



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN
DE LA ESTACIÓN MEXICALZINGO DE LA
LÍNEA 12 DEL METRO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ALFREDO MARTÍN GUTIÉRREZ SOTELO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO



MÉXICO D.F.

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.



DEDICATORIAS

A mis padres Arcadio y Diana, sin su apoyo esto no hubiera sido posible, y gracias por su paciencia.

A mi hermana Carolina, que siempre me apoyo y me sirvio de ejemplo para dar esta importante paso en mi vida.

A Diana Carolina mi sobrina gracias por ser estar conmigo y darme su amor.

A mis abuelos Gelacio y Dolores por estar conmigo en los primeros años de mi vida y que han sido mis segundos padres.

A Ivan Eduardo, mi mejor amigo y hermano del alma, gracias por darme tu amistad donde quiera que estes.

A Ana Rosario gracias por darme su apoyo en los momentos mas importantes en mi tesis.

A todos las personas que han sido parte de mi vida y que han hecho de mi la persona que soy ahora.

A todas los profesores que han sido parte en mi formación profesional y que me han servido de ejemplo y apoyo y me han dado su conocimiento.

AGRADEDIMIENTOS

A mi director de tesis, Ing. Carlos Manuel Chavarri Maldonado, gracias por su apoyo y ayuda para realizar este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, gracias por permitirme estar ahí.

A la Facultad de Ingeniería, gracias por formarme como un ingeniero y estoy orgulloso de pertenecer a ella.

A ICA, en especial al Ing. Macuil por proporsionarme la información necesario para realizar mi tesis.



INDICE

INTRODUCCIÓN	5
1.- DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA 12 DE METRO	10
1.1. Talleres Tláhuac.	11
1.2. Estaciones.	13
1.3. Señalamiento.	18
1.4. Trazo.	19
1.5. Proyecto Operativo.	19
1.6. Estructura Organizacional Del Consorcio.	21
1.6.1 Ingenieros Civiles Asociados De S.A. De C.V.	21
1.6.2. ALSTOM.	23
1.6.3. Grupo CARSO.	24
1.6.4 Áreas y/o Departamentos.	25
1.6.5. Organización.	25
1.7 Tipos De Tramo.	26
1.7.1 Procesos Constructivos De La Línea 12.	26
2. Proyecto De La Estación Mexicaltzingo.	29
3. Procedimientos De Construcción.	33
3.1 Muros Milán.	33
3.1.1 Diseño De Muros Milán.	33
3.1.2 Diseño Estructural.	34
3.1.3 Desarrollo de la tecnología.	34
3.1.4 Procedimientos de construcción adoptados en México.	37
3.1.5 Soluciones adaptadas.	37
3.1.6 Construcción del muro colado en el lugar.	37
3.1.7 Estabilidad general y local de la zanja.	38
3.1.8 Características de los lodos estabilizadores.	40
3.1.9 Elaboración de lodos.	41
3.1.10 Control de los lodos.	43
3.1.11 Evaluación de las condiciones de construcción.	44
3.1.12 Zanjas guía y brocales.	45
3.1.12.1 Definiciones.	45
3.1.13 Control de la excavación de zanjas.	46
3.1.14 Juntas de colado.	51
3.1.15 Acero de refuerzo manejo y colocación.	57



3.1.16 Proceso Constructivo De Páneles De Muro Milán.	61
3.1.17 Muros milán sistema antifricción definición detalle.	62
3.1.18 Colado con tubo tremie.	66
3.1.19 Bombeo.	69
3.2 Excavaciones.	72
3.2.1. Excavacion Y Estructuracion.	72
3.2.2 Planta De Fases De Excavación Y Etapas De Estructuración De Losa De Fondo.	73
3.2.3 Tiempos Máximos De Ejecución.	76
3.2.4 Uso De Troqueles Y Construcciones De Losas.	77
CONCLUSIONES.	80



INTRODUCCIÓN

Se anticipan así al constructor los problemas de mecánica de suelos con que tendrá que enfrentarse todo lo que determina que las futuras vías rápidas puedan y deban de ser subterráneas. Las especiales condiciones del subsuelo compresible de la ciudad que durante años fueron un factor de freno para esta empresa ahora ya se conoce y los ingenieros mexicanos saben como hacerles frente.

Antecedentes históricos.

Como se sabe, prácticamente toda obra de ingeniería civil empieza por una excavación, sea para alojar su cimentación, o bien para propiamente construirla si es que ésta debe quedar por debajo de la superficie del terreno.

Cuando la obra se realiza en campo abierto, sin problemas de interferencia con instalaciones o estructuras vecinas, la excavación en talud es tradicionalmente una alternativa racional que puede ser aplicada con ventajas técnicas y económicas; sin embargo cuando lo anterior no es posible, es necesario “contener” las paredes de la excavación, tanto para proteger a los trabajadores como conservar la estabilidad de las estructuras e instalaciones vecinas.

A mitad de los años 60', cuando se empezó a materializar el largamente anhelado sueño de contar con un sistema Metropolitano de transporte masivo subterráneo para la Ciudad de México, surgieron dos procedimientos constructivos conceptuales: “en túnel” utilizando la incipiente experiencia de los escudos, que por entonces ya se habían aplicado en algunas obras menores de drenaje de la Ciudad y “en zanja”, tomando como ejemplo la experiencia extranjera de los “muros Milán”, desarrollada en suelos predominantemente arenosos de esa importante ciudad italiana que les da su nombre, y que ahora debía ser adaptada a los “difíciles” suelos arcillosos del entorno.



A finales de los años 60, la empresa Solum del Grupo ICA pone a prueba con éxito el concepto de estabilizar zanjas con lodo bentonítico en la arcilla de la Ciudad de México, las cuales fueron excavadas en su patio de maquinaria, ubicado en la colonia Agrícola Oriental (zona frecuentemente lacustre, de subsuelo arcilloso).

En un segundo experimento de mayor alcance, con ayuda de otras empresas de ICA se construyen varios muros “Milán” en otro predio de la misma colonia Agrícola Oriental y se efectúa una excavación somera entre ellos, para verificar la calidad del concreto colado bajo lodo bentonítico.

La información práctica obtenida de tales experiencias permite iniciar la construcción de las primeras líneas del Metro de la Ciudad de México, con el procedimiento “en zanja”, que resultó más práctico de aplicar si se le compara con el procedimiento “en túnel”, que permitió establecer numerosos frentes de ataque, para beneficio del programa de construcción.

En la ciudad de México. Durante los primeros trabajos de construcción del Metro se hicieron tramos experimentales cuyas conclusiones desgraciadamente casi se han perdido. Sin duda el Ing. Guerrit A. Treep fue un innovador que logró una calidad excelente, que no se ha repetido simplemente por la falta de cuidado en los detalles, Tamez (1982). Otra experiencia desconocida de ese tiempo, fue la estabilización subrepticia de algunas excavaciones con el lodo espontáneo que se forma al excavar las arcillas; esto lo conoció el Ing. Luciano Rubio (1986), después verificó que la calidad de los muros era igual a los estabilizados con lodo bentonítico, y concluyó que la bentonita era sustituible por el espontáneo y lo conservó como experiencia personal.

Al muro milán en la construcción del Metro de la ciudad de México generalmente se le consideró durante la excavación como el elemento temporal que soporta los empujes horizontales y que posteriormente contribuye sólo como parte del peso del cajón, ya que la impermeabilidad y acabado final se le confió al muro de acompañamiento. Cabe comentar que sólo algunos tramos del Metro de la ciudad de México fueron



construidos utilizando al muro milán como muro estructural. El criterio del muro de acompañamiento condujo al permitido descuido en la calidad final del muro milán, perdiéndose la posibilidad de adoptarlo como muro estructural definitivo y estando, cualidades que le hubieran permitido incrementar su utilidad.

En 1988 COVITUR construyó un tramo experimental del cajón del Metro con paneles de concreto prefabricados instalados en una zanja llena con lodo fraguante que endurece a una resistencia preestablecida, con la idea de eliminar los problemas y errores del colado del concreto en su lugar; desafortunadamente los resultados fueron poco satisfactorios, aunque la prueba se inspiró en la técnica de la empresa *Bachy* de Francia.

En 1992 se construyó la cimentación de un edificio con una excavación profunda de cinco sótanos recurriendo a los *Muros Panasol* (Santoyo y Cuevas, 1992). El Prof. J. Grenet de Soletanche intervino en los detalles del caso y posteriormente, en 1993 se construyó un tramo del Metro con esa técnica; esos trabajos han estimulado a varios diseñadores y constructores para desarrollar sus versiones de la construcción del muro prefabricado.

MUROS MILÁN

En este tramo de la línea 1 se utiliza el procedimiento constructivo **“cajon de muros colados en sitio”** . Este método se utiliza abriendo zanjas de unos 80 cm de ancho y separadas por una distancia de 7 m, una paradoja que se de en las grandes obras es que se construcción implica siempre una destrucción previa, el hombre que lo sabe dispone de maquinas cuya misión es destruir.

Los obreros afinan los contornos y las zanjas adquieren su fisonomía definitiva en ciertos sectores de la superficie, ahí que respetar las líneas de agua y de luz y de telefonos el reposo de este semaforo aunque temporal no deja de ser simbolico en todos los cruceros de la línea se respeta el paso de los vehiculos.



Cuando la zanja tiene metro y medio de profundidad se cuelan sus paredes. Este colado inicial sirve de guía a las maquinas de excavación primera se hacen perforaciones piloto. Durante la excavación la zanja se llena de lodo bentonitico moderno sistema de apuntalamiento de sus paredes las cisternas recorren sus frentes abasteciendo a la zanja. Tambien en este nuevo ambiente los cucharones cumplen su misión con mayor eficacia. La profundidad tope es de 10 a 12 metros y alcanzarlos comienza la labor de construcción las zanjas ahora deberan de llenarse de concreto hace semanas que entre mesa se elaboran los principales elementos precolados que formaran parte del cajon del metro juntas fijas de diferentes formas y juntas flexibles que tienen en su interior un elemento de material deformable a todas ellas se les adaptan bandas de cloruro de polibinilo destinadas a impermeabiliar el perimetro completo del cajon. Estas son juntas con forma de H en los patios de almacenamiento juntas fijas y flexibles puntales y trabes para la losa superior estan listas para ser enviadas a los frentes de trabajo.

He aquí un caso en que las maquinas no lo son todo, las juntas fijas se introducen verticalmente cada 5 metros a lo largo de la línea, las juntas flexibles cada 20 metros estan juntas limita y unen los tramos de colado otorgando al cajon la firmesa y flexibilidad acordadas al subsuelo inestable de la ciudad. En algunos lugares los tramos de colado se determinan mediante cimbras metalicas removibles. Pero en la mayoria de los casos se esta trabajando con estas junta en forma de H.

El paso siguiente consiste en meter a lo largo de la zanja varillas de refuerzo que preseden al colado. La maniobra una de las mas espectaculares de la obra se lleva a cabo con destresa y precisión. Las enormes parrillas de 50 metros cuadrados toman su lugar en los espacios comprendidos entre las juntas. Colacada la varilla se introduce hasta el tope largas trompas de colado despues el concreto depositado poco a poco en el fondo de la zanja va sustituyendo a los lodos y forma al fraguar dos solidos muros enclavados en la tierra que constituyen en si las paredes laterales y definitivas del cajon del metro.



La grua se hace cargo de la trompa y la mete en su lugar, el colado es ritmico y no admite interrupciones terminados los muros comienza la excavación del nucleo central que lo separa, la primera fase de esta operación desciende una profundidad aproximada de dos metros. Troqueles de acero apuntalan los muros que vayan quedando al descubierto y evitan cualquier deformación de los mismos, en otros lugares se colocan las trabes de la losa superior y se cuela esta, a traves de lumbreras abiertas cada 50 metros la excavación prosigue, los cucharones extraen el material que les habilitan hombres y banda sin fin, la excavación llega a su termino y en su fondo se situo otro troquel de concreto prefabricado el colado de la losa interior del tunel envuelve al troquel, y ambos forman un todo de máxima resistencia, se cierra asi el solido perimetro termina el ciclo que remata este peculiar e interesante proceso de construcción.



1.- DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA 12 DE METRO

El Proyecto Metro del Distrito Federal (PMDF) a solicitud de Gobierno del Distrito Federal (GDF), planteo la construcción de la línea 12 para conmemorar el Bicentenario de la Independencia de México, llevando por nombre “Dorada” y así darle solución al problema de transporte de la zona oriente. El trazo se ubica en las delegaciones de Tláhuac, Iztalapa, Coyoacan y Benito Juárez. Con una Longitud de 24,826 metros. Sobre la base de “a precio alzado” y tiempo determinado, misma que está integrada por, 20 estaciones, 20 tramos, 3 pasarelas de correspondencia, 2 naves de depósito, 1 taller. La construcción de la línea se realizara en dos etapas: la primera partiendo de Tláhuac a Atlalilco, iniciando el día 3 de Julio del 2008 y concluye el día 30 de abril del 2011. Para la segunda etapa se considera de Atlalilco a Mixcoac y termina el día 30 de abril del 2012.

La construcción de la Línea 12 del Metro, dentro del Sistema Colectivo de Transporte forma parte Programa de “Inversión pública” más grande del país de los últimos 10 años por contar con la cantidad de 17 mil quinientos ochenta y tres millones.

Para el inicio de esta obra se han adquirido ya el 75% de los terrenos necesarios y el resto se irán obteniendo de acuerdo a las negociaciones con ejidatarios y/o comerciantes según sea el caso, sin que esto ocupe algún impedimento para su realización. Los comercios se puede decir que son el 35%, otros 30% de casas habitación y el resto baldíos. A estas fechas ya se ha hablado con el 100% de las personas afectadas; se puede comentar que existe una plena disposición.

En base a los estudios llevados a cabo por Empresas especializadas contratadas por el Gobierno de Ciudad se reducirá el tiempo de traslado de las personas de Tláhuac al Centro Histórico, de dos horas a 45 minutos; reduciéndose también el costo de transportación de \$13.00 a \$4.00 y además de poder movilizar diariamente la cantidad aproximada de 400 mil usuarios de días laborables.



El proyecto se encuentra dividido por:

1.1.- Talleres Tláhuac

El área de los talleres de mantenimiento son un área industrial cuya función primordial es la de dar mantenimiento a los trenes. Considerando que esta Línea tendrá un material rodante de rodada metálica, se contará con un taller de mantenimiento especializado que dé servicio a todas las Líneas que ubiquen al sur y oriente de la Ciudad de México en éste caso, se localiza en la cabecera oriente de la estación Tláhuac, delante de la cola de maniobras de dicha estación.

Los talleres están integrados por:

- ❖ Nave de depósito para 20 trenes. Una nave de depósito es el área donde se estacionan los trenes cuando están fuera de servicio y cuentan con los siguientes elementos: Andadores para los conductores, con las dimensiones adecuadas para que tengan seguridad, pasos de emergencia para vehículos de bomberos o ambulancias, ligados a las vialidades circundantes y locales de aseo para la limpieza profunda de los trenes que tienen espacio suficiente para dos tarjas cada uno y un local para guardar productos de limpieza y contará además con cajas de arena como tope de vías una en cada vía.
- ❖ Nave de pequeña revisión. Es la Nave donde se le da mantenimiento a los trenes en forma periódica contará con Fosas de Revisión para los trenes, andadores con un ancho de 2.5 metros para que circule el personal y el equipo en forma segura, contará con una vía de lavado, Fosa de Sopleteado, Locales Técnicos, Oficinas Administrativas y Almacenes de Refacciones.
- ❖ Nave de gran revisión. Es el área donde se presenta mantenimientos general y total a los trenes y se integra por distintos tipos de zonas: Zona de Cajas, de Bogíes, Oficinas Administrativas y Locales Técnicos, además de una grúa viajera.
- ❖ Vía de lavado de trenes. Es la Zona donde se hace el lavado exterior de los Trenes.



- ❖ Torno rodero y taller de vías. Es el Taller en el que se revisa y rectifican las ruedas metálicas del Tren y en el de vías se revisa y da mantenimiento a las vías, contiene un área de maniobras para el desempeño de los trabajos con toda seguridad, un área para almacenamiento de ruedas y para guardar herramientas y refacciones, así mismo se cuenta con área suficiente para alojar el equipo y maquinaria para el mantenimiento de vías.
- ❖ Puesto de maniobras. Es la Zona donde se controla el acceso de los trenes a la Zona de Peines y a los Talleres, debe tener una cobertura visual total, cuenta con un local técnico, un tablero de Control óptimo, una cabina de control, baños y área para vestidores.
- ❖ Taller eléctrico y plataforma de pruebas. Es el área donde se revisan, prueban y reparan todos los equipos eléctricos de la línea y del Taller. Está dividida en tres áreas de revisión un subestión de rectificación de la capacidad adecuada a los trabajos que va a desarrollar un laboratorio de pruebas y un área de almacén de herramientas y refacciones.
- ❖ Almacén general. El almacén general tiene como función guardar el equipo de Trabajo y las refacciones necesarias para todo el Taller de Mantenimiento.
- ❖ Almacén de productos inflamables. En el lugar donde se guardan, aceite, combustibles y material peligroso susceptible de incendiarse.
- ❖ Casetas de acceso y vigilancia. Se contará con una Caseta de vigilancia para el acceso principal y el número de casetas necesarias para los elementos que integran el conjunto. El área de Observación se encontrara sobre elevada con respecto al nivel predominante de los talleres contarán con una visual de 360°, deberá considerarse la instalación de monitores para el sistema de video vigilancia y contarán con servicio de baños, vestidores y lockers.



- ❖ Estacionamientos y vialidades internas. El conjunto está integrado por una vialidad que resuelve los accesos a todos los edificios integrantes de los talleres. El pavimento cuyo diseño, contempla para recibir vehículos de gran peso, los estacionamientos con la capacidad para cada zona.
- ❖ Zonas con jardín. Alojara zonas verdes con especies vegetales adecuadas al carácter del taller con objeto de coadyuvar a la ecología y medio ambiente, de preferencia se tendrán mantos y arbustos de resistencia al calor, asoleamiento y que requieren poco agua y cuidados.
- ❖ Planta de tratamiento de aguas negras. Es el sitio donde se lleva el proceso de tratamiento de aguas que a su vez incorpora procesos físicos químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano.

1.2.- Estaciones

Las estaciones son el lugar en donde los usuarios están en pleno contacto con toda la infraestructura que se desarrolla para dar servicio de primera calidad en sistemas de transporte masivo para dar un servicio eficiente, económico, seguro y rápido. Que beneficiará en forma directa a los habitantes de cuatro delegaciones, que son Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán y Benito Juárez y en forma indirecta una mayor cobertura a través de las estaciones de correspondencia que pasan por otras Delegaciones. Pronosticándose una captación de 450,000 viajes/persona/día. Y para ello cuenta con 20 estaciones distribuidas en una longitud de 24,826 metros de la siguiente manera:

- ❖ Estación terminal de correspondencia (Mixcoac).
- ❖ Estación terminal: 1 (Tláhuac).
- ❖ Estaciones de correspondencia: 4 (Mixcoac: L: 7 el Rosario- Barranca del Muerto, Zapata: L: 3 Indios Verdes- Universidad, Ermita: L: 2 Taxqueña- Cuatro Caminos, Atlalilco: L: 8 Garibaldi- Constitución de 1917).



- ❖ Estaciones de Paso: 15 (Insurgentes Sur, 20 de Noviembre, Parque de los Venados, Eje Central, Mexicalzingo, Barrio Tula, Esime Culhuacán, La Virgen, Calle 11, Periférico Oriente, San Lorenzo, Olivos, Nopalera, Zapotitlán y Tlaltengo).

Las correspondencias se encuentran con las siguientes líneas:

- ❖ Correspondencia línea 7 –Línea 12 Estación Mixcoac.
- ❖ Correspondencia línea 3 –Línea 12 Estación Zapata.
- ❖ Correspondencia línea 2 –Línea 12 Estación Ermita.
- ❖ Correspondencia línea 8 –Línea 12 Estación Atlalilco.

Y cruces importantes como:

- ❖ Av. Insurgentes Sur con línea 12.
- ❖ Estación Eje Central línea.
- ❖ Estación Atlalilco línea 12 con Av. Ermita Iztalapa.
- ❖ Estación Periférico Oriente con vialidad del Periférico Oriente.

Para la construcción de las estaciones y tramos es necesario considerar el Rubro de las instalaciones municipales tales como:

- ❖ Líneas de agua potable primarias.
- ❖ Líneas de agua potable secundarias.
- ❖ Acueducto de 72" de diámetro (De Tláhuaca Barrio Tula).
- ❖ Colectores.
- ❖ Canales.
- ❖ Atarjeas.



a) Estaciones de Paso.

Las estaciones de paso son las que se encuentran en puntos intermedios de la línea sin conectar con otras líneas. El principal criterio para el dimensionamiento de los espacios públicos es el derivado de evacuar simultáneamente 1 tren al 100% de su capacidad en una vía y un tren al 50% de su capacidad en la otra vía. La vía 100% puede ser cualquiera de las dos.

- ❖ Accesos para el público en general. Mínimo 4 puntos por estación, dos a cada vestíbulo. Incluir escaleras eléctricas siempre y cuando se deseen salvar desniveles de más de 6.50 metros. Además contar con el acceso para discapacitados. Es en estos puntos donde se cierra la estación al dejar de dar servicio.
- ❖ Vestíbulo exterior. Uno por cada andén. Sus dimensiones dependerán de la captación que indique el polígono de cargas para la hora de máxima demanda considerando retener durante 10 minutos a los usuarios con una densidad de 6 usuarios por m^2 .
- ❖ Línea de torniquetes. El número de torniquetes de entrada y de salida está definido por el minuto crítico correspondiente a cada movimiento considerando para la entrada 25 personas/torniquete/minuto y para la salida 35 personas/torniquete/minuto. En cada línea de torniquetes habrá una puerta de cortesía. Cada línea de torniquetes tendrá un ancho mínimo de 7 metros. Para fines de evacuación los torniquetes de entrada son reversibles y operan con la eficacia de los de salida.
- ❖ Vestíbulo interior. Contendrán 2 vestíbulos interiores uno por cada andén con espacio suficiente para desalojar un tren a 6/4 considerando 6 personas por m^2 para efectos de un desalojo de la estación en 3 minutos.
- ❖ Circulaciones verticales. Mínimo 4 escaleras (eléctricas si la longitud vertical excede de 4 metros) por estación, las escaleras están dimensionadas con ancho necesario para desalojar la estación en 3 minutos considerando los dos trenes a 6/4. Los pisos serán antiderrapantes y contar con pasamanos.



- ❖ Dos andenes. Uno para cada vía de la longitud que mande el material rodante y de 4 metros de ancho como mínimo.

En cuanto a servicios se tienen:

- ❖ Taquillas. Habrá dos en cada vestíbulo exterior. Cada taquilla tendrá espacio suficiente para dos taquilleras. Diseñadas a prueba de asaltos, contarán con una ventanilla para cada una de ellas, de 60 cm de ancho, con cristal antibalas, charola para monedas de acero inoxidable, dispositivos de alarma conectados al jefe de estación.
- ❖ Sanitarios de empleados. Uno para hombres y otro para mujeres con acceso directo desde un vestíbulo agrupado con sus locales complementarios.
- ❖ Locales de aseo. Se tendrán 3 locales como mínimo por estación dos en los andenes preferentemente en las cabeceras y uno en el núcleo de servicios sanitarios. Estando equipados con una tarja y lockers para el personal de mantenimiento.
- ❖ Local de jefe de estación. Estrategicamente ubicado en el vestíbulo principal con vista a la línea de torniquetes. Aloja el equipo de mando y control de los equipos básicos de operación de la estación.
- ❖ Local de primeros auxilios. Contiguo al local de jefe de estación.
- ❖ Local para centro de monitoreo para video vigilancia. Contara con 3 monitores.
- ❖ Sanitarios para el público. Son para brindar el servicio en forma gratuita a los usuarios del sistema, en cada una de las estaciones, en el vestíbulo interior, del lado del acceso principal, contendrán tanto sanitarios para mujeres como para hombres.

Estas especificaciones de proyecto aplican para todas las estaciones de paso de la Línea 12 del Metro, que son: Insurgentes Sur, 20 de Noviembre, Parque de los Venados, Eje Central, Mexicalzingo, Barrio Tula, Esime Culhuacán, La Virgen, Calle 11, Periférico Oriente, San Lorenzo, Olivos, Nopalera, Zapotitlán y Tlaltengo).



b) Estaciones de Correspondencia.

Las estaciones de correspondencia son las que se encuentran en el cruce de dos o más Líneas del Metro y permiten a los usuarios cambiar de Línea en dos o más direcciones sin pago de cuota adicional.

Las estaciones descritas para las estaciones de paso se aplican para las de correspondencia y además se contará con una pararela de correspondencia que interconecta ambas estaciones. Los flujos deberán confinarse por sentido y el ancho será mínimo de 6 metros. Contará con tres andenes y dos vías de 6.00 m de ancho cada andén. En el caso de la estación Insurgentes se elaborará un esquema de correspondencia con una estación de la Línea que a futuro correrá por la Av. Insurgentes y se dejarán las preparaciones para poder construir dicha correspondencia sin entorpecer la operación de la Línea 12.

c) Estaciones Terminales.

Las estaciones terminales son las ubicadas en los dos extremos de la Línea. Su programa de necesidades incluye los elementos de las estaciones de paso considerando las siguientes precisiones y elementos adicionales.

- ❖ Los andenes son dos para dar servicio a tres vías. El ancho mínimo de cada andén será de 6 a 8 metros.
- ❖ Area de retención, destinada a dosificar el pasaje en horas críticas. La línea confinada tendrá 60 cm de ancho efectivo y estará rodeada por pasillos para el personal que regula y vigila esta maniobra.
- ❖ Preparaciones para la conexión a los centros de transferencia modal. Lo relacionado con los paraderos de autobuses, microbuses y combis.
- ❖ Taquillas. Contará con 4 a 6 taquillas, con las mismas especificaciones que se indican en las estaciones de paso.



- ❖ Instalaciones para el funcionamiento de las estaciones, para el adecuado funcionamiento de las estaciones involucradas en la línea 12, es necesario equiparlas con los siguientes aditamentos.
- ❖ Locales para subestaciones. Uno para cada vía, son para alojar las subestaciones de alumbrado y fuerza. Deben estar aproximadamente al centro de la estación y cercanos al andén.
- ❖ Local técnico para los equipo de automatización de los trenes. La posición deseable es centrada con los andenes, del lado de la vía dos (Dirección Mixcoac- Tlajuac).
- ❖ Cisternas. Una abastece el consumo de agua de la estación. Dimensionada para una autosuficiencia de tres días. Otra se destinará a la protección contra incendio.
- ❖ Cárcamos de bombeo. Su función es recolectar y bombear al drenaje municipal las aguas de desecho (negras, jabonosas, pluviales y de filtraciones) tanto de la estación como de los tramos contiguos cuando estas están en un nivel superior al de la estación. El agua de filtraciones captada en los tramos deberá interceptarse en un cárcamo de cabecera antes de entrar a la estación.
- ❖ Galerías de ventilación. En todas las estaciones de la Línea la ventilación de los espacios públicos será por medios naturales, no mecánicos, su ubicación es adyacente al andén para lograr una ventilación cruzada y su ubicación en el exterior es en banquetas y/o zonas de jardín y sobreelevada en 30 o 40 centímetros del piso con objeto de evitar la introducción del agua a la estación en caso de lluvias extremas.

1.3.- Señalamiento.

El objetivo en las estaciones es llevar al pasajero al Metro o hacia su destino con rapidez, seguridad y evitando cruces de circulaciones. El señalamiento deberá integrar un continuo de información que garantice la orientación del usuario en cualquier punto del recorrido. Las señales serán claras y precisas. Se utilizará la tipología de las letras del Metro y del diseño de los símbolos de cada estación para lograr una imagen integrada a las Líneas existentes.



1.4.- Trazo.

El trazo definitivo de la Línea 12 en proyecto ver MAPA, es el resultado de un análisis y estudio profundo de movilidad y captación de usuarios, además de todos los elementos implicados en la solución a los problemas generales por el diseño de dicha línea, entre otros.

- ❖ Obras inducidas. Son las actividades en las cuales se identifican las interferencias que existen sobre el trazo de la línea.
- ❖ Asentamientos humanos. Un asentamiento es el lugar donde se establece una persona o una comunidad.
- ❖ Tránsito vehicular. Es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.
- ❖ Condiciones del subsuelo. En la ciudad de México existen una gran variedad de tipos de suelo, por lo tanto las condiciones no son las mismas por ello se toman en consideración los estudios geotécnicos.
- ❖ Topografía del terreno. Este tipo de actividad es previa al inicio de un proyecto para contar con un levantamiento plani-altimétrico ó tridimensional previo del terreno y de “hechos existentes” (elementos inmóviles y fijos al suelo) ya sea que la obra se construya en el ámbito rural ó urbano.
- ❖ Afectaciones. Son todas aquellas zonas que por el trazo de la línea, tendrán que ser aproximadas o compradas a sus respectivos dueños.
- ❖ Vialidades existentes. Son todas aquellas vías de tránsito que con anterioridad se han construido.
- ❖ Arqueología. Es la disciplina que estudia las sociedades a través de sus restos materiales, sean estos intencionales o no.

1.5.- Proyecto Operativo

La realización del Proyecto Operativo determinará las principales características de operación de la Línea, por medio de las cuales se logra cumplir con los objetivos de servicio al usuario que con



seguridad, regularidad, Confort y rapidez. El proyecto Operativo es el estudio base de la Línea que servirá de referencia para todos los estudios posteriores que se realizarán para los sistemas electromecánicos así como para el proyecto ejecutivo civil.

En la tabla 2.1.1. se muestra las características operativas de la línea 12 a las que estarán sujetas los trenes de acuerdo a los análisis de operación.

Análisis Operativo de Diseño	
Velocidad máxima de diseño	85 Km/h
Velocidad Comercial	35 Km/h
Capacidad de Transporte	67,200 V/H/S
No. De Trenes en operación	28 trenes
No. Dde Fosas de Revisión	5 fosas
Análisis Operativo de la línea etapa 1:30/04/2011	
Intervalo	233 seg
Velocidad Comercial	35 Km./h
Capacidad de Transporte	25,957 V/H/S
No. De Trenes en operación	23 trenes
Trenes de reserva	2 trenes
No. De trenes en mantenimiento	3 trenes
No. Total de Trenes	28 trenes
No. De fosas de Revisión	3 fosas
No. De fosas de Visita	2 fosas
Análisis Operativo de la línea etapa 2: 30/04/2012	
Intervalo	142 seg
Velocidad Comercial	35 Km./h
Capacidad de Transporte	45,582 V/H/S
No. De trenes en operación	28 trenes
No. De fosas de Revisión	5 fosas
No. De fosas de Visita	3 fosas

Tabla. 2.1.1. Características operativas de la línea, de acuerdo a los análisis operativos.

En la tabla 2.1.2. Se muestra las características operativas de la línea 12 a las que estarán sujetas los trenes de acuerdo a los tiempos tanto de paradas como de recorridos.



Tiempo de Parada de Estaciones		
Estación de Paso		20 seg
Estación de correspondencia		25 seg
Terminal:		
	Anden de llegada	25 seg
	Anden de Salida	30 seg
Tiempo de Recorrido		
Tiempo de recorrido		
	Tiempo Vía 1	2500seg
	Tiempo Vía 2	2500seg
	Total	5000seg
Tiempo de Maniobra		
	Terminal Tláhuac	180 seg
	Terminal Mixcoac	180 seg
	Total	360 seg
Duración de la Vuelta	Total de Totales	5360seg

Tabla. 2.1.2. Características operativas de la línea, de acuerdo a los tiempos de paradas y recorridos.

La finalidad que se persigue con la ejecución de este proyecto, es proporcionar un servicio de transporte colectivo de pasajeros de alta eficiencia, capacidad y satisfactorio, además de atender la demanda oriente-poniente para alcanzar y lograr un balance superior entre las líneas existentes del Metro, principalmente al realizar la conectividad del Metro en el sur, potenciando el desempeño en la red y continuar conformando al Metro como elemento estructurador del sistema de transporte del Distrito Federal, en congruencia con el Programa Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012 y tomando en cuenta los lineamientos del Programa Integral del Transportes y Vialidades.



1.6.- Estructura Organizacional Del Consorcio.

Con la relación a la licitación pública internacional en la modalidad de proyecto integral a precio alzado y tiempo determinado de fecha de enero del 2008. Las empresas ICA, ALTOM y CARSO presentaron su propuesta de manera grupal, en junio del 2008 y el Gobierno del Distrito Federal dio la adjudicación a este consorcio en julio del 2008. A continuación se hace una descripción de las tres empresas involucradas:

1.6.1 Ingenieros Civiles Asociados De S.A. De C.V.

Ingenieros Civiles Asociados ICA, la empresa de ingeniería, procuración y construcción más grande de México, fue fundada en 1947 y ha realizado obras de construcción e ingeniería en 21 países.

ICA está constituida por cuatro grandes unidades de negocio:

- ❖ Construcción Civil. Se realizan proyectos de infraestructura básica y el desarrollo en gan escala de infraestructura urbana.
- ❖ Construcción Industrial. Proporciona servicios de ingeniería, procuración, construcción y mantenimiento de plantas industriales.
- ❖ Operación de Infraestructura. Operación y mantenimiento de sistemas carreteros, de distribución de agua potable, tratamiento de aguas residuales, recolección y disposición integral de desechos urbanos, administra aeropuertos, y la administración de estacionamientos subterráneos.
- ❖ Vivienda. Comercialización de desarrollos inmobiliarios de la más alta calidad, tanto centros comerciales como parques residenciales y edificios de oficinas e diferentes ciudades.

ICA ha trabajado en diversos países de América Latina desde los años setenta; en 1988 comenzó en el mercado de Estados Unidos y recientemente inició trabajos en Europa y Asia. ICA se ha asociado con



empresas líderes en el mundo, para emprender y desarrollar nuevos proyectos. Ejemplos de empresas con las que mantiene asociaciones son CALICA, ICAVE, ICA FLUOR DANIEL, ICA REICHMANN, ICA CPC.

1.6.2. ALSTOM

Alstom (antiguamente GEC-Alsthom, y en un principio Alsthom) es una corporación francesa centrada en el negocio de la generación de electricidad y la fabricación de trenes y barcos. Alstom además diseña y produce sistemas de Metro de alta calidad y funcionalidad como el Metro de Santiago y que provee su material rodante (trenes) hasta la actualidad.

Alstom construyó los primeros trenes de neumáticos del Metro para México D.F. modelo MP-68 para la línea 1 que después en los años de 1994-1999 fueron rehabilitados, los MP-68 que circulan en la línea 1 fueron rehabilitados por Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF) y los que circulan en la línea 5, línea B y que están regresando a la línea 7 fueron rehabilitados por Bombardier Transportation México (anteriormente C.N.C.F. o Concarri).

También construyo los vagones modelo MP-82, que circularon durante un tiempo en las líneas 7 y 1 pero después fueron repotenciados para la línea 8, además Alstom le prestaba asistencia técnica a la desaparecida empresa C.N.C.F. o Concarri (Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril) en Ciudad Sahagún en el estado de Hidalgo para la construcción de trenes para el Metro de la Ciudad de México desde 1976 en modelos denominados como NM-73, NM-73B, NM-73C y NM-79; y también presta asistencia técnica en Chile, al tren denominado NS-88 fabricado por Concarri (su similar en México es el FM-86, con rodadura férrea), actualmente en servicio en la línea 2 del Metro de Santiago. También ha puesto en funcionamiento en Tenerife-Islands Canarias el tranvía de la isla, que actualmente se está creando la línea dos con conexión a Tíncer.



1.6.3. Grupo CARSO

Es uno de los conglomerados más importantes de América Latina. Controla y opera gran cantidad de empresas de los ramos industriales, comercial y de infraestructura y construcción; también se encuentra en otros sectores, como el automotriz y el minero.

Dentro del ramo de Infraestructura y Construcción se encuentran empresas de gran importancia como:

Grupo PC Constructores. Dedicado a la construcción civil.

Swecomex. Dedicado a la fabricación de equipos de proceso y plataformas petroleras.

CICSA. Dedicado a instalaciones de ductos y radio bases.

CILSA (Constructora de Infraestructura Latinoamericana). Cuyas actividades se enfocan a la construcción de proyectos de infraestructura, entre los que destacan carreteras, presas y plantas de tratamiento de agua.

La empresa diseña y construye proyectos de infraestructura públicos o privados los cuales se muestran

Vías de comunicación	Agua	Energía
Carreteras	Plantas de tratamiento	Proyectos Hidroeléctricos
Puertos marítimos	Acueductos	
Aeropuertos	Presas	

en la tabla 2.2.1.

Tabla. 2.2.1. Proyectos de infraestructura.



Para hacerle frente a la construcción de la línea 12 en participación conjunta las tres empresas, Ingenieros Civiles Asociados (ICA), ALSTOM y el grupo CARSO infraestructura y construcción formaron el consorcio responsable de la ejecución de todos los trabajos para la realización del proyecto. Siendo ICA el líder con una participación del 53%, ALSTOM con 30% y grupo CARSO con un 17%. ICA (Tramo subterráneo, Túnel y superficial) y Grupo CARSO (Tramo Elevado), tendrán a su cargo la obra civil por su parte ALSTOM será la responsable para suministrar e instalar el equipo electromecánico.

1.6.4 Áreas y/o Departamentos.

Para poder ejercer en su totalidad los trabajos involucrados en la construcción de la línea 12 es necesario contar con áreas de apoyo tales como:

- ❖ Área de Control de Proyecto. Es la que se encarga de dar seguimiento al programa, costos, y las ministraciones así llamadas por ser un contrato a precio alzado ante el cliente.
- ❖ Se contará con el departameo de procuración. Es quien será el responsable de los cubcontratos además de suministrar los materiales y equipos que se requieran.
- ❖ Área Administrativa. Es la que tendrá a su cargo el departamento de personal, contabilidad, servicios, almacén, caja, finanzas. Aseguramiento de calidad y seguridad del medio ambiente.
- ❖ Área de Aseguramiento de calidad y seguridad del medio ambiente (ACSMA). Quien se encargará de llevar el Control de Documentos, Calidad, Seguridad y el Compromiso con el Medio Ambiente.

1.6.5. Organización.

La organización de cómo se llevará a cabo las estrategias para ejecutar el proyecto son de suma importancia ya que ella nos muestra, el proceso subsecuente, para canalizar tanto el trabajo como la información entre las partes involucradas.



1.7 Tipos De Tramo

1.7.1 Procesos Constructivos De La Línea 12

Sección Superficial



Básicamente es una sección conocida como tipo “U”, la cual comienza con la excavación a nivel del terreno o la vialidad para la construcción de losas y muros que estructurarán este tipo de sección. En las estaciones superficiales se complementa con la construcción de columnas, techumbres y accesos. Un ejemplo de ésta sección superficial es la estación General Anaya de la línea 2.

Sección Elevada



Consiste en un viaducto elevado similar a los puentes vehiculares, su construcción se basa en el hincado de pilotes, a continuación, la excavación de zapatas de cimentación en las que se montarán las columnas de apoyo, sobre las que se colocan cabezales, mismos que darán soporte a las traveses entre apoyos, que dan forma a la sección donde circula el metro. Un ejemplo de ésta sección elevada es la

estación Puebla de la línea 9.



Seccion En Cajón Subterráneo



Consiste en una estructura rectangular que se construye por debajo del nivel de terreno o vialidad, similar aun túnel, pero de menor profundidad. Comienza con la construcción de brocales o guías de muros Milán o perimetrales que darán el soporte y apoyo para la excavación a cielo abierto, posteriormente la construcción de una losa de fondo y de una losa tapa que complementará la estructura

rectangular, por último se rellena con materiales sobre la losa tapa hasta el nivel de asfalto, con lo que se restituye la vialidad, es el proceso constructivo que representa más afectaciones en obras inducidas y vialidad. Un ejemplo de esta sección en cajón subterráneo es la estación Escuadrón 201 de la línea 8. Que es la usada en la estación Mexicaltzingo.

Sección Túnel Con Escudo Epb



La preparación en este procedimiento constructivo consiste en la excavación de un túnel vertical llamado lumbrera, el cual tiene como función introducir una Excavadora o Escudo EPB (Escudo de Presión Balanceada) que es una máquina de forma cilíndrica utilizada para la construcción de túneles excavando horizontalmente, conserva la estabilidad del terreno colindante, simultáneamente coloca elementos curvos de concreto prefabricado llamados

Dovelas para formar pequeñas secciones de túnel (anillos), en el cual se inyecta concreto que en conjunto conforman la estructura del túnel, el material producto del



proceso de excavación es transportado por un sistema neumático hacia la superficie por la lumbrera para su disposición en tiros apropiados. Un ejemplo de esta sección con túnel es la Línea 7 Mixcoac – Rosario.



La construcción de la obra civil de la línea 12 se resolverá de la siguiente manera:

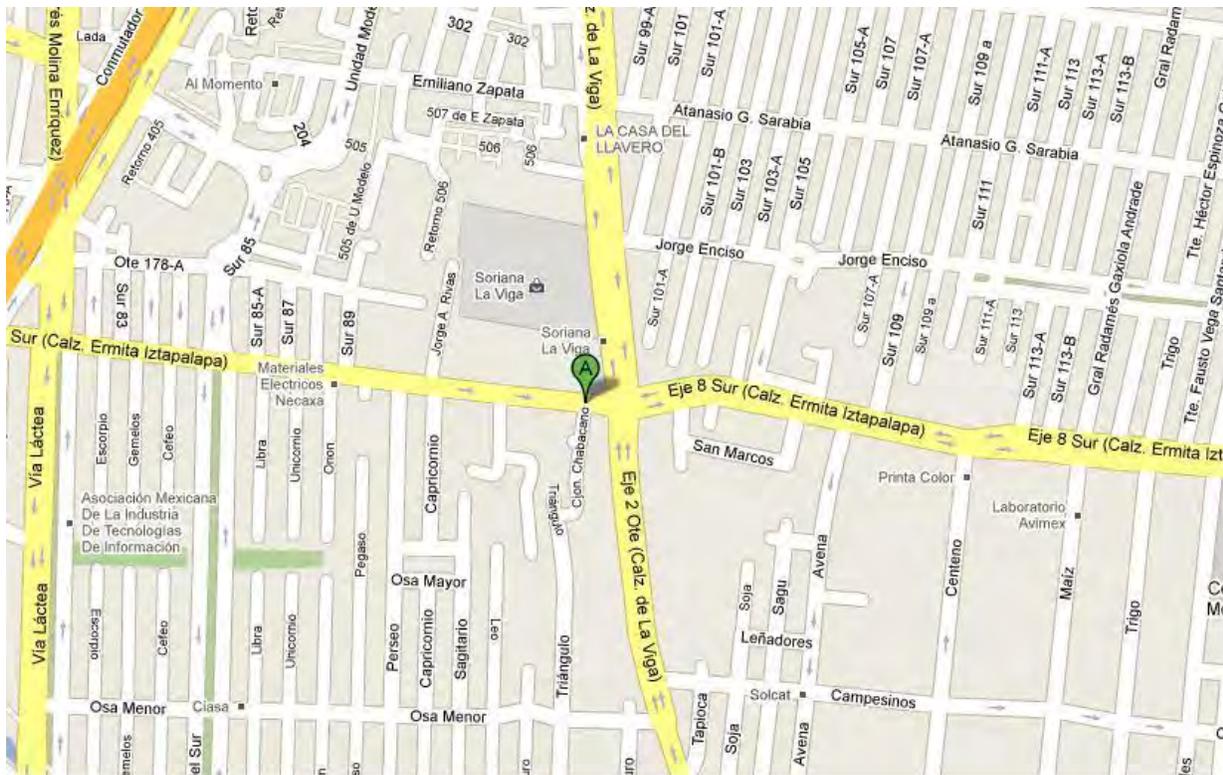
Solución elevada del tramo de transición Tlaltenco-Zapotitlán al tramo de transición Barrio Tula-Atlalilco.
Solución subterránea en cajón de la transición Barrio Tula-Atlalilco al foso de ingreso del escudo localizado en el tramo Atlalilco-Mexicalzingo. Solución subterránea con túnel desde el foso de ingreso para el escudo localizado en el tramo Atlalilco-Mexicaltzingo a la Estación Terminal Mixcoac. Zona de Maniobra de los trenes son Solución subterránea, a partir de la cabecera poniente de la Estación Terminal Mixcoac. Depósito en túnel de dos vías para 8 posiciones de trenes, a partir de la Cola de maniobras de la Estación Mixcoac, incluye andén de maniobras y fosa de visita.



2. PROYECTO DE LA ESTACIÓN MEXICALTZINGO

El proyecto de la estación Mexicaltzingo se encuentra ubicado sobre el eje 8 sur (Calzada Ermita Iztapalapa) entre el eje 2 oriente (calzada de la viga) y la calle capricornio cerca del circuito interior (Río churubusco) en la delegación iztapalapa.

A continuación se presenta un mapa de ubicación del predio, tema de estudio de este trabajo.



La estación Mexicaltzingo es una estación de paso.

- ❖ Cuenta con seis puntos de acceso para el público en general, tres a cada vestíbulo. Cuenta con escaleras eléctricas que conecta la subestación con vestibulo interno dos para subir y uno para bajar para salvar desniveles de 7.62 metros. Además contar con el acceso para discapacitados. Es en estos puntos donde se cierra la estación al dejar de dar servicio.
- ❖ Vestíbulo exterior. Uno por cada andén. Sus dimensiones son de 10.35X 20.8.



- ❖ Línea de torniquetes. Cuenta con 4 torniquetes en la entrada y 4 torniquetes a la salida.
- ❖ Vestíbulo interior. Contendrán 2 vestíbulos interiores uno por cada andén con espacio suficiente para desalojar un tren a 6/4 considerando 6 personas por m^2 para efectos de un desalojo de la estación en 3 minutos.
- ❖ Circulaciones verticales. Cuenta con seis escaleras 3 eléctricas la longitud vertical de 7.62 metros dos para subir uno para bajar para la estación, las escaleras están dimensionadas con ancho necesario para desalojar la estación en 3 minutos considerando los dos trenes a 6/4. Los pisos serán antiderrapantes y contar con pasamanos.
- ❖ Dos andenes. Uno para cada vía de la longitud que mande el material rodante y de 6.10 metros de ancho como mínimo.

En cuanto a servicios se tienen:

- ❖ Taquillas. Habrá dos en cada vestíbulo exterior. Cada taquilla tendrá espacio suficiente para dos taquilleras. Diseñadas a prueba de asaltos, contarán con una ventanilla para cada una de ellas, de 60 cm de ancho, con cristal antibalas, charola para monedas de acero inoxidable, dispositivos de alarma conectados al jefe de estación.
- ❖ Sanitarios de empleados. Uno para hombres y otro para mujeres con acceso directo desde un vestíbulo agrupado con sus locales complementarios.
- ❖ Locales de aseo. Se tendrán 3 locales para la estación dos en los andenes en las cabeceras y uno en el núcleo de servicios sanitarios. Estando equipados con una tarja y lockers para el personal de mantenimiento.
- ❖ Local de jefe de estación. Estrategicamente ubicado en el vestíbulo principal con vista a la línea de torniquetes. Aloja el equipo de mando y control de los equipos básicos de operación de la estación.
- ❖ Local de primeros auxilios. Contiguo al local de jefe de estación.



- ❖ Local para centro de monitoreo para video vigilancia. Contara con 3 monitores.
- ❖ Sanitarios para el público. Son para brindar el servicio en forma gratuita a los usuarios del sistema, en cada una de las estaciones, en el vestíbulo interior, del lado del acceso principal, contendrán tanto sanitarios para mujeres como para hombres.



3. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

3.1 Muros Milán

El muro milán, diafragma o pantalla se puede definir como una pared tablestaca de concreto reforzado conformada en el subsuelo y que indistintamente recibe alguno de esos dos nombres, es un ingenio constructivo que ha influenciado notablemente en la construcción de estructuras alojadas en el subsuelo y sistemas subterráneos de transporte urbano en muchas ciudades del mundo; su función principal es la de servir como elemento de sostenimiento temporal de zanjas longitudinales abiertas en la masa de suelo y también se ha empleado extensamente para estabilizar excavaciones profundas para la construcción de cimentaciones.

La variedad de sus aplicaciones cada día es mayor y la calidad que se le puede dar también ha mejorado, incremento su empleo como muros estructurales definitivos tanto en cajones para Metros, en cimentación de edificios, en simples muros de contención y muros de protección contra inundaciones. Otra frecuente aplicación es para la construcción de muelles marginales en regiones sísmicas.

En nuestro país se le utilizó por primera vez en la construcción del Metro de la ciudad de México, posteriormente se le adoptó en los muelles de los puertos Lázaro Cárdenas, Altamira y Dos Bocas; se empleó ampliamente como sostenimiento temporal en las excavaciones de la 2° etapa de la siderúrgica SICARTSA. En edificios poco se ha usado, pero se advierte que su utilidad será creciente en el futuro.

En la ciudad de México el muro milán se empezó a aplicar en 1967, y tomó dos años desarrollar la habilidad de construirlo con la calidad que tenía en ese entonces en Europa; en los siguientes 17 años se le construyó sin cambio ni mejora alguna. Hasta 1985 se despertó el empeño de depurar y actualizar la técnica de



construcción, la Comisión de Vialidad y Transporte (COVITUR) impulsó en 1987 y 1988 investigaciones experimentales de campo, desgraciadamente ese esfuerzo se perdió sin generar un verdadero cambio. Se podría decir que en 1992 de nuevo se despertaron las inquietudes por depurar la técnica de construcción del muro, pero los logros fueron muy limitados.

3.1.1 Diseño de muros milán

En el diseño de un muro diafragma o muro Milán, es fundamental conocer la respuesta del suelo ante los cambios provocados por la excavación, ya que ésta origina un alivio de los esfuerzos totales, por la remoción de suelo y agua, cuyo resultado es el movimiento de la masa de suelo, por lo que el diseño se debe concentrar en el control y mitigación de las deformaciones inducidas. El control de estos movimientos es importante ya que su magnitud puede dañar a estructuras adyacentes o a los servicios públicos.

La respuesta del suelo esta influenciada principalmente por los siguientes factores: (1) dimensiones de la excavación; (2) propiedades de los suelos; (3) control y abatimiento del nivel freático; (4) proceso y secuencia constructiva; (5) tipo de soporte y apuntalamiento; (6) cercanía de edificios y de servicios públicos; (6) sobrecargas temporales. Por simple lógica se puede advertir, que cuanto más grande es la excavación mayor es el alivio de los esfuerzos totales y por lo tanto mayores los movimientos del suelo. En el caso extremo, una excavación profunda débilmente soportada puede originar una falla general por esfuerzo cortante de los suelos.

El tiempo que dure una excavación abierta y más si ésta tiene control de los niveles de agua, afecta de manera directa a las propiedades el suelo. Si supones una excavación que pudiera realizarse de forma instantánea, los esfuerzos y deformaciones que experimentaría el suelo serían en una condición de no flujo de agua, sería una condición no drenada. Por el contrario, si la misma excavación se realizara en un tiempo infinito, los esfuerzos y deformaciones en el suelo ocurrirían con flujo de agua, por lo que la excavación se



Realizaría en una condición drenada. En general los procesos de excavación se realizaran en un tiempo finito que representan una condición parcialmene drenada. De manera práctica se puede suponer excavaciones en suelos cohesivos se pueden considerar que responden a un comportamiento no drenado; con el mismo criterio se puede suponer que excaciones que se realicen en suelos granulares responden a un comportamiento drenado.

3.1.2 Diseño estructural.

El proceso del diseño involucra tanto al ingeniero estructural como al geotécnico. El geotécnico establece los parámetros como los empujes de suelo e hidrostático, la resistencia y módulos de rigidez del suelo, los criterios sísmicos en términos de deformación o esfuerzo; los parámetros se definen a través de fórmulas simples o con análisis no lineales de elementos finitos, en los más modernos se considera explícitamente la interacción suelo-estructura, sin embargo, son limitados en el sentido del modelado estructural. El estructurista aplica a su modelo las presiones, la rigidez del suelo es definida en términos de constantes de resorte, o módulos de reacción, por lo que las presiones son independientes de las deformaciones.

Los métodos de equilibrio límite son adecuados para predecir las cargas de falla, sin embargo, no son capaces de determinar las deformaciones asociadas. Dado que el proceso constructivo es evolutivo, el modelo de análisis debe contemplar de desarrollo de las presiones y deformaciones conforme se realice la excavación. Los modelos utilizados con más frecuencia son: (a) los modelos con resorte, y (b) los modelos de elementos finitos.

3.1.3 Desarrollo de la tecnología.

El empleo de bentonita como estabilizador de pozos de agua y petroleros se remonta a 1910, pero fue hasta 1938 que el ingeniero italiano Carlo Veder consideró usar la bentonita para estabilizar zanjas excavadas en el



suelo. Posteriormente la técnica de los muros milán floreció para la construcción del Metro de esa ciudad italiana, cuyo subsuelo aluvial con limos y arenas saturadas dificultaba las excavaciones; los inventores fueron los ingenieros Veder y Marconi que trabajando independientemente la desarrollaron por los años 1950 a 53 (Schneebeli, 1971), inmediatamente fue adoptada en otros países europeos, que por esos años tenían intensivos programas de reconstrucción tanto por los daños producidos por la 2° Guerra Mundial como por la modernización de sus ciudades, Gould (1990). Sin duda en la ciudad de París la competencia entre dos empresas geotécnico-constructoras *Soletanche* y *Bachy* impulsó el desarrollo tecnológico actual de ese procedimiento de construcción.

En los Estados Unidos, donde casi todas las excavaciones profundas se estabilizaban con tablestaca de acero, en 1962 se construyó el primer muro milán para un edificio en la ciudad de Nueva York; posteriormente, en 1967 se utilizaron en la construcción del metro de San Francisco y para la notable edificación del *World Trade Center* de Nueva York, obra en donde se demostró ampliamente la confiabilidad de esta técnica y desde entonces se ha venido incrementando su empleo en ese país. Por esos años se acuñó el nombre de *Slurry Wall*, término que en español carece de significado, Tamaro (1990).



3.1.4 Procedimientos de construcción adoptados en México.

Las técnicas de muros milán han sido un campo fértil para la capacidad de innovar, tanto en los equipos de excavación como en los detalles constructivos, (Schnebeeli, 1974; Boyes, 1975; Xanthatos, 1979 y Xanthakos, 1994); la utilidad de este ingenio constructivo, que inicialmente se desarrolló sólo como elemento de estabilización temporal de excavaciones, se ha ampliado hasta transformarse en una forma de construir elementos estructurales subterráneos.

En la construcción de muros milán en México se han experimentado los siguientes logros:

- ❖ Se ha confirmado que el muro milán puede ser un elemento estructural definitivo y confiable.
- ❖ Se ha demostrado que la zanja se puede utilizar con el lodo que se forma espontáneamente, como en su antecedente en la investigación experimental del Instituto Geotécnico Noruego sobre



excavaciones estabilizadas con agua (Dibiagio et al., 1972 y Aas, 1976). La técnica sobre el empleo de agua como estabilizador la estudiaron Aas (1976), Alberro (1970) y Alberro y Auvinet (S/F), la experiencia recopilada por el Ing. L. Rubio (1986-1987) y su interpretación detallada, junto con las recomendaciones de construcción para garantizar la estabilidad de la zanja con lodo espontáneo fue analizada por Santoyo y Rubio (1987).

- a) Se ha aplicado la tecnología del muro con piezas prefabricadas, que se ensamblan en la zanja y confinan con un lodo fraguante que endurece a la resistencia del suelo del sitio; Santoyo y Rubio (1988) describen con detalle los aspectos técnicos y los factores de seguridad involucrados.
- b) Se ha desarrollado la construcción de muros esbeltos de 35 cm de espesor abre muchas opciones de aplicación de los muros milán en la construcción de cajones de cimentación.

3.1.5 Soluciones adaptadas

Los muros milán o de diafragma vertical se utilizan y diseñan para soportar los empujes horizontales de la masa de suelo, funcionando temporalmente como tablestacas; después pueden hacerlo como parte estructural en las condiciones que el suelo impone a corto y largo plazo, así como en la condición sísmica. Otra función complementaria del muro es la de servir de lastre para soportar la subpresión a la que a veces está sometida la estructura.

En cuanto al procedimiento de construcción, se han seguido tres soluciones:

- a) Muro milán convencional colado en el lugar.
- b) Muro con piezas prefabricadas con avance modular.
- c) Muro con piezas prefabricadas con avance continuo.



A continuación se describen con detalle estos procedimientos.

3.1.6 Construcción del muro colado en el lugar.

Generalidades. La construcción de los muros colados en el lugar tiene reglas generales que sirven para asegurar que se alcance la calidad necesaria para su empleo como tablestaca y como muros estructurales. A continuación se describen las más básicas.

Módulo de excavación. Se identifica como tablero a un tramo de zanja que se profundiza con una máquina excavadora vertical, colocada en tres posiciones para alcanzar una longitud horizontal típica de unos 6 m y de la profundidad requerida; en cuanto al ancho, primero el de la excavación y después del muro terminado, usualmente es de 60 y 80 cm. La longitud precisa de la zanja queda condicionada por la de cada segmento de muro, más el ancho de la junta o juntas temporales de colado.

Restricciones de frontera. Para definir el procedimiento de vaciado del concreto de un tablero se presenta alguna de las siguientes tres condiciones de confinamiento en sus extremos: (a) se trata de un tablero independiente que se colará confinado por dos juntas temporales; esto es, que ni el muro inmediato anterior o el posterior han sido fabricados; (b) que en ambos extremos estén construidos los muros y que tengan la edad mínima necesaria para soportar la maniobra de limpieza de sus juntas machihembras; esto significa que el concreto ha alcanzado la resistencia que tolera esas maniobras, y (c) que en uno de los extremos se utilice junta temporal y el otro esté confinado por un muro con la edad mínima.

Secuencia alternada de excavación. Consiste en una primera etapa de avance, que se detendrá cuando los muros iniciales tengan la edad mínima que se describió en el párrafo anterior; en ese momento el equipo de excavación y colado retrocede para iniciar la segunda etapa de avance, en la que se construyen los tableros intermedios faltantes.



Muros esbeltos. Se define en esta manual como muro milán esbelto aquel cuyo espesor es de 30 a 45 cm, estos espesores hasta hace pocos años eran irrealizables, porque se carecía de la maquinaria necesaria para llevar a cabo la excavación. La importancia de poder fabricar muros milán esbeltos los hace accesibles a mayores aplicaciones. En cuanto a la manera de construirlos es igual a los de tamaño usual excepto que se requiere maquinaria adecuada que incluso puede operar en áreas reducidas.

3.1.7 Estabilidad general y local de la zanja.

Mecanismo estabilizador. Los lodos bentoníticos introducidos durante la excavación de la zanja forman en sus paredes una costra o “cake” como consecuencia de la pérdida local de agua que sufren, se forma así una especie de membrana de muy baja permeabilidad que permite el desarrollo y aplicación de la presión del fluido estabilizador a las paredes de la excavación. En las arcillas de la ciudad de México cuando se excava la zanja sólo con agua, las maniobras de operación de las almejas forman de manera espontánea un lodo arcilloso que también es capaz de formar costra como en los bentoníticos.

Es evidente que en las arenas permeables se requiere un lodo viscoso y que sólo con bentonita e incluso aditivos se puede lograr la costra; en cambio, en las arcillas y en arenas con porcentajes significativos de arcillas, un lodo de baja viscosidad es suficiente, ya que en las paredes de la excavación necesariamente queda untada una capa de arcilla remoldeada por la almeja de excavación, la cual funciona como una excelente costra estabilizadora, que además es complementada en los eventuales estratos arenosos con los coloides del lodo arcilloso. El lodo genera una presión hidrostática que se opone a la generación de la superficie de falla que corresponde al estado activo de empuje de la masa de suelo.

Mecanismo de falla general. El colapso de una excavación en zanja para un muro milán, implica el desarrollo de una superficie de falla que define un prisma inestable, que incluye una cierta masa del suelo y que puede



hasta involucrar a la máquina excavadora. Así, cuando la excavación ha alcanzado una cierta profundidad, la superficie de falla llega hasta el fondo de la excavación, la cual corresponde al caso de un suelo cohesivo.

Valores usuales del factor de seguridad. Al juzgar la estabilidad de una excavación temporal, como es el caso de zanjas para muros milán usualmente se considera conservador un factor de seguridad de 1.5 y como valor límite inferior se llega a admitir 1.3. Este criterio fue el propuesto en COVITUR para el control de la construcción de muros milán experimentales, empleando lodos arcillosos como fluidos estabilizadores de las zanjas, y también puede aplicar al caso de las zanjas de longitud grande como las tipo Soletanche.

Estabilidad con lodos convencionales. Se identifica aquí como lodos convencionales a los elaborados con bentonita en planta, así como a los lodos arcillosos que espontáneamente se forman agregando agua a la zanja durante el proceso de excavación; su equivalencia se debe a que ambos llegan a pesos volumétricos medios de 1.07 t/m^3 con mínimos de 1.04 t/m^3 y que por tanto proporcionan el mismo factor de seguridad durante la excavación de la zanja.

Estabilidad con lodos fraguantes. La estabilidad de la zanja con estos lodos es notablemente superior a la que se alcanza con los convencionales, porque teniendo una densidad de 1.2 t/m^3 incrementan el factor de seguridad de la excavación.

3.1.8 Características de los lodos estabilizadores

Lodos estabilizantes. Son suspensiones coloidales de arcilla en agua que tienen un comportamiento de fluido tixotrópico que implica que se asemejen a los líquidos cuando están en movimiento y que adquieren cierta resistencia al corte en condición estática comportándose como geles.

Los lodos sirven para sostener las paredes de perforaciones o excavaciones y tienen, como se mencionó antes, la propiedad de formar una delgada costra en contacto con el suelo denominada con el anglicismo *cake*,



cuya doble función es evitar que el lodo penetre en el suelo y además que forme una membrana de baja permeabilidad. Su propiedad tixotrópica es la más importante para desarrollar la presión hidrostática que ejerce sobre las paredes de la excavación, por lo tanto, el peso volumétrico es la propiedad complementaria en la que se deberá tener mayor control, porque es la que define la magnitud de la presión horizontal que se podrá ejercer a la pared de la zanja y gracias a la costra de baja permeabilidad o *cake*.

Espesor de la costra o *cake*. La cual se forma adherida a las paredes de la excavación con espesor de unos milímetros y produce, como se dijo antes, el efecto de una pantalla flexión e impermeable.

Densidad. Expresa el peso por unidad de volumen de los lodos.

Viscosidad. Esta propiedad es una medida de la resistencia interna de la mezcla, a mayor viscosidad mayor resistencia, se acostumbra definir con el como de Marsh como el tiempo que toma para salir un litro de lodo.

Contenido de arena. En excavaciones o perforaciones una pequeñísima cantidad de arena es deseable, en cambio una excesiva cantidad resulta inadecuada ya que forma una costra de mayor espesor lo que la hace quebradiza.

Potencial de hidrógeno (PH). Las propiedades de los lodos se ven afectadas por la naturaleza del electrolito presente en el agua, el cual influye en la dispersión coloidal al elevar o disminuir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias. Soluciones neutras tienen un PH igual a 7, ácidas inferior a éste y alcalinas superior.

Lodos bentoníticos. Se obtienen mezclando bentonita con agua y sirven como fluido estabilizador de la excavación, la concentración de bentonita varía entre 5 y 10% en peso; porcentajes más altos generan una viscosidad excesiva y la resistencia del gel dificulta un manejo. Este tipo de lodo es indispensable en suelos no cohesivos como son las arenas permeables donde se requiere la mayor viscosidad posible que



únicamente se logra con el uso de bentonita. Cuando conviene incrementar su densidad suele agregarse polvo de barita.

La bentonita es una arcilla de alta plasticidad del tipo montmorilonita cuyos depósitos naturales se forman por la alteración de ceniza volcánica en condiciones húmedas o por la descomposición de rocas básicas en presencia de agua, puede ser cálcica o sódica.

3.1.9 Elaboración de lodos.

Volumen necesario. Es esencial considerar que el consumo de lodos en un cierto trabajo casi siempre es superior al volumen teórico de la excavación debido a las siguientes causas: (a) perforación irregular con exceso de sobre ancho por la herramienta, (b) penetración del lodo en el terreno, (c) lodo que envuelve al material excavado y por ello incluido en el material de desechado y (d) lodo endurecido y excavado al realizar el panel colindante. Se debe también tomar en cuenta que las condiciones y métodos de mezclado en el laboratorio son muy diferentes a los que prevalecen en la obra.

Mezclado e hidratado. Se inicia en un tanque de preparación utilizando un mezclador, se vacía la bentonita en la tolva y se va incorporando el agua que sale a presión por el chiflón ubicado en la parte inferior; esta mezcla se hace circular durante 15 minutos por una tubería en circuito cerrado utilizando una bomba de lodos. Una vez que se tiene lodo homogéneo, se deja hidratar durante un tiempo mínimo de 24 hrs; problemas: (a) el más común es el sobre consumo de bentonita y (b) los lodos fraguantes quedan mal dosificados.

Proceso de batido. Una vez que el lodo bentonítico ha sido hidratado se envía a un tanque mezclador donde se le adiciona el cemento, debiendo realizar un batido enérgico durante 10 minutos para facilitar el mezclado



correcto y homogéneo, pudiendo realizarse con agitadores de paletas movidos por un motor. El cemento debe agregarse justo antes de la utilización del lodo para disponer del mayor tiempo posible antes de que comience el fraguado, haciendo notar que éste no se presentará mientras se mantenga el lodo en agitación, pero una vez que se ésta se detenga se inicia el fraguado. En algunos casos podrá ser conveniente agregar aditivos retardadores del fraguado.

Transporte y colocación. El envío de lodo hacia la zanja se realiza con mayor eficiencia por medio de tubería, a mayor o menor presión según la viscosidad y distancia de bombeo, vaciándolo conforme la excavación progresa, de tal forma que su nivel se mantenga igual al del agua freática o a la profundidad que el proyecto indique.

Recuperación y regeneración. Los lodos se pueden utilizar para controlar la excavación de varios módulos y por ello se suelen contaminar de partículas sólidas durante la excavación o cuando se coloca el concreto. Así cuando el lodo no reúne las condiciones requeridas de densidad, viscosidad y contenido de arena debido a una contaminación, se bombea a un depósito de regeneración de lodos donde se le agrega agua y se hace circular a través de unos ciclones desarenadores.

El lodo cargado de arena entra tangencialmente y crea un remolino, que provoca la separación de las arenas por centrifugación. El lodo depurado es expulsado por un orificio superior en tanto que la arena desciende por las paredes y sale por el orificio inferior.

Para normar un criterio, el lodo fresco tiene una viscosidad Marsh de orden de 35 seg, por contaminación crece a unos 45 seg y en reposo por efecto tixotrópico llega hasta 55 seg.

Eliminación del lodo. Una vez que los lodos no se puedan reutilizar debido a que resulte antieconómica su regeneración, se deberán eliminar, depositándolos en sitios que reduzcan el riesgo de contaminación. Las



normas norteamericanas y europeas han sido muy rigurosas con respecto a la bentonita y por ello con polímeros están ganando mayor campo de aplicación.

3.1.10 Control de los lodos.

Para el diseño de un lodo estabilizante y su control en obra se recomienda realizar las siguientes pruebas:

- Densidad.
- Viscosidad.
- Contenido de arena.
- Potencial de hidrógeno.
- Resistencia al corte.
- Resistencia del lodo endurecido.

3.1.11 Evaluación de las condiciones de construcción.

Aspectos generales. La información geotécnica que se obtiene para el diseño de una cierta línea de Metro o para la cimentación de un edificio es suficiente para el diseño del procedimiento de excavación; sin embargo, ocasionalmente puede ser insuficiente para definir un cierto tramo de construcción del muro milán; por ello se podrá justificar realizar algunos sondeos de cono eléctrico que únicamente penetren hasta la profundidad del muro.



Instalaciones municipales. Se deberán identificar cada condición peculiar que se presente relacionada con la presencia de tuberías, ductos, zonas jardinadas, rellenos sueltos, etc; estos casos se deberán hacer calas de inspección y recopilar la información técnica.

Factor de seguridad. Para condiciones normales de excavación se deberá imponer un factor de seguridad de 1.5 y se podrá administrar como condición límite de excepción, que baje a 1.3; aunque esto último deberá estar sujeto a la aprobación de la supervisión de obra.

3.1.12 Zanjas guía y brocales.

3.1.12.1 Definiciones

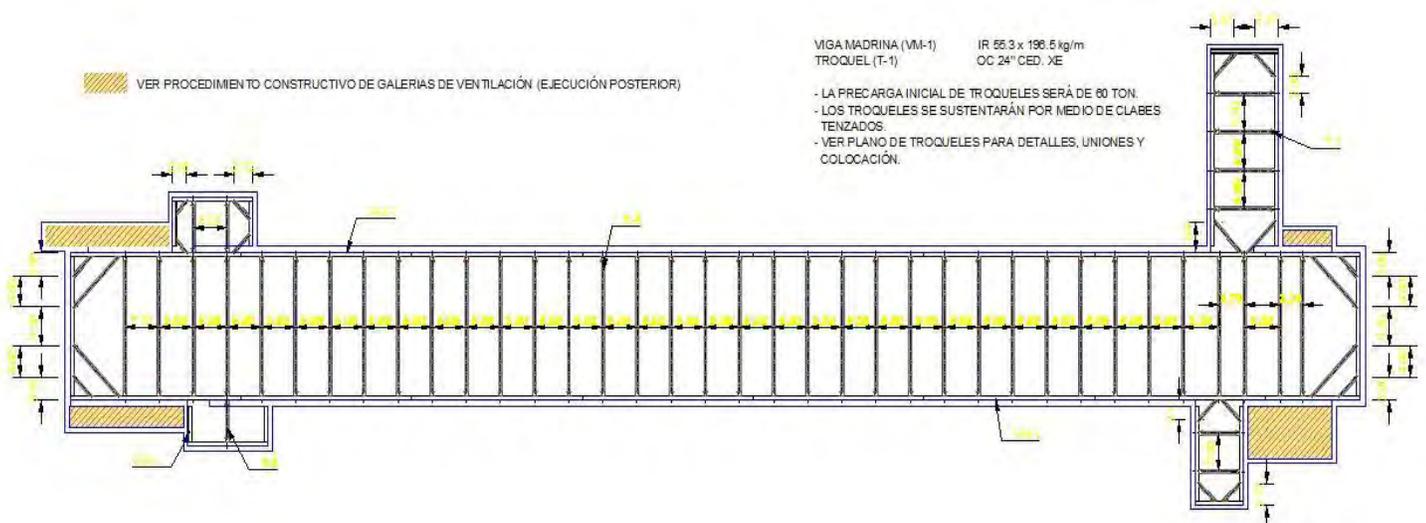
La zanja guía es una ranura en la superficie del terreno de ancho igual al muro más la tolerancia que permita el paso de la almeja de excavación, en cuanto a la profundidad de la zanja, usualmente se iguala al espesor de material superficial suelto. Esta zanja se protege con un revestimiento que se le conoce como el brocal, que refuerza esa 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 y las curvas necesarias.

- b) Comprobar que no hay instalaciones municipales, ductos o cables en la traza del muro.
- c) Controlar la operación de excavación obligando a que la almeja entre en la 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 en caso necesario servir de apoyo para sostenerla.
- g) Soportar la jaula del acero de refuerzo en posición fija para evitar que penetre o se levante.
- h) En caso necesario servir de apoyo al paso de la maquinaria pesada de excavación y maniobra.

La definición de las dimensiones de la zanja y brocal suele ser aparentemente simple, sin embargo, es frecuente que la profundidad sea insuficiente para sostener la parte superior de la excavación; un brocal corto es un error que tiene como consecuencia que se produzcan salientes o panzas en el muro termina.

La zanja se excava con maquinaria ligera y en caso de tropezar con instalaciones se procede manualmente, en cuanto al brocal mismo lo más usual es hacerlo de concreto reforzado, pero también se utilizan de lámina con un apoyo estructural.



PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE TROQUELES.



3.1.13 Control de la excavación de zanjas.

Generalidades

Para asegurarse que se está siguiendo el procedimiento constructivo correcto, así como evitar los errores que podrían afectar la calidad final del muro, se debe implantar una rigurosa supervisión técnica. Al igual que los constructores, el supervisor debe conocer con detalle todos los aspectos básicos del tema y debe haber sido entrenado en observar en el campo todos los detalles constructivos y los errores posibles. El supervisor debe también tener definido su nivel de autoridad y la capacidad de suspender la obra mal realizada, así como la obligación de llevar el registro técnico del trabajo, para facilitar la evaluación final.

En el caso de proyectos de gran importancia la mejor demostración de la confiabilidad del procedimiento de estabilización de excavaciones para muro milán debe apoyarse en pruebas experimentales de excavaciones que se lleven a la falla; este criterio tradicionalmente aplicado en mecánica de suelos, permite analizar rigurosamente la condición de falla ($FS \leq 1$). Por su objetividad seguramente ayudará a esclarecer las incertidumbres del procedimiento, de los equipos y de las características el lodo estabilizador.





Ciclo y rendimiento de excavación

El ciclo de excavación de un zanja se define como el tiempo requerido para realizar las siguientes maniobras: instalar la máquina zanjadora, centrar y bajar la almeja, excavar, subir la almeja, dejar que escurra el lodo bentonítico y vaciar el material. Los ciclos de excavación para casi todas las almejas varían entre 2 y 4 minutos; el primero en arcilla de consistencia blanda y el último para dura; en las arenas y suelos duros los tiempos son del orden de 3 a 6 min.

El supervisor debe organizar y vigilar pruebas de excavación de zanjas para precisar los rendimientos que se podrán alcanzar para evaluar el volumen de material que se puede excavar en un cierto tiempo.

CASO 1. Los ciclos y rendimientos medidos en la excavación de una zanja en suelo blando de la ciudad de México, usando una almeja e 30 cm de ancho y corte de 1.7 m de longitud en una excavación de 16 m de profundidad, operada con una máquina *Gingol*. En la tabla siguiente se anotan los tiempos ejecución.

Profundidad, m	Material	Ciclo, minutos	Volumen, m ³ /hr
4.00 a 5.00	Arcilla blanda	2	4.0
7.85 a 10.00	Arcilla media	2.5	3.0
10.00 a 11.70	Arcilla- limosa dura	3.7	2.3
15.00 a 16.00	Arcilla firme	3	2.7



CASO 2. Una excavación en suelos de lacustres de transición en la ciudad de México se construyo un muro milán de 630 m de perímetro a 6 m de profundidad con dos equipos pesados de kelly telescópico en 90 días. El tiempo de excavación era de 12 m de perímetro por día (dos muros), así la excavación duró aproximadamente 50 días.

Pérdida de la verticalidad

La facilidad con la que las máquinas zanjadoras 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 unos 60 cm de ancho llegan a las 6 ton/m² y las más pesadas, con bandas hasta de un metro de ancho suelen transmitir unas 10 ton/m²; (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 una 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 movable 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 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 geometría usuales.

Ancho del brocal, junta y muro. Se ejemplifica las dimensiones de una zanja excavada con una almeja de 60 cm, la cual operada con gran habilidad puede abrir una zanja de 62 cm, que será el ancho final del muro. Para ello la zanja, en su parte superior deberá ser de 75 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 6 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 de muro y los demás serán proporcionales.

Limpieza del fondo

Una vez concluida la excavación de cada tablero se debe eliminar el fondo de la zanja para eliminar los detritus que se desprenden de las almejas o de las brocas, porque los trozos sueltos de suelo que queden en

el fondo por su menor densidad flotarán cuando se vacía el concreto, esta limpieza se hace extrayendo el lodo del fondo de la zanja para arrastrar los trozos de suelo y el azolve depositado.



3.1.14 Juntas de colado

Generalidades

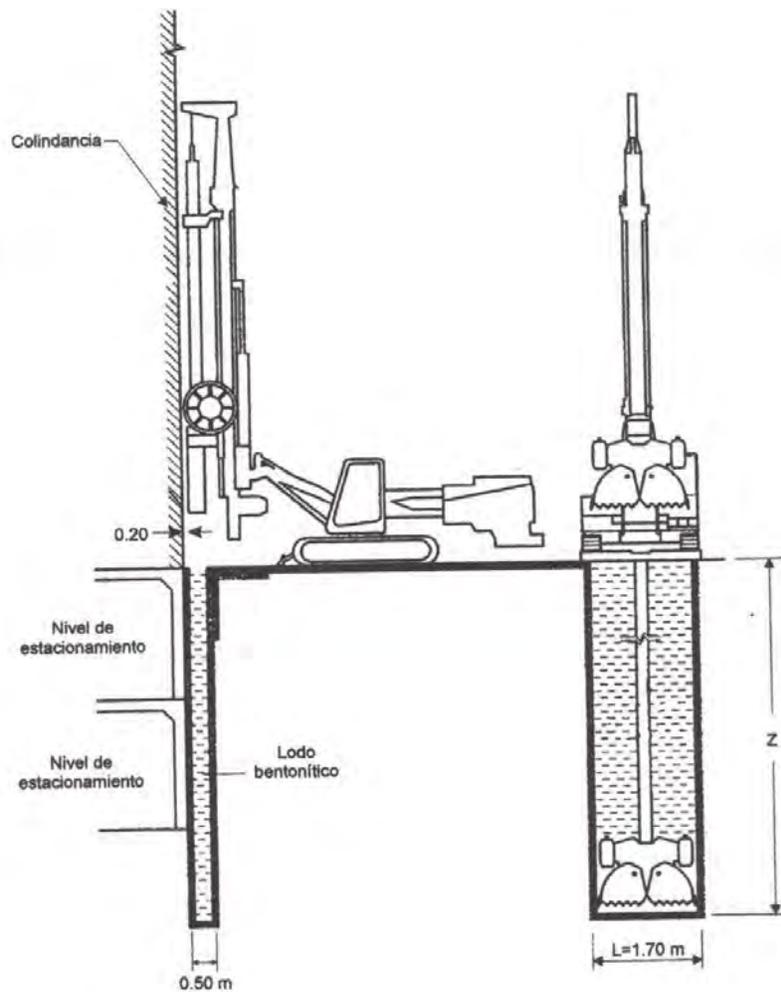
Las juntas para los muros milán son piezas de acero que permiten confinar temporalmente uno o los dos extremos verticales de uno de sus módulos durante el proceso del vaciado del concreto, con la finalidad de conformar su superficie para producir un machihembrado que permita la unión estructural por cortante con el siguiente módulo.

En la geometría de las juntas deben de estar en congruencia con la forma de la almeja con la que se realiza la excavación de la zanja; así, cuando es forma curva las juntas circulares son adecuadas y cuando es recta las juntas planas son las congruentes. Además para asegurar las maniobras del colado del concreto las juntas deberán satisfacer los siguientes requerimientos:



- a) Resistir la presión del concreto fresco sin experimentar excesiva distorsión o deformación y sin permitir la fuga lateral del concreto. Su rigidez debe asegurar que la deformación tolerable sea del orden de unos milímetros.
- b) Proteger al panel previamente colado de los impactos de la almeja y permitir la excavación del panel adyacente.
- c) El machihembrado que produce la junta deberá quedar limpio y ser capaz de soportar cierta fuerza cortante entre paneles consecutivos; además, dificultará el paso del agua buscando que la unión entre los módulos sea lo más hermética posible.
- d) La junta deberá ser construida con aceros y métodos simples a un costo compatible con el proyecto. Las juntas pueden ser de concreto cuando quedan incluidas en el muro; también se acostumbra que sean de perfiles de acero.





Tipos de juntas

El número de juntas desarrolladas es muy vasto, casi cada empresa constructora tiene su propio tipo, algunas las tienen patentadas y otras son del dominio público. Se describirán aquí las más difundidas, las más ingeniosas y las que se han empleado en México. En la Tabla siguiente se mencionan las que serán descritas más adelante.

Se podría decir que en todas las juntas se intenta resolver las tres condicionantes antes mencionadas; algunas de ellas incluso se han diseñado para dar continuidad estructural al muro. Se podría agregar que el ingenio constructivo detrás de cada diseño busca la optimización de las maniobras y con ello garantizar la calidad disminuyendo el costo.



Geometría	Identificación
Circular	a. Tubular simple
	b. Tubular con separar
Machiembra	c. Rectangular simple
	d. Tipo Soletanche
	e. Sello doble Bachy
	f. Catalana triangular
	g. TGC con separador de lámina
	h. Con mangueras laterales
Peculiar	i. Perfil e acero incorporado
	j. Takenaka
	k. Placa de acero y membrana de vinil
	l. Fraki con pasadores
	m. Ensamblada Casagrande
Cuadrada	n. CITEMEX

Colocación de la junta

Para la construcción del primer panel se requiere colocar dos juntas de colado, para así formar el muro primario con dos lados hembra; los muros sucesivos o secundarios necesitan únicamente una junta ya que el concreto del panel precedente le sirve de soporte y el muro es hembra de un lado y macho del otro.



Las juntas son posicionadas dentro de la zanja antes de que la jaula de acero de refuerzo sea colocada y de iniciar el vaciado del concreto; las juntas deben estar en posición firme dentro del terreno para lo cual su punta debe ser delgada y penetrar por los menos 10 cm en el fondo de la excavación, para confinar adecuadamente el concreto fresco y evitar que éste se levante. Asimismo deberán quedar bien centradas y perfectamente verticales, nunca con inclinación que deje un hueco inferior que origine pendiente negativa y dificulte gradualmente su extracción.

En los suelos blandos el peso de la junta puede causar la falla del suelo y su descenso y penetración, en esos casos la junta debe tener que se apoyen en los brocales de la zanja guía o bien contar con prensas laterales.

Fuerzas de adherencia.

Las juntas de colado se fabrican de acero, éstas se adhieren al suelo que las circunda y al concreto del muro milán que confinan; cuando se descuidan los detalles geométricos y calidad de la superficie de la junta esta adherencia crece sin control hasta requerir equipos de gran capacidad para poder extraerla.

Reducción de la adherencia

Los numerosos ingenios para reducir la adherencia en el contacto entre la junta y el suelo y concreto que utilizan los constructores de muro milán van desde:

- a) El más simple y convencional que consiste en untar la junta con una grasa mineral resistente al agua.
- b) Utilizar membranas o recubrimientos antifriccionantes y desmoldantes químicos para los concretos.
- c) Recurrir a fundas perdibles como la junta circular con funda o la TGC con lámina separadora.



- d) Adoptar juntas cuyo diseño tenga área lateral mínima en contacto con el suelo, como la catalana triangular y el *Soletanche*.

Para evaluar la magnitud de las fuerzas de adherencia que se pueden desarrollar se realizaron pruebas de laboratorio en distintas interfaces acero y concreto, aunque estos experimentos sólo son limitados tienen interés para la práctica.

Extracción de la junta.

Una vez que un módulo de un muro milán ha alcanzado el fraguado inicial del concreto, lo cual empieza una 2 horas después de su colado, conviene levantar axialmente la junta unos 2 cm con la finalidad de romper la adherencia. Antes de este lapso cualquier movimiento producirá deformaciones y alteración en la resistencia del módulo recién colado.

El tiempo para iniciar la excavación del panel siguiente esta condicionado a la protección y ancho que proporciona la junta:

- ❖ Cuando se trata de juntas gruesas como son la tubular simple y la clásica rectangular, su dimensión es tan grande que debe ser extraída antes de proceder a excavar el siguiente módulo para conservar la geometría de las tres posiciones de la almeja por ello conviene esperar unas 6 horas para que el concreto tenga la resistencia que le permita soportar los efectos de la operación de la almeja. Al concluir la excavación se tendrá que limpiar perfectamente la superficie del concreto de los residuos que casi siempre unta la almeja; esto se hace con el cepillo.



- ❖ Cuando se utilizan juntas con placa de respaldo como son la Solentanche, la catalana y la TGC, la excavación se podrá realizar apenas iniciado el fraguado inicial, porque su espesor permite mantener la junta en posición durante la operación de la almeja sin interferir en las posiciones de la almeja esta manera de operar protege la superficie del concreto y mantiene limpia la clave trapecial; algunos constructores retiran la junta metálica a medida que están introduciendo el concreto, para asegurarse de la limpieza.

3.1.15 Acero de refuerzo manejo y colocación

Conceptos básicos

Acero de refuerzo. Como refuerzo ordinario para los concretos de los muros milán se usarán barras de acero corrugadas que cumplen con las normas NOM B6, NOM B457. Se permitirá el uso de barras lisas de 6.4 mm (N°2) sólo para estribos y como refuerzo para cortante por fricción. El acero de presfuerzo cumplirá con las normas NOM B293 o NOM B292.

El módulo de elasticidad del acero ordinario, E_s , se supondrá a 2×10^6 kg/cm² y el de torones de presfuerzo igual a 1.9×10^5 kg/cm².

Si las condiciones ambientales requieren que se tomen precauciones con el acero de refuerzo, éste deberá ser galvanizado de acuerdo a la especificación ASTM-A679-79 o con baño epóxico de acuerdo con la norma ASTM-A775-84.

Efectos del lodo. La inmersión del acero en 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 bentonita u otras impurezas pueden quedar atrapadas dentro de las corrugaciones de las varillas.
- c) Puede ocurrir fallas de recubrimiento de la pasta de cemento alrededor del acero de refuerzo.
- d) La experiencia demuestra que el lodo bentonítico no forma “cake” alrededor de las varillas, ya que esta acción requiere de un proceso de filtración; la adherencia y fricción entre acero y 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 bentonita en las varillas, evitando el desarrollo de la adherencia entre concreto y acero.

Espaciamiento de barra. El espaciamiento entre varillas debe ser tal que permita el libre flujo del concreto entre éstas y las paredes de las zanjas; para que el colado de los muros con tubo tremie sea uniforme y sin obstrucciones, las varillas del refuerzo principal vertical y horizontal se colocarán formando parrillas exteriores a manera de jaulas.

Protección contra corrosión. En las últimas décadas la protección contra corrosión de las varillas de refuerzo ha cobrado singular importancia, especialmente en ambientes agresivos, así que además de dotar a los muros con recubrimientos generosos, se deberán utilizar varillas galvanizadas o con recubrimientos epóxicos, de acuerdo con las especificaciones de la ASTM.



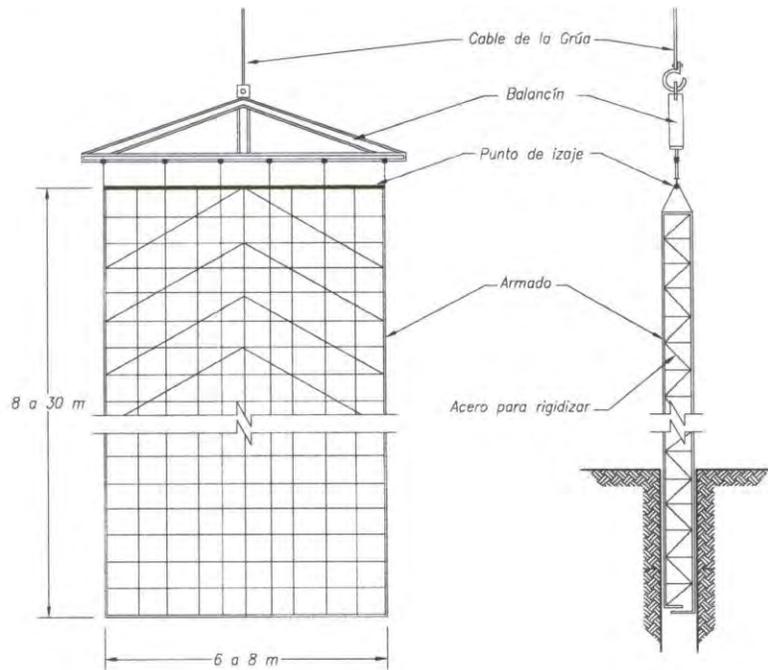
Refuerzo para muros de ademe temporal

Las varillas de refuerzo son ensambladas en parrillas o jaulas para formar los armados de los muros; es usual que el armado se realice en obra y no en taller debido a las grandes dimensiones de los paneles; normalmente se requiere de grandes espacios abiertos para ensamblar, almacenar y manejar los armados. La única manera práctica de realizar el ensamblado de las varillas es horizontalmente, donde desde esa posición con las grúas los armados son izados, suspendidos verticalmente y colocados en las zanjas.

Dependiendo del espesor del muro, solamente se requiere que el armado principal se ubique en las caras exteriores de las jaulas, uniendo las parrillas con silletas y pasadores diagonales.

Refuerzo para muros estructurales.

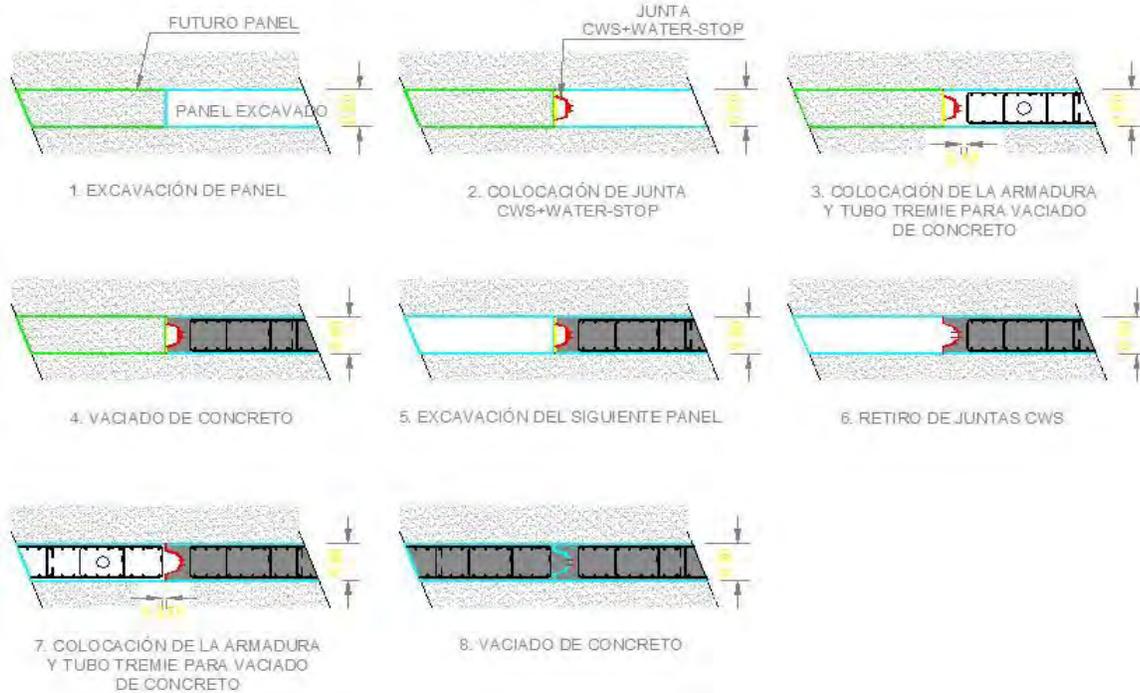
En muros estructurales se deberán dejar preparaciones huecas para ligar posteriormente con los pisos o elementos de soporte. Las preparaciones consistirán en cajas y ranuras ocupadas temporalmente por bloques de poliestireno o de lámina con respaldos de madera, firmemente asegurados a las parrillas de acero de refuerzo. La función de esas cajas es primero evitar que penetre el concreto y después facilitar el descubrir del acero de refuerzo para realizar las conexiones, dobleces o traslapes del acero del muro, en esas preparaciones debe evitarse que:



- a) Que las cajas queden en los extremos de los muros, donde el flujo del concreto sea incapaz para desplazar el lodo bentonítico.
- b) Que las cajas sean demasiado grandes y por lo tanto restrinjan el flujo del concreto y al introducirlas se atoren contra la pared de la excavación.
- c) Evitar que las cajas tengan el ancho de los muros, ya que pueden entrapar el lodo en las orillas.

Las cajas pueden colarse fácilmente si son robustas y están rígidamente unidos a la parrilla y si éstas a su vez están en posición correcta desde que se introducen desde la superficie. La falta de rigidez de las cajas o su mal aseguramiento en las parrillas, puede ocasionar que sean desplazadas por la fuerza ascendente del concreto o por las rejillas irregulares de la zanja del panel. Debido a que las parrillas son muy pesadas es muy difícil que el operador de la maquinaria advierta los desplazamientos de las cajas, por lo que en su diseño se deberá permitir holgura suficiente que considere el ancho de la zanja y sus tolerancias de excavación y del ancho del armado. La exactitud en su posición vertical se logra si las parrillas son manejadas y suspendidas en sus centros de gravedad. También debe asegurarse firmemente el armado a los muros guías superficiales, para evitar la tendencia de las parrillas a flotar durante el colado de los muros.

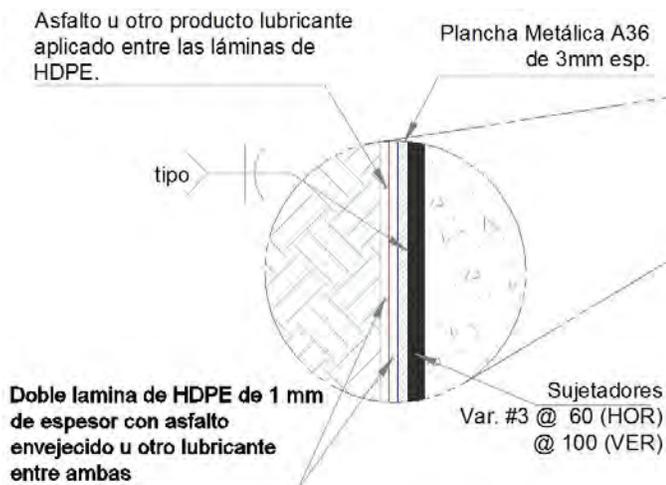
3.1.16 Proceso Constructivo De Páneles De Muro Milán.



3.1.17 Muros milán sistema antifricción definición detalle

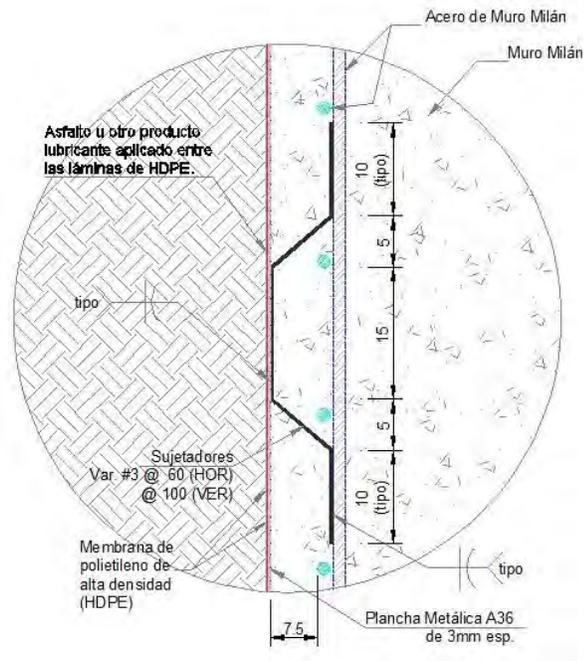
Procedimiento constructivo para colocación en obra del sistema antifricción

- 1) Como primer paso, se debe hacer el tendido de la placa sobre una superficie limpia y nivelada.
- 2) En el armado de la parrilla se muestra un arreglo esquemático de hojas rectangulares en un armado de muro Milán típico, el cual podrá ajustarse de acuerdo a las medidas comerciales de la placa.



Una vez tendida la placa, se sueldan con pequeños cordones de 5 cm separados 40 cm. Posteriormente, se colocan silletas para garantizar el recubrimiento de proyecto. Dichos separadores se colocan aproximadamente a cada 2 m en dirección vertical y horizontal.

- 3) Una vez colocados los separadores se ejecuta el armado sobre la placa, de acuerdo a los planos estructurales correspondientes.



- 4) Es importante hacer notar que los sujetadores se deben soldar a la placa y a las varillas de refuerzo principal, como se muestra en el detalle C. Cuando se ha terminado de sujetar la placa a la parrilla, se procede al levantamiento del panel con la ayuda de una grúa que tenga la capacidad adecuada para levantar la armadura.

- 5) Posteriormente, el armado se posiciona en el lugar donde se sumergirá y se le conecta el extremo del sándwich de HDPE lubricado al extremo del panel de acero tal y como se muestra en el detalle D.
- 6) El panel y el sándwich bajaran simultáneamente procurando que el sándwich de HDPE se mantenga tenso en todo momento.
- 7) Una vez que el armado ha bajado completamente, se coloca la tubería y se realiza el colado del panel con tubos tremie.

Izado, unión 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 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 arriostar; 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 requieren de balancines y dos líneas de estrobos 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 deslice dentro de la zanja y también aseguran el recubrimiento mínimo, los cuales se describen más adelante.

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, plomeado 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 correcto, por lo que las parrillas deberán tener orejas o lazos de varillas para su anclaje con el brocal.

Centradores del refuerzo

Los más utilizados son ruedas de concreto simple mal llamados “pollos”, fijados en ambos lechos del armado para centrarlo horizontalmente dentro de la excavación. 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, como en el caso de las arcillas blandas del Valle de México, es mejor el uso de tubos rectangulares de centrado apoyados en los muros guías, las parrillas de refuerzo deben contar en su parte superior con orejas o lazos de varilla que ayuden a la colocación de la parrilla en su correcta posición vertical y a la vez para anclarla.

Postensado de muros

Los principios generales del postensado pueden ser aplicados a los muros milán. Estructuralmente los muros milán son tratados como elementos de compresión que prácticamente no soportan tensiones, bajo este criterio al existir sólo compresiones no hay agrietamiento en el muro y por lo tanto puede ser tratado como un elemento elástico.

El postensado se realiza con cables de preesfuerzo de alta resistencia propiamente localizados dentro del muro, la tensión se aplica cuando el concreto ha alcanzado su resistencia, obteniéndose un incremento en la



rigidez del elemento y por lo tanto una reducción en las deformaciones elásticas, pudiéndose incrementar las longitudes no troqueladas de muro. Por ejemplo: un muro de 75 a 90 cm de ancho soporta una longitud en cantilever de 7.5 m; con el postensado la longitud en voladizo se incrementa en más de un 50%. El concepto se requiere la colocación de un solo nivel o anclas.

El postensado se aplica normalmente en concretos de alta resistencia de baja contracción y condiciones controladas de temperatura. El postensado en muros milán se realiza bajo condiciones favorables debido a que el muro se encuentra confinado por el suelo, la humedad del suelo ayuda al curado del concreto adquiriendo la resistencia necesaria en corto tiempo. Un concreto de alta resistencia es de bajo revenimiento, lo cual es contrario a lo requerido por el muro; las experiencias indican que concreto de 250 a 300 kg/cm² son adecuados para la realización del postensado.

3.1.18 Colado con tubo tremie.

Generalidades

La herramienta para la introducción del concreto fresco en zanjas estabilizadas con lodo es el tubo tremie, cuya correcta operación permite lograr muros de buena calidad y exentos de contaminación, a condición de respetar las reglas elementales de esta técnica. El método de vaciado del concreto consiste en empezar desde el fondo de la excavación, y gradualmente levantarlo manteniendo siempre su punta de descarga dentro de la masa fresca ya colocada, con esto se evita la segregación y la contaminación del concreto.



Es importante advertir que la sencillez aparente del tubo tremie y de su operación fomenta el descuido en los detalles, los resultados son muros defectuosos que hasta que se realiza la excavación los aspectos más simples que deben observarse con este ingenio constructivo.

Características del tremie

El tubo tremie es de acero de 7.5 a 25 cm de diámetro, usualmente en tramo de 1.5 a 3 m de longitud, con espesor de pared de unos 8 mm, con uniones roscadas con cuerdas cuadradas o trapeciales, herméticas, fuertes y de preferencia lisas. Los tubos deben resistir el manejo y la presión durante el vaciado del concreto, debe ser pesados para resistir la fuerza de reacción que se genera durante el vaciado (los de 25 cm de diámetro suelen pesar 25 kg/m). El equipo está integrado por la tubería y una tolva colocada en la parte superior, que conviene tenga un tubo de respiro para dar salida al aire que se entrapa durante el vaciado del concreto a la tolva, la válvula separadora que sirve de frontera entre el concreto y lodo debe ajustar con precisión al diámetro interior del tubo. Durante la maniobra de colado el conjunto se debe mover con frecuencia en sube o baja y por lo tanto se debe contar con el equipo para hacer estos movimientos.

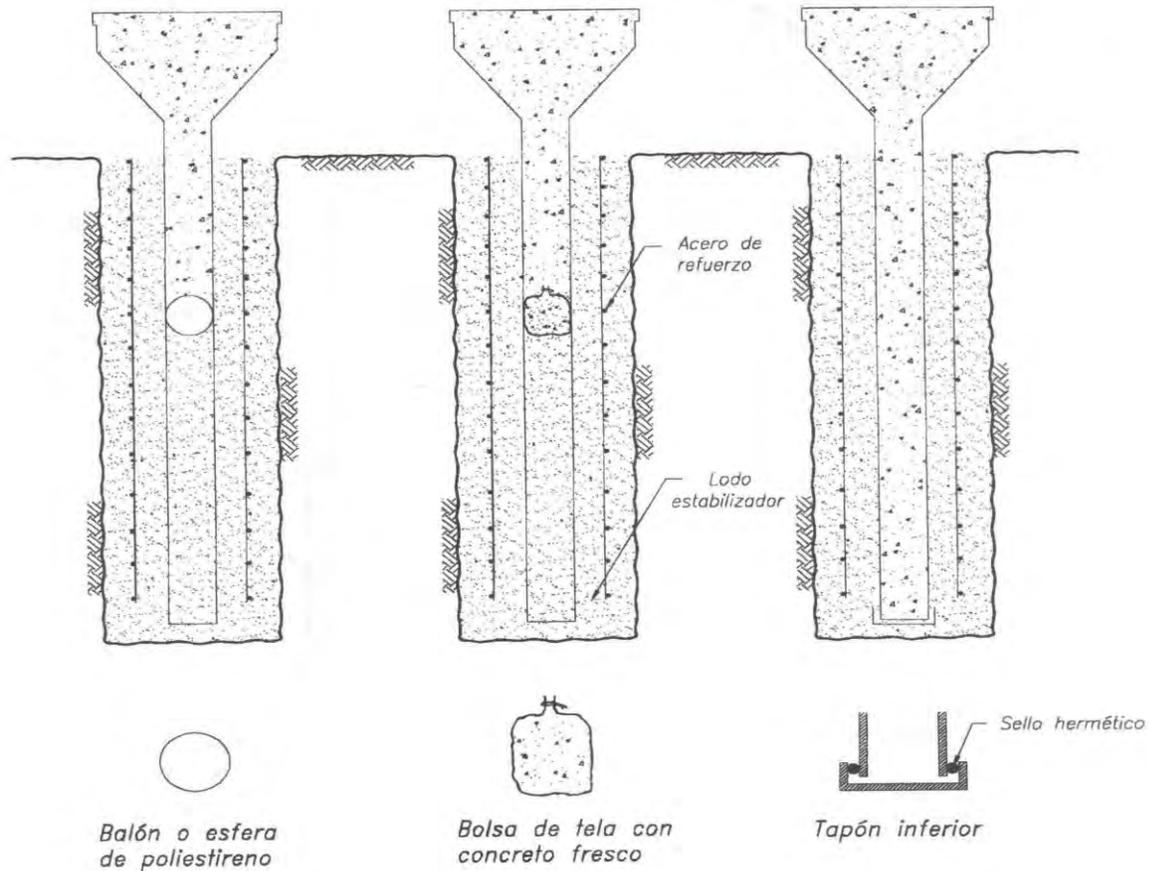
Los tramos de tubería se van desmontando a medida que avanza el colado y se extrae la tubería, los acoplamientos deben ser rápidos y aprueba de fugas. El equipo deberá cumplir los requisitos mínimos siguientes:

- a) Los tramos de tubería deben ser relativamente cortos, máximos 3 m de longitud, con uniones que les permita desconectarse fácilmente; sin consiste de cuerdas, las de listón con por lo menos dos entradas son las adecuadas; las empresas italianas constructoras de muros 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.

- b) La tubería interiormente debe ser lisa para evitar taponamientos de concreto.
- c) La tubería deberá ser resistente con un espesor mínimo de 8 mm.
- d) El diámetro interior del tubo debe ser unas 6 veces el tamaño máximo del agregado grueso.
- e) 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.
- f) 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. Cuando se cuelan muros muy profundos en los que se desconfía de la cámara de balón se recurre aun tapón de pie que se desprende con el peso del concreto, en la figura se ilustran esos dispositivos, se recomienda como más general el de la bolsa.
- h) Tolva cónica con ángulo de 60 a 80°.



En adición a estos mínimos requisitos, se recomienda.

- Contar con tubos de longitudes diferentes para combinar de acuerdo a la profundidad de la zanja, evitando secciones largas en la parte superior que dificulten la maniobra.
- Contar con herramienta suficiente para conectar y desacoplar rápidamente las secciones.
- Usar dispositivos para centrar y estabilizar el tubo tremie en la zanja.
- Contar con una caja depósito de los tramos de tubo.



3.1.19 Bombeo.

Antes de iniciar la excavación de una nueva fase, es necesario que se encuentren funcionando los pozos de bombeo ubicados en la propia etapa más los localizados 18 m por delante del frente de excavación. Se deberá verificar que el abatimiento en los pozos en esta distancia en el específico por lo menos dos días antes de iniciar la excavación en esa etapa.

El nivel de abatimiento dinámico será fraccionado en dos fases, siguiendo la condición de la nota anterior de la siguiente manera:

Caudal de abatimiento para excavación de Losa Mezzanine $q_1=1.0$ lt/min, abatimiento del N.A.F. entre 1.00 y 1.50 mts. Por debajo de la losa Mezzanine.

Caudal de abatimiento para excavación de Losa de Fondo $q_2=2.0$ lt/min, abatimiento del N.A.F. entre 1.00 y 1.50 mts. Por debajo de la Losa de Fondo.

El bombeo deberá suspenderse una vez que la losa de fondo de esa etapa haya alcanzado el 80% de su resistencia especificado.

Etapas

Puesta en operación de los pozos de bombeo y verificación del abatimiento del N.A.F. entre 1.0 y 1.5 mts por debajo de la losa de mezzanine ($q_1=1.0$ lt/min).

Excavación hasta cota 2227.64, colocación sucesiva y precarga (60 ton) de troqueles conforme se descubre su punto de aplicación (50 cms. Por debajo del nivel del troquel).

Ejecución de plantilla de concreto en zona de losas coladas en sitio ejecución de mezzanine.



Etapa 2

Incremento del caudal de extracción en pozos de bombeo para el abatimiento del N.A.F. entre 1.0 y 1.5 mts por debajo del nivel de la losa de fondo ($q_2=2.0$ lt/min).

Excavación por debajo de mezzanine de acuerdo a lo mostrado en la configuración de estructuración y excavación.

Colocación de cimbra (para el caso de losa tapa colada en sitio).

Ejecución de losa tapa (o colocación de elementos prefabricados para losa).

Etapas 3

Eliminación de troqueles conforme la losa tapa alcance su resistencia especifica.

Colocación de relleno compactado.

Ejecución de la losa de fondo en 2 etapas (ver planos estructurales correspondientes).



3.2 Excavaciones.

3.2.1. Excavacion y estructuracion.

La máxima sobrecarga permisible por equipo de excavación será de 2.0 t/m^2 , a una distancia de 3 mts. Del hombro del talud.

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 a



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.



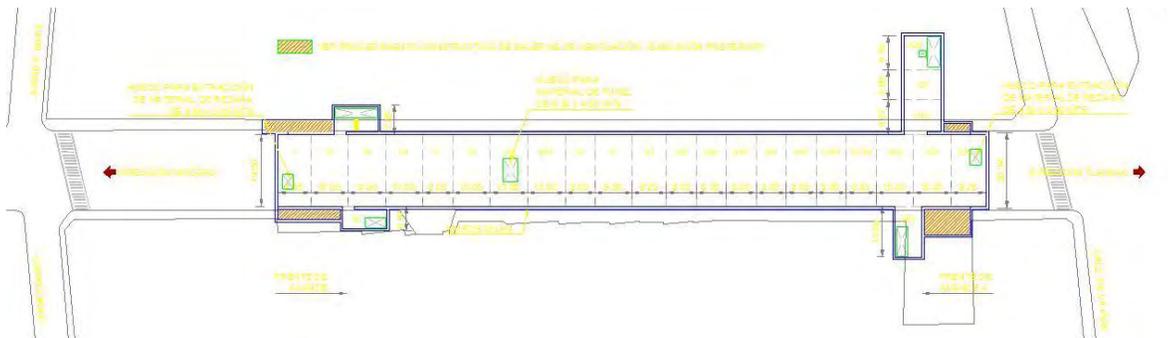
Es importante en el proceso constructivo de la zanja guía que se haga de una manera cuidadosa para evitar derrumbes porque la misma servirá de molde para el muro y un defecto en la excavación traerá alteraciones en la estructura del muro y en los costos, un muro excadido en dimension es habrá que demolerlo parcialmente sumando el costo del material 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.

Como probablemante se encuentren sitios de interés arqueológico, artístico o histórico es necesario realizar la investigación y análisis pertinente de la clasificación regional establecida por el INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia) se deberán dar facilidades para recuperación de material arqueológico. Lo anterior



con el fin de tomar en cuenta las observaciones y poderlas reflejar en el proyecto ejecutivo y no dañar algún tipo de monumento simbólico.

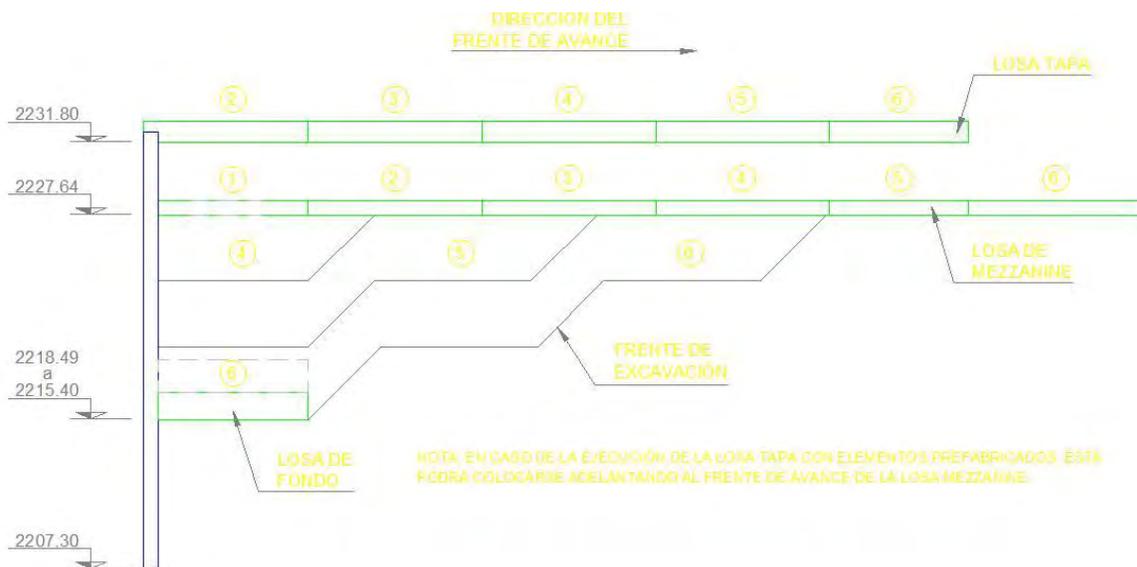
La excavación hasta el nivel inferior de la losa de mezzanine (cota 2227.64) se ejecutará en etapas colocando los troqueles correspondientes como se indica en la planta.



3.2.2 Planta De Fases De Excavación Y Etapas De Estructuración De Losa De Fondo.

Al alcanzar el nivel inferior de la losa de mezzanine, esta se construye dejando las preparaciones indicadas en los planos estructurales para su posterior continuación.

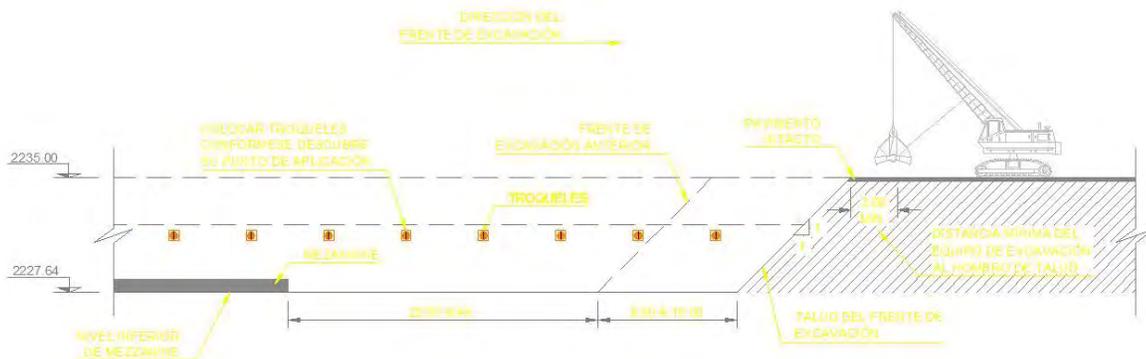
Despues de la losa de mezzanine haya alcanzado el 80% de su resistencia especificada, se podrá disponer sobre esta la cimbra necesaria para el colado de la losa tapa.





La excavación a 30 cms. Sobre el N.M.E. (Nivel Máximo de Excavación) se realizará de forma manual o con equipo ligero.

La excavación hasta el primer nivel de excavación será en dirección Oriente a Poniente siempre cuando se utilice equipo pesado para la excavación, como se ve en la (figura 1).



La excavación del material del material comprendido entre la losa de mezzanine y la losa de fondo será mediante el uso de maquinaria ligera (Bobcat o similar). Se deberán situar estratégicamente centros de acopio del material rezagado para ser extraído mediante un sistema de bombeo o almejas de carga. Los frentes de avance la -IVa, Ib-IVb, Ic-VIIIc y Id-VIII d podrán ejecutarse de manera independiente siempre y cuando se cumpla con la condición indicada en la nota 2.6 de este plano.

3.2.3 Tiempos Máximos De Ejecución.

Inmediatamente después de alcanzada la cota inferior de cada losa (losa tapa, losa de mezzanine y losa de fondo), se colorá una plantilla de concreto pobre ($f'c=100 \text{ kg/cm}^2$) de 10 cm de espesor provisto de un aditivo acelerante de fraguado. El colado de dicha plantilla deberá realizarse en un tiempo máximo de 2 hrs.



Una vez que la plantilla haya alcanzado su fraguado inicial, se comenzará a colocar el armado de la losa y a preparar la conexión de ésta con los muros Milán tal y como está prevista en planos de estructuras. El avance se hará de forma que no coincida las juntas de colado entre paños de losa de fondo a de muros interiores con las juntas entre muros Milán. El tiempo máximo a transcurrir entre el colado de la plantilla de fondo y el colado de la losa será de 24 hrs.

Ninguna etapa de excavación deberá quedar abierta por más de 48 horas sin colar totalmente la losa de fondo correspondiente. Si por alguna razón el proceso de excavación se tuviera que suspender por más de 24 horas, no deberá excavarse más de 40% de la profundidad máxima de proyecto. En caso de que la excavación haya alcanzado la cota inferior de la losa correspondiente, deberá efectuarse la construcción de la plantilla y de la losa correspondiente, si esto no es posible, entonces deberá efectuarse el relleno del área excavada con material producto de la excavación colocado a volteo hasta alcanzar una altura igual a la mitad de la profundidad de la excavación.



3.2.4 Uso De Troqueles Y Construcciones De Losas

Distribución De Troqueles

Notas:

-Todos los troqueles tendran una precarga inicial en fase de ejecución de 60 ton.

-El diseño de los troqueles no requieren regateos posteriores.

-Los troqueles se sustentaran por medio de cables trenzados.





Notas Generales

- 1.- La capacidad del gato sera de 120 toneladas.
- 2.- La superficie de apoyo del troquel debera ser uniforme y en caso contrario se debera rebajar y resanar la superficie con mortero.
- 3.- Los troqueles deberán estar colgados de sus extremos a unos puntos fijos.
- 4.- Las placas a emplear seran de acero estructural A-36 con $f_y=2530 \text{ kg/cm}^2$
- 5.- La soldadura sera realizada con un electrodo E-70.
- 6.- El acero del tubo sera A-50 tipo "E" grado "B".
- 7.- Madera en tablon de 2"de pino de 1ª.





CONCLUSIONES

El tema de construcción con muros milan tiene una gran importancia ya que se usa en cimentaciones profundas donde no se puede excavar a los lados de la construcción como en las ciudades donde se tienen construcciones alrededor del proyecto, que es como se construyo la estación Mexicaltzingo que es una sección en cajón subterráneo.

Así mismo en el proyecto se uso la tecnica de excavación con un escudo para hacer lod tuneles que conectan a las estaciones del metro que solo se había hecho en drenaje profundo haciendo que esta línea tenga innovaciones en la construcción de la línea del metro. Y tramos elevados en la construcción del metro.

Ademas de mejores en los servicios en las estaciones de la línea 12 como accesos para los discapacitados, uso de tarjetas, entre otros.

La línea 12 es un proyecto benéfico para las personas que tienen su área de trabajo en la zona poniente de la ciudad de México y gracias a su trazo que pasará de un recorrido que durara tres horas en camión o microbús a menos de una.



BIBLIOGRAFIA

Manual de Construcción Geotécnica Tomo II, Juan Jacobo Schmitter Martín del Campo, Jose A. Segovia Pacheco, Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos.

Mecánica de Suelos, Tomo II, Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, Editorial LIMUSA, Segunda edición, Tercera Reimpresión 1982.

Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Carlos Crespo Villalaz, Editorial LIMUSA, Segunda Edición, 2005.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones, Tomo II 2004.

Manual de Diseño Geotécnico, Volumen I, COVITUR, Departamento del Distrito Federal, Enrique Tamez, 2006.

<http://www.metro.df.gob.mx/>

<http://www.proyectometro.df.gob.mx/>