



### 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  $1.07 \text{ t/m}^3$  con mínimos de  $1.04 \text{ t/m}^3$  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  $1.2 \text{ t/m}^3$  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

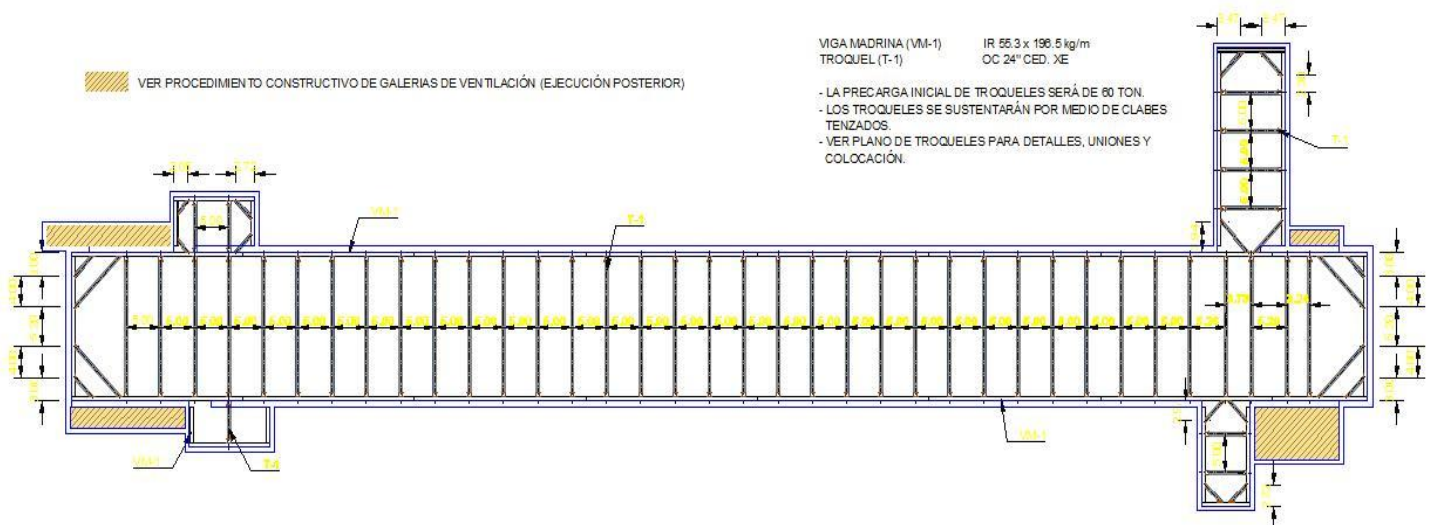
La zanja guía es una ranura en la superficie del terreno de ancho igual al muro más la tolerancia que permita el paso de la almeja de excavación, en cuanto a la profundidad de la zanja, usualmente se iguala al espesor de material superficial suelto. Esta zanja se protege con un revestimiento que se le 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 <sup>3</sup> /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/m<sup>2</sup> y las más pesadas, con bandas hasta de un metro de ancho suelen transmitir unas 10 ton/m<sup>2</sup>; (b) la carga es excéntrica, hacia delante cuando se cierran la almeja al cortar el suelo y hacia atrás al descargar y (c) el otro factor que influye es el giro necesario para descargar la almeja fuera de la zanja.

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

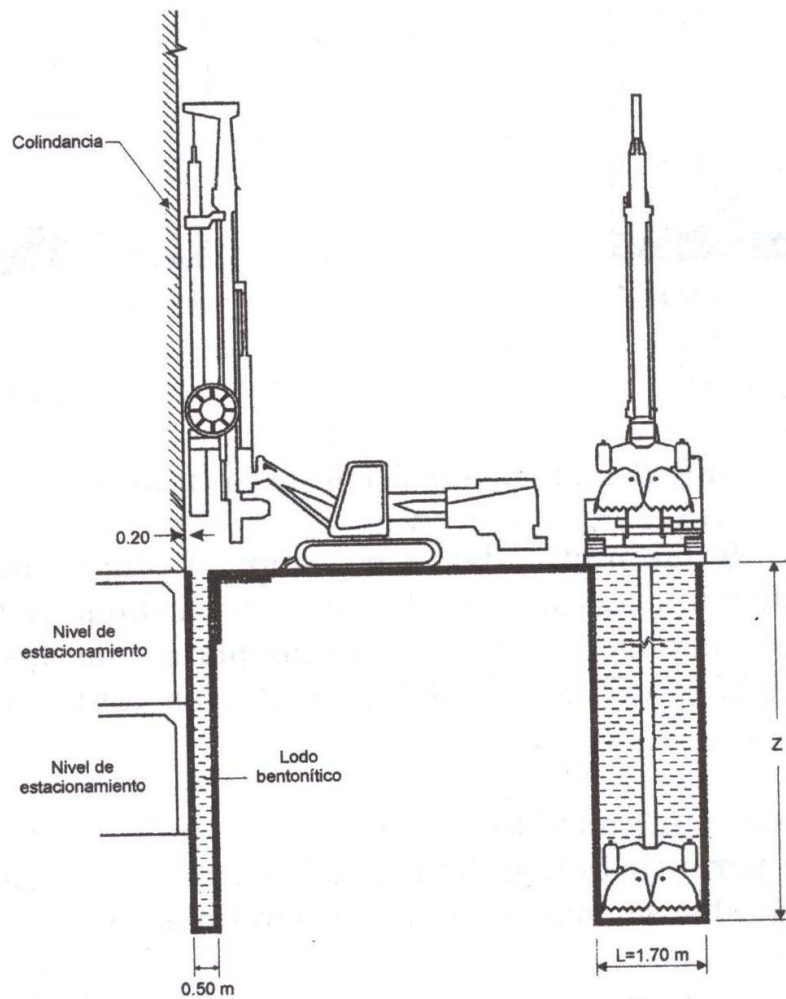
Las juntas para los muros milán son piezas de acero que permiten confinar temporalmente uno o los dos extremos verticales de uno de sus módulos durante el proceso del vaciado del concreto, con la finalidad de conformar su superficie para producir un machihembrado que permita la unión estructural por 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  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> y el de torones de presfuerzo igual a  $1.9 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>.

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.



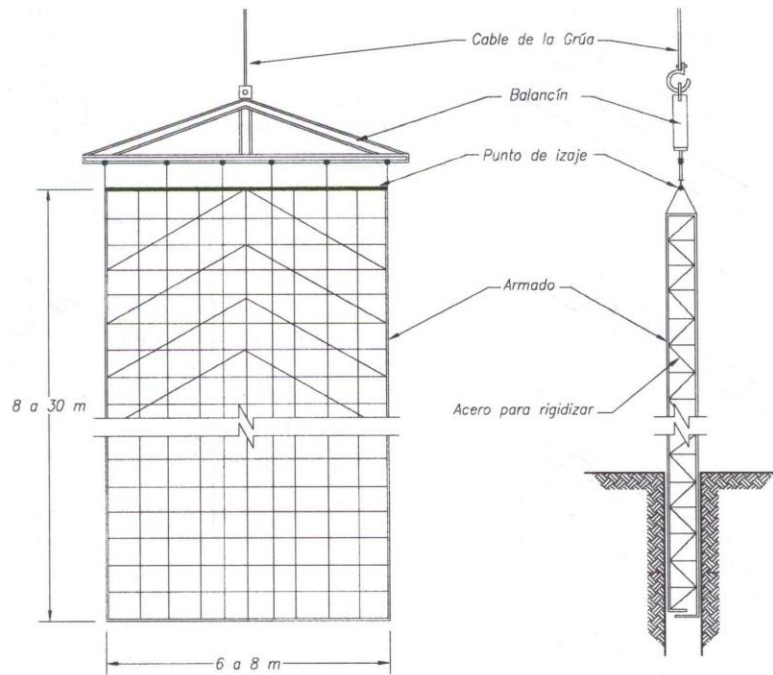
### **Refuerzo para muros de ademe temporal**

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.**

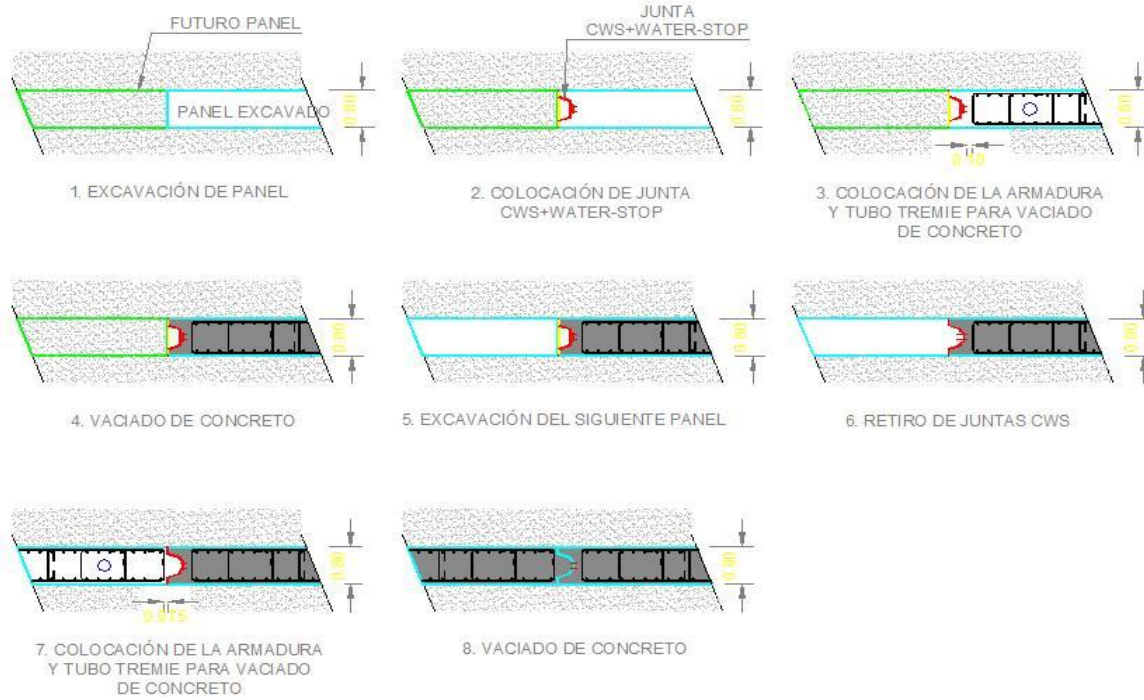
En muros estructurales se deberán dejar preparaciones huecas para ligar posteriormente con los pisos o elementos de soporte. Las preparaciones consistirán en cajas y ranuras ocupadas temporalmente por bloques de poliestireno o de lámina con respaldos de madera, firmemente asegurados a las parrillas de 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.

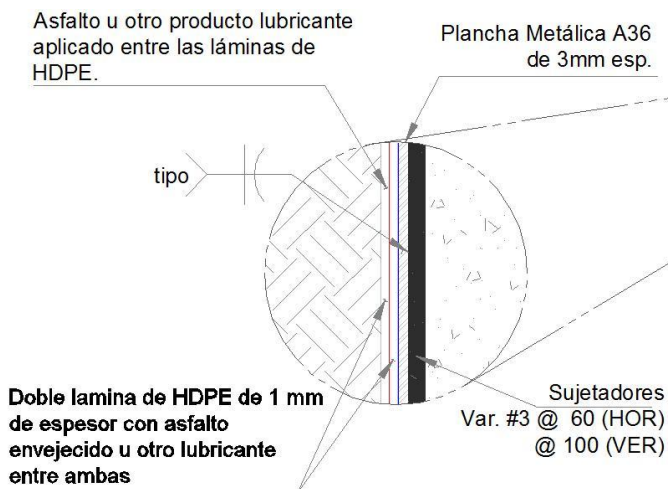
### 3.1.16 Proceso Constructivo De Páneos De Muro Milán.



### 3.1.17 Muros milán sistema antifricción definición detalle

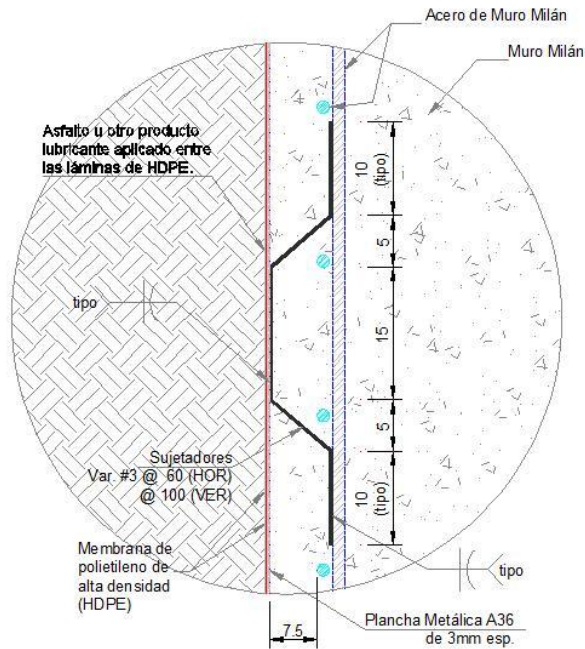
#### Procedimiento constructivo para colocación en obra del sistema antifricción

- 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/cm<sup>2</sup> 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.

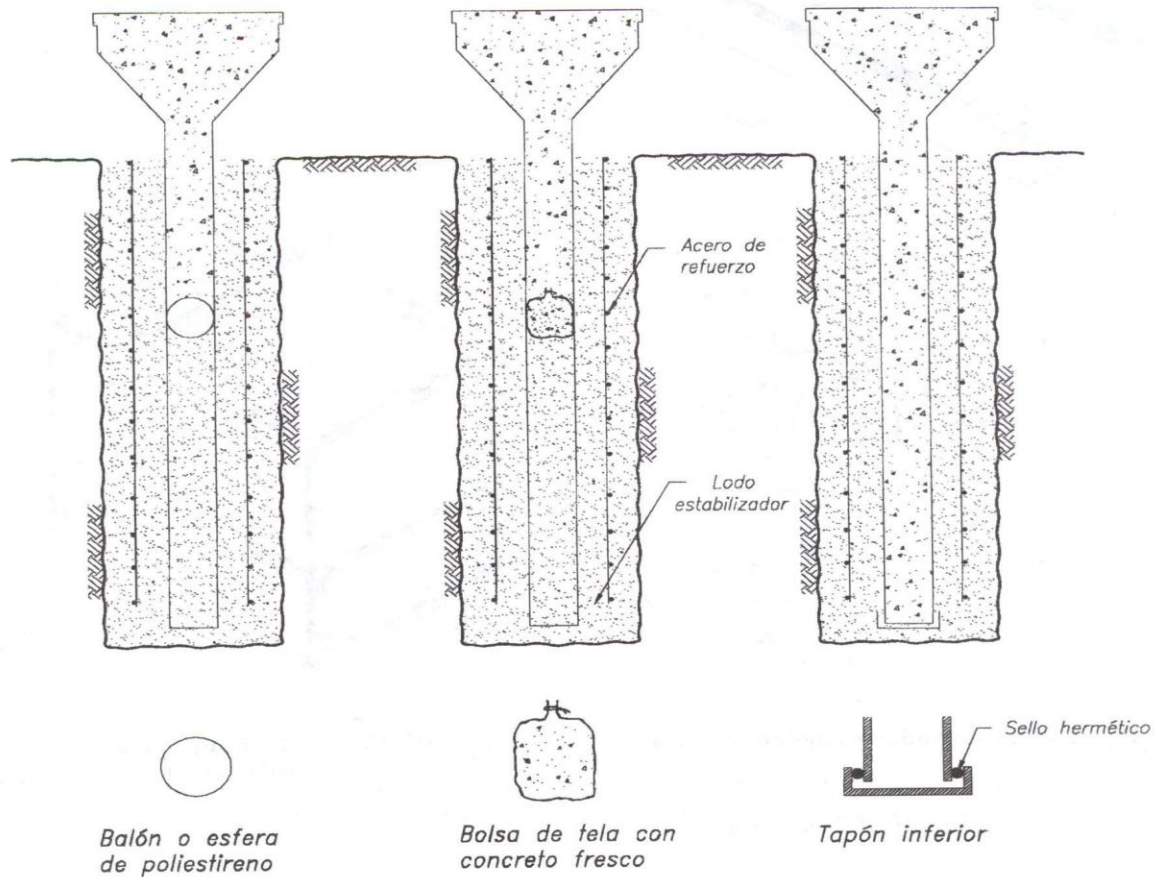
Los tramos de tubería se van desmontando a medida que avanza el colado y se extrae la tubería, los acoplamientos deben ser rápidos y aprueba de fugas. El equipo deberá cumplir los requisitos mínimos siguientes:

- 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 Loza 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 1**

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.



## **Etapas 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 específica.

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  $2.0 \text{ t/m}^2$ , 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.



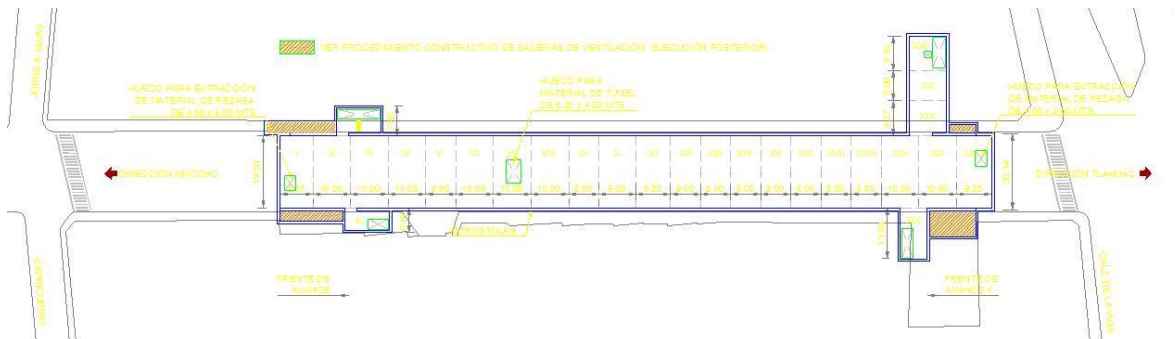
Es importante en el proceso constructivo de la zanja guía que se haga de una manera cuidadosa para evitar derrumbes porque la misma servirá de molde para el muro y un defecto en la excavación traerá alteraciones en la estructura del muro y en los costos, un muro excadido en dimension es habrá que demolerlo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

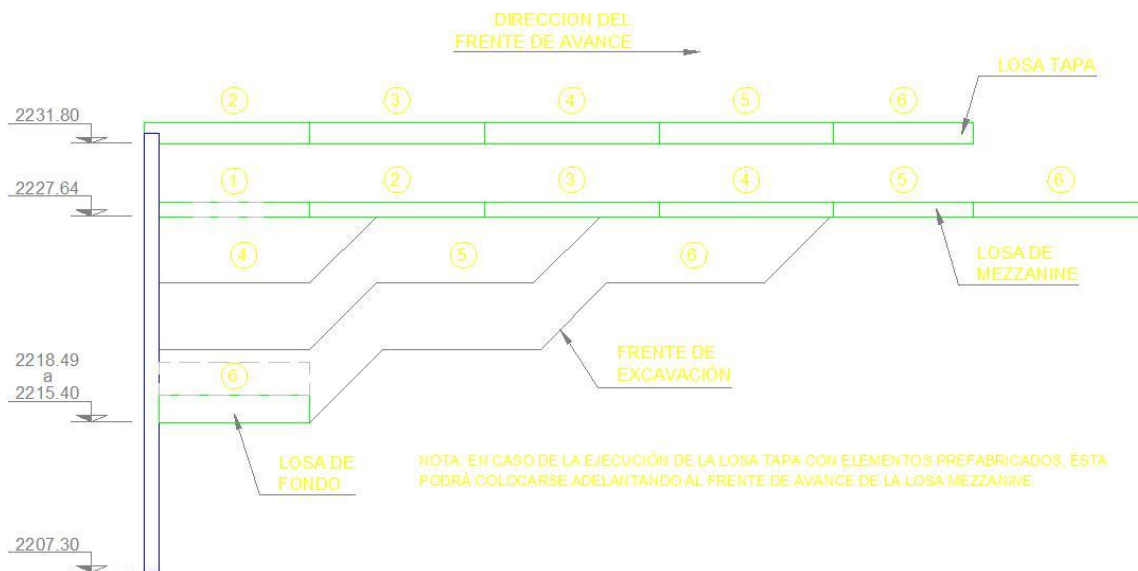
La excavación hasta el nivel inferior de la losa de mezzanine (cota 2227.64) se ejecutará en etapas colocando los troqueles correspondientes como se indica en la planta.



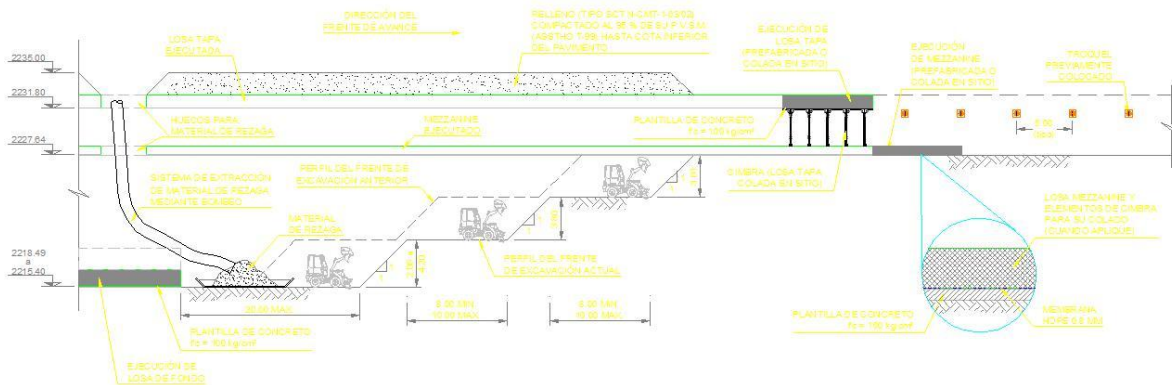
### 3.2.2 Planta De Fases De Excavación Y Etapas De Estructuración De Losa De Fondo.

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 por debajo del nivel de mezzanine se podrá llevar a cabo siempre y cuando la losa de mezzanine haya alcanzado el 80% de su resistencia dos etapas por delante (ver planta de fases de excavación hasta nivel inferior de Mezzanine) del frente de excavación (figura 2)



El frente de excavación por fases tendrá la configuración mostrada en la (figura 3) de este plano. Una vez que la excavación haya alcanzado el nivel inferior de la losa de fondo, se procederá a colocar el armado y posteriormente, el colado de la misma en 2 etapas (ver planos estructurales).

No deberá iniciarse la excavación de una determinada etapa sin que haya verificado el abatimiento especificado del nivel de aguas freáticas bajo el nivel de excavación.

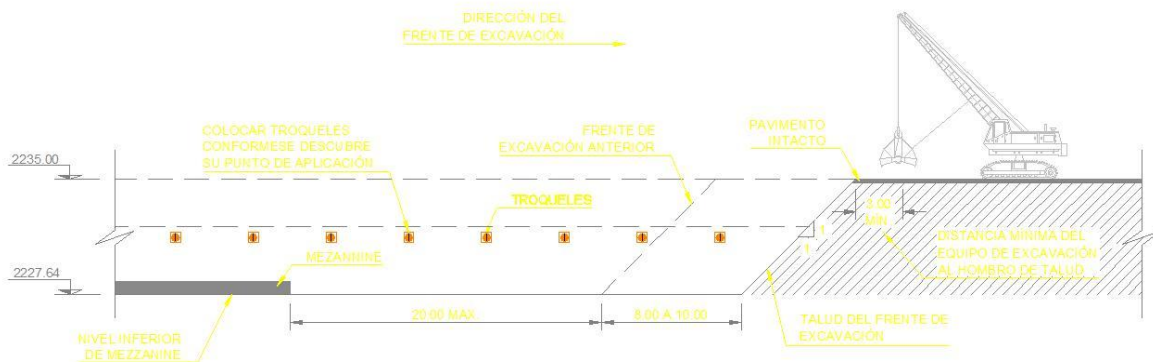
El proceso constructivo y su secuencia de ejecución aquí descrita deberá aplicarse las veces necesarias hasta construir totalmente la estación definida en los planos, con la condición de que para iniciar la excavación de una determinada etapa, será necesario que previamente se haya colocado la losa de fondo correspondiente al nivel de excavación a una distancia máxima de 20.00 mts. Del pie del frente de excavación.

Antes de llegar a la máxima profundidad de excavación deberá tenerse disponible al pie de la obra, el acero de refuerzo de la losa de piso correspondiente.



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.





