tremie o de la bomba de colado sin que se formen discontinuidades.
- b) Compacidad suficiente para alcanzar su resistencia de diseño aun sin el vibrado del concreto usual porque es imposible aplicarlo en el muro Milán.
- c) Resistente a las condiciones químicas del entorno, por ejemplo a la salinidad del agua del subsuelo, así como a los materiales orgánicos.
- d) Sangrado mínimo para evitar zonas débiles en la parte superior de los muros.

### MATERIALES EMPLEADOS

Cemento. El cemento debe ser resistente a los ataques químicos del entorno, a los ácidos orgánicos que puede haber en el subsuelo y la salinidad del agua; los cementos puzolanicos pueden ser los más adecuados para estas condiciones.

Agregados. Los agregados deben tener una curva granulométrica continua y la forma de las partículas de preferencia debe ser redondeada porque facilita la operación de colado con el tubo tremie. En el caso de que solo se disponga de materiales triturados puede ser conveniente incrementar el porcentaje de arena y por supuesto de cemento. El tamaño máximo de la grava que se utilice debe ser 1/20 del diámetro del tubo tremie para evitar que se desarrolle el fenómeno de arqueo, que puede imposibilitar el descenso del concreto.

Tabla II-I Clasificación granulométrica del agregado grueso (porcentaje que pasa)

TAMARO NOMINAL	a	G 100	G 90	G 75	G 63	G 50	G 38.1	G 25	G 19.0	G 12.5	G 9.5	G 4.75	M 2.36	M 1.18
	b	4 pulg.	3 1/2 pulg.	3 pulg.	2 1/2 pulg.	2 pulg.	1 1/2 pulg.	1 pulg.	3/4 pulg.	1/2 pulg.	3/8 pulg.	No. 4	No. 8	No. 16
	c	100.0	90.0	75.0	63.0	50.0	38.1	25.0	19.0	12.5	9.50	4.75	2.36	1.18
90.0 a 38.1 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
63.0 a 38.1 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
50.0 a 4.75 mm (2 pulg a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
38.1 a 4.75 mm (1 1/2 pulg a No.4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
25.0 a 4.75 mm (1 pulg a No. 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
19.0 a 4.75 mm (3/4 pulg a No. 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
12.5 a 4.75 mm (1/2 pulg a No. 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
9.50 a 2.36 mm (3/8 pulg a No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
50.8 a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
38.1 a 19.0 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg.)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				

a Cribas NOM

b Designación ASTM

c Abertura, en milímetros

Tabla II-II

Límites máximos de sustancias nocivas o contaminantes y requisitos de propiedades físicas y agregados

Concepto	Porcentaje máximo en peso de la muestra	
	Arena	Grava
Materiales finos que pasan la criba NOM F 0.075; ASTM No. 200 (0.075 mm)*:		
Concretos sujetos a abrasión	3.0	1.0
Concretos presforzados	5.0	1.0
Otros concretos	5.0	2.0
Carbón y lignito:		
Concretos aparentes	0.5	0.5
Otros concretos	1.0	1.0
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	3.0	5.0
Contenido de finos en prueba de sedimentación	3.0	-
Pérdida por abrasión	-	50.0

Agua. Su calidad debe satisfacer los requisitos más estrictos para ser aceptada.

Mezclas de prueba. Es recomendable ensayar una mezcla previa, haciéndola pasar por el tubo tremie, antes de introducir el concreto a un muro excavado; esta simple precaución ha eliminado cometer costosos errores. Para orientar estas pruebas se puede empezar por ensayar mezclas con 400 kg de cemento por metro cubico con relación agua cemento A/C = 45. El revenimiento de la mezcla debe ser de 18 a 22 cm esencial que el tapón o diablo sea colocado en la parte superior de la tubería antes del inicio del colado.

### FALLAS COMUNES CON EL TREMIE

Errores de operación. El error más frecuente es la falta de hermeticidad en las uniones del tubo, que permite la entrada de lodo a su interior; esta condición siempre genera la contaminación del concreto. La otra fuente de

contaminación ocurre cuando por descuido de operación se saca la punta de la tubería del concreto ya colado.

El descenso rápido del concreto causa dispersión y segregación; en presencia de lodo la contaminación es más seria puesto que incrementa la segregación. Para evitar esto, primero se debe llenar el tubo tremie con una masa homogénea de concreto y segundo hay que procurar que el fondo de la excavación quede lo más uniforme posible. Para este fin es esencial que el tapón o diablo sea colocado en la parte superior de la tubería antes del inicio del colado.

Taponamiento del tubo. La más frecuente dificultad en la colocación de concreto con tremie proviene del taponamiento por el arqueado del material a causa de: (a) retrasos de más de 10 minutos, (b) a una mezcla demasiado seca y poco manejable, (c) a la segregación del concreto, (d) a la graduación pobre de agregados y (e) a las fugas en las uniones de la tubería por las cuales se filtra la lechada de cemento, Gerwick (1964).

La mejor manera de destaparla es alzarla rápida y repetidamente unos cuantos centímetros, durante esta maniobra se corre el riesgo de sacarla de la masa colada, lo cual genera otro problema mayor, se debe tener mucho cuidado al realizar este procedimiento.

Pérdida de inmersión del tubo. En este caso el concreto se sale y el lodo ocupa la parte interior del tubo; si se continúa el vaciado del concreto este se estará lavando. Esta falla siempre deberá evitarse porque el proceso de inmersión siempre forma segregación de lechada. Aunque indeseable, la re inmersión se hace colocando una nueva válvula de pelota. La tubería se alza hasta quedar libre del concreto, se empuja hacia abajo la válvula por medio del concreto hasta llegar casi al fondo, se coloca la punta dentro del concreto fresco y se continúa con el colado. Se debe tener cuidado de no empujar la válvula demasiado rápido con la carga de concreto ya que esto forzara al lodo a trabajar como un chorro hacia fuera el cual lavaría el concreto fresco.

Segregación de lechada. Ocurre cuando la pasta de cemento es expulsada del concreto por la acción del agua, en condiciones usuales se formara una película delgada que flotara hacia la superficie. La segregación significa que quedan estratos o lentes de grava arena parcialmente cementados. Los movimientos bruscos que se aplican para destapar la tubería suelen causar segregación de la lechada y formar los lentes de grava por lo que se debe tener cuidado.

Defectos por colocación incompleta. El defecto más usual de los paneles son las zonas de concreto contaminado o segregado, lodo bentonítico atrapado, cavidades que aparecen en los extremos del panel no alcanzados por el concreto y juntas frías. Los dos primeros tipos de defectos resultan de la interrupción durante el colado y remoción prematura del tubo tremie parcial o completamente debajo de la interfaces concreto— bentonita. El lodo atrapado es causado por el impedimento al flujo del concreto a causa de un espaciamiento reducido de la barra de refuerzo, y a un concreto de baja trabajabilidad, que son incapaces de desplazar al lodo bentonítico.

El lodo y fango atrapado aparece como una mezcla de suelo, bentonita y concreto en proporciones variables, estos defectos son inaceptables estructuralmente y cuando ocurran deberán ser removidos y reemplazados con selladores, o mejor aun con nuevos colados si es posible debiendo evitarse lo más posible.

Inicio del vaciado de concreto. En los casos en que el flujo de concreto se inicia con violencia, los tubos se llegan a levantar más de 10 cm y al carecer de las ventanas inferiores, se queda entrampada una mezcla de suelo y cemento en la base, que hasta puede dejar descubierto el acero en su parte inferior.

Terminación del colado:

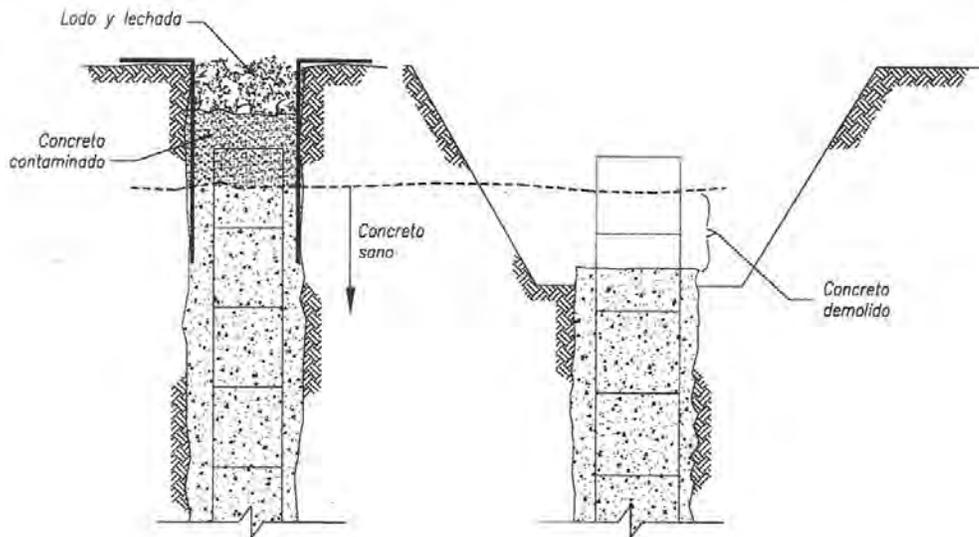
El supervisor deberá tener en cuenta que recesos en el colado mayores de 5 minutos suelen generar problemas, Gerwick (1964).

El supervisor podrá aceptar aditivos retardantes y plastificantes que han demostrado ser benéficos para mejorar la manejabilidad y prevenir la segregación. El uso de aditivos permite un mayor espaciamiento de los tubos debido a la mayor fluidez y a las pendientes de la frontera del concreto mas tendidas. Puede también agregar pasta de cemento para el revenimiento.

Mediciones de campo indican que la presión ejercida por el concreto fresco es hidrostática en la porción superior del panel, específicamente hasta una profundidad de 5 m; a mas de 10 m la presión medida fue entre 0.6 y 0.80 veces la anterior, Schneebelli 1971.

Terminación del colado. El proceso de llenado de la zanja con concreto es de abajo hacia arriba y por ello en la parte superior se encuentra la capa de contacto entre el lodo y concreto, la cual en función del "chaqueteo" puede ser de unos centímetros a un par de decímetros, le subyace el concreto no contaminado o sano. El concreto alterado debe rebosar en la superficie y se debe retirar para deshacerse de la parte contaminada que pudiera haberse formado. El acero debe estar dentro del concreto sano y aun así parte de él debe ser demolido para la consecución de la construcción, Un concreto bien colado deberá alcanzar resistencias superiores a  $280 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días Es conveniente precisar que el curado de los muros Milán suele ser perfecto y estar exento de contracción por secado por el ambiente húmedo en que se encuentra. Las pruebas han demostrado una adherencia excelente con el suelo, acero, roca y concreto. Una vez concluido el colado se debe lavar cuidadosamente el tubo tremie y en caso necesario cambiar los sellos de hule, cuando el concreto se tiene al nivel de proyecto; se procede de inmediato a extraer el total de la tubería tremie, para evitar que fragüe el concreto en su interior.

Las juntas de colado de la tubería se deben ir retirando a medida que el concreto va fraguando con el fin de evitar que éstas se queden pegadas en el concreto.



Levantado del tubo tremie Figura II- XXIV

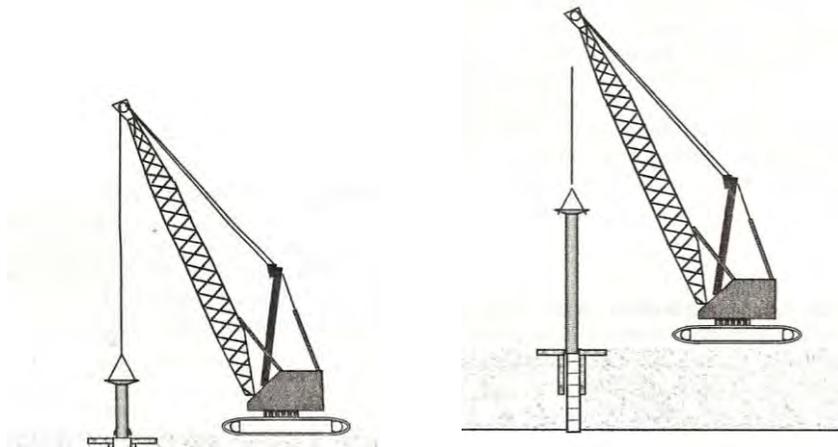


Figura II-XXV

**Supervisión del colado.** Se deberá comprobar inicialmente la hermeticidad del tubo, obturando la punta y llenándolo con agua en posición vertical, para verificar que no se sale por las juntas. Durante la operación la hermeticidad se comprueba midiendo la profundidad del tramo de tubo vacío.

Pruebas: Al acero de refuerzo, se le toma una muestra aleatoria de cada lote que llegue a la obra, a fin de determinar su resistencia a la tensión y su límite de fluencia para comprobar que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto.

Al concreto, se le toman 4 muestras por cada 30 metros cúbicos suministrados, a fin de determinar en laboratorio su resistencia a 7 y 28 días, comprobando que sea lo indicado en las especificaciones del proyecto; también al concreto de cada olla que llegue a la obra, se le verifica el revenimiento, comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto.

**SEGURIDAD:** Todas las cargas de izaje con grúa, deben realizarse con operadores y maniobristas calificados, utilizando las herramientas y accesorios adecuados, ser guiadas por cuerdas de polipropileno (viento) de longitudes necesarias según la maniobra.

El jefe de frente debe realizar periódicamente una inspección visual de los accesorios de izaje, tales como; eslingas, poleas, y sus pernos, estrobos, grilletes y cables de acero del tipo adecuado.

El personal debe usar su equipo de protección personal (casco de polipropileno, guantes, goggles, botas de hule etc.), de acuerdo con sus actividades y riesgos.

#### **AGENTES AGRESIVOS AL CONCRETO DEL MURO MILAN**

El concreto colocado en los Muros Milán puede estar sujeto a alguno de los siguientes problemas de deterioro:

El Muro Milán y todos los elementos de concreto generalmente se encuentran sometidos a esfuerzos por cambio de temperatura; Por este tipo de esfuerzos, es recomendable agregar al concreto un aditivo de los que existen en el mercado como un inclusor de aire, que reduce la relación agua-cemento, y se refleja en una permeabilidad menor del concreto, evitando la absorción o entrada

de agua a los poros del material; además, la colocación del concreto se deberá hacer sin permitir la disgregación la segregación de los materiales pétreos.

El Muro Milán como elemento de concreto está expuesto a sustancias agresivas las cuales se tienen que tomar en cuenta y que se describen a continuación.

**Aguas acidas.** Son las aguas que contienen ácidos libres con un valor de ph. menor de 7; valores inferiores a 6.5 se consideran agresivos al concreto. Los principales ácidos inorgánicos fuertes como el sulfúrico, hidrociorhídrico y nítrico tienden a disolver la pasta de cemento endurecida.

Los ácidos orgánicos como el acético, láctico y butírico tienden a extraer el calcio de los componentes de la pasta de cemento endurecida, mientras forman las sales correspondientes. Los ácidos orgánicos son en general menos agresivos que los inorgánicos. Algunos ácidos orgánicos (como el oxálico y el tartárico) pueden incluso reaccionar y formar capas protectoras.

Los ácidos húmicos en general no deterioran al concreto. Bajo circunstancias especiales el ion hidrogeno puede intercambiarse por cationes de sales neutras, dando como resultado ácidos inorgánicos. Si el ácido carbónico es disuelto por calcio, se convierte en un agente agresivo al concreto, principalmente por disolver hidróxido de calcio de manera similar a otros ácidos débiles.

**Sulfatos.** Combinado con algunos componentes de calcio y aluminio de la pasta de cemento endurecida para formar sulfato de calcio aluminico, comúnmente llamado yeso, causa una reacción expansiva en el concreto.

Algunas sales de magnesio, como el sulfato de magnesio, y el cloruro de magnesio tienden a extraer el hidróxido de calcio de la pasta del cemento bajo la formación del hidróxido de magnesio. Esta última reacción forma una pasta gelatinosa blanda.

Sal de amonio. Las sales de amonio, excepto el carbonato y el fluoruro, disuelven el hidróxido de calcio primario de la pasta de cemento, liberando amoniaco, que es soluble en agua. En el caso del sulfato de amonio, el sulfato también se convierte en reactivo; el amoniaco es inofensivo para el concreto.

Aguas blandas. Las aguas blandas, con un total de dureza menor de 1.1 mg/l, esto es, aguas conteniendo poco o ningún calcio disuelto y/o sales de magnesio, puede extraer el hidróxido de calcio de la pasta del cemento, pero son prácticamente inofensivas al concreto impermeable.

Gases encontrados en el suelo, que provocan problemas durante la inspección de pilas o la excavación manual de ampliaciones de base.

Cambio de las propiedades del suelo por contaminantes en el suelo y/o en el agua de poro. Cambios en el entorno donde se encuentran el Muro Milán y cimentaciones profundas.

**ADITIVOS QUÍMICOS:** Cenizas volantes. Este polvo (fly-ash) de gran capacidad puzolanica aumenta la fluidez del concreto y simultáneamente reduce la permeabilidad.

Plastificantes y estabilizadores de volumen. En general estos aditivos son admisibles a condición de hacer pruebas de laboratorio para verificar que su aplicación será satisfactoria.

Retardadores del fraguado. Estos aditivos deben ser proscritos en la fabricación de muros Milán.

## **2.5 IMPERMEABILIZACION**

**DE MUROS:** La penetración de agua del subsuelo a través de un muro Milán ocurre por tres vías:

- a) La principal es por las juntas mal selladas en las que el gasto puede

ser tan vasto que afecte la funcionalidad de la estructura y se haga necesario mantener un sistema de bombeo constante para eliminar el agua.

- b) Los eventuales huecos que queden en la masa de concreto Porque esté contaminado con detritus de la excavación y se transformen en ductos por los que pasa el agua.
- c) La permeabilidad natural de la masa de concreto, por esta vía el volumen de agua puede ser muy reducido y por ello tolerable, pero en caso contrario debe ser eliminada.
- d) Una vez que uno o varios módulos de un muro resultan con permeabilidad inaceptable se suscita la necesidad de detener el flujo de agua, la urgencia con frecuencia conduce al empleo de selladores químicos que de inmediato la eliminan, sin embargo, en unas pocas horas o a lo más en unos días se reanuda nuevamente la filtración. Sin duda que los selladores externos pueden emplearse, pero se debe admitir que es una solución temporal y poco confiable; a continuación se describe la manera de enfrentar los tres casos mencionados de manera racional

## DE JUNTAS:

### Errores de diseño más comunes

Cuando el muro se construye correctamente debería de conducir a una junta impermeable, en particular en las que se incluyen la banda de PVC compartida por dos muros consecutivos; sin embargo, paradójicamente esas suelen ser las que tienen las mayores filtraciones, principalmente originadas por los errores en la geometría de la junta : puede tener errores geométricos importantes: si al retirar la junta el concreto está con un endurecimiento inicial y la adherencia concreto-acero, a pesar de la grasa que se untó a la junta, podrá ser suficiente para romper esta unión o al menos mover de su position correcta

a la banda de PVC y con ello impedir su utilidad. La junta de colado en forma de trapecio elimina de manera radical este problema.

Es interesante mencionar que la junta antes descrita la han recomendado insistentemente conocidos diseñadores que conocen los detalles geométricos correctos de la junta y con ello han provocado muchos problemas de comportamiento en los muros así construidos, lo que ha derivado en una conclusión muy generalizada y equivocada de que "las juntas de procedimiento de excavación; ocasionalmente puede ser insuficiente para definir un cierto tramo de construcción del muro Milán.

**FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO:** Este fenómeno se puede presentar en la zanja las uniones están construidas en los suelos blandos del lago y ocasionar sobreconsumo de concreto; se puede estimar que el fracturamiento hidráulico ocurre cuando la presión en el concreto fresco es mayor que 0.2 de la resistencia de punta del cono eléctrico (Ovando, 2001). Sin embargo, es necesario investigar experimentalmente su importancia y definir las alternativas de solución. Mientras se desarrolla una técnica para predecir y evitar este problema, se sugiere considerar el uso de una malla de tela que confine al concreto de la parte inferior del muro.

**PÉRDIDA DE LA VERTICALIDAD:** La facilidad con la que las máquinas zanjeadoras pierden la vertical se debe a la influencia de tres factores: (a) las elevadas cargas que transmiten a la superficie, hasta las más pequeñas con bandas de apoyo de las orugas de unos 60 cm de ancho llegan a las 6 ton/m<sup>2</sup> y las más pesadas, con bandas hasta de un metro de ancho suelen transmitir unas 10 ton/m<sup>2</sup>; (b) la carga es excéntrica, hacia delante cuando se cierran la almeja al cortar el suelo y hacia atrás al descargar y (c) el otro factor que influye es el giro necesario para descargar la almeja fuera de la zanja.

Aunque el centroide de las máquinas casi coincide con el eje de giro y el efecto del cierre de la almeja en el fondo de la excavación se elimina con las almejas libres, la apertura de la almeja al soltar en el exterior el material

cortado le provoca un movimiento de balanceo a la máquina que se repite más de 30 veces en cada posición de excavación. Esto termina por generar una deformación en la superficie y con ello la pérdida en la verticalidad de la máquina; cuando se opera con almejas libres es relativamente fácil de corregir, pero en las de Kelly telescópico se transforma en un problema porque provoca inclinación en el muro y la inestabilidad de las paredes de la excavación. Para evitar lo anterior se recomienda en suelos muy blandos la solución adoptada por el Ing. Guerrit Trip (Tamez, 1982) que consiste en evitar el giro de la máquina descargando la almeja en una tolva móvil que se coloca arriba de la zanja y se mueve a lo largo de la zanja. Esta precaución reduce la eficiencia, pero se compensa con la calidad del muro que se logra.

El supervisor debe siempre vigilar que la zanja se excave cuidando se conserve la vertical de la máquina, porque de ello depende la verticalidad de la zanja, excepto en las máquinas modernas que tienen sistemas automáticos de corregir la posición de la almeja y mantener la vertical.

**DIMENSIONES Y GEOMETRICAS USUALES:** Ancho del brocal, junta y muro. Las dimensiones de una zanja excavada con una almeja de 60 cm, la cual fue operada con gran habilidad puede abrir una zanja de 60 cm, que será el ancho final del muro. Para ello la zanja, en su parte superior deberá ser de 85 cm de ancho, para que con el ancho correspondiente al brocal quede de 65 cm; lo cual significa que apenas se deja una tolerancia lateral de 2.5 cm entre la almeja y la pared del brocal. Por su parte la junta de colado deberá ser de 64 cm en sus partes laterales, para que penetre 1 cm en las paredes del suelo. Finalmente el armado deberá ser de 50 cm de ancho para dejar un recubrimiento del acero promedio de 7 cm.

Las tres dimensiones importantes entre todas las anotadas son: (a) la tolerancia lateral de 2.5 cm entre la almeja y el ancho del brocal y (b) la penetración mínima de 1 cm de la junta en las paredes de la zanja y (c) el recubrimiento mínimo del acero de 6 cm; estos valores se deben considerar

como constantes para cualquier ancho del muro y los demás serán proporcionales.

## 2.7 LODO BENTONITICO

En general el lodo estabilizador es una suspensión uniforme de bentonita sódica en agua; tiene la característica de ser más denso que el agua y por lo mismo el empuje hidrostático que ejerce sobre las paredes de la excavación es mayor que el del agua contenida en el suelo saturado. El lodo se vacía en el interior de los tableros excavados.

El lodo de perforación es básicamente una suspensión viscosa de una arcilla especial llamada bentonita. La bentonita recibe su nombre del yacimiento de Fort Benton Wyoming, Estados Unidos de Norte América. Es una arcilla que presenta propiedades especiales, mezclada con el agua permite obtener suspensiones coloidales muy estables sin necesidad de agregar mucha arcilla a la mezcla.

Las bentonitas utilizadas para la excavación en ocasiones son tratadas químicamente para acentuar sus características obteniendo las siguientes propiedades:

**ESTABILIDAD DEL LODO BENTONITICO;** Ser una mezcla estable, la cual no se decanta o asienta la arcilla en tiempos prolongados de reposo.

**PROPIEDAD IMPERMEABILIZANTE DEL LODO BENTONITICO:** La capacidad de formar una película muy delgada e impermeable al entrar en contacto con una superficie porosa.

**PROPIEDAD TRIXOTROPICA DEL LODO BENTONITICO:** Característica que permite al lodo tener las cualidades de una gelatina en estado de reposo y de un líquido si a este se le agita y de nuevo a gelatina si este es dejado nuevamente en reposo. Dicha propiedad es debida a que las partículas de la

arcilla tienden a orientarse y formar una cierta estructura similar a la de un castillo de naipes, la cual se destruye por el movimiento y se vuelve a formar en reposo

En general el lodo estabilizador es una suspensión uniforme de bentonita sódica en agua; tiene las características de ser más denso que el agua y por lo mismo el empuje hidrostático que ejerce sobre las paredes de la excavación es ligeramente mayor que el del agua contenida en el suelo saturado. El lodo se vacía en el interior de los tableros excavados. .

**CONTROL DE CALIDAD EN LODOS BENTONITICOS:** Durante la excavación es conveniente llevar a cabo un control de las propiedades del lodo de perforación; este control consistirá en efectuar las pruebas necesarias para confirmar que dichas propiedades cumplan con los límites especificados. Hay que hacer cuando menos dos pruebas del lodo por cada tablero, la primera al vaciar el lodo en la zanja antes de iniciar la excavación y la segunda inmediatamente antes de introducir el acero de refuerzo.

El lodo de perforación que no cumpla con las propiedades, hay que sustituirlo con otro que si las cumpla, un lodo que por primera vez se utilice en la zanja habrá de cumplir con un periodo de reposo después de haber sido preparado de por lo menos ocho horas antes, para permitir que sus componentes se mezclen a la perfección y evitar la formación de grumos, que si se llegaran a presentar representarían riesgos al equipo de bombeo.

El lodo contaminado habrá de sustituirse por lodo nuevo, conservando siempre el nivel dentro de la zanja a ochenta centímetros abajo del borde superior de los brocales. Un mismo lodo puede ser usado las veces que determine el laboratorio de control y que en todo caso, serán las que permitan que el lodo cumpla con todas sus especificaciones.

Si existen fugas extraordinarias de lodo se usa aserrín a fin de rellenar las grietas. El aserrín debe de añadirse en los recipientes de mezclado y no después, para evitar que se formen grumos.

De acuerdo con las especificaciones del Metro los límites dentro de los cuales deben fluctuar las propiedades de los lodos bentoníticos son las siguientes:

a) Viscosidad plástica	Entre 10 y 15 centipóides
b) Viscosidad Marsh	35 a 50 segundos
c) Contenido de arena (lodo nuevo)	Máximo 3%
d) Densidad	Entre 1.03 y 1.06 gr/cm <sup>2</sup>
e) Volumen de agua filtrada	Máximo 20 cm <sup>3</sup>
f) Espesor de la costra	Entre 1.0 y 1.5 mm

Hay que hacer muestreos constantemente, llevarlos al laboratorio para establecer con precisión la relación agua bentonita óptima y verificar que se cumplan las propiedades descritas.

**ELABORACION DEL LODO ESTABILIZADOR:** El lodo se prepara con un mezclador de chiflón y es bombeado a los recipientes de almacenamiento donde debe permanecer en reposo durante un periodo de 8 horas; los contenedores tendrán la capacidad para satisfacer las necesidades diarias de la obra; antes de usar el lodo se agita con la introducción de una manguera con aire a presión dentro de los tanques y se traslada a las zanjas impulsado con una bomba centrífuga para lodos.

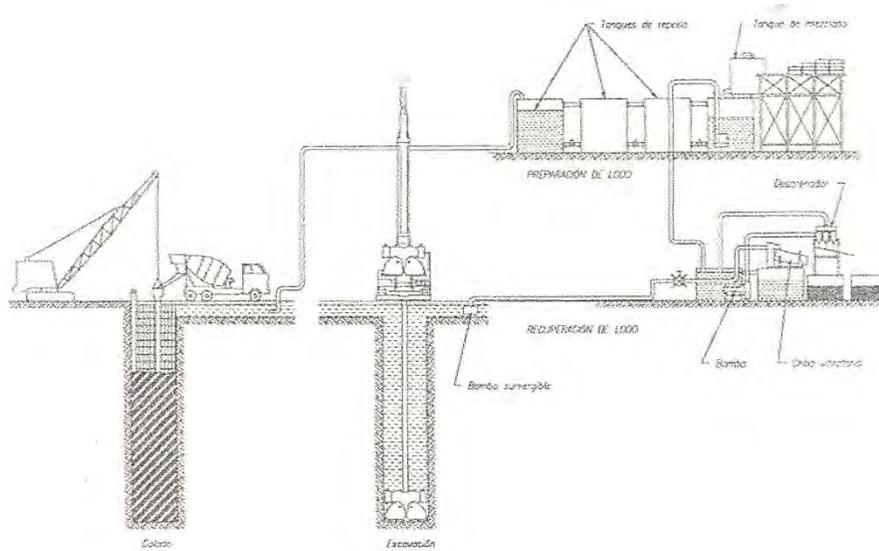


DISPOSICION DE LODO BENTONITICO EN EL MURO MILAN: Al utilizar lodo bentonítico para estabilizar las paredes para la excavación conforme se desplaza este al colocar el concreto dentro de la excavación se bombea a tanques de almacenamiento y posteriormente se pasa al desarenador con el fin de restituirle sus propiedades, o se manda directamente en camión pipa al tiro autorizado; siempre se debe cuidar el tiro de lodo se haga a los sitios autorizados por las autoridades ambientales y de hacer los trámites necesarios para la autorización de dicho tiro. A un lodo bentonítico se le pueden dar de dos a tres usos, dependiendo del resultado de las pruebas al compararla contra las especificaciones del proyecto.

El lodo bentonitico es usado comúnmente para ademar perforaciones de Muro Milán, muros pantalla, perforaciones previas de pilotes y pilas. El lodo bentonitico puede contaminarse con sólidos, producto de la excavación, con concreto, dilución con agua subterránea y altas concentraciones de sal. En algunos casos, los problemas de control y costo no justifican un tratamiento del lodo bentonitico, por lo que es preferible reemplazar todo el volumen usado.

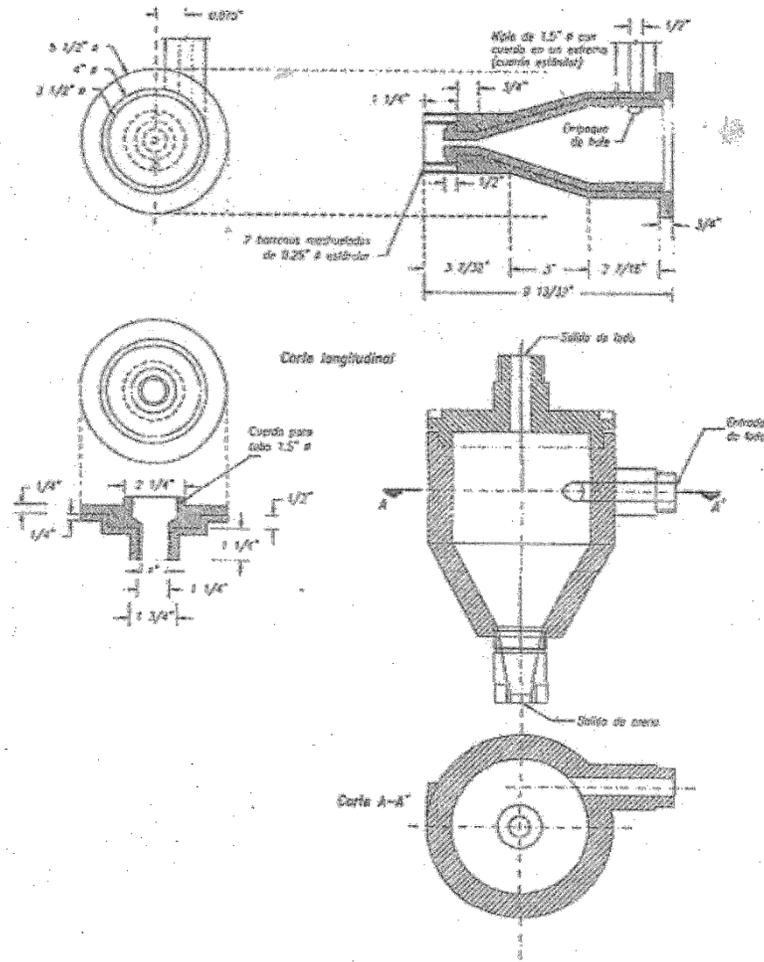
Sin embargo, la disposición del lodo puede ser costosa, ya que es un contaminante donde quiera que se le coloque en el drenaje municipal, ríos, lagunas o tiraderos de basura.

El tratamiento para la reutilización parcial o total del lodo se puede llevar a cabo con alguna de las siguientes formas o una combinación de estas, tanques sedimentarios donde se almacena el lodo que va ser utilizado nuevamente, mallas vibratorias, que nos ayudan a separar el material de excavación del lodo, hidrociclones para eliminar el limo con la fuerza centrifuga al obligarlo a decantarse.



Instalación esquemática de la operación de lodos Figura II- XXVII

El estado del lodo en el momento del colado es importante; lo cual sería un lodo de color claro, en todo caso es indispensable que no tenga una viscosidad ni un contenido de arenas elevado (el 2% se considera en general como un máximo para el contenido de arena), si el lodo está muy cargado de arena al final de la excavación, es preciso desarenarlo, eventualmente fluidificarlo y en casos extremos sustituirlo.



Desarenador centrífugo para regeneración de lodos estabilizantes  
Figura II-XXVIII

Es preciso asegurarse de que el fondo de la excavación este completamente limpio y exento de depósitos procedentes de la decantación del lodo; es necesario asegurar una circulación del lodo en el interior del panel para evitar estos depósitos,

### BOMBA DE RECUPERACIÓN DEL LODO BENTONÍTICO TIPO JAGER



Imagen II-XXII

### PIPA PARA EL TRANSPORTE DEL LODO BENTONÍTICO



Imagen II-XXIII

Los camiones que realizarán la carga y acarreo del material producto de la excavación del muro Milán se deberán parar en la puerta de la salida de la obra para que el personal de seguridad, dos agentes con dos bombas puedan lavar sus llantas de atrás y de adelante por los dos lados, la bomba será de tipo karcheers que lanza el agua a alta presión para retirar el lodo de las llantas.

Tres días antes de excavar se prepara el lodo bentonítico el cual se debe utilizar de tres a cuatro veces antes de eliminarlo. La bentonita llega en sacos de 50 kg.B

## 2.8 PROPIEDADES DEL ACERO A UTILIZAR Y DEL CONCRETO

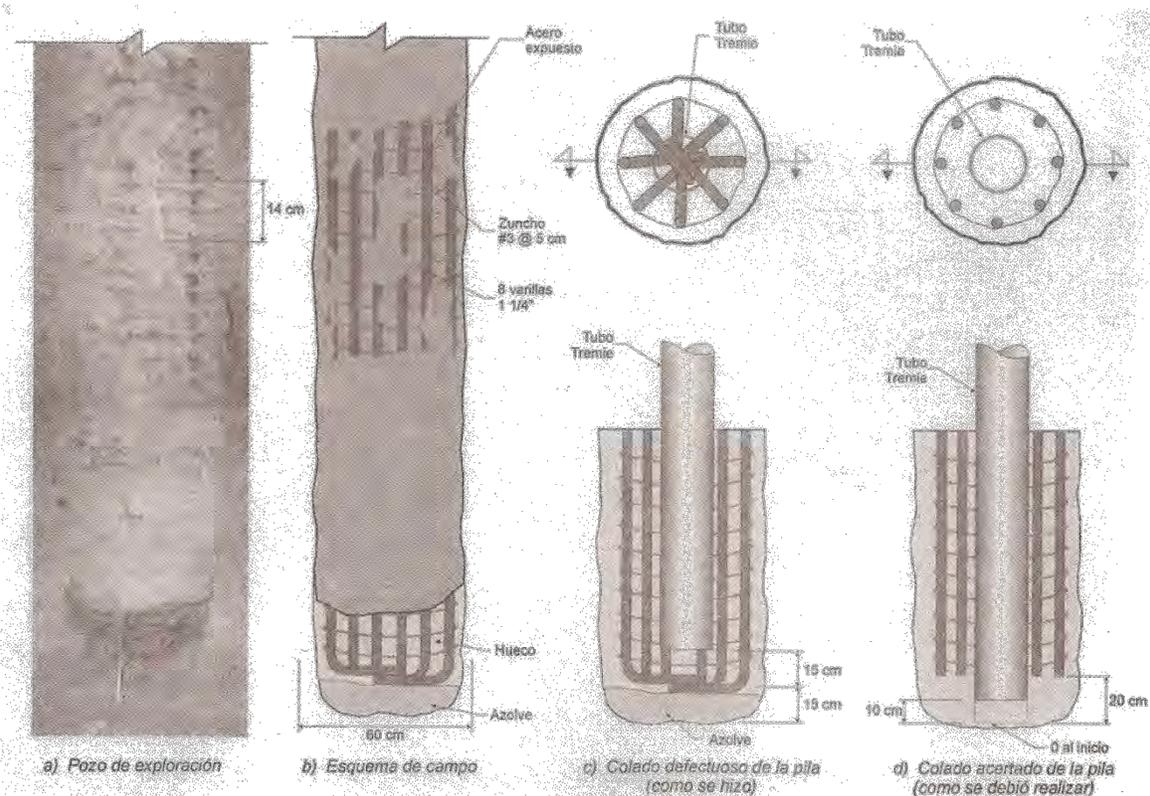
El concreto hidráulico y el acero de refuerzo para el armado y colado de los muros, son parte fundamental en el buen término de la obra a ejecutar, por lo tanto se debe de tener especial cuidado en la selección de materiales a utilizar y en el control de calidad de estos al colocarlos durante el proceso constructivo.

ACERO DE REFUERZO: Como refuerzo ordinario para los concretos de los muros Milán se usaran barras de acero corrugadas que cumplan con las normas NOM B6, NOM B457. Se permitirá el uso de barras lisas de 6.4mm (N°2) solo para estribos y como refuerzo para cortante por fricción. El acero de preesfuerzo cumplirá con las normas NOM B293 o NOM B292.

El módulo de elasticidad del acero ordinario,  $E_s$ , se supondrá igual a  $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .

Si las condiciones ambientales requieren que se tomen precauciones con el acero de refuerzo, éste deberá ser galvanizado de acuerdo con la norma ASTM A775-84.

Detalles a evitar en el acero de refuerzo Figura II-  
XXIX



Problemas de colado por exceso de acero inferior

Hay que colocar desde el principio con especial cuidado los tubos junta o las vigas "I" que sirven también de junta, para garantizar la impermeabilidad del muro y su continuidad, bajar a la zanja la parrilla de acero armado de refuerzo en un tiempo breve y vaciar el concreto en la zanja lo más rápido posible para que el lodo no forme una capa indeseable en el acero que tenga como consecuencia una disminución en la adherencia, buscar los mecanismos para que el acero quede centrado dentro de la zanja y al descubrirlo no encontremos tramos importantes de acero sin recubrir.

La experiencia demuestra que el lodo bentonítico no forma "cake" alrededor de las varillas porque esta acción requiere de un proceso de filtración ; la adhesión y fricción entre el acero y la bentonita es equivalente a la resistencia cortante del gel de lodo, la cual es relativamente baja comparada con los esfuerzos cortantes inducidos por el efecto ascendente del concreto durante su colado ;el flujo vertical del concreto al subir por su naturaleza granular efectúa una acción barredora que desplaza eficazmente el lodo que cubre las varillas .Aunque los colados irregulares o discontinuos puede hacer que permanezcan residuos de la bentonita en las varillas , evitando el desarrollo de la adherencia entre concreto y acero.

Efectos del lodo: La inmersión del acero en el lodo bentonítico, puede afectar el desarrollo de la adherencia de la siguiente manera:

- a) Puede dejar en el acero una película que reduce el contacto directo con el concreto y por lo tanto reducir la adherencia.
- b) Partículas de bentonitas u otras impurezas pueden quedara atrapadas dentro de las corrugaciones de las varillas.
- c) Puede ocurrir fallas de recubrimiento de la pasta de cemento alrededor del acero de refuerzo.

Se debe tener cuidado en colocar huecos en el armado del acero que sirvan de rutas por donde bajen las trompas de colado sin obstáculos que normalmente son dos tubos, cuidar que el vaciado del concreto sea como lo especificado en el proyecto en cuanto a su fluidez y su resistencia, no prolongar demasiado el intervalo de tiempo de colado entre un vaciado y otro. Por último procurar una estrecha relación entre la obra y el laboratorio, para garantizar que la calidad de los materiales a utilizar sea la óptima.

A la parrilla de acero se le dejan dos ganchos de acero, normalmente de la misma varilla con que se armó, para de ahí levantarla con la grúa y colocarla en la zanja.

**COLOCACION DE LAS JUNTAS MACHO-HEMBRA:** Cuando se haya concluido la excavación, verificado la profundidad de la zanja y las características del lodo, se procederá a introducir las juntas metálicas y la parrilla formada por el acero de refuerzo con la ayuda de grúas, ya que debido a las dimensiones y peso de la misma no se puede hacer manualmente. Las juntas son tubos metálicos huecos de forma semicircular o rectangular, que en una de sus caras tienen una ranura donde alojar la junta de PVC.

**TIEMPO MAXIMO PARA INTRODUCIR EL ACERO DE REFUERZO EN EL LODO BENTONITICO:** No habrá de transcurrir entre el momento de meter la parrilla de acero de refuerzo en el lodo y el vaciado del concreto del muro más de cuatro horas, periodos mayores favorecen la formación de un recubrimiento de lodo en el acero y reduce la adherencia concreto-acero, por este motivo el colado del muro se iniciara inmediatamente después de introducida, debido a que no es conveniente sacar y meter nuevamente la parrilla en el lodo pues en cada operación se pueden producir derrumbes indeseables que afectan la estabilidad de la zanja.

**COMO EVITAR QUE EL ACERO DE REFUERZO QUEDE EXPUESTO:** Con objeto de garantizar el recubrimiento de los muros. A las parrillas de acero armado de refuerzo hay que colocarles roles de concreto prefabricado de 5

pulgadas de diámetro (127 milímetros), fijados al acero principal de la parrilla por medio de varillas de 8 pulgada (19 milímetros) localizadas en ambas caras de la parrilla, instaladas de la siguiente manera: tres niveles equidistantes en el sentido vertical y cuatro también equidistantes en el sentido horizontal. Lo que ya se explicó exteriormente.

**VARILLAS GUIA PARA LOS TUBOS DE COLADO:** Es necesario dejar dentro de la parrilla espacios libres de 30 x 50 centímetros (ventanas del tremie) con varillas verticales que hagan la función de guía para el paso de las trompas de colado con el fin de evitar que se atoren al entrar y salir. Si estos espacios no existieran las trompas se atorarían a la entrada y a la salida, porque cuando más profundo sea el colado, más complejo es el procedimiento.

**CARACTERISTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL CONCRETO:** Los concretos utilizados son variados según el uso a que se vaya a destinar el muro. Si se trata de un simple muro impermeable puede elegirse obtener un concreto poco resistente y plástico, incluso adicionado con un aditivo impermeabilizante que pueda adaptarse sin rotura a las deformaciones del terreno; por lo tanto en este tipo de muros lo primordial será la impermeabilidad. En el caso de un muro de contención o que deba transmitir cargas, será importante la resistencia del concreto. Se entiende entonces que exista una gama grande de calidades de concreto, según las necesidades de cada caso.

Sin embargo, a todos ellos se les exige una cualidad especial; una elevada plasticidad que permita una colocación en obra correcta. Es preciso insistir en el punto siguiente: cuando se habla de concreto hidráulico para un Muro Milán, es necesario abandonar la idea extendida de que un concreto fluido es un mal concreto. Evidentemente, un concreto seco, bien dosificado, tiene unas cualidades incomparables, si su colocación en obra se realiza mediante vibración, en cuanto a resistencia y a retracción. Pero si se coloca este concreto en un Muro Milán, se empezará por tener graves problemas en la colocación, ya que no descenderá fácilmente por el tubo, y se tendrán desagradables sorpresas cuando se descubra el muro: juntas defectuosas, bolsas de lodo, armaduras de acero de

refuerzo mal recubiertas. Se obtiene un muro de baja calidad con un concreto excelente lo cual sería un indeseable..

**DOSIFICACION DEL CONCRETO A UTILIZAR:** Los concretos empleados están generalmente dosificados con gran cantidad de cemento de 150 a 250 kg/m<sup>3</sup>, de manera que aunque la consistencia sea blanda se obtienen resistencias aceptables. En cuanto a fisuras debidas a contracción, en la práctica común no se ha observado que se produzcan y no hay que olvidar que se trata de obras que quedan alojadas en el subsuelo.

**CONTROL DEL TIEMPO DE VACIADO DEL CONCRETO EN ELTABLERO:** El concreto no ha de ser vaciado en la tolva de golpe y para lograr un flujo suave y continuo no debe haber recesos o suspensiones mayores a los quince minutos. Es necesario también un riguroso control de colado en obra, midiendo en forma permanente la variación del nivel del tirante del concreto y anotándolo en el registro con objeto de poder decidir el retiro oportuno de los tramos de las trompas de colado y programar adecuadamente el suministro del concreto para evitar pérdidas de tiempo.

En el caso de tramos de muro de seis metros de longitud, dos tubos de colado en la zanja serán suficientes, debido a las pendientes que desarrolla el concreto fluido dentro del lodo. Las dos trompas de colado se usan en forma simultánea y una vez iniciado el colado hay que cuidar que no se desplacen lateralmente dentro del tablero.

Se tiene que hacer llegar el concreto a un nivel de treinta centímetros arriba del nivel superior indicado en el proyecto; este excedente se considera contaminado y no contribuye dicha sección al trabajo estructural del muro.

## 2.8 CONTROL AL COLAR EL MURO MILAN

El colado de un panel de muro debe de efectuarse tan rápido como sea posible, siendo una condición importante para su buena ejecución. La velocidad de colocación del concreto debe ser por lo menos de 20 metros cúbicos por hora; en el caso de paneles grandes deben preverse varios tubos de colado, que serán necesarios para un buen reparto del concreto.

Es importante que el colado se realice de una forma ininterrumpida, aunque esto a veces no es fácil de conseguir sobre todo en obras urbanas en las que se utiliza generalmente concreto premezclado y transportado en camiones que sufren retrasos por los problemas de tránsito vehicular. Durante el colado se controla el llenado del panel en distintos puntos mediante una plomada. Toda anomalía en el llenado indica que hubo incidente, por ejemplo algún desprendimiento, por lo tanto es conveniente establecer para cada panel una grafica indicando las cotas alcanzadas por el concreto para los distintos volúmenes colocados en obra y al comparar el volumen empleado con la cota esperada y de no coincidir, se tiene una idea inmediata de la calidad del muro y la situación de eventuales ensanchamientos.

Los ensanchamientos del muro realizado en relación al ancho teórico de la excavación son inevitables; en la mayor parte de los terrenos varían en gran medida desde casi despreciables en suelos firmes, hasta incluso rebasar el 25 % en terrenos blandos o sin cohesión y de fácil disgregación.

DRAGA GUIADA CON CUCHARON DE ALMEJA: Las principales características de una draga guiada son las siguientes:

Marca	Casagrande
Modelo	LS118

Capacidad	40toneladas
Longitud de la pluma	25 metros
Vida económica	5 anos
Tiempo trabajado por año	2,000 horas
Tipo de combustible	Diesel
Medio de locomoción	Montada sobre orugas.
Cucharon	Tipo almeja
Capacidad de cucharón	1.5m <sup>3</sup> (aprox).

#### DESCRIPCION DE LA DRAGA GUIADA CON CUCCHARON DE ALMEJA:

La draga guiada con cucharon de almeja está provista de una larga barra de guiado llamada "Kelly" que lleva fijo rígidamente el cucharon.

El cucharon está equipado con dientes que facilitan la penetración en el terreno así como su disgregación y constituyen piezas de desgaste fáciles de cambiar; el cierre debe ser perfecto para evitar que se vacíe el lodo de perforación.

Con este tipo de maquinaria no debe permitirse ni la rotación del cucharon ni la desviación de la vertical; el guiado debe garantizarse para aumentar el número de golpes del cucharon por hora.

Las dragas montadas sobre orugas pueden operar sobre superficies que sean blandas para los equipos montados sobre neumáticos, pero su velocidad de translación es lenta lo que hace necesario utilizar equipos de acarreo, para transportarlas de una obra a otra, cosa que no acontece con la unidad montada sobre neumáticos.

Para el abastecimiento de combustible a la maquinaria y equipo, se deben prever medios de transporte determinados para esta actividad.

En los trabajos de reparación y mantenimiento de la maquinaria, el encargado de maquinaria es responsable del transporte de los materiales peligrosos (grasas, aceites, combustibles), realizar de manera responsable las reparaciones y el mantenimiento correspondiente, evitando derrames por mal manejo de las sustancias, así como el retiro de los residuos peligrosos para su almacenamiento respectivo en el almacén provisto para el proyecto. El responsable del frente debe proveer tambos de 200 lts. para coleccionar los desechos sólidos municipales (basura) que se genere por las personas que participan en los trabajos. También es responsable de retirar los desechos una vez que los tambos alcancen su capacidad de almacenaje, para su disposición final en el basurero municipal por parte del área de servicios generales, la cual debe regresar los tambos nuevamente al frente de trabajo.

Para los trabajos de soldadura, los sobrantes de soldadura (colillas) deben ser depositados en recipientes exclusivos para este fin.

El lavado de ollas de concreto debe ser en un sitio preestablecido y condiciones de control del sedimento y agua necesario. También estas unidades deben de llevar a cabo el proceso del lavado de sus llantas en la salida de la obra

Queda prohibido barrer aguas residuales o infiltrarlas al subsuelo, por lo cual se deben proveer letrinas móviles ubicadas en lugares accesibles para su mantenimiento.

En todas estas actividades se debe cumplir con la normatividad ambiental vigente.

## 2.9 RECURSOS

### MAQUINARIA Y EQUIPO

- Dos excavadoras sobre orugas Link-Belt LS 118 o similar
- » Una almeja guiada Casagrande o similar

Una camioneta

Un turbo mezclador

Una soldadora de combustión

Tres bombas para lodos de combustión

Camiones de volteo

Un camión pipa

### MANO DE OBRA

Una brigada de excavación está constituida por:

Un operador especializado de grúa.

Un maniobrista.

Chofer camión de volteo

Una brigada para la colocación del armado y colado del muro Milán está constituida por:

Un operador especializado de grúa

Un cabo de oficios

Tres maniobristas

Una brigada para la fabricación y manejo del lodo bentonítico está constituida por:

Cabo de oficios

Dos operadores de bomba

Dos operadores de agitador

Tres ayudantes generales

Chofer camión pipa

Para los servicios generales:

Un mecánico

Un soldador

Un chofer

#### MATERIALES.

Concreto  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ .

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

Bentonita

Tubería tremie

Tanques de almacenamiento

Conexiones y mangueras

## CAPITULO III CONCLUSIONES

Se pueden establecer las siguientes conclusiones haciendo resaltar la efectividad del muro Milán en la construcción de obras civiles en la Ciudad de México y la factibilidad del proceso de construcción en este tipo de suelo.

Los muros Milán o muros de diafragma vertical que se diseñaron para el tramo Atlalilco-Mexicaltzingo tuvieron como objetivo el de soportar los empujes horizontales que la masa de suelo las cargas de los edificios colindantes y las cargas acumuladas tales como la maquinaria funcionan, temporalmente como tabla estacas y a largo plazo y bajo cargas como parte estructural definitiva.. Otra de las funciones que el muro desempeña es la de servir de lastre para compensar la sobre presión de la infraestructura

Con la profundidad del muro propuesta, durante el diseño de la excavación debe verificarse que no se presenten inestabilidades en el fondo de la excavación.

El proceso de excavación debe ser cuidadoso y emplear en todo las indicaciones especificadas en el procedimiento constructivo.

Durante el habilitado y el armado del acero que se utiliza debe revisarse que el colado del concreto hidráulico con tubo tremie se realice bajo las especificaciones establecidas en el proyecto

En la selección del equipo de construcción deberá tomarse en cuenta que las operaciones cumplan con el programa de obra y que se respeten las especificaciones constructivas.

Anteriormente en la Ciudad de México no existía reglamentación ambiental pero hoy en día ya existe por ello es necesario cumplir con ella a pesar de que esto pueda significar pérdidas de tiempo o en su caso una pérdida económica. Con el fin de no afectar el medio ambiente. o causar su deterioro las medidas que se toman son para su conservación. Cabe aclarar que este trabajo se circunscribe al muro Milán por esta razón no se incluyó la parte de construcción del túnel en el tramo.

Los estudios de mecánica de suelos son ineludibles porque sin ellos no se sabe en lo que se está construyendo y es necesario ser muy metódico en una construcción de esta naturaleza.

En lo referente al proceso de construcción es indispensable la experiencia pues algunos aspectos delicados son necesarios determinarlos con precisión y mucha exactitud. Con el fin de lograr una estructura idónea. Además es necesario una adecuada exploración del subsuelo para el diseño de los muros Milán y su proceso constructivo.

Los Muros Milán, construidos en el tramo Atlalilco-Mexicaltzingode la línea 12 del metro fueron construidos siguiendo las norma y especificaciones vigentes y su comportamiento durante la excavación fue adecuada.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Sociedad MEXICANA DE mecánica de suelos (2002).
- ❖ JUAREZ BADILLO, EULALIO; Rico RODRIGUEZ, Alfonso
- ❖ Mecánica de SUELOS, TOMO I II Y III EDITORIAL LIMUSA, S.A.  
MEXICO 1981
- ❖ G. Scheebeli MUROS Pantalla Editorial Eta BARCELONA , ESPAÑA  
1974
- ❖ Centro de EDUCACIÓN CONTINUA Muros COLADOS IN SITU
- ❖ EDITORIAL Universidad Nacional Autónoma de MEXICO 1974
- ❖ M.Y.A. Peimbert MUROS DE Contención Editorial ETA Barcelona  
ESPAÑA 1976
- ❖ Fundación ICA,<http://www/fundación-ica.org.mx/torre/capitulo03/antece.htm>.
- ❖ Fundación ICA.<http://www/fundación-ica.org.mx/torre/capitulo3/conclusi.htm>.
- ❖ Y.GAS;R.Bertin Cimentaciones Y Obras en Recalces EDITORIAL Eta.  
Barcelona España 1975.
- ❖ Palacios S.Morales R. Hernandez(1998) MUROS DE Contención.
- ❖ Murillo Fernandez. Rodrigo Geotecnología Ambiental (1993).
- ❖ Santoyo, E. (1969) –Cambios en la Resistencia al Corte de las Arcillas del Lago Texcoco, Debido a Consolidación y a Explosiones” Volumen Nabor Carillo. Nacional Financiera.
- ❖ Santoyo, E. rubio, L y Gutierrez C. (1978) –Excavaciones para Muro Milán Empleando Agua como Fluido Estabilizador” Pub No.7 Serie 100 Kilómetros de Metro, COITUR. Reimpreso en la revista Ingeniería Civil No. 303 y 304, CICM
- ❖ Santoyo, E. rubio, L y Hanhausen, F. (1988) —Experiencias y Posibilidades del Muro Milán en la Ciudad de México” Reunion sobre

Construcción especializada en Geotecnia SMMS.

- ❖ Soletanche, (1983) Catalogo de la empresa sobre muros Panasol.
- ❖ Schneebeli, G. (1974) —Mros Pantalla, Técnicas de Realización y Cálculo” Editores Técnicos Asociados. España.
- ❖ Tamaro, G.j. (1990) —Surrly Wall Design and Construcción” Design and Performance of Earth Reataining Structures, Geotechnical Special Publicación No25, ASCE.
- ❖ Tamez, E. Santoyo, E. Mooser, F y Gutiérrez, C. (1985) —Manual de Diseño Geotécnico. Vol. 1 Estudios Geotécnicos”, Comisión de Vialidad y Transporte urbano, México.
- ❖ Xanthacos, P.R. (1994), —Slur Walls as Structural System”, Second Edition, Edit. McGraw-Hill Book Co., New York.
- ❖ ISTME, (1977 Y 1986) Especificaciones de Lodos para Estabilización de las Paredes de las Zanjias de los Muros Milán Colados en Sitio en los Tramos Subterráneos del Metro” (Especificaciones 77-MS-3.00-III36e).
- ❖ LCPC, (1978)”Les Pieux Fores”. Laboratoire Centrl des Ponts et Chaussées, París y también la traducción del Dr. Lymon Reese, FHWA. (1986). —Bored Piles”. Federal Highway Administration Report FHWA-TS-86-206.
- ❖ FPS, (1977) —Specification for Cast in Place Concrete Diaphragm Walling”, (Federation of Piling Specialists). Gerwick, B.C. (1964) —Ólocación de Concreto con Trompa”, American Concrete Institute, Special Technical Publication, SP (, 1964 paper N° 2, Traducción Tecnica de Solum 1969.
- ❖ Ovando, E. (2001) Comunicación personal.