



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PORTAL DE SALIDA DEL  
PROYECTO TÚNEL EMISOR ORIENTE**

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA**

PRESENTA A:

**MIGUEL ANGEL HERNÁNDEZ SOTO**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.I. SERGIO MACUIL ROBLES**



**MÉXICO D.F. 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor M.I. Sergio Macuil Robles por confiar en mí y apoyarme en el desarrollo profesional y en la elaboración de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de pertenecer a ella.

A la División de Ingeniería Civil y Geomática perteneciente a la Facultad de Ingeniería por darme los conocimientos necesarios para desempeñarme en el ámbito profesional y por conocer personas, que al igual que yo toman la ingeniería como forma de vida.

A mis Padres Jacobo y Arcelia, que me han regalado parte de su vida y por confiar en mí dando todo su apoyo incondicionalmente, los quiero.

A mis hermanos César y Liliana, que me han apoyado en los momentos difíciles, tomando su imagen y actitudes, un ejemplo a seguir. Estoy orgulloso de ustedes.

A mis amigos de la Facultad de Ingeniería que me acompañaron en mi formación académica, que fueron apoyo incondicional y palmada en la espalda para seguir adelante, siempre tendré en mente todos los recuerdos.

A la ingeniero Dalila Pacheco y al personal del Laboratorio de Control de Calidad del Proyecto TEO, que me introdujeron a la práctica de la ingeniería, dando valiosos consejos y experiencias que fueron complemento en el desarrollo de esta tesis, pero lo más importante fue brindarme su confianza y amistad desinteresadamente.

Al los ingenieros Ulises Llanos, Carlos y Fernando Sáenz en su apoyo en el desarrollo de este trabajo en el aspecto técnico del proyecto.

Al Sr. Arturo Castro y al personal de “Litográfica Casbar” por formar durante estos años de vida estudiantil, un sentido de responsabilidad y trabajo que han fincado bases para el desarrollo profesional actual y del mañana. Los extraño.

***NO HUBIERA SIDO NADA SIN USTEDES ALGUNOS TODAVIA ESTAN AHÍ  
GRACIAS.***

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
HIPÓTESIS.....	2
OBJETIVO.....	2
CONTENIDO DE LA TESIS .....	2
<b>I. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
1.1 DEFINICIÓN DE UN EMISOR .....	4
1.2 COMPONENTES DE UN EMISOR.....	5
1.3 TIPOS DE TÚNELES.....	6
1.4 LOS TÚNELES UTILIZADOS EN OBRAS HIDRÁULICAS .....	8
1.5 LA IMPORTANCIA DE UN SISTEMA HIDRÁULICO EN UNA CIUDAD .....	9
1.6 LA PROBLEMÁTICA DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO EN CUANTO A DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES .....	11
<b>II. DESCRIPCION DEL PROYECTO TUNEL EMISOR ORIENTE</b> .....	<b>14</b>
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	14
2.2 MODALIDAD DE CONTRATACIÓN .....	16
2.3 PROGRAMA GENERAL DE OBRA .....	17
2.4 CRITERIOS DE DISEÑO.....	18
2.4.1 CRITERIOS DE DISEÑO GEOTÉCNICO DEL TÚNEL .....	20
2.4.2 CRITERIOS DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE LUMBRERAS.....	22
2.4.3 CRITERIO DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	23
2.5 NORMAS APLICADAS .....	24
2.6 BENEFICIOS ESPERADOS .....	25
<b>III. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN EL PORTAL DE SALIDA</b> .....	<b>27</b>
3.1 LUMBRERA .....	27

EXCAVACIÓN DE TABLEROS DE MURO MILÁN .....	32
3.2 TÚNEL.....	55
3.3 EXCAVACIÓN DE TÚNEL.....	57
3.4 REVESTIMIENTO .....	60
3.5 OBRAS ADICIONALES .....	63
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>IV. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>

## INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México ha heredado un problema que involucra a todos los niveles de gobierno y en la población en general. Ya que el desalojo de sus aguas residuales y la falta de un sistema alternativo de alcantarillado han generado intranquilidad, que ante condiciones de precipitaciones extraordinarias provoque inundaciones severas en el Valle de México, que terminaría en una catástrofe de magnitudes inconmensurables si no se atienden a tiempo, es por ello que el presente documento describe en forma general la obra hidráulica que solucionará dicho problema y liberará de riesgo a generaciones futuras.

A pesar de que el Emisor Central puede ser reparado estructuralmente, la capacidad hidráulica de dicho emisor no puede ser restablecida a su condición original, y de igual forma no puede ser aplicada una ampliación de la misma. El sistema de Drenaje Profundo requiere de un sistema alterno que permita una operación confiable a través de un mantenimiento periódico que elimine definitivamente cualquier riesgo de inundación importante, no solo durante los años en que el Emisor Central se encuentre en mantenimiento, sino de forma permanente.

Se requiere además incrementar sustancialmente la capacidad de drenaje general, para satisfacer las condiciones actuales que han generado el crecimiento urbano y su demanda creciente del consumo de agua, con la siguiente propuesta.

La construcción del Emisor Oriente como sistema alterno al Emisor Central, además de ampliar la capacidad en el desalojo de aguas residuales del Valle de México, permitirá realizar los trabajos de mantenimiento necesarios en ambos drenajes, para una adecuada operación del sistema.

## **Hipótesis**

La construcción del Túnel Emisor Oriente en la cuenca del Valle de México pretende dar el apoyo necesario para el desalojo de las aguas residuales y del agua pluvial de la Ciudad de México, evitando inundaciones futuras de resultados catastróficos.

Esta nueva obra del drenaje profundo, busca restaurar las condiciones de pendiente en el sistema y dar las condiciones óptimas para el correcto desalojo del afluente residual y pluvial.

## **Objetivo**

Redactar una referencia de consulta que contenga toda la información necesaria acerca de los procedimientos constructivos en la construcción del Portal de Salida del Túnel Emisor Oriente, el cual tiene por objetivo, reforzar el sistema principal de drenaje actual y disminuir el riesgo de falla en la Zona Metropolitana del Valle de México, que podría tener como consecuencia la generación de inundaciones en parte del Distrito Federal y del Estado de México. Asimismo implementar un procedimiento de mantenimiento que permita inspeccionar el drenaje sin que se interrumpa su operación.

## **Contenido de la tesis**

El contenido de la tesis está compuesto por los siguientes temas:

- CAPITULO 1. Definiciones y componentes de un Emisor, tipos de túneles con diferentes características y servicios, así como los túneles que se utiliza en obras hidráulicas, la importancia de tener un sistema hidráulico en la

ciudad y la problemática de la Zona Metropolitana del Valle de México en cuanto a desalojo de aguas residuales.

- CAPITULO 2. Descripción del Proyecto Túnel Emisor Oriente, la modalidad en el tipo de contratación, el programa general de obra, los criterios de diseño, tanto a nivel geotécnico aplicable a la construcción de lumbreras y los criterios de análisis y diseño estructural, la normatividad aplicada en el proyecto y los beneficios esperados en cuanto a lo económico y social.
- CAPITULO 3. El ultimo capitulo presenta los procedimientos constructivos utilizados en el portal de salida, comenzando en primera parte con lumbreras (incluyendo todos los componentes básicos que lleva el proceso constructivo), túnel, revestimiento definitivo y obras adicionales existentes en el portal de salida.



## I. ANTECEDENTES

### 1.1 Definición de un Emisor

No hay bibliografía como tal que defina lo que es un emisor como concepto, debido en gran medida a que en México y a nivel mundial no hay una obra similar de tal característica, debido a su magnitud y complejidad. Por lo que consultando a personal especializado en el área de construcción, excavación y la experiencia propia se podrá definir a un Emisor como “Obra de infraestructura hidráulica de gran magnitud encargada del desalojo de aguas residuales en gran cantidad o volumen”.

No se deberá hacer una analogía con el concepto de túnel para desalojo de agua residual clásico, aunque las características básicas de este tipo de túneles apliquen como tal para este tipo de proyecto. El proceso constructivo (descrito en los apartados siguientes) hace la diferencia en este tipo de obra por sus componentes e innovaciones efectuadas en el desarrollo de la obra.



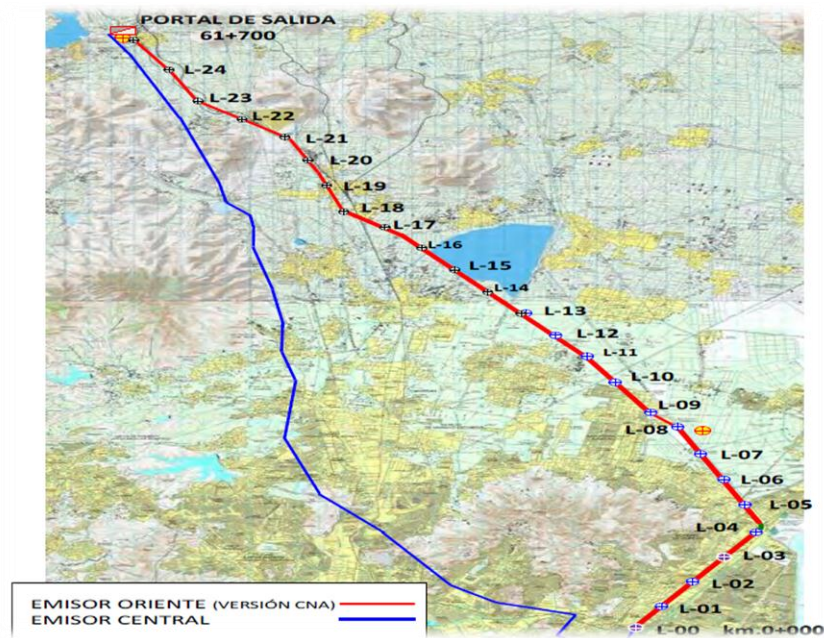
**Colocación de escudo y tren de equipo en portal de salida**

## 1.2 Componentes de un Emisor

Partiendo de la idea de un emisor y tomando como base el concepto de túnel, los componentes básicos de un emisor los podemos enumerar de la siguiente manera:

- Lumbreras
- Túnel
- Portal de Salida
- Conexión con sistema de drenaje local
- Planta de Dovelas para recubrimiento primario
- Planta de concreto para revestimiento definitivo
- Obras adicionales (presentes durante la ejecución del proyecto).

Se debe considerar el acondicionamiento de áreas destinadas para equipos, almacenes, oficinas, etc. Pero en este caso solo se mencionará las características de obra civil que conlleva al desarrollo de dicho proyecto.



**Trazo del Túnel Emisor Oriente y Emisor Central**

### 1.3 Tipos de Túneles

Las funciones del túnel son diversas: se construyen túneles para transporte, para almacenamiento, para albergar instalaciones diversas, por necesidades científicas y túneles para protección de personas.

Se podrá decir que es la función más antigua. La construcción de túneles para salvar obstáculos naturales se práctica desde la antigüedad; podríamos resumir diciendo que en un principio fueron las conducciones de agua las que necesitaron de la solución túnel, debido a los requerimientos de pendiente mínima o nula; más adelante el desarrollo del ferrocarril, y posteriormente el desarrollo de los vehículos automóviles, hicieron necesaria la construcción de túneles por razones parecidas a las anteriores (evitar fuertes pendientes) pero también por razones nuevas: acortar distancias y ganar seguridad.

A continuación se enumeran, a modo de introducción, los distintos tipos de túneles:

Túneles para el transporte de personas y mercancías

- En carreteras
- En líneas del ferrocarril
- En líneas de transporte urbano (Metro)
- Pasos para peatones
- Pasos para ciclistas

Túneles para el transporte de agua

- En canales
- En abastecimientos urbanos
- Para el riego
- En centrales hidroeléctricas

- Para el agua de enfriamiento en centrales térmicas y nucleares

Túneles en sistemas de alcantarillado

Túneles para diversos servicios (cables y tuberías)

El proyecto Túnel Emisor Oriente está proyectado para el efectivo desalojo y posterior tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de México, teniendo en cuenta las características primordiales antes mencionadas de impermeabilidad y conducción.



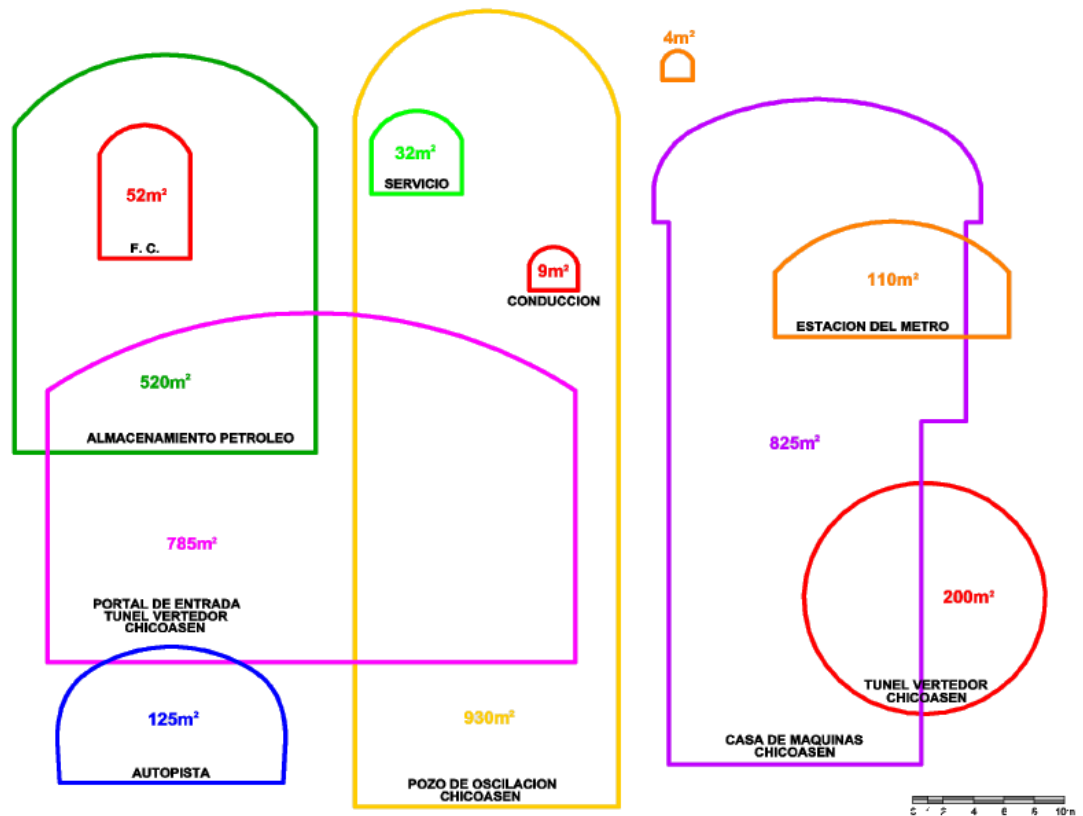
**Tipos de túneles para diferentes necesidades**

#### 1.4 Los Túneles utilizados en Obras Hidráulicas

Se hace necesaria la excavación de túneles en los sistemas de alcantarillado cuando la profundidad es excesiva para la excavación de zanjas o cuando no se puede afectar a la superficie. Las ciudades tienden a ampliar y modificar sus redes de saneamiento que ya no vierten directamente a un río o al mar sino que deben pasar por plantas de tratamiento. La sustitución o ampliación de tramos ya antiguos y sin capacidad suficiente a menudo se realiza con túneles más profundos.

Las dimensiones de los túneles son muy variables: secciones inferiores a tres metros cuadrados no son prácticas, por lo que suele ser el mínimo aceptable si se construye con las técnicas clásicas. En su interior se sitúa la tubería que se adecúa a necesidades de desalojo de aguas residuales. En la actualidad las técnicas de microtúnel consiguen la ejecución de túneles de diámetros inferiores a 3 m y longitudes menores de 200 m, que afectan mínimamente a las superficies (pozos de pequeñas dimensiones). La pendiente será pequeña pero uniforme; el flujo que conducen es muy variable por lo que deberá asegurarse la circulación del agua bruta en tiempo seco, evitando el sedimento de arenas, y en época de lluvias, en la que el colector tendrá que tener capacidad suficiente. La sección podrá ser circular o de herradura (Figura 1.4.1). En ambos casos se suele practicar un pequeño canal en la solera para asegurar la circulación del flujo en época de seca, aunque la sección que mejor se adapta a estos requisitos es la circular en época seca, aunque la sección que mejor se adapta a estos requisitos es la ovoidal. Otro requisito será la impermeabilidad para evitar contaminaciones por pérdida de agua.

En cuanto a su definición en planta, podrá ser recta o curva y muy a menudo su recorrido será quebrado. En los quiebros será obligada la situación de pozos de registro, necesarios para la ventilación (gases tóxicos), para el mantenimiento, e incluso como tiros de carga en casos de grandes tormentas.



#### 1.4.1 Secciones comunes en túneles

### 1.5 La importancia de un Sistema Hidráulico en una Ciudad

En toda gran ciudad tal y como es la Ciudad de México, necesita del suministro de agua potable, que posteriormente tiene que volver a ser descargada a un sistema fluvial y, debido a que las alcantarillas se inician como tubos un poco por debajo del nivel del terreno, la presión disponible para la descarga está normalmente muy limitada. En cualquier caso, deberá haber un gradiente descendente y continuo a lo largo de cada alcantarilla nada más con la pendiente necesaria para conducir el flujo. Los túneles son necesarios cuando la profundidad de los tubos es demasiado grande para excavar zanjas o cuando no se puede tolerar la

modificación de la superficie. Otro factor que hace que los túneles sean necesarios es cuando ya no se permiten las descargas de viejas alcantarillas a un río o al mar, y se deberán construir nuevas alcantarillas maestras colectoras para llevar el flujo a las plantas de tratamiento. Las salidas que descargan al mar cantidades limitadas de aguas negras sin tratar se consideran todavía satisfactorias, pero será necesario llevarlas mucho más allá de la línea de mareas para que se puedan utilizar túneles.

Lo primero que se necesita en un túnel para el sistema de alcantarillado es un gradiente exacto, paredes lisas, impermeabilidad, y resistencia a la corrosión y a la erosión.

El flujo en el drenaje variará considerablemente desde el flujo en época de secas hasta en época de lluvias, y el gradiente debe ser tal que se mantenga en todo momento a una velocidad adecuada para poder acarrear los sólidos y evitar el asentamiento de arena y arenisca. La capacidad deberá ser tal que pueda conducir el flujo máximo producido para una tormenta; para mantener la velocidad cuando el flujo sea mínimo, se puede diseñar un túnel largo con un pequeño canal semicircular en el piso, o si no con una sección ovoide. Deberá haber siempre ventilación para evitar la acumulación de gases nocivos.

La importancia de la impermeabilidad es obvia. Antes se utilizaba mucho la albañilería de alta calidad; hoy en día es más común el uso del concreto. Si se utilizara el hierro colado en el revestimiento estructural, es probable que se tuviera un revestimiento interior de ladrillo o concreto. Los ladrillos de arcilla vitrificado para drenaje proporcionan un piso con superficie dura y lisa, resistente a la corrosión. A veces, tienen que circular desechos muy corrosivos provenientes de las fábricas o pueden ser descargados accidentalmente. La abrasión producida por las arenas y areniscas provoca severa erosión a menos que el piso sea duro. En los climas cálidos, especialmente cuando la escasez de agua produce flujo

lento de aguas negras concentradas, las bacterias y los ácidos atacan fuertemente los revestimientos por arriba del nivel del agua.

La menor dimensión práctica para excavar un túnel es aproximadamente 0.7 m de ancho por 1.2 m de alto, excavando como un frente adomado rectangular, dentro del cual se podrá tender una tubería aproximadamente de 0.5 m de diámetro. Se comprenderá que un hombre apenas si podrá trabajar con dificultad en un espacio tan restringido y que un túnel tan pequeño podrá difícilmente prolongarse mas allá de una cierta distancia. Se ha introducido un sistema de construcción de túneles con un Escudo de Frente Presurizada (EPB), seguido por el revestimiento con anillos de concreto formado por segmentos circulares llamados dovelas.

En las condiciones urbanas, no se tienen a menudo mucha oportunidad para seleccionar la ruta de un sistema de alcantarillado y, prácticamente, ninguna para el gradiente, por consiguiente, se deberá excavar a través de cualquier material que se encuentre, y es probable que los estratos inmediatamente debajo de una ciudad sean muy variables.

Las dificultades que se experimentan con los terrenos de mala calidad aumentan de un modo desproporcionado en los túneles grandes, de manera que el tamaño relativamente pequeño de los túneles del sistema de drenaje compensa en cierto grado las dificultades que se encuentran en el terreno. También se restringe la utilización de los equipos mecanizados, pero es posible utilizar maquinas excavadoras para los túneles en los casos en que el diámetro sobrepase los 3 m.

## **1.6 La problemática de la Zona Metropolitana del Valle de México en cuanto a desalojo de aguas residuales**

La cuenca del Valle de México se encuentra cerrada por una cadena volcánica que da origen a la sierra de Chichinautzin, este conjunto montañoso interrumpe el



drenaje natural del valle, y le da origen a la vocación de lago a toda la región del Distrito Federal y su área metropolitana.

Esta condición ha sido la causa de innumerables inundaciones desde tiempos precolombinos; en 1900 se inauguró una de las salidas artificiales; constituida por el Gran Canal de Desagüe, con una longitud de 47.5 Km; así como el 1er Túnel de Tequisquiac de 10 Km de longitud.

Desde 1930 la Ciudad de México ha crecido exponencialmente. La insuficiencia de los manantiales existentes y su contaminación, demandó la perforación de pozos para la obtención de agua lo que, a su vez, ocasionó los asentamientos regionales que afectan fundamentalmente a los suelos arcillosos del Valle.

La relación entre la creciente extracción de agua mediante la perforación de pozos y el hundimiento regional del Valle, ha causado la pérdida de pendiente hidráulica del Gran Canal de Desagüe y por tanto; la disminución significativa en la capacidad de desalojo de las aguas de la Ciudad de México.

Como respuesta a repetidas inundaciones y con objeto de aliviar los constantes problemas causados por las precipitaciones pluviales, de 1967 a 1975 se construyó el Túnel Emisor Central como obra principal de Sistema de Drenaje Profundo, el cual constituye una de las tres salidas artificiales del Valle las otras dos son el Gran Canal de Desagüe cuyo componente final son los túneles de Tequisquiac y el Tajo de Nochistongo.

Actualmente el Emisor Central; es prácticamente el único conducto principal por el que pueden salir las aguas del Valle de México, ya que el histórico Gran Canal del Desagüe, anteriormente responsable de tal tarea, ha perdido pendiente hidráulica por causa del hundimiento regional que aqueja a la Ciudad de México, y con ello buena parte de su capacidad de desalojo (Figura 1.6.1).

A pesar de que puede ser reparado estructuralmente, la capacidad hidráulica del Emisor Central no puede ser restablecida a su condición original, mucho menos puede ser ampliada. El sistema de Drenaje Profundo requiere de un sistema alternativo que permita una operación confiable a través de un mantenimiento regular que elimine definitivamente cualquier riesgo de inundación catastrófica, no solo durante los años en que el Emisor Central se encuentre en mantenimiento, sino de forma permanente.

Por lo tanto se requiere incrementar sustancialmente la capacidad de drenaje general, para satisfacer las condiciones actuales que han generado el crecimiento urbano y su demanda creciente del consumo de agua.



#### 1.6.1 Hundimiento de la Ciudad de México y la problemática de desalojo de aguas residuales

## II. DESCRIPCION DEL PROYECTO TUNEL EMISOR ORIENTE

### 2.1 Descripción General del Proyecto

Los estudios hidrológicos realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en los que se han incluido las aportaciones de los municipios del Estado de México, al norte de la Sierra de Guadalupe, arrojan un requerimiento de un conducto alternativo de 7.0 m de diámetro, para garantizar una evacuación segura de las aguas pluviales y las aguas negras, considerando una tormenta de diseño de 50 años como periodo de retorno.

Bajo esta condición, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), determino la necesidad de construir el Túnel Emisor Oriente, bajo las características de un drenaje que, en conjunto con el Emisor Central, satisfaga las necesidades de drenaje de la Ciudad.

El proyecto comprende la construcción del Túnel Emisor Oriente y sus obras auxiliares. Estos trabajos abarcan la construcción de 23 lumbreras, 18 con un diámetro de 12 m y 5 con diámetro de 16 m. Incluye la fabricación de 41,600 anillos de dovelas de 0.35 y 0.40 m de espesor, 1.50 m de ancho, 7.70 m de diámetro interior y 8.4 m de diámetro exterior. La longitud del túnel es de 61,700 m desde la lumbrera L-0 al portal de salida.

La excavación se realizará con escudos de frente presurizable del tipo EPB, de 8.70 m de diámetro exterior propiedad de CONAGUA. El revestimiento definitivo es de concreto armado de 0.35 m de espesor, de  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ , quedando un diámetro terminado del túnel de 7.00 m.

En su primer tramo, el trazo del Túnel Emisor oriente corresponde al del Gran Canal del Desagüe; inicia en la Lumbrera 2 del Túnel Interceptor Rio de los Remedios, que ha sido denominada "Lumbrera 0" del Túnel Emisor Oriente.

El trazo del túnel se mantiene paralelo y dentro del derecho de vía del Gran Canal del Desagüe, en una longitud aproximada de 31 km hasta las proximidades con la Laguna de Zumpango (Figura 2.1.1).



### 2.1.1 Trazo de Túnel Emisor Oriente

Posteriormente, el trazo continúa hacia el norte-poniente en los límites de la Laguna de Zumpango, para luego avanzar hacia el norte y descargar en la misma zona donde desemboca el Emisor Central. Su longitud total, es del orden de los 62 km.

Deberán hacer los estudios geotécnicos complementarios, el diseño estructural de las lumbreras, de los anillos de dovelas y del revestimiento definitivo del túnel.

El escudo tipo EPB fueron seleccionados con base en las condiciones de suelo y profundidades del túnel y de acuerdo a la geología determinada.

## **2.2 Modalidad de Contratación**

Todas las actividades y documentos técnicos del proyecto ejecutivo (estudios, bases de diseño, memorias descriptivas, memorias de cálculo, especificaciones generales, especificaciones particulares, procedimientos de construcción, planos constructivos y de detalle, catálogo de conceptos y cantidades de obra) se contratarán en la modalidad de precio alzado por lo que el Contratista deberá entregar para revisión de la CONAGUA la siguiente documentación:

1. Red de actividades calendarizada indicando las duraciones, o bien, la ruta crítica;
2. Cédula de avances y pagos programados, calendarizados y cuantificados por actividades a ejecutar, conforme a los periodos determinados por la convocante.
3. Programa de ejecución general de los trabajos conforme el presupuesto total con sus erogaciones, calendarizado y cuantificado, conforme a los periodos determinados por la convocante, dividido en actividades y, en su caso, subactividades, debiendo existir congruencia con los programas que se mencionan en la fracción siguiente.

El contratista deberá presentar la red de actividades del Proyecto Ejecutivo calendarizada, dividida por partidas y subpartidas que sean congruentes en su terminación con las etapas de inicio de obra de cada uno de los tramos en que se encuentre dividido el Túnel Emisor Oriente.

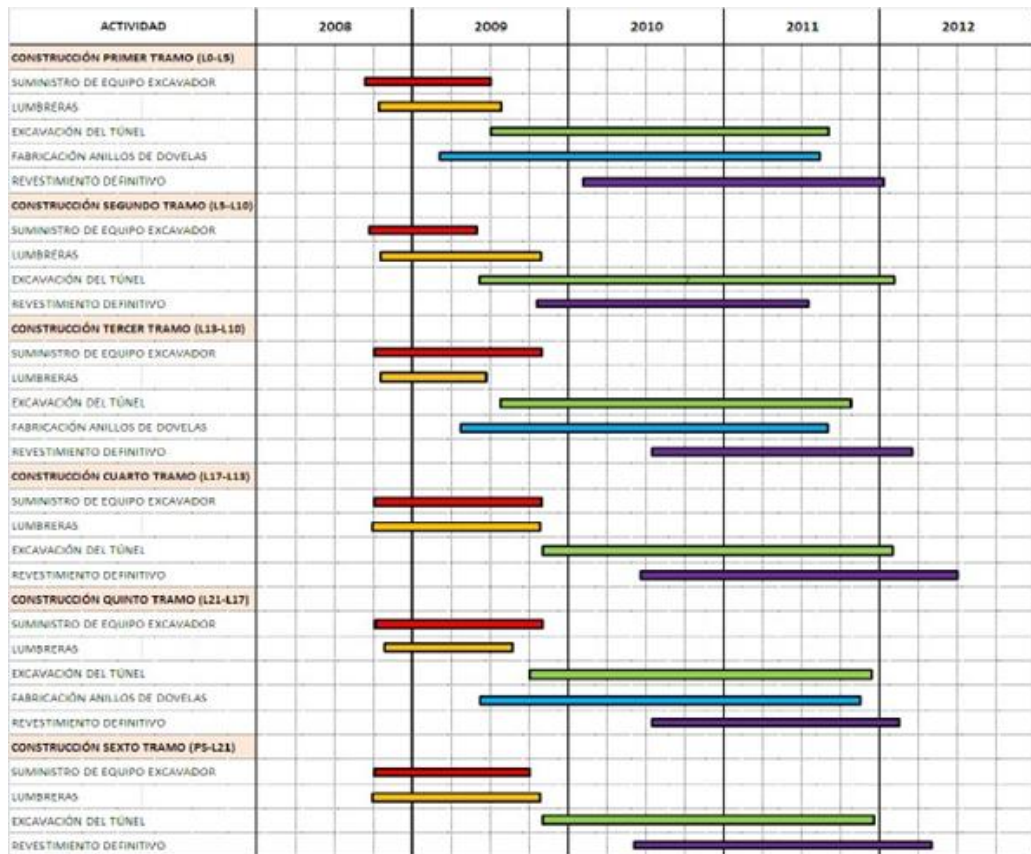
### 2.3 Programa General de Obra

Las acciones críticas que constituyen y determinan el programa de construcción, incluirán:

- a) Estudios complementarios, ingeniería y proyecto ejecutivo.
- b) Liberación de derechos de vía, por parte de CONAGUA
- c) Adquisición de los lotes para las lumbreras y planta de dovelas, por parte de CONAGUA
- d) Construcción de instalaciones temporales, para ejecución de la obra.
- e) Fabricación y montaje de plantas de dovelas
- f) Excavación y construcción de lumbreras.
- g) Fabricación y adquisición de las máquinas excavadoras por parte de CONAGUA
- h) Fabricación de dovelas en planta.
- i) Excavación del túnel
- j) Construcción del revestimiento definitivo e inyección de liga, y
- k) Construcción de obras auxiliares

La ejecución del proyecto requiere que este se desarrolle en un plazo no mayor de 46 meses; la Contratista deberá presentar un programa general de actividades identificando la ruta crítica y los hitos que deberán cumplirse para asegurar el cumplimiento en la fecha de formación del proyecto.

En el siguiente esquema se presenta un plan general de obra, atendiendo las características del proyecto (Figura 2.3.1). De igual forma las fechas tentativas pueden no corresponder a lo especificado en el proyecto a lo cual se actualizan diariamente dependiendo de las circunstancias del proyecto.



### 2.3.1 Programa general de obra

## 2.4 Criterios de Diseño

La revisión de la CONAGUA a los documentos técnicos del proyecto, consistirá en primer lugar en verificar que las bases de diseño presentadas por el Contratista cumplan con los presentes criterios.

Dentro de plazo de 5 días posteriores a la fecha de recepción de los documentos, la CONAGUA hará llegar al Contratista un informe por escrito con las observaciones a dichos documentos y será responsabilidad del Contratista dar

una respuesta por escrito a cada una de las observaciones de la CONAGUA y llevar a cabo, en su caso, las adecuaciones necesarias a la memoria de cálculo.

Finalmente, una vez que la CONAGUA haya aceptado sin observaciones la memoria de cálculo, lo cual hará del conocimiento del Contratista por escrito, se hará la revisión de los planos de diseño de detalle, en cual se corrobora que el contenido de los planos sea acorde con la memoria de cálculo aceptada sin observaciones. Dentro de un plazo de 5 días, la CONAGUA entregará por escrito sus observaciones y comentarios a los planos entregados por el Contratista y llevará a cabo, en su caso, las adecuaciones necesarias a dichos planos.

La revisión de los documentos técnicos por parte de la CONAGUA, a través de Supervisión Técnica, no releva al Contratista de su responsabilidad contractual.

La entrega de todos los documentos técnicos del proyecto debe ser presentada de conformidad con las fechas establecidas en el programa de ingeniería, mismo que se acordará en forma definitiva entre la CONAGUA y el Contratista. Este programa deberá ser congruente con el de construcción, considerando el tiempo de revisión de la CONAGUA a la documentación técnica del Contratista.

El contratista se obliga a elaborar, controlar y registrar toda la documentación relacionada con el proyecto ejecutivo, presentarla y entregarla a solicitud de la CONAGUA.

El proyecto ejecutivo incluirá la retroalimentación del sistema de auscultación de tal forma, que a juicio de la CONAGUA se revise el comportamiento de las estructuras del proyecto y en caso necesario realizar los cambios, modificaciones, ajustes y refuerzos que sean necesarios. Asimismo, los diseños no contemplados en estos términos de referencia serán objeto de una modificación al contrato y deberán realizarse de conformidad a estos términos y ser consistentes con los resultados de la auscultación.



### **2.4.1 Criterios de Diseño Geotécnico del Túnel**

El proyecto geotécnico del túnel, deberá considerar las características mecánicas y las propiedades índice de los materiales existentes por donde atravesará el túnel y el suelo circundante al túnel, así como las características hidráulicas e hidrológicas de los diferentes tramos y las particularidades de cada sitio.

Se tomará en cuenta los resultados y las recomendaciones del estudio de Ingeniería Básica y los estudios complementarios que deberán realizar el Contratista para la elaboración del proyecto ejecutivo.

Deberán considerarse también, las características de las tuneladoras y el método constructivo que vayan a seguir en cada tramo, y dado que el revestimiento primario a base de dovelas permanecerá actuando solo hasta que se coloque el revestimiento definitivo, el Contratista deberá asegurar en su diseño que los anillos de dovelas del túnel no se deformarán más del máximo permitido, cuyo valor estará determinado por los resultados del diseño ejecutivo.

En el caso de que las deformaciones del túnel resulten mayores los valores establecidos en estos términos de referencia, de tal forma que no se pueda usar la cimbra deslizante, o que no se garantice el espesor del diseño del revestimiento definitivo el Contratista deberá asegurar en su diseño que los anillos de dovelas del túnel no se deformarán más del máximo permitido, cuyo valor estará determinado por los resultados del diseño ejecutivo.

En el caso de que las deformaciones del túnel resultan mayores a los valores establecidos en estos términos de referencia, de tal forma que no se pueda usar la cimbra deslizante, o que no se garantice el espesor de diseño del revestimiento definitivo, las adecuaciones al proyecto, la reconfiguración de la cimbra, los tiempos utilizados por cambio de procedimiento constructivo, las reparaciones y

todas las actividades y conceptos de obra adicional que sean requeridas serán cubiertas por el Contratista, sin cargo para la CONAGUA.

En el valor del coeficiente de presión de suelo en reposo,  $K_0$ , se considerarán las correlaciones correspondientes para el tipo de suelo y para el intervalo y condiciones de esfuerzos para el cual fueron desarrolladas, en el caso de que no apliquen, deberán utilizarse los criterios más adecuados a las condiciones del tramo y sitio correspondientes.

Se considerará además las recomendaciones de la literatura sobre el tema.

Se podrá discretizar el trazo del túnel en tramos para optimizar el diseño del revestimiento primario, compuesto por dovelas de concreto reforzado unidas por conectores para formar anillos, y estos anillos a su vez forman el revestimiento primario del túnel, y para optimizar también el revestimiento definitivo, que será de concreto reforzado colado en sitio con cimbra metálica. Por cada tramo de túnel se deberá considerar la zona más crítica que rija el diseño, de tal forma que se obtendrán los parámetros para diseño que consideren la envolvente de acciones más crítica.

Se deberá entregar un perfil estratigráfico completo de todo el túnel donde se presenten todos los parámetros conocidos y que se deben considerar para el diseño, como por ejemplo:

- Cohesión
- Angulo de fricción interna
- Módulo de elasticidad
- Módulo de compresibilidad volumétrica
- Peso volumétrico
- Relación de Poisson
- Contenido de agua natural, límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad

- Diagrama de esfuerzos y empujes
- Lecturas piezométricas

Se entregará a la supervisión, Gerencia externa y, a la CONAGUA el diseño de los morteros de contacto (dovela-suelo), incluyendo el volumen y presión de inyección para su revisión y no objeción.

Se estudiarán las presiones necesarias en el frente de ataque del escudo; para equilibrar las presiones del suelo de tal manera que los hundimientos superficiales inducidos por la excavación del túnel se mantengan dentro de las tolerancias establecidas en estos términos de referencia y en el reglamento de construcción aplicable al proyecto y se entregarán el informe a la CONAGUA para su conocimiento.

#### **2.4.2 Criterios de Diseño Geotécnico de Lumbreras**

El proyecto geotécnico de lumbreras, deberá considerar las características mecánicas y las propiedades índice de los materiales existentes en el lugar donde se ubicarán cada una de las lumbreras.

Se atenderán los resultados y las recomendaciones del estudio de Ingeniería Básica y los estudios complementarios que realicé el Contratista.

De igual manera que en el túnel, el Contratista elaborará el perfil estratigráfico para las lumbreras, que debe contener al menos la información que se pide para el túnel.

Dentro del diseño geotécnico de las lumbreras se debe realizar, al menos los trabajos que se listan a continuación:

- Diagramas de esfuerzos y empujes
- Análisis de la falla de fondo por el cortante

- Revisión de la flotación final de las lumbrera
- Revisión de la estabilidad de la zanja para el muro Milán
- Análisis geotécnicos de lumbrera utilizando métodos de elementos finitos
- Análisis de estabilidad de talud, cercano a la lumbrera
- Procedimiento constructivo.

Para el análisis geotécnico se utilizará el programa PLAXIS o alguno similar siempre que exista la conformidad de la CONAGUA.

### **2.4.3 Criterio de Análisis y diseño estructural**

En cada una de las estructuras será necesario especificar el tipo de análisis empleando, y en lo referente a acciones accidentales el método de análisis seleccionado (sismo: estático, dinámico o simplificado; viento: estático o dinámico).

La estructura superficiales que no presenten contacto con algún agente agresivo serán consideradas como estructuras del grupo B; por su parte, todas las estructuras enterradas y en general aquellas que conduzcan algún agente agresivo serán consideradas como estructuras del grupo A, considerando los factores de carga implícitos para este grupo y cumplimiento al respecto con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus respectivas Normas Técnicas Complementarias, en su versión 2004.

Las estructuras superficiales deberán analizarse ante cargas gravitacionales (muertas y vivas) y accidentales (viento o sismo) que puedan presentarse durante el proceso constructivo y de operaciones. El diseño de las estructuras se efectuará para la combinación de cargas más desfavorables, así como los factores de carga y de reducción de capacidad acorde con las normas de diseño que se adopten para el tipo de esfuerzos que correspondan, verificando que las deformaciones

generadas por los elementos mecánicos, queden dentro de las tolerancias especificadas en las normas.

En caso de acciones externas o internas que favorezcan la estabilidad o la resistencia de la estructura, los factores de carga por aplicar se deberán basar en el apartado 3.4 de las Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones del RCDF.

En lo referente a los recubrimientos mínimos libres y las características del concreto a emplearse en el análisis y diseño de las estructuras, se deberán tomar en cuenta los criterios que marquen las normas por concepto de durabilidad.

La cimentación de las estructuras superficiales deberán analizarse y diseñarse con base al estudio de mecánica de suelos y en apego a las normas.

Las estructuras como lumbreras y túnel deben ser analizadas en apego al estudio de mecánica de suelos y considerando la interacción suelo estructura, se deberá utilizar para el análisis de estas estructuras el método de elementos finitos.

## **2.5 Normas Aplicadas**

En general se empleará el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal y sus respectivas Normas Técnicas Complementarias, en su versión 2004.

En aquellos casos no cubiertos por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus respectivas Normas Técnicas Complementarias, se podrá considerar si fuera necesario y de común acuerdo con la CONAGUA los siguientes Reglamentos, códigos y manuales:

- American Concrete Institute, “ACI”, los comités aplicables.
- American Institute of Steel Construction, Inc. “AISC”.
- American Society for Testing and Materials. “A.S.T.M.”

- American Welding Society. “A W S”.
- American Association of State Highway and Transportation Officials.”AASHTO”.
- Manual de Construcción en Acero: Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. “IMCA”.
- Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. ONNCCE.
- Normas Técnicas para levantamiento Geodésico. Diario Oficial de la Federación.

Todas en su última versión.

## **2.6 Beneficios Esperados**

Los beneficios socioeconómicos esperados por la construcción del Túnel Emisor Oriente corresponden a los daños que se eviten por una eventual inundación en la zona metropolitana de la Ciudad de México derivados de una falla del Túnel Emisor Central.

En este sentido, los beneficios estimados corresponden a los siguientes:

- Daños evitados a particulares en sus viviendas, Pérdida o deterioro de enseres y bienes muebles e inmuebles, en nueve delegaciones del Distrito Federal y cuatro municipios del Estado de México.
- Daños evitados a la infraestructura pública. Reparación o rehabilitación de pistas de aterrizaje y edificaciones del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, reparación o rehabilitación del Sistema de Transporte Colectivo METRO, reparación o rehabilitación de subestaciones de energía y reencarpetamiento de vialidades afectadas, entre otras.

- Daños evitados en el sector económico. El Distrito Federal y el Estado de México aportan en conjunto el 32.3% del PIB, por lo que las 9 delegaciones y 4 municipios, repercutirán en una disminución del PIB nacional.
- Costos evitados por atención de la emergencia. Recursos económicos y humanos que se evitará erogar en la atención a emergencia por una inundación.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los beneficios esperados para los primeros ocho años de operación del túnel, así como el valor actual total de ellos.

*Daños evitados con la operación del Túnel Emisor Oriente* (millones de pesos)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VPBS
Vivienda	170	239	311	411	468	528	588	650	3,465
Aeropuerto	53	73	84	104	118	132	145	159	831
Metro	206	283	364	470	532	595	657	720	3,704
Vialidades	48	67	85	109	124	138	153	168	864
Subestaciones									
Eléctricas	10	14	19	25	28	32	35	39	198
PBT	1,383	2,021	2,749	3,772	4,342	4,931	5,542	6,174	33,985
Atención									
emergencias	189	259	324	412	463	512	561	609	3,009
<b>Total</b>	<b>2,061</b>	<b>2,956</b>	<b>3,936</b>	<b>5,304</b>	<b>6,075</b>	<b>6,867</b>	<b>7,682</b>	<b>8,518</b>	<b>46,056</b>

#### **Beneficios esperados por el Proyecto Túnel Emisor Oriente**

### **III. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN EL PORTAL DE SALIDA**

#### **3.1 Lumbrera**

##### **Preoperativos**

Antes de iniciar los trabajos de la excavación de la lumbrera, se realizarán las siguientes actividades (Figura 3.1.1):

- La brigada de Instrumentación Geotécnica deberá instalar los instrumentos que especifique el proyecto para la medición de los movimientos, deformaciones y asentamientos, así como también deberá colocar los instrumentos necesarios durante la construcción de la lumbrera para medir abatimientos del nivel freático, asentamientos, esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales.
- Se revisará el estado general de los planos autorizados para ejecución, con objeto de contar con la información suficiente para realizar los trabajos conforme al proyecto, así mismo se revisa, con la superintendencia de maquinaria el programa general de utilización de equipos, para asegurar la continuidad de los trabajos.
- Construcción de plataforma de trabajo plana y competente para el correcto soporte de los equipos de excavación, para realiza las maniobras de la colocación de armados y colados de concreto.
- Instalación de planta de lodos y sistema de tubería.
- Preparación de patio de habilitado de acero de refuerzo.
- Instalaciones de oficinas y áreas de servicios.
- Mejoramientos en la zona de Conexión Túnel-Lumbrera.





### 3.1.1 Preparativos para construcción de lumbra

#### **Brocales para muro Milán**

Los brocales para construcción de muro Milán son elementos estructurales, usados como guía para construcción del muro y como elemento de soporte de los armados durante la etapa de colado.

Se deberá realizar el mejoramiento del terreno, mediante la remoción de la capa de suelo superficial en la zona circundante de la lumbrera sustituyéndolo con material controlado, compactado al 90% de su P.V.S.M. para conformar la plataforma de trabajo de 7.50 m de ancho a partir del faldón del Brocal Exterior, en capas de 20 cm de espesor máximo, relleno con el producto de banco tipo tepetate-arena limosa. Esta plataforma permitirá una distribución uniforme de las cargas en la superficie. La colocación de material de banco se hará con camiones de volteo esparcido con maquinaria y compactado con maquinaria y/o equipos manuales.

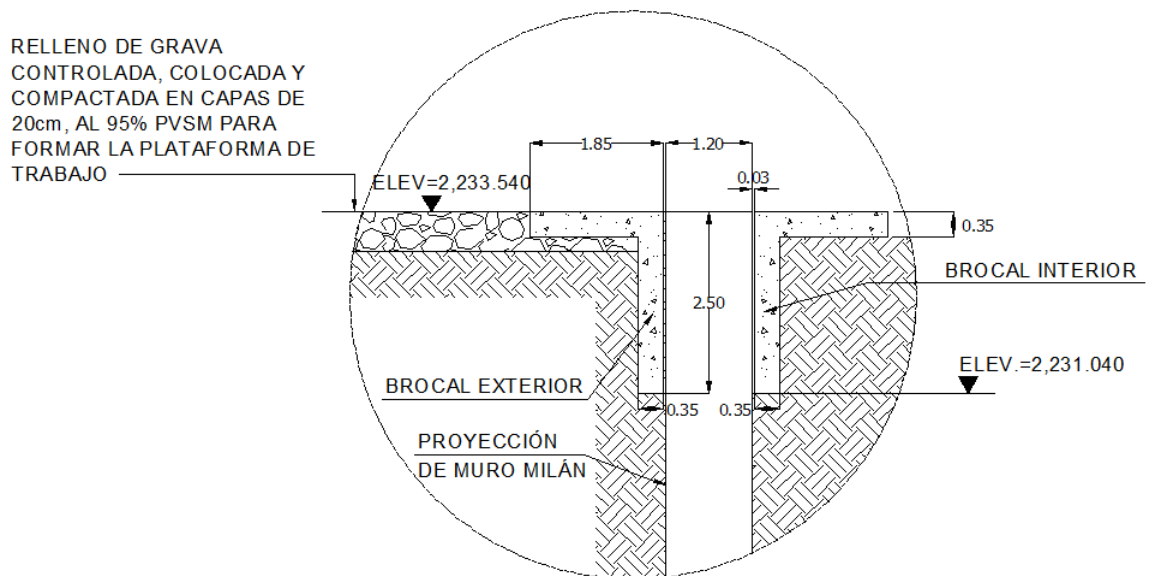
Su construcción se iniciará con el trazo y nivelación del terreno natural en toda el área de la lumbrera, incluyendo la zona del alero del brocal exterior (Figura 3.1.2). Los datos de trazo y nivelación obtenidos serán la base para el cálculo de los volúmenes de excavación.



**3.1.2 Preparativos para colocación de brocal**

Mediante equipo mecánico y manual, se procede a realizar la excavación y nivelación de toda el área de la lumbrera, incluyendo el área del alero del brocal exterior más un área adicional que servirá para el movimiento de los equipos de construcción, hasta el nivel superior del brocal del muro Milán.

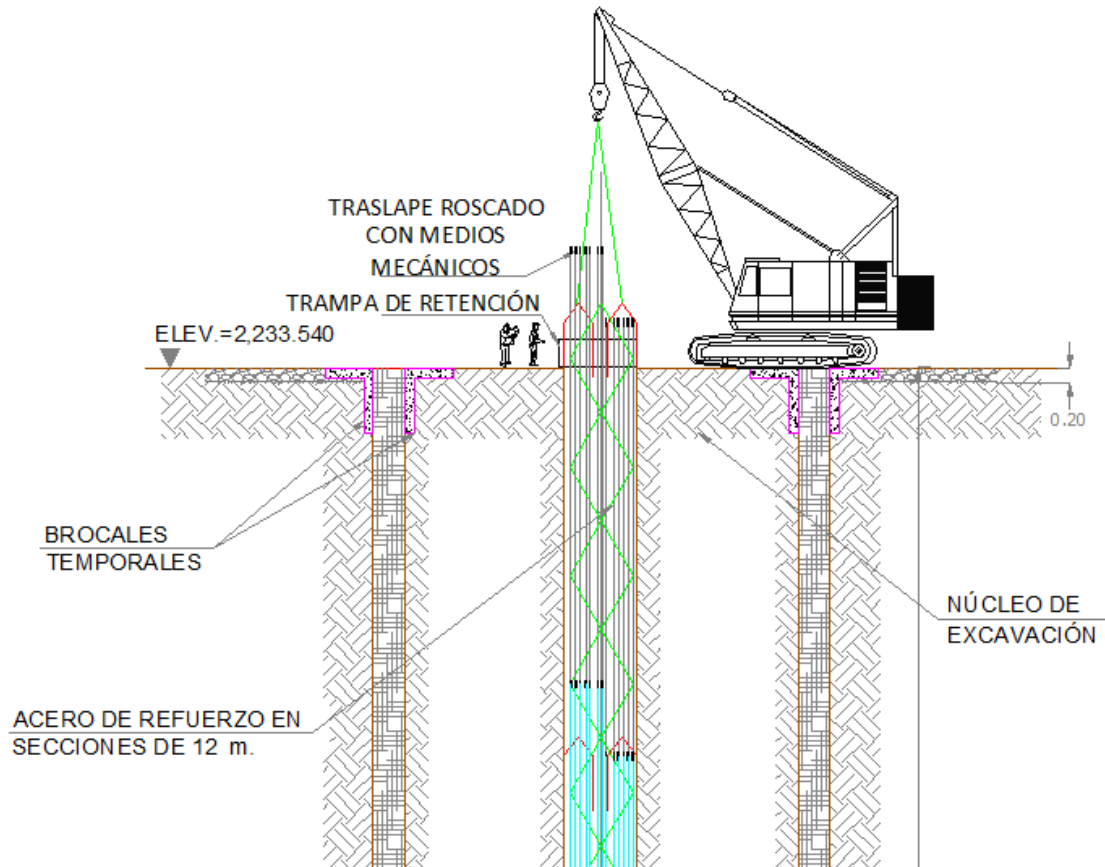
Una vez realizado el trazo del brocal, se procede a excavar bajo el nivel de desplante de los aleros del brocal del muro Milán y posterior se procede a excavar la zanja perimetral que alojará el faldón del brocal. Se considera que la altura de la zanja para construcción de los brocales es de 2.50 m, excavando en talud con una inclinación de 30 grados con respecto a la horizontal (Figura 3.1.3).



### 3.1.3 Detalle de construcción de Brocal

Con la excavación perfilada se procede a la colocación del acero de refuerzo previamente habilitado, en los diámetros y longitudes indicados en los planos de proyecto tanto en aleros como faldones del brocal, cuidando en todo momento que se coloquen los separadores para asegurar los recubrimientos especificados. Los

dobleces de varillas se harán en frío de acuerdo a la tabla de dobleces incluida en los planos estructurales.

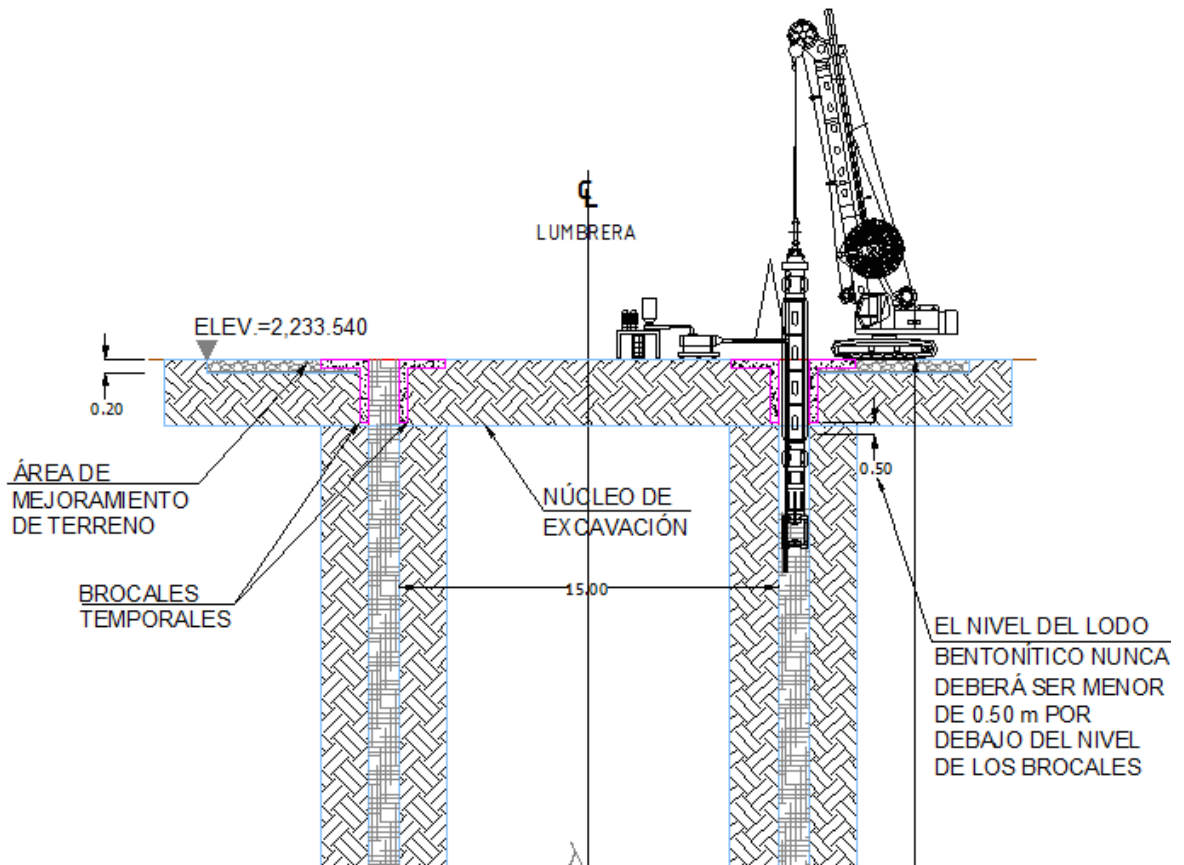


#### Izaje de acero de refuerzo en lumbraera

Se coloca la cimbra común para el colado del brocal y se verifica su alineamiento, de acuerdo con los planos de proyecto. Se realizará la colocación de concreto hidráulico clase 1 estructural de  $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ , revenimiento  $14 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ , colando contra la pared de la excavación, verificando que el acomodo del concreto se realice adecuadamente mediante el vibrado necesario.

La cimbra podrá retirarse una vez que el concreto pueda auto-soportarse y la construcción de una etapa siguiente podrá iniciarse inmediatamente.

Posteriormente se colará en el interior de la circunferencia que forma el brocal una plantilla de concreto que servirá como superficie de rodaje de la Hidrofresa (Figura 3.1.4).



**Detalle de excavación con Hidrofresa**

### **Excavación de tableros de muro Milán**

Sobre el brocal de concreto ya terminado, se realiza la numeración de tableros con la finalidad de llevar el control de avance, así como para realizar la planeación del ataque de los mismos. Los módulos se realizarán en orden alterno.

El muro Milán se construye mediante la realización de la cantidad de módulos previamente definidos en planos. La longitud en la planta de cada módulo será entre 2.60 a 2.80m. Una vez definida la secuencia de excavación de los tableros, se procede a la colocación del equipo de perforación Hidrofresa.



#### **3.1.4 Excavación utilizando Hidrofresa**

La Hidrofresa es una máquina pesada de excavación continua que opera de una manera similar a una perforadora de circulación inversa. Todas sus partes están montadas en una estructura en forma de armadura en cuya parte inferior están los cuatro grandes discos verticales de corte montados en dos ejes horizontales paralelos; los de un lado giran en sentido directo y los otros dos en inverso, el material cortado por los discos es lanzado por la fuerza centrífuga a la succión de la bomba sumergible ubicada inmediatamente arriba de los discos.

La bomba centrífuga que succiona el lodo de la parte inferior de la zanja y los detritus del material cortado los conduce por una tubería y mangueras de presión hasta la superficie donde se separan los sólidos del lodo y este se vuelve a introducir en la parte superior de la zanja para cerrar el circuito de flujo del lodo; la posición de la estructura se corrige con los esquíes laterales que son accionados con gatos hidráulicos; esta compleja máquina cuya operación se controla con una computadora que registra las señales de los sensores electrónicos de profundidad, verticalidad y posición, así como el flujo de lodo.

La construcción de estas máquinas ha sido posible gracias a los motores hidráulicos que accionan los discos y la bomba. Estas máquinas se desarrollaron para cortar suelos muy duros y rocas de hasta  $100 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión simple, han alcanzado profundidades de hasta 120 m, particularmente para la formación de barreras impermeables de material rígido o flexible. El fabricante de la Hidrofresa (BAUER) especifica su ficha técnica del equipo, una desviación máxima permisible de 0.3%. Este valor es teórico y deberá ajustarse a las condiciones reales del terreno y a la normativa y reglamentos aplicables al proyecto.

Antes de iniciar la excavación, se realiza la auto nivelación de la Hidrofresa, mediante su propio sistema de registro de verticalidad. El equipo de excavación permite la rectificación rápida de la verticalidad y el centrado constante y fijo de la herramienta de corte en la posición correcta de la excavación. Con el equipo de Hidrofresa se llevará a cabo la excavación para el muro Milán hasta la profundidad de 122 m en sectores de corte primarios que miden 1.20 m de ancho por 2.80 de largo. Terminados de excavar y colar estos sectores primarios, se excavan los sectores secundarios, y debido a la geometría de la lumbrera y los paneles, cuando se excave los paneles secundarios, la Hidrofresa corta una parte de los paneles primarios ya colados. En todo momento el material excavado se sustituye por lodo bentonítico.

Se debe disponer en la superficie una reserva de lodos bentonítico preparados e hidratados mínimo con 24 horas de anticipación, fabricados mediante una planta con mezclador del tipo coloidal (MAT SKC-15 o similar) que genera lodos con la misma calidad. La densidad mínima del lodo bentonítico debe ser de 1.07 ton/m<sup>3</sup>, Viscosidad MARSH DE 40 A 60 segundos, contenido de arena menor al 3% y un pH entre 7 y 9.5 y densidad máxima de 1.15.

Deberá contarse en la obra con un laboratorio que controle la calidad, densidad y viscosidad de los lodos bentoníticos, cuidando que se conserven las características originales del mismo, así como un desarenador para su limpieza en caso que se requiera la reutilización de los lodos.

La excavación del tablero o módulo se realiza con máquina Hidrofresa, sustituyendo en todo momento el material excavado por lodo bentonítico. El material recortado se carga a camiones de volteo o a una tolva para su traspaleo posterior. El material se llevará a los bancos de tiro o de almacenamiento establecido para el proyecto.

Durante la perforación del módulo se cuidará que los lodos mantengan siempre su nivel dentro de la excavación, cuidando que el nivel del lodo bentonítico nunca se encuentre por debajo de -0.50 m de profundidad con respecto al nivel de los brocales.

La estabilidad de la zanja por excavar al construir el muro Milán se revisó bajo la condición cuando está llena con lodo bentonítico y consiste en confirmar que la densidad del lodo sea la adecuada con el fin de que la presión que ejerza la columna de lodo bentonítico sobre las paredes de la excavación impida que se genere alguna superficie de falla.

Mediante la brigada de topografía, se vigilará la verticalidad de la excavación del tablero (no mayor a la desviación máxima permitida), para garantizar el alineamiento de la excavación del tablero con la perforación previa, en caso de



observarse desviaciones se irrumpirá el avance de la perforación y se tomarán las medidas posibles para corregir la desviación observada. La brigada de topografía definirá el nivel máximo de excavación de la lumbrera, conforme al proyecto.

Una vez terminada la excavación de un tablero, deberá sustituirse el lodo dentro de la misma por lodo nuevo, con el objetivo de extraer posibles sedimentos en suspensión en el lodo que pudieran decantarse y contaminar el concreto por aplicar; así también se extraerán posibles sedimentos depositados en el fondo de la excavación, para lo cual podrá utilizarse el mismo sistema de bombeo de la Hidrofresa, o mediante la extracción con tubería de succión a base de aire (air-lift), o con bomba sumergible para manejo de lodos.

Terminada la excavación del tablero, se procede a posición la Hidrofresa en otra zona, dejando como mínimo, un espacio de 3 módulos o tableros sin excavar. La limitación de excavación de un panel contiguo a uno recién colado, será de 3 días después del colado.

### **Armado de Muro Milán**

Una vez que se terminará la excavación del tablero y se verifica su limpieza, se procede a la colocación del acero de refuerzo, previamente habilitado en los diámetros y longitudes indicados por el proyecto para el tablero en ejecución. Debido a sus dimensiones, se construirán plantillas de concreto simple o cámaras de madera durante el proceso del armado para asegurar su uniformidad.

El armado será contra venteado adecuadamente y suficientemente rigidizado, según lo indique el proyecto, a fin de evitar pandeos y dobleces inadecuados para la manipulación a la que ya se ha sometido. Asimismo como lo marca el proyecto, en los tableros impares el armado deberá colocarse a una distancia mínima de 20 cm medida del paño de corte de la Hidrofresa, con la finalidad de que al excavar los tableros pares se garantice que la herramienta de corte no toque el acero.

Se deberá revisar la capacidad de las grúas que manejarán los armados y se diseñarán los balancines para el buen manejo de los armados con el fin de evitar su daño.

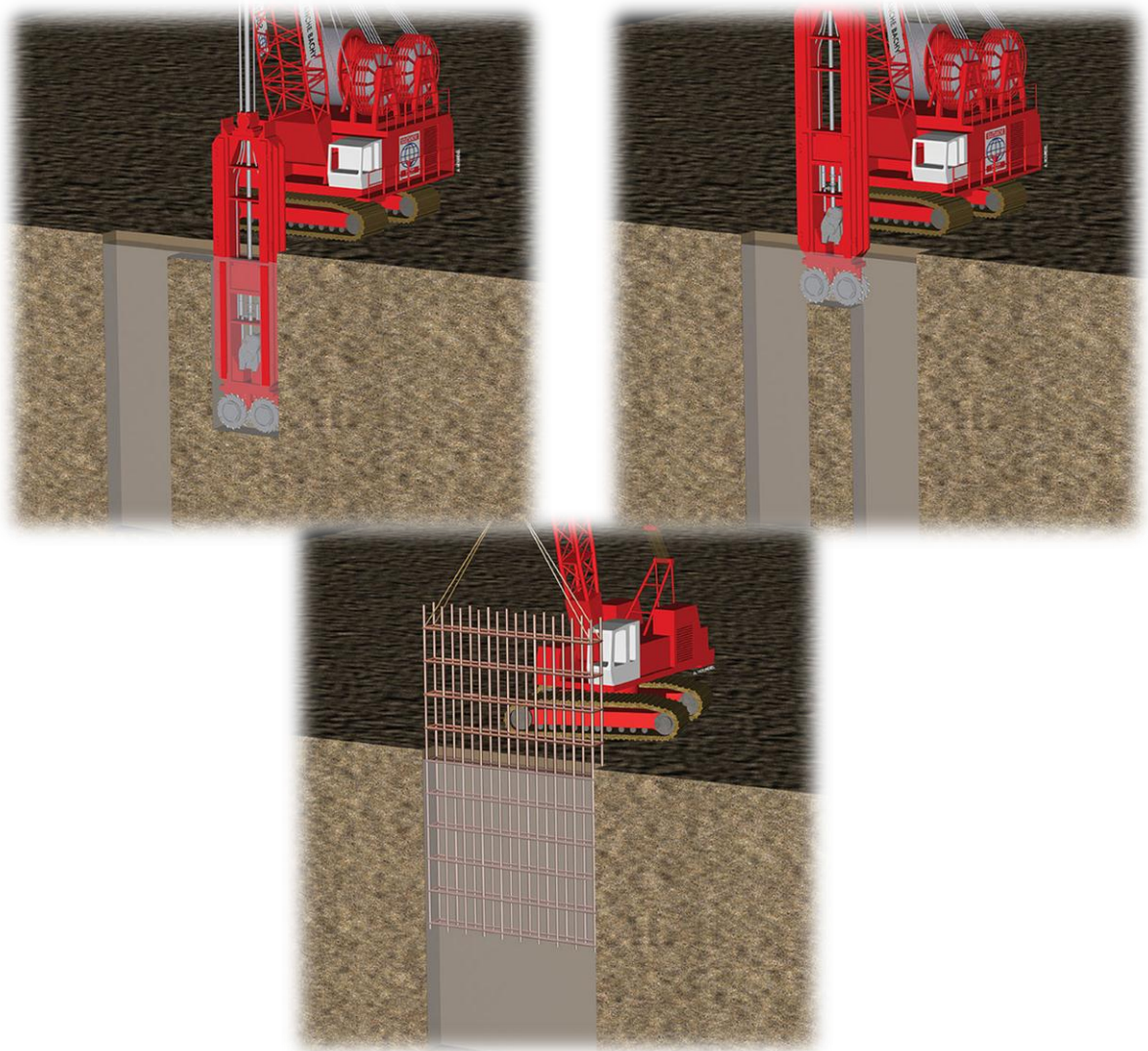
El izaje y colocación de acero de esfuerzos se hará en tramo del orden de 12.0 m; como lo marca el proyecto. Se cuidará de no propiciar flexiones al armado, por lo que la maniobra se realizará lentamente de manera constante, plomeado verticalmente el armado y haciendo coincidir los centros de zanjas y parrilla.

Casi finalizando la colocación del primero tramo del armado de acero dentro de la excavación, se sujeta en su extremo superior mediante una trampa, aparejo o mecanismo de sostenimiento, que se apoyará sobre el brocal, para mantenerlo suspendido, mientras se hacen los preparativos del izaje del segundo tramo del armado de acero de refuerzo, tomando también las medidas precautorias antes indicadas.

Previo a la colocación del segundo tramo, se realizará su izaje sosteniéndolo con la grúa verticalmente para permitir el acople de los conectores mecánicos roscados al 50% de traslape (la capacidad de carga de la unión mecánica será como mínimo de 1.25 veces la fuerza de fluencia de las barras que une), con lo cual se alineará el acero en tramos de longitud del orden de 12.0 m hasta completar toda la longitud del armado. Una vez conectadas la totalidad de la varillas del acero de refuerzo, se aflojará la trampa y se continua con la introducción y descenso del armado dentro de la excavación; así sucesivamente hasta finalizar la colocación de la totalidad de los tramos del armado.

Al colocar en la excavación el total de tramos de armado, cada uno en longitudes del orden de 12.0 m (longitud aproximada de 11.85 m), el armado total del tablero quedará suspendido apoyado sobre el brocal. El armado de acero estará equipado de los necesarios separadores para garantizar el adecuado recubrimiento del concreto por las dos caras de la misma. El recubrimiento libre a paño exterior de estribos serán conforme a lo indicado en el proyecto.

Las pruebas que se deben realizar al acero de refuerzo para las varillas en sus diferentes diámetros, consisten en la entrega por parte del fabricante del certificado de calidad de la colada a que corresponda el lote enviado a obra, el cual deberá contener toda la información necesaria especificada por las Normas Mexicanas. Así mismo como lo especifican los términos de referencia para el proyecto. Se deberá realizar las pruebas de tensión, dobléz y módulo de elasticidad. A continuación se presenta la secuencia de excavación, izado de acero de refuerzo y preparación para la colocación de concreto (Figura 3.1.5).



**3.1.5 Excavación (izquierda), formación del modulo (derecha) e Iza de acero (centro)**

## **Aspectos a considerar en el izado del armado de acero**

### **Elección de la grúa**

Para la selección se tomará en cuenta los siguientes aspectos, entre otros:

- Magnitud de cargas por izar. (armado, soportes, balancines, etc.)
- Longitud del armado de acero a elevar y la longitud de pluma de la grúa (en la rampa puede quedarse corta)
- Rampas por donde deba circular la grúa cargada.
- Obstáculos aéreos

### **Izaje del armado de acero**

Para la actividad de las maniobras e izaje de los armados, se tomará en cuenta:

- El peso y dimensiones de los armados
- La fabricación del armado de acero realizarlo en una zona lo más próxima posible a la excavación para evitar recorridos largos de la grúa cargada.
- Siempre se levantarán los armados de acero con balancín o viga de reparto.

Posicionamiento de la grúa respecto al armado de acero.

Se procurará iniciar la maniobra con el máximo ángulo posible de la pluma de la grúa. En todo caso se respetará la tabla de cargas establecidas por el fabricante del equipo.

### **Colado de muro Milán**

Conforme a lo establecido en el proyecto, el concreto será estructural clase 1 de resistencia a la compresión  $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$  de 0 a 100 m de profundidad y  $f'c=400 \text{ Kg/cm}^2$  de 100 a 122 m de profundidad, fabricando con cemento CPC 40 RS. La

relación agua-cemento máxima será de 0.45. Será del tipo denominado autocompactable. En el diseño de la mezcla a utilizar, deberá considerarse que el concreto se aplicará bajo lodo, por lo que deberá cuidarse que el tiempo de fraguado sea el adecuado para que no se presente endurecimiento del concreto durante la colocación.

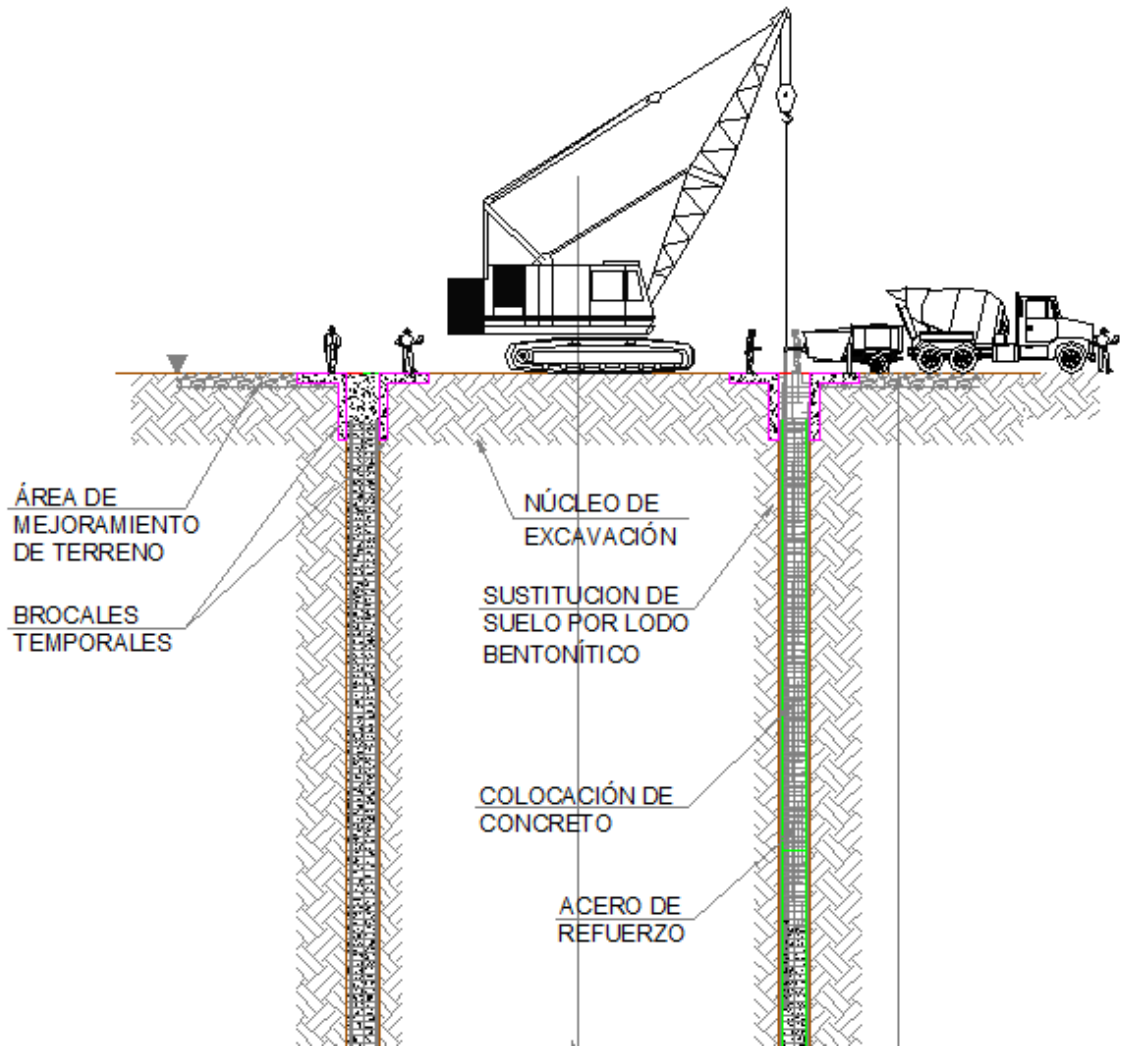
Para el vaciado del concreto dentro de la excavación se utilizara el procedimiento conocido como tuboTremie para colado de concreto bajo lodo (Figura 3.1.6).

Durante el vaciado del concreto en la excavación, el volumen depositado desplaza el lodo bentonítico de ademe hacia la superficie, por lo que deberá recuperarse extrayéndolo mediante bombeo.



**3.1.6 Colocación de concreto en muro Milán**

Durante el colado se llevaran controles donde se registren los niveles alcanzados al vaciar el concreto, con el fin de identificar las profundidades a las cuales pueden tenerse sobreexcavaciones o fisuras del terreno que pueden provocar fugas o perdidas del concreto y por lo tanto del lodo de ademe (Figura 3.1.7).



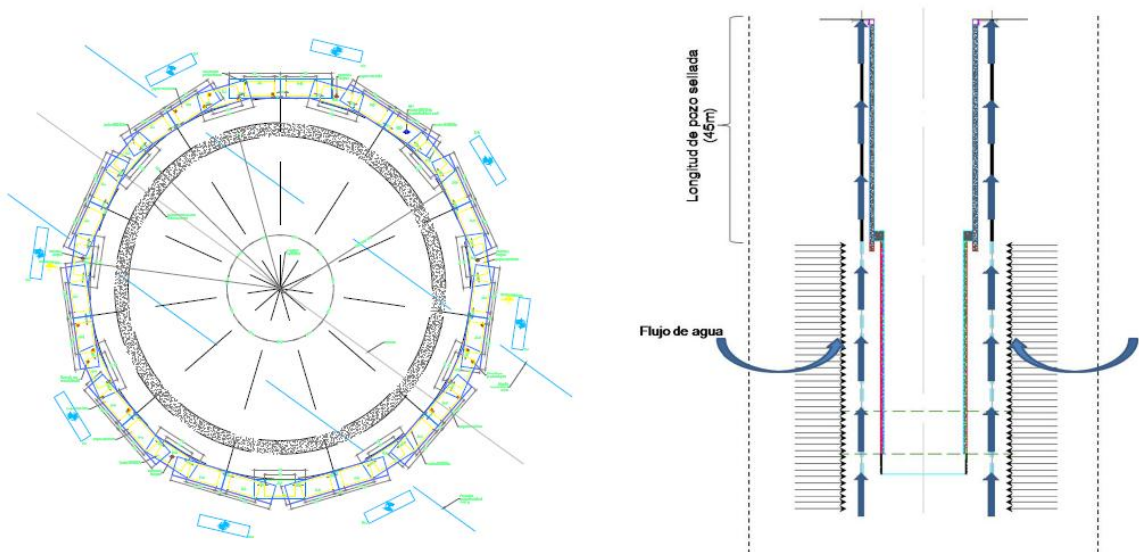
**3.1.7 Esquema de la colocación de concreto en muro Milán**

Una vez colado el tablero, se procede a la excavación del tablero siguiente de acuerdo a la secuencia determinada. Para la construcción de los tableros intermedios se repetirá toda la secuencia indicada anteriormente.

Deberá realizarse el muestreo del concreto suministrado, de acuerdo con lo establecido por las Normas Técnica Complementarias, para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del DF. Y el Anexo 10 a “Términos de Referencia”, de la Subdirección General de Agua Potable Drenaje y Saneamiento de la Coordinación General de los Proyectos de Saneamiento del Valle de México. Noviembre 2008.

### Sistema de bombeo

La construcción de la lumbrera con muro Milán ofrece una ventana importante para el control del agua durante la excavación del suelo en el interior (núcleo de la lumbrera), debido a que al confirmar una estructura cerrada de forma cilíndrica mediante la serie de tableros del muro, se tiene una barrera impermeable que separa el interior de la lumbrera del resto de la masa de suelo, impidiendo así, el flujo del agua hacia la zona de excavación en el interior (Figura 3.1.8).



**3.1.8 Esquema de la colocación de pozos de absorción y el sistema de absorción**

Es probable sin embargo, que a través de alguna zona en el contacto de las juntas entre los tableros del muro Milán pudiera presentarse algún flujo menor hacia el interior de la lumbrera, debido principalmente a probables desalineamientos verticales de muros contiguos (tableros), asimismo por posibles anomalías durante el proceso de colado de los muros.

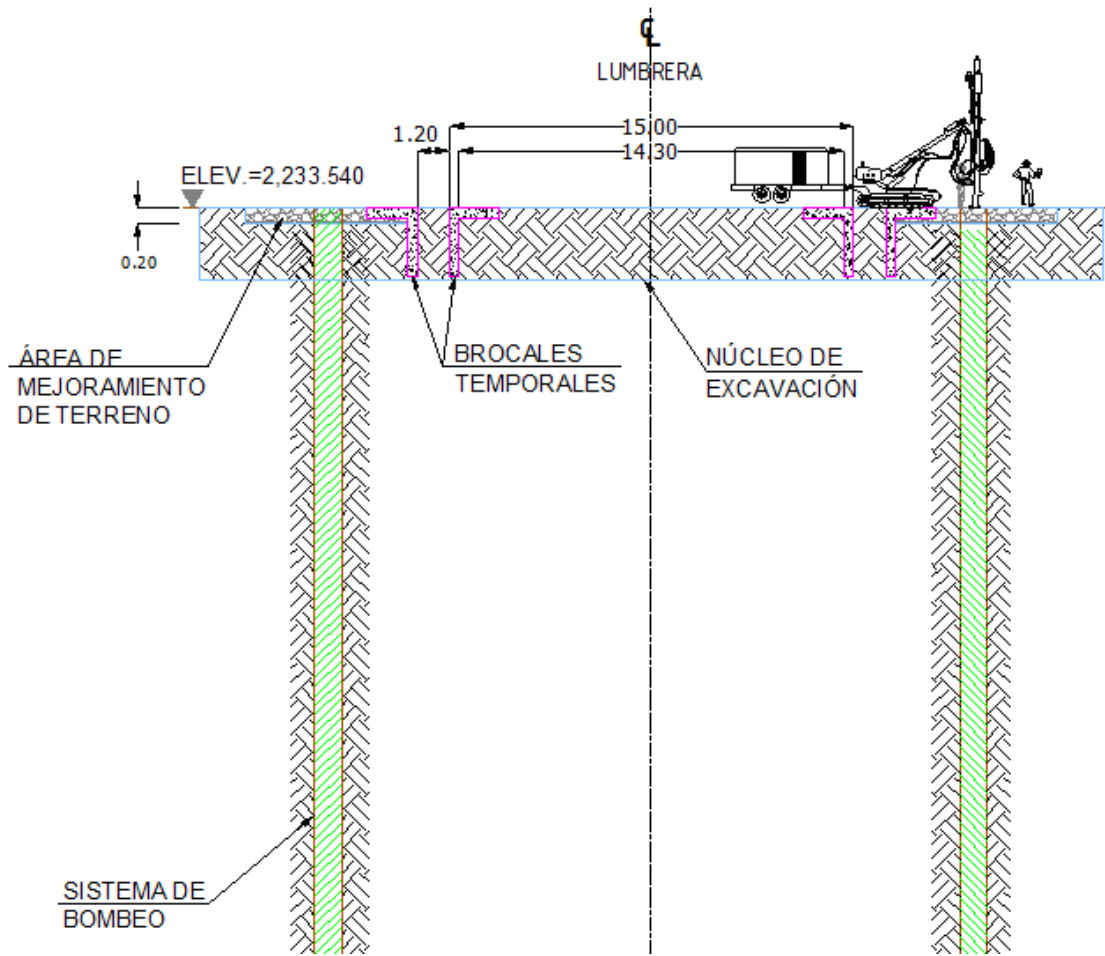
Un factor importante en la calidad y hermeticidad de las juntas de los muros Milán, es el procedimiento constructivo que se aplica para la excavación de los tableros, ya que de este depende la verticalidad de los mismos; para el caso de esta lumbrera, se utilizara para la excavación una máquina de fabricación alemana llamada Hidrofresa, la cual posee dispositivos que permiten controlar y reducir el desalineamiento y por lo tanto, es posible obtener buen contacto entre las juntas; con ello la calidad que se obtiene en el conjunto de la estructura del muro Milán supera considerablemente lo posible de obtener en muros Milán en donde se utiliza maquinaria convencional de excavación como lo son las almejas guiadas o libres.

Debido a lo anterior, los flujos esperados dentro de la excavación de la lumbrera serán de poca magnitud, y en consecuencia los gastos de manejar serán pequeños, lo que será posible controlar mediante bombeo de achique desde el interior de la excavación utilizando equipos convencionales de bombeo, los cuales extraerán el agua desde cárcamos hacia los que se canalizarán los escurrimientos dentro de la excavación; estos cárcamos se excavarán en cada etapa de avance de la excavación al bajar a el interior del núcleo de la lumbrera.

El muro Milán cubrirá toda la profundidad de excavación de la lumbrera, por lo que un objetivo fundamental del Sistema de Bombeo a instalar será el de abatir la presión y flujo del agua en el fondo de la excavación.

La cantidad de pozos que integraran el Sistema de Bombeo será determinada a partir del análisis que se basarán en los resultados que se obtengan de pruebas de bombeo realizadas en el sitio de la construcción de la lumbrera (Figura 3.1.9).





**3.1.9 Esquema del sistema de bombeo**

Como condición inicial para la instalación del sistema de bombeo, la CONAGUA autorizó la instalación de cuatro pozos de bombeo a colocarse exteriormente en la periferia de la estructura de la lumbrera, los cuales tendrán las características establecidas en el documento emitido en la Junta de Ingeniería de fecha 10 de marzo del 2011.

El Sistema de Bombeo debe instalarse antes de iniciar con la excavación del núcleo central de la lumbrera (Figura 3.1.10).

El bombeo podrá dejar de operar hasta concluir la Losa de Fondo y que ésta haya alcanzado la resistencia de diseño.



**3.1.10 Colocación de sistema de bombeo**

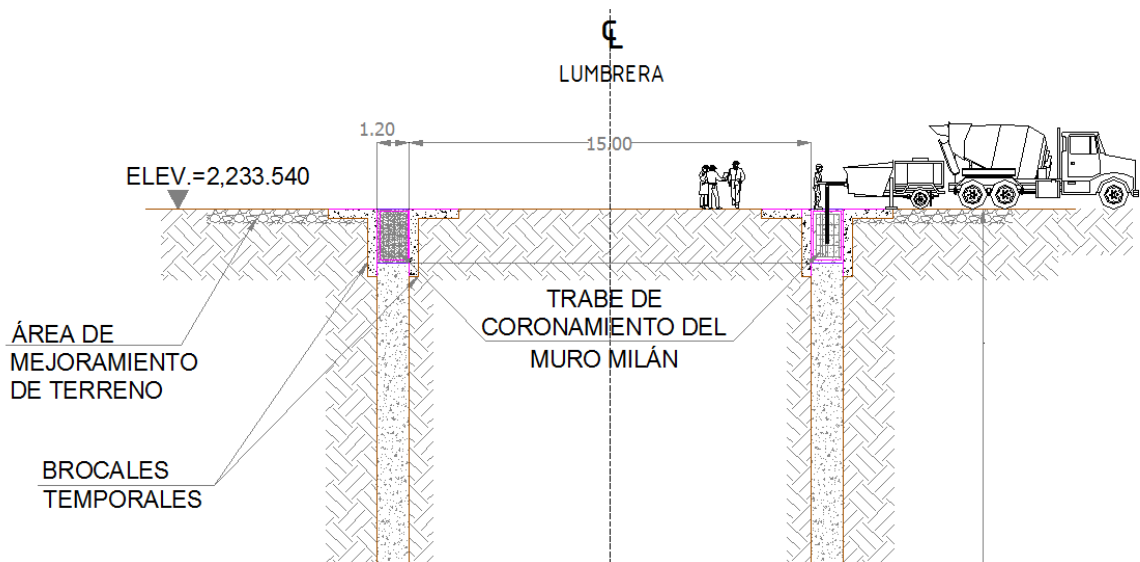
### **Construcción de trabe de coronamiento**

Concluido el muro Milán se iniciará la construcción de la trabe de coronamiento. La trabe de coronamiento tendrá la función de ligar de forma rígida a todos los paneles del muro Milán (Figura 3.1.11).

Mediante la brigada de topografía, se procede a trazar la trabe de coronamiento, según los planos de proyecto definitiva. Una vez realizado el trazo de la trabe de coronamiento mediante equipo mecánico y manual, se procede a excavar hasta el nivel de desplante del brocal definitivo.

Posteriormente se procede al retiro (demolición) del brocal interior y a realizar mediante retroexcavadora una excavación perimetral hasta un metro debajo de la parte superior del muro Milán que servirá tanto para la construcción del faldón como para poder realizar la demolición (descabece) del muro Milán para retirar el material contaminado (Figura 3.1.12).

Terminada la excavación y retirado todo el material producto de la excavación al tiro asignado por la entidad, se procede a verificar topográficamente los niveles de desplante de la trabe de coronamiento.



**3.1.11 Esquema de colocación de concreto en trabe de coronamiento**

Posteriormente se procede a la colocación del acero de refuerzo previamente habilitado, en los diámetros y longitudes indicados en los planos de proyecto,

cuidando en todo momento que se coloquen los separadores para asegurar los recubrimientos especificados.

Se verifican topográficamente los niveles del acero de refuerzo, asegurándose que se cumple con los niveles de proyecto y se suministra, habilita y coloca la cimbra aparente en la trabe de coronamiento.



### 3.1.12 Construcción de trabe de coronamiento

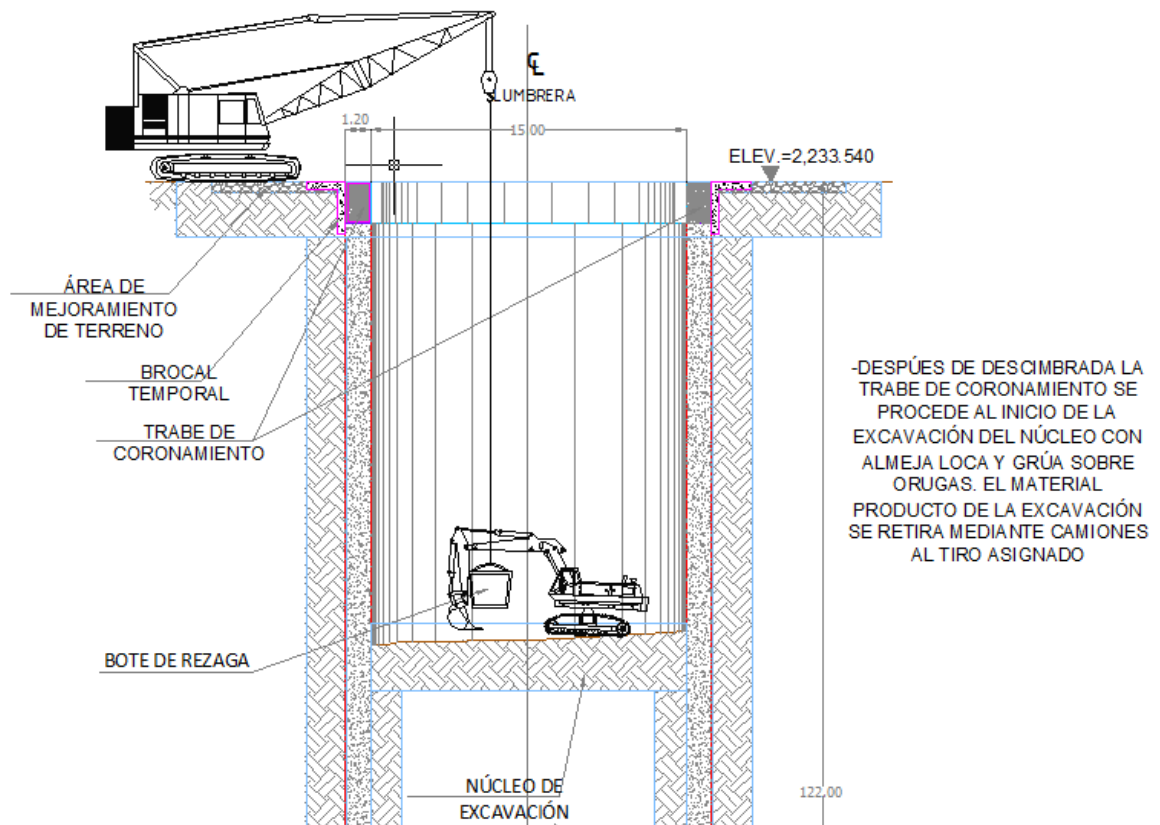
Se verifica que el nivel y el alineamiento de la cimbra cumplan con los planos de proyecto. Se procede a la colocación de referencias para los toques de concreto y se realiza la colocación de concreto hidráulico de  $f'c=350\text{kg/cm}^2$  el tipo de cemento será CPC 40 RS, revenimiento  $16\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$ , verificando que en el acomodo del concreto se realice adecuadamente mediante el vibrado necesario.

Después de que el concreto tenga la resistencia adecuada para auto soportarse, se procederá al retiro de la cimbra.

### Excavación de núcleo en suelos blandos y duros

La excavación del núcleo de la lumbrera a cielo abierto iniciará después de la construcción de la trabe de coronamiento (Figura 3.1.12), y después de demoler el brocal interior del muro Milán.

Antes de iniciar la excavación del núcleo de la lumbrera deberá instalarse los elementos de instrumentación de acuerdo a las especificaciones.



3.1.12 Esquema de la excavación de núcleo de lumbrera

En los primeros metros de profundidad se procede a la excavación del núcleo mediante la utilización de una grúa Link-Belt LS-218 o similar de capacidad superior y almeja loca de 1 ½ y d3. Posteriormente una vez definido que la excavación se encuentra en un material duro, se procede a cambiar el procedimiento constructivo, para ello se procederá a bajar una excavadora sobre orugas CAT 330 o similar con la cual se continuará la excavación del núcleo. La rezaga se realiza mediante botes de capacidad suficiente para los volúmenes a extraer, y grúa sobre orugas Link- Belt LS-218 o similar de mayor capacidad.

No se permitirá almacenar en obra (en forma permanente) el material producto de la excavación del núcleo de la lumbrera. Se deberá contar con los camiones suficientes para realizar el retiro del producto de la excavación a los bancos de tiro o de almacenamiento asignados y establecidos en el proyecto.

### **Construcción de losa de fondo**

Llegado al nivel máximo de excavación se construirá la losa de fondo de concreto armado de 4.30 m de espesor. El cual se integrará al muro Milán a través de los conectores de cortante de las mismas varillas de la losa.

Como actividades previas al inicio de los trabajos de construcción de la losa de fondo se inician con la verificación, afine, limpieza y nivelación del terreno en toda la profundidad de la lumbrera. Posterior colado de una plantilla de concreto pobre  $f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$  de 5.0 cm de espesor.

Posteriormente se procede con la colocación del acero de refuerzo previamente habilitado, en los diámetros y longitudes indicados en los planos de proyecto cuidando en todo momento que se coloquen los separadores para asegurar los recubrimientos especificados.

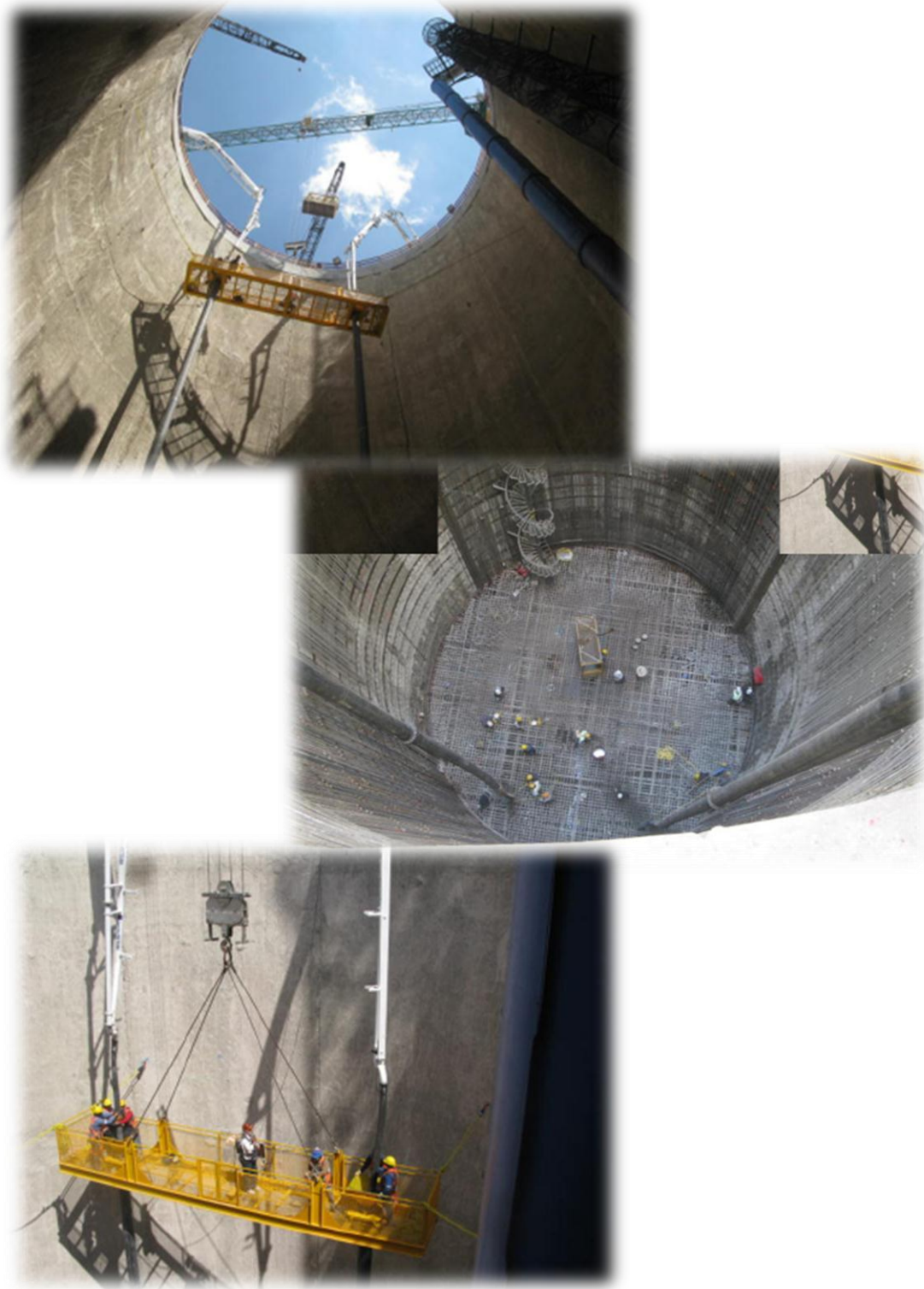
Se verifica topográficamente los niveles del acero de refuerzo, asegurándose que se cumple con los niveles de proyecto. Se procede a la colocación de referencia para los topes de concreto.

Se dejarán las preparaciones de refuerzo previas al colado de la losa para anclar los muros del cárcamo de achique. Así mismo, se dejarán las preparaciones de refuerzo para el anclaje con el revestimiento definitivo.

El acero de refuerzo deberá llegar a la obra libre de oxidación, exento de grasa, quiebres, escamas hojaduras y deformaciones en su sección, las varillas de refuerzo deberán ser de los grados requeridos en los planos. Siempre deberá evitarse la contaminación del acero de refuerzo con sustancias grasas y en el caso que esto ocurra se removerá con solventes que no dejen residuos. Se verificará topográficamente los niveles del acero de refuerzo, asegurándose que se cumpla con los niveles de proyecto. Se procederá la colocación de referencia para los topes de concreto.

Se realizaran la colocación de concreto hidráulico tipo estructural, con resistencia a la compresión simple, en muestras cilíndrica, a los 28 días, de  $350 \text{ Kg/cm}^2$ . Se usará cemento tipo CPC 30RRS y como mínimo 375 Kg de cemento por  $\text{m}^3$  de concreto. El cemento deberá cumplir con la Norma NMX-C-414-ONNCCE. La relación agua-cemento no deberá ser mayor de 0.45. El revenimiento será de  $18 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ , verificando que el acomodo del concreto se realice adecuadamente mediante el vibrado necesario. La colocación del concreto, se realizará mediante una línea de tubería de colado con un dispositivo que evite la segregación del concreto durante la colocación (Figura 3.1.13).

El colado de la losa de fondo se hará en forma masiva y continua, por lo que durante el colado se le asignarán suficientes y oportunos recursos de mano de obra, maquinaria y materiales para lograr que el colado se realice en el menor tiempo posible.



**3.1.13 Colocación de concreto utilizando tubería tremie**



Para evitar la deshidratación del concreto se deberá aplicar al elemento colado un sistema de curado, mediante la aplicación de una membrana de curado de base acrílica para concreto tipo SIKA CURA-SELLADOR o similar.

Terminada la construcción de la losa de fondo se deberá construir el cárcamo de bombeo que consiste en plataformas temporales a base de rejillas Irving, apoyadas sobre muros despintados sobre la losa de fondo. Los espacios que existen entre los muros de la plataforma y la lumbrera son las que conforman el cárcamo de bombeo, que será utilizando en la etapa de construcción, una vez que se haya concluido los trabajos de excavación del túnel se procederá a desmantelar esta obra.

### **Construcción de revestimiento definitivo en la zona de conexión túnel-lumbrera**

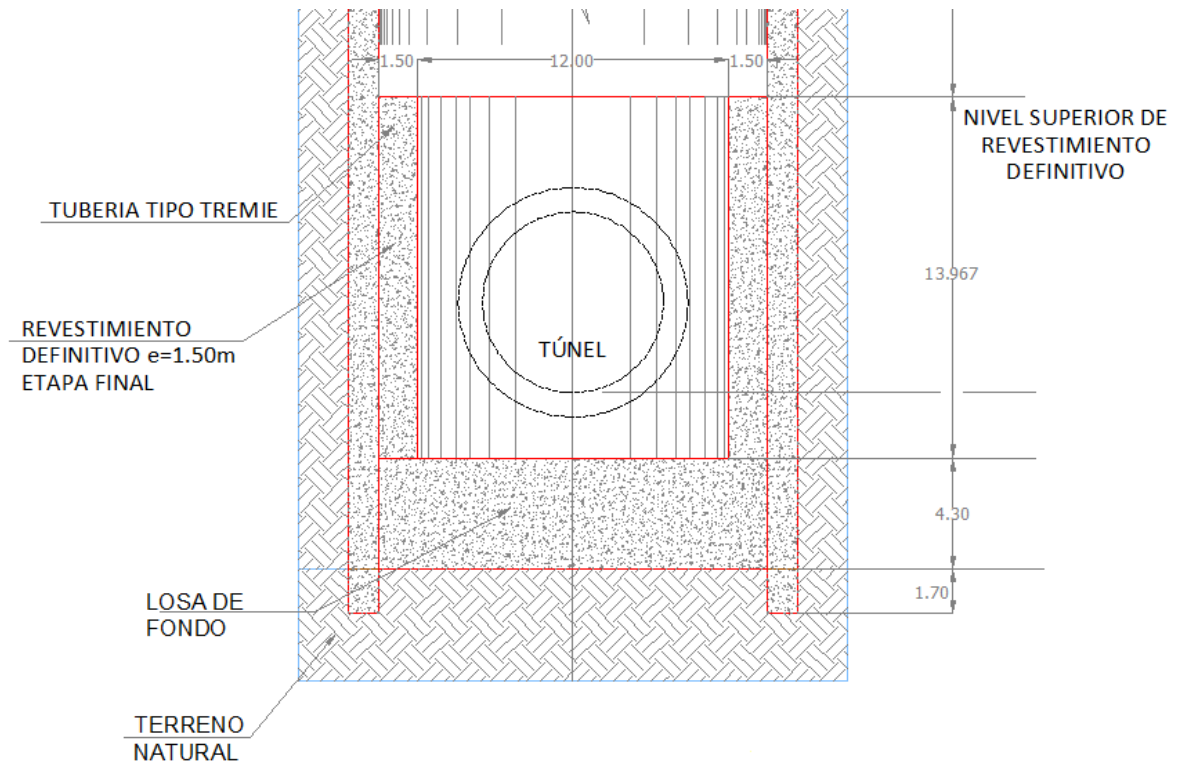
Al finalizar la losa de fondo, se construirá el muro secundario o revestimiento definitivo con cimbra deslizante. Se deberá realizar un levantamiento e inspección a detalle de la configuración de la lumbrera con el fin de realizar los preparativos para la colocación de la cimbra deslizante.

Se inicia con la colocación del acero de refuerzo en una longitud tal que evite interferir con el avance de la cimbra deslizante, cuidando que tenga la verticalidad y posición adecuada para evitar el paso de la cimbra.

Se deben considerar las preparaciones de refuerzo adicional para la conexión Túnel-Lumbrera tanto en losa de fondo, así como en el revestimiento definitivo (Figura 3.1.14).

Se habilitará y colocará el acero de refuerzo de acuerdo con los planos estructurales correspondientes. Se tiene que dejar una longitud de 1.5 metros de varillas para la instalación de los conectores mecánicos que garanticen la continuidad del acero con la losa de fondo en su parte inicial o inferior. La

continuidad del refuerzo vertical del muro secundario se dará mediante conectores mecánicos: Tipo 1 (roscado), mientras que el refuerzo horizontal será mediante traslapes ( $l=100$  cm).



### 3.1.14 Esquema de revestimiento definitivo en lumbrera

La cimbra será a base de duela machinbrada con cara de contacto de lámina calibre 22 o similar que garantice los espesores y el acabado definitivo de las paredes.

En superficie se instalará el sistema de izaje que básicamente serán gatos hidráulicos y barras con capacidad suficiente para realizar el deslizado del sistema.

Toda la instalación de las secciones de la cimbra tanto en fondo de lumbrera como la superficie será realizada con una grúa de maniobras. En la cimbra deslizante,

se instalara una plataforma de trabajo (a base de tablón de 1 ½" de espesor o similar) para facilitar la construcción del revestimiento definitivo.

Una vez verificando el alineamiento y nivel de la cimbra deslizante, se procederá a realizar el colado del muro en forma continua, laborando 24 horas por día, hasta la terminación del revestimiento en una sola etapa (normalmente en tramos de colado de 12 m de altura). La empresa constructora del Consorcio podrá definir el tipo de cimbra deslizante más conveniente a emplear para cumplir con los objetivos planteados, por lo que en sitio (obra) deberá prever las preparaciones para sujeción que pudieran requerirse.

Posteriormente se procederá al colado continuo del muro de revestimiento definitivo en sentido inverso al proceso de excavación, mediante la cimbra deslizante. El revestimiento definitivo de concreto de 1.50 m de espesor, solo se colocará desde -116.00 m hasta -102.033 m de profundidad de la lumbrera.

El concreto será de  $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$  elaborado en planta, revenimiento de  $15 \text{ cm} \pm 3 \text{ cm}$ . Este concreto deberá ser fabricado con Cemento Portland Compuesto resistente a los Sulfatos, CPC-40-RS y relación agua/cemento será no mayor a 0.45. El colado debe efectuarse a tal velocidad que el concreto conserve su estado plástico en todo momento y fluya fácilmente dentro de los espacios entre varillas.

El tiempo máximo que deberá pasar entre la construcción de la losa de fondo y la construcción del revestimiento definitivo será aquel que transcurra para que la losa de fondo haya alcanzado el 80% del  $f'c$ .

Debiéndose realizar muestreo constante para ensayos de resistencia por algún laboratorio acreditado ante la E.M.A. con base en lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal.

### 3.2 Túnel

El proyecto estructural deberá adoptar el sistema que garantice los estados límite especificados, la estructura se realizará en concreto reforzado, las dovelas serán de concreto reforzado fabricadas en planta del espesor requerido por diseño, por lo que el equipo de excavación a emplear deberá contemplar este espesor a fin de que el conjunto revestimiento primario-secundario garantice un diámetro interior final del túnel de 7.00 m (Figura 3.2.1).



**3.2.1 Brazo erector de escudo en la colocación de revestimiento primario (sistema de dovelas)**

Es de importancia el tiempo de ejecución de la obra, ya que se ha observado en túneles construidos en el Valle de México, que las deformaciones se estabilizan cuando se cuenta con el revestimiento definitivo, por lo cual el proyecto estructural

debe de estar acompañado del programa de obra que garantice una rápida y correcta colocación del revestimiento definitivo.

Debido a que la estratigrafía del suelo, así como las condiciones geotécnicas y geológicas cambian a lo largo del trazo del Túnel, se realizarán cuantos diseños estructurales de los revestimientos sean necesarios de acuerdo con las condiciones existentes, diseños que en su conjunto contemplen mejor las variables y acciones que actúen sobre estos.

El diseño estructural del revestimiento primario a base de “dovelas” deberá para el 100 % de las acciones producidas por el suelo y/o roca y garantizar una deformación diametral máxima no mayor a 0.005 veces el diámetro del túnel (entiéndase por deformación diametral máxima la deformación que se presente en dos puntos diametralmente opuestos, pudiendo ser estas deformaciones hacia el interior o exterior del diámetro del túnel y debiendo contemplar las deformaciones inmediatas y a lo largo plazo), lo anterior con la finalidad de que no se presenten deformaciones mayores que repercutan en el procedimiento constructivo del revestimiento definitivo (empleo de cimbra metálica).

Adicionalmente, deberá verificarse que la distorsión máxima permisible será menor a 1 % entendiéndose que la distorsión máxima es la diferencia entre diámetro máximo deformado y el diámetro mínimo deformado entre el diámetro mínimo deformado (deformaciones inmediatas más deformaciones a largo plazo). Además, en ningún caso, los asentamientos superficiales podrán ser mayores a la variación máxima en el diámetro vertical del túnel.

Será necesario presentar dentro del diseño estructural del revestimiento primario a base de “dovelas”, el diseño de los conectores o insertos entre dovelas, así como entre anillos de dovelas. El diseño de los sellos de neopreno o sellos contra el agua. Así como el diseño de dovelas ante el empuje de los gatos o pistones del equipo de excavación.

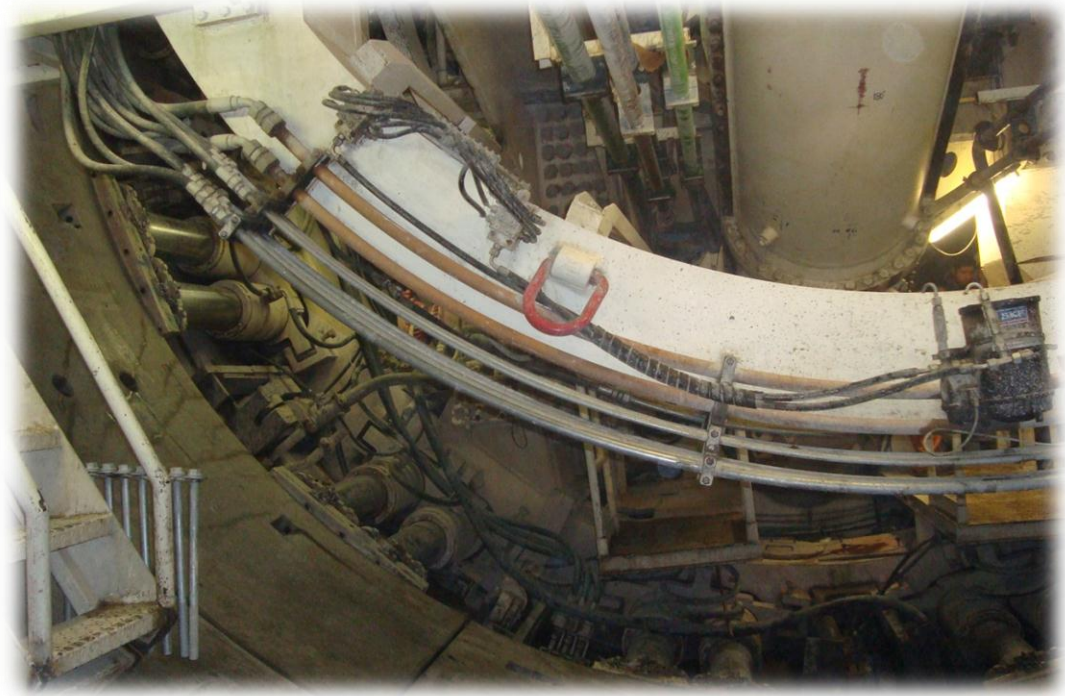
### 3.3 Excavación de túnel

En la excavación del túnel se debe de considerar en los alcances de sus análisis, el área necesaria y suficiente para las instalaciones y protegerlas como está indicado en los alcances de los conceptos, se le entregaran áreas destinadas para las instalaciones en cada lumbrera las que debe optimizar y utilizar racionalmente siempre bajo responsabilidad considerando desde el principio el área para el arranque con el equipo del escudo y sus accesorios, el área de maniobras para el equipo, las dovelas, la instalación de la planta de lechada de mortero para las inyecciones, la planta para el concreto del revestimiento definitivo y el retiro de las instalaciones que haya utilizado para y durante la construcción, hasta dejar las áreas totalmente limpias.

La excavación del túnel se realizara con escudos presurizables tipo EPB propiedad de la CONAGUA y los cuales fueron seleccionados bajo las condiciones geológicas existentes a la fecha. En caso de que dichas condiciones no varíen los reclamos a este concepto no serán procedentes.

De acuerdo a las características del tipo de escudo utilizado, por medio de los 24 gatos de empuje, el escudo avanza y es conducido durante la excavación de acuerdo a los requerimientos del proyecto. Para realizar con éxito la excavación de un túnel, no se debe perder de vista que cada empuje debe responder a una planeación general de la conducción del escudo, por lo que cualquier corrección a las desviaciones que se presenten respecto a la línea de proyecto, debe ser estudiada detenidamente.

En la siguiente figura se muestra el sistema de gatos que tomando como base el sistema de dovelas impulsa el escudo para posterior excavación y colocación de anillo, incluyendo el sistema de mortero de contacto entre el terreno natural y dovela (Figura 3.3.1).



### 3.3.1 Sistema de gatos de impulso para escudo de tierra presurizada

Al iniciar cada ciclo de excavación, para efectuar cada empuje se deben considerar los siguientes factores.

- Topografía: Es necesario conocer la elevación y posición con respecto al alineamiento de proyecto del ultimo anillo colocado dentro del faldón, así como de los anillos anteriores, para verificar si los resultados de los empujes previos corresponden a lo planeado. En función de esta verificación se determina la necesidad de programar las modificaciones o correcciones que se consideren necesarias.
- Posición y orientación del escudo: El escudo cuenta con los dispositivos (clinómetros) para indicar en forma constante la posición con respecto a su eje longitudinal y respecto a su eje vertical.
- Espacio anular entre anillos de dovelas y faldón del escudo: Es el espacio existente entre el diámetro exterior del anillo de dovelas y el diámetro

interior del faldón del escudo. Por especificación, la separación mínima que debe existir es de 5 mm. En todos los empujes se debe cuidar que la separación entre dovelas y faldón no rebase la separación mínima para evitar que al colocarse el revestimiento primario y el cuerpo del escudo, se generen en las dovelas esfuerzos que puedan dañarlas, lo que además puede dañar los sellos de neopreno en esa zona, provocando, que se presenten fugas de mortero de la inyección, así como lodo proveniente del frente al interior del escudo. La posición ideal es mantener concéntricos los anillos con respecto al faldón del escudo. Cuando se requiere despegar el escudo del endovelado, se dejan de usar de 2 a 4 gatos de empuje en la zona donde las dovelas y el faldón se encuentran pegados, para provocar un desbalanceo de las fuerzas aplicadas en el empuje, lo que hará que el escudo avance menos en esa zona, lográndose de esta manera despegar las dovelas del faldón.

- Volumen excavado y volumen desplazado durante los empujes. En la consola del control central se cuenta con una computadora que va calculando, en forma continua, la relación entre el volumen excavado ( $V_e$ ) y el volumen desplazado ( $V_d$ ), que debe mantenerse en la unidad para evitar sobre excavación o inducir esfuerzos de compresión en el terreno.
- Formas de avance. Los controles independientes para desplazamiento de la cabeza cortadora y de los gatos de empuje permiten al escudo tener dos formas de avance.
  - Avance alternado. Es la repetición del ciclo que a continuación se indica, hasta que los gatos de empuje estén totalmente extendidos.
    - a. El cuerpo del escudo avanza cortando el terreno, la cabeza cortadora mantiene una presión contra el frente, sin girar, con las compuertas de control de excavación cerradas. Se va retrayendo el gato de la cabeza cortadora conservando la presión del frente.
    - b. Una vez que el cuerpo del escudo tiene un avance de 40 cm, se detiene para iniciar la excavación, la que se efectúa con la cabeza



cortadora avanzando 40 cm, girando con las compuertas de control de excavación abiertas, mientras el cuerpo del escudo permanece fijo con respecto al suelo. La repetición de este ciclo se efectúa hasta concluir el empuje. Esta forma de avanzar se recomienda para familiarizarse con la operación del escudo.

- Avance simultaneo. En esta forma de trabajo el cuerpo del escudo y la cabeza cortadora avanza simultáneamente. Esto se hace extendiendo los gatos de empuje con la cabeza cortadora girando y manteniendo fijo su desplazamiento.
- Inyección de contacto entre dovelas y terreno. Al avanzar el escudo y salir las dovelas de un espacio anular que corresponde al espesor y la holgura de las dovelas respecto al mismo. Debe ser inyectada de manera inmediata la mezcla de inyección, para evitar asentamientos en superficie. Una vez que los anillos van saliendo del faldón del escudo la dosificación de la mezcla de inyección utilizada de  $0.5 \text{ m}^3$  es:

1. Cemento (200 Kg)
2. Arena silica ( $0.243 \text{ m}^3$ )
3. Bentonita (50 Kg)
4. Agua (380 lt)

### **3.4 Revestimiento**

El revestimiento definitivo del túnel, será de concreto reforzado con un espesor mínimo de 35 cm, elaborado con cemento CPO-30 y/o 40R-RS resistente a los sulfatos, con una relación agua-cemento 0.45 y resistencia  $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ .

De manera general el procedimiento se inicia con la colocación de acero de refuerzo, para lo cual, se marcaran referencias topográficas a lo largo del túnel

para garantizar que el acero de refuerzo quede en posición y nivel que indique el proyecto.

La colocación del acero de refuerzo se realizara mediante silletas de acero que aseguren que el armado se mantenga en su lugar durante todo el proceso de colado y fraguado del concreto.

La contratista deberá utilizar para el colado del revestimiento cimbras metálicas modulares de acabado aparente de 7.00 m de diámetro terminado, en cantidad y longitud suficiente para garantizar el rendimiento necesario para cumplir el programa de construcción autorizado.

Para el movimiento e instalación de la cimbra metálica, así como para el descimbrado, se deberá utilizar un transportador especialmente diseñado para realizar eficientemente estas maniobras (Figura 3.4.1).



**3.4.1 Colocación de cimbra telescópica para revestimiento definitivo**

La cara de la cimbra deberá tratarse con una agente desencofrante para evitar que el concreto se adhiera a las paredes de la cimbra y de tal manera de facilitar el descimbrado.

Durante las maniobras de colocación, nivelación y sujeción de las cimbras la brigada de topografía revisara su alineamiento correcto y recubrimiento adecuado del acero de refuerzo.

La transportación del concreto hasta la cimbra se realizará por bombeo, utilizando bombas de pistón.

El bombeo debe ser continuo, en caso de ocurrir alguna demora en la entrega del concreto, se disminuirá la velocidad de la bomba, manteniéndola con algo de movimiento del concreto para evitar obstrucciones, si después de una demora se rebasa el tiempo útil de la ultima olla vaciada, es necesario vaciar una o varias secciones de la línea antera, y volver a empezar con lechada para lubricar la tubería.

La colocación del concreto es en forma monolítica en tramos de 9.00 m o de acuerdo a la longitud de los módulos que determine la Contratista, el concreto que va a ser colocado en el molde, primero se descarga hasta llenar las ventanas laterales con las que cuenta la cimbra, utilizando una manguera flexible para su descarga; enseguida se cierran las ventanas y se descarga el concreto por las boquillas que tiene la cimbra a lo largo de su clave; la colocación tiene que ser apoyada con la utilización de vibradores neumáticos de pared; estos vibradores son trasladables y la base queda permanentemente colocada en la cimbra y es únicamente el vibrador la pieza móvil de fijación rápida (Figura 3.4.2).

Para el curado del concreto se utilizara una membrana a base de polímeros acrílicos especiales y disolventes de evaporación rápida que permita un curado y sellado eficaz del concreto recién colado; el curado en el concreto se realizará lo más pronto posible e inmediatamente después del descimbrado.



#### 3.4.2 Acceso revestido en túnel Lumbrera 0

La contratista deberá contar con un laboratorio de control de calidad acreditado ante la **EMA**, en el sitio de los trabajos, y deberá considerar que asumirá toda la responsabilidad de la obra en cuanto al control de calidad del concreto; cualquier defecto en el suministro de los materiales, fabricación, producción o manejo será reparado bajo su tiempo costo y riesgo.

### 3.5 Obras adicionales

De acuerdo con requerimientos adicionales se construyó losa base de espesor de 10 cm con una resistencia de  $350 \text{ Kg/cm}^2$  necesaria para sostenimiento de equipo encargada de descenso de los trenes componentes del escudo y las dovelas para revestimiento primario (Figura 3.5.1) .



### **3.5.1 Losa base para grúa utilizada en descenso de equipo de excavación y dovelas**

Para resarcir los daños a la población y cumpliendo con lineamientos de carácter ecológicos emitidos por SEMARNAT se requirió de la construcción de un pozo y posterior planta de bombeo dentro del área del Portal de Salida, que suministra de agua para diferentes necesidades del Municipio de el Salto.

Por requerimientos del Gobierno Municipal se construyó un puente a base de acero para librar la margen del río el Salto y permitir el libre tránsito de la comunidad local evitando afectación económica en el aspecto de agricultura y ganadería.

En tercer caso fue necesaria para los requerimientos de energía del escudo la instalación de una subestación eléctrica que no estaba contemplada en un inicio

de proyecto y que fue necesaria su colocación dentro del área del portal de salida (Figura 3.5.2).



**3.5.2 Instalaciones de Subestación Eléctrica en Portal de Salida**

## CONCLUSIONES

- El proyecto Túnel Emisor Oriente como objetivo principal el reforzar el sistema de drenaje actual en la Ciudad de México y eliminar o disminuir fuertemente riesgos de colapsos futuros en dicho sistema, que provocaría inundaciones catastróficas lo que implica que este proyecto es de carácter casi emergente y de alta complejidad en su ejecución.

Se debe tener toda la información básica, tomar la experiencia en este tipo de obras de ingeniería (Túnel Emisor Central, Túnel Rio de la Compañía, Línea 12 del Metro), para reducir al mínimo los imprevistos que este tipo de proyectos genera.

- El proyecto como tal comprende la construcción de 23 lumbreras, 18 con diámetros de 12 m, 5 con diámetros de 16 m y una longitud de túnel de 62 km. El objetivo último de la ingeniería y de la construcción es proporcionar una obra que cumpla con su objetivo de funcionalidad y seguridad, en servicio para un tiempo determinado.
- Muchas de las catástrofes tanto materiales como humanas, son debido a que no son atendidas por diferentes motivos, es por ello que proyectos como el Túnel Emisor Oriente debe ser antecedente como obra de mitigación para otros problemas no solo en el desalojo de aguas residuales si no también en problemas de otros ámbitos de la ingeniería.
- .Esta obra está catalogada como de carácter social (no genera capital al administrador) y con una vida útil de 50 años, que beneficiara a la ciudad crecientemente en desarrollo económico y a nivel demográfico, en reduciendo el problemas de desalojo de aguas residuales causantes de

inundaciones e encharcamientos que actualmente generan afectaciones en la temporada de lluvias.

- Se debe contar con la ingeniería básica y conocimiento del tipo de suelo en todo el trazo del Túnel Emisor Oriente, para hacer los análisis y diseños de los procesos constructivos empleados en lumbreras, túneles y obras adicionales.
- Muchos procesos en la ejecución de la obra tienen innovaciones tecnológicas en los equipos y mejoras a los procedimientos constructivos a los cuales no debe de estar ajeno a lo que se esta desarrollando en otras partes del mundo a nivel de construcción de túneles, que si bien el proyecto es la obra en su tipo mas importante del mundo incluyen muchos factores en cuanto a características antes mencionadas que en nuestro país no han sido desarrolladas.
- El presente trabajo de investigación tiene la más firme intención de presentar una referencia importante de consulta de carácter especializada, que contenga información básica del procedimiento en la construcción de portal de salida, y las obras adicionales necesarias que complementan dicho concepto, así como ofrecer datos de carácter técnico acerca de los equipos utilizados tanto en el proceso de excavación en lumbreras y túneles.
- Como se ha mencionado, el Proyecto Túnel Emisor Oriente es considerado en su tipo la obra más importante a nivel mundial, lo que ha dado un gran impulso a desarrollar personal capacitado en la ejecución de túneles y obras subterráneas, que fue abandonado por la poca ejecución de obras de este tipo.



#### IV. BIBLIOGRAFÍA

**CORNEJO ALVAREZ, Laureano.** Excavación Mecánica de Túneles. Madrid España: Editorial Rueda, 1988, p. 129-218.

**TAPIA GÓMEZ, Ana.** Topografía Subterránea. México D.F.: Editorial Alfaomega, 1999, p. 59-63.

**LÓPEZ JIMENO, Carlos.** Ingeniería de Túneles Libro 1. Madrid España: Entorno Grafico, S.L., 1999, p.61.

**MEGAW, T.M. y BARTLETT J.V.** Túneles. Planeación Diseño y construcción. Volumen 1. México D.F.: Limusa Editores, 1995, p. 82.

**MEGAW, T.M. y BARTLETT J.V.** Túneles. Planeación Diseño y construcción. Volumen 2. México D.F.: Limusa Editores, 1990, p. 267.