



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**AVANCE EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EMISOR
ORIENTE PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA DE
INUNDACIONES EN EL ORIENTE DEL VALLE DE
MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JUAN BAUTISTA MORENO

ASESOR:

DR. DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ.



FES Aragón

MÉXICO 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mis hermanos por todo el apoyo y motivación recibida.

A mis hijas por ser motivo de superación.

A mi esposa por apoyarme y animarme.

CONTENIDO	PAG.
OBJETIVO DEL PROYECTO.....	3
A.- ANTECEDENTES.....	4
A.1.- Época antigua.....	4
A.2.- Época colonial e independencia.....	5
A.3.- Época moderna.....	5
A.4.- Situación actual.....	5
A.5.- Hundimientos.....	6
A.6.- Clima.....	8
CAPÍTULO 1.- INGENIERÍA BÁSICA Y PROYECTO EJECUTIVO.....	9
1.1.- Ingeniería básica.....	9
1.2.- Anteproyecto.....	10
1.3.- Proyecto ejecutivo.....	10
1.3.1.- El contenido de un proyecto ejecutivo.....	11
1.3.2.- Reconocimientos de campo.....	12
1.3.3.- Estudios complementarios de geología y geotecnia.....	12
1.3.4.- Geotecnia para túneles.....	13
1.3.5.- Geotecnia para lumbreras.....	13
1.3.6.- Geología del trazo.....	14
1.3.7.- Aspectos geológicos del TEO.....	16
1.3.8.- Aspectos geotécnicos del TEO.....	17
1.3.9.- Aspectos geohidrológicos del TEO.....	17
1.3.10.- Lumbreras.....	18
1.3.11.- Túnel.....	19
1.3.12.- Estructuras superficiales.....	21
1.3.13.- Objetivos del sistema de auscultación.....	21
1.3.14.- Criterios de diseño geotécnico del túnel.....	22
1.3.15.- Criterios de diseño geotécnico de lumbreras.....	22
1.3.16.- Criterios de análisis y diseño estructural.....	22
1.4.- Alcances del proyecto estructural.....	23
1.4.1.- Memorias de cálculo.....	24
1.4.2.- Planos.....	25
1.4.3.- Materiales.....	25
1.4.4.- Topografía.....	26
1.4.5.- Planos topográficos.....	26
1.4.6.- Informe final.....	26
1.4.7.- Especificaciones de construcción.....	27
1.4.8.- Catálogo de conceptos.....	27
1.4.9.- Información técnica del proyecto a entregar.....	27

CAPITULO 2.- LUMBRERAS.....	30
2.1.- Definición.....	30
2.2.- Ubicación.....	31
2.3.- Diámetros.....	32
2.4.- Profundidad.....	33
2.5.- Procedimientos constructivos.....	34
2.5.1.- Método con muro milán.....	34
2.5.2.- Método muro milán + método convencional.....	49
2.5.3.- Método convencional.....	66
2.6.- Portal de salida del TEO.....	79
 CAPITULO 3.- TÚNEL.....	 80
3.1. Descripción general.....	80
3.2. Descripción de los equipos.....	81
3.3. Preliminares a la excavación del túnel.....	82
3.3.1.- Obra civil.....	82
3.3.2.- Instalaciones complementarias.....	83
3.4. Prearmado en superficie, bajada y ensamble al fondo de la lumbrera	83
3.4.1.- Ensamble de la primera sección de la máquina tuneleadora	84
3.4.2.- Cabeza cortadora.....	85
3.4.3.- Sección posterior de la máquina tuneleadora.....	86
3.4.4.- Puesta en marcha.....	88
3.5. Funcionamiento y operación.....	89
3.6. Revestimiento primario del TEO.....	93
3.7. Extracción de los equipos.....	95
3.8. Revestimiento definitivo.....	109
3.9. Frentes de trabajo y estatus de la construcción del TEO.....	110
 B.- CONCLUSIONES.....	 111
 C.- BIBLIOGRAFÍA.....	 113
 D.- GLOSARIO.....	 115

OBJETIVO DEL PROYECTO

Describir las etapas para llevar a cabo la construcción del Túnel Emisor Oriente con una longitud de 62 km, mediante 6 frentes de avance.

Donde se identifiquen los aspectos técnicos para su planeación, proyecto y ejecución de acuerdo a las normas mexicanas vigentes.

Exponer el avance constructivo del Túnel Emisor Oriente.

A.- ANTECEDENTES.

A.1.- ÉPOCA ANTIGUA.

Las condiciones de la población que habita actualmente la Cuenca del Valle de México son consecuencia de decisiones históricas que se remontan a la fundación de Tenochtitlán.

En época de lluvias, la Cuenca se convertía en un solo lago. Esta condición climatológica es causa de periódicas inundaciones que desde la fundación de Tenochtitlán han tenido que enfrentar sus habitantes.



Lagos del Valle de México en el Siglo XVI.

A.2.- ÉPOCA COLONIAL E INDEPENDENCIA.

Durante el colonialismo se estableció en el Siglo XVI, la capital de la Nueva España en este mismo lugar.

A partir del Virreinato la estrategia fue abrir salidas artificiales a la cuenca. En los siglos XVII y XVIII, se comenzó el tajo de Nochistongo, inaugurado hasta 1788, 151 años después de su inicio.

Desde el Siglo XVIII, el drenaje, descarga sus aguas residuales a la cuenca del Río Tula en el estado de Hidalgo, utilizadas en ocasiones para la agricultura.

A.3.- ÉPOCA MODERNA.

En 1900 entró en servicio el Gran Canal del Desagüe, para el cual se construyó el primer túnel de Tequixquiac, obra complementada con un segundo Túnel que inició operaciones en 1947.

Por otra parte, las grandes obras de infraestructura de drenaje (emisores del Poniente y el Central) construidos entre 1962 y 1975 se diseñaron para la conducción de aguas pluviales y se consideraron en su momento, como la solución definitiva a los problemas de inundaciones de la zona urbana del Valle de México.

A.4.- SITUACIÓN ACTUAL.

En 1975 la población de la zona metropolitana era de 10 millones de habitantes y la capacidad de desalojo era de 280 metros cúbicos por segundo, para el año 2007 ésta se redujo a sólo 165 metros cúbicos por segundo, con casi el doble de población, esto se debió principalmente a la falta de planeación urbana o al asentamiento de la mancha urbana en sitios que antes formaron parte del sistema lagunar provocando que las obras de abastecimiento de agua potable y drenaje quedaran rebasadas, por lo cual se requirió servicios urbanos cada vez más amplios y complejos, entre los que destaca el sistema de drenaje, siendo necesaria la implementación de acciones de emergencia para la inspección y reparación del Sistema de Drenaje Profundo, definiéndose la construcción de un nuevo Túnel Emisor para disponer de una capacidad total de desalojo de 315 metros cúbicos sobre segundo y permitir el mantenimiento alternado con el Túnel Emisor Central.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) tiene características únicas, es una de las concentraciones urbanas más grandes del mundo, es el principal centro político y económico del país, produce el 32 por ciento del PIB (Producto Interno Bruto) nacional y concentra al 20 por ciento de la población nacional

Ubicada en una cuenca cerrada sobre lo que originalmente fue un sistema lagunario integrado por cinco grandes lagos, Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco, alcanza una superficie de 1894 kilómetros cuadrados la cual representa casi el 22 por ciento

del área de la cuenca del Valle de México y el 95 por ciento de la superficie que ocupaban los lagos en la cuenca en el siglo XVI.

Es claro que, en materia de agua potable y drenaje, sin una adecuada planeación urbana no habrá obra de infraestructura suficiente, por lo que la planeación del desarrollo de infraestructura debe ser atendida bajo una estrecha coordinación con las dependencias federales, estatales y municipales responsables del desarrollo urbano.



Crecimiento de la mancha urbana sobre los lagos del Valle de México.

En materia de agua potable el área metropolitana se abastece de pozos de sus propios acuíferos y desde hace más de 30 años importa agua de otras cuencas como la de Lerma y la de Cutzamala, proveniente de los Estados de México y Michoacán respectivamente.

La importación de agua de otras cuencas fue motivada para eliminar la sobreexplotación del agua de los acuíferos del Valle de México y, así, evitar se continúe con los hundimientos y los daños a la infraestructura.

A.5.- HUNDIMIENTOS.

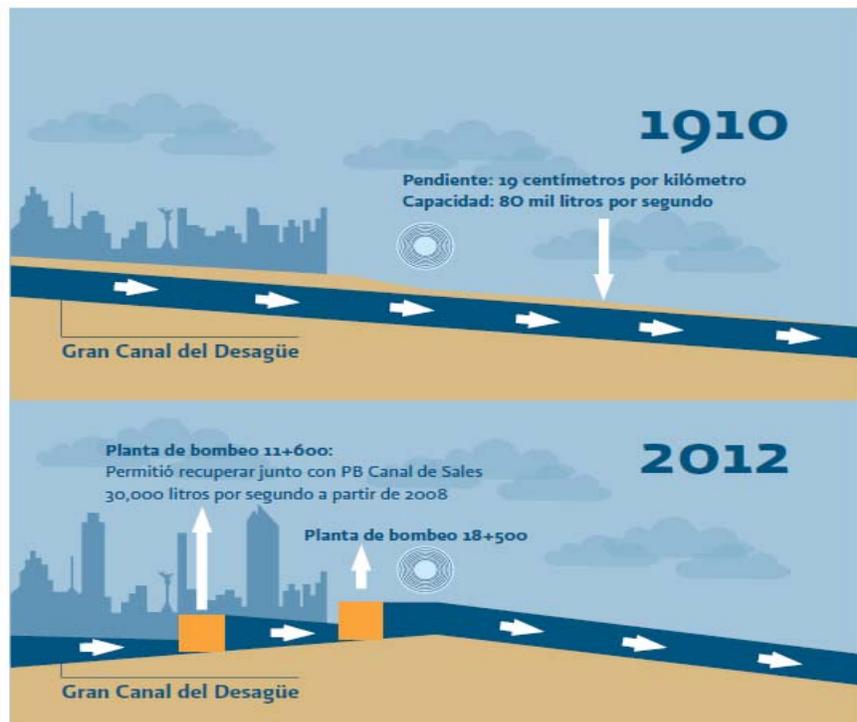
El suelo del valle está formado en gran parte, por arcillas blandas con muy alto contenido de agua, altamente deformables y compresibles. La extracción de agua para abastecimiento del consumo de la ciudad, ha propiciado hundimientos acelerados y diferenciales que afectan fuertemente a la infraestructura de la ciudad.

Los Ríos que cruzan en el sentido poniente-oriente la Ciudad de México, tales como los Ríos de los Remedios, Río Tlalnepantla, Río Consulado, Río de la Piedad, Río Becerra, Río Tacubaya, Río Churubusco, Río San Ángel, Río Mixcoac, Río Magdalena, Río San Buenaventura, prácticamente han desaparecido como corrientes superficiales en su lugar, se han construido conductos cerrados que también han sido afectados por los hundimientos regionales y locales del subsuelo, reduciendo su capacidad de conducción y evacuación de las redes primarias que vierten a ellos por gravedad o bombeo a través de grandes plantas.

Las lagunas y vasos de regulación existentes en la parte plana de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como las redes primarias de drenaje superficial, también se han visto afectadas por los hundimientos locales y regionales, por lo que se ha reducido su capacidad de desalojo, afectando también a las redes secundarias, con lo que se incrementa la cantidad de zonas bajas susceptibles de inundarse.

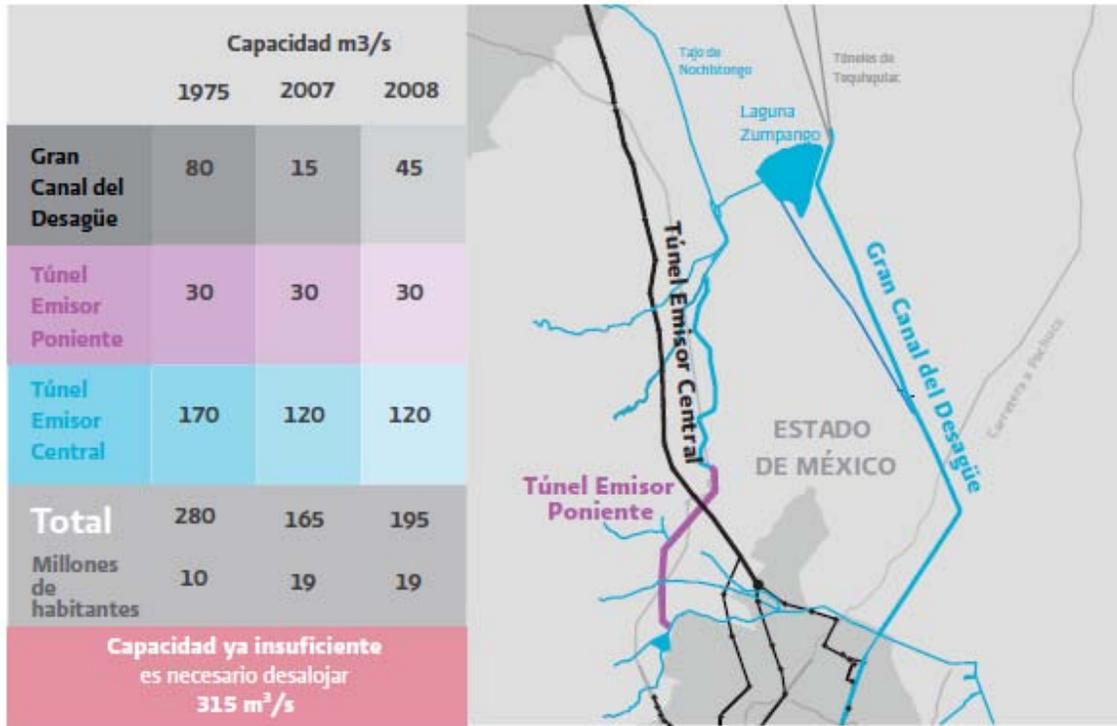
El Emisor Central era el único conducto principal por el que lograban salir las aguas del Valle de México, ya que el histórico Gran Canal del Desagüe, anteriormente responsable de tal tarea, ha perdido pendiente hidráulica por causa del hundimiento regional que aqueja a la Ciudad de México y con ello buena parte de su capacidad de desalojo.

El fenómeno de hundimiento en la ZMVM ha afectado de manera particular al Gran Canal del Desagüe por lo que en los últimos años se ha incrementado la dependencia del Sistema de Drenaje Profundo, al cual no fue posible darle mantenimiento entre 1992 y 2007. Este hecho, como es evidente, expone a la ZMVM a inundaciones de consecuencias severas en caso de una falla del Túnel Emisor Central, columna vertebral del sistema de drenaje de esa zona.



Pérdida de pendiente y de capacidad del Gran Canal del Desagüe.

En la figura siguiente se aprecia la pérdida de capacidad de desalojo del sistema de drenaje a partir de la inauguración del Túnel Emisor Central en 1975, lo cual es acentuado con el incremento de la densidad urbana y su infraestructura.



Capacidad de desalojo de agua residual y de lluvia del sistema de drenaje en el Valle de México

A.6.- CLIMA.

Es un hecho que la intensidad de las lluvias, y su distribución en el espacio y tiempo han cambiado severamente; las lluvias ahora son más concentradas, de mayor duración y, en consecuencia, de mayor intensidad, llamadas recientemente atípicas.

CAPÍTULO 1.- INGENIERÍA BÁSICA Y PROYECTO EJECUTIVO.

Conocida la problemática de la disminución de capacidad de desalojo de las aguas pluviales fuera del Valle de México por el hundimiento de la Zona Metropolitana del Valle de México que implica la posibilidad de provocar pérdidas ó costos adicionales importantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, ante una posible inundación, debido a que cuando se presentan lluvias atípicas se obliga a operar el Emisor Central a su máxima capacidad teniendo el riesgo de falla del mencionado.

Se estableció la necesidad urgente de mitigar esta situación por el peligro que representa en el orden social, económico, publico, económico, de salubridad, seguridad y el medio ambiente, para lo cual se requirió la construcción de un Túnel adicional con capacidad adecuada, el cual además podrá permitir el mantenimiento en ambos drenajes, para una optima operación del sistema.

1.1.- INGENIERÍA BÁSICA.

Conforme lo establece la Ley de Obras Publicas y Servicios Relacionados con las Mismas y su reglamento vigentes, en el artículo 21, inciso I, para ejecutar una obra pública es necesario previo a la licitación que la dependencia cuente con un modelo conceptual.

Para lo anterior fue necesario un estudio hidrológico, el cual fue realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, de dicho estudio, resultó un requerimiento de diámetro de 7.00 metros, para garantizar el desalojo de las aguas pluviales y negras, considerando una tormenta de diseño de 50 años, como periodo de retorno.

La Comisión Federal de Electricidad elaboró a solicitud de la Comisión Nacional del Agua, los estudios de factibilidad de la mejor trayectoria para el Túnel Emisor Oriente y elaborar la ingeniería básica que sirvió de base para el proyecto ejecutivo del túnel.

La ingeniería básica se elabora con la finalidad de que se integre un diagnóstico que permita llevar a cabo un análisis detallado, el cual es complementado durante el desarrollo del proyecto ejecutivo.

La información de la Ingeniería Básica puede incluir estudios de:

- Topografía.
- Geología y geohidrología.
- Estudios de mecánica de suelos y geotecnia.
- Estudios hidráulicos e hidrológicos.
- Diseños conceptuales de lumbreras.
- Diseño conceptual del túnel.

Como resultado de los estudios de mecánica de suelos en la ingeniería básica por CFE se definieron los siguientes tipos de materiales:

TIPO	I	II	III	IV
Descripción	Blando	Duro	Muy duro	Rocas
	Arcilla	Tobas poco cementadas	Tobas empacadas con conglomerados y piroclastos	Basalto
	Arcilla limosa	Limos arcillosos	Limo arenoso muy cementado	Basalto vesicular
	Arcilla arenosa	Arenas arcillosas	Arenas arcillosas cementadas	Brecha volcánica
	Intercalación de capas de lentes de arena y ceniza volcánica y lentes duros	Arenas limosas	Arenas limosas cementadas	Toba cementada
		Limos arenosos	Arcilla gris verde muy dura	Lahares

Sin embargo es necesario realizar estudios complementarios de exploración y estudios geotécnicos para afinar y desarrollar la ingeniería y los diseños de todas las estructuras que integrarán el proyecto ejecutivo.

1.2.- ANTEPROYECTO.

Revisada la ingeniería básica y seleccionada la alternativa factible con la definición de los esquemas de obras del túnel y las lumbreras, se procedió a la integración del anteproyecto correspondiente, desarrollando para ello el dimensionamiento de la infraestructura, junto con los esquemas por tramos, la sección con todos sus detalles y dimensiones y en un perfil, así como una descripción y justificación.

Debido a la longitud del trazo se elaboran esquemas por tramos, la sección con todos sus detalles y dimensiones, en un perfil.

1.3.- PROYECTO EJECUTIVO.

La base de un proyecto ejecutivo es la ingeniería básica, la cual contiene los datos relevantes mediante los cuales se establecen los parámetros de diseño final.

El desarrollo de un proyecto ejecutivo debe incluir planos, memorias, especificaciones, catálogos y todo lo necesario para ejecutar la obra, debiéndose apegar a la normatividad vigente.

El proyecto considera la ingeniería básica para la definición de las dimensiones y procedimientos constructivos de las lumbreras de “Montaje” con diámetro suficiente para permitir el armado y ensamblado de los equipos tuneadores en el fondo y otras nombradas “lumbreras de paso” para permitir el mantenimiento de los equipos entre otras actividades, así como del portal de salida, sobre el río el Salto.

La lumbrera de arranque, fue la lumbrera L-2 del Túnel interceptor Río de los Remedios, denominada Lumbrera 0 para el Túnel Emisor Oriente.

En relación al túnel, el proyecto contempló el diseño del revestimiento primario y definitivo, ambos de concreto reforzado, para obtener un diámetro final de 7.00 m.

Se definió que el trazo fuera paralelo al Gran Canal hasta la Laguna de Zumpango, continua al norponiente en los límites de la Laguna de Zumpango, para descargar cerca de la misma zona del Emisor Central.

1.3.1.- EL CONTENIDO DE UN PROYECTO EJECUTIVO.

Puede contener los siguientes objetivos particulares, de manera enunciativa más no limitativa:

- Contar con estrechas y fluidas relaciones de trabajo y colaboración con las partes de toma de decisiones involucradas.
- Tomar en cuenta e incorporar en su caso los avances tecnológicos en obras subterráneas para analizar las opciones de procedimientos y equipos que mejor se adapten a los requerimientos del proyecto.
- Elaborar los estudios de impacto ambiental requeridos por las normas y reglamentos vigentes en esta materia.
- Llevar a cabo, los trabajos de investigación geológica, geofísica, geohidrológica y geotécnica de detalle adicionales para establecer los modelos estratigráficos, propiedades índice y mecánicas de suelos y rocas, rangos probables de variación, acotación de incertidumbres geológico-geotécnicas, investigación detallada de zonas de transición y/o frentes mixtos, condiciones geohidrológicas y piezométricas a lo largo del trazo.
- Efectuar los análisis geotécnicos detallados de los elementos que conformarán el túnel, lumbreras y obras auxiliares e inducidas.
- Realizar el análisis y diseño estructural de los elementos que conforman los túneles, lumbreras y obras inducidas.
- Elaborar los planos de proyecto ejecutivo, especificaciones generales y particulares y toda la documentación necesaria para la correcta interpretación y ejecución de las obras.
- Elaborar los Manuales de conservación rutinaria y periódica de las estructuras.

1.3.2.- RECONOCIMIENTOS DE CAMPO.

Con el fin de contar con una evaluación que permita afinar los alcances de los estudios complementarios, es recomendable realizar visitas técnicas a los sitios de la obra, con la finalidad de identificar y evaluar las condiciones físicas, donde se realizarán los trabajos de campo requeridos en las diversas áreas del proyecto ejecutivo.

1.3.3.- ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA.

En este tipo de proyecto es necesario realizar exploración y estudios geotécnicos adicionales y/o complementarios para definir y desarrollar la ingeniería definitiva y los diseños de todas las estructuras que integran un proyecto ejecutivo.

Para lo cual se establecen especificaciones de proyecto, para la realización de los estudios básicos complementarios.

Así mismo se deben incluir estudios de permeabilidad, donde el trazo lo requiera, cerca de la laguna de Zumpango ó cuando el túnel se encuentre debajo de cauces superficiales.

Donde existe la probabilidad de aportación de agua a las obras en proceso por las condiciones de avance y en función de las permeabilidades de los materiales, se puede diseñar un sistema de bombeo debiendo estimarse el gasto probable y el sistema de manejo de aguas subterráneas o un tratamiento del terreno.

En el área de geotécnica, pueden realizarse:

- Sondeos directos.
- Sondeos de cono eléctrico.
- Sondeos de piezocono con medición de presión de poro.
- Estudios geofísicos mediante las técnicas de refracción sísmica.
- Sondeos eléctricos verticales.
- Tendidos electromagnéticos.
- Reflexión sísmica.
- Georadar o radar de penetración terrestre.
- Ensayes CROSS-HOLE, tomografía eléctrica.
- Magnetometría.
- Instalación de estaciones piezométricas.
- Pruebas de laboratorio de mecánica de suelos y de mecánica de rocas.

Las pruebas de laboratorio permiten la obtención de las propiedades índice y mecánicas de suelos y rocas, para tales trabajos existen laboratorios certificados ante la EMA (Entidad mexicana de acreditación).

En caso de detectarse roca se deberá realizar muestreo de núcleos.

1.3.4.- GEOTECNIA PARA TÚNELES.

Para el caso de túneles se deberá considerar lo siguiente:

- Estimación de los valores de deformación del revestimiento definitivo durante su vida útil.
- Análisis de asentamientos inducidos por la construcción del túnel tanto en su estructura como en la superficie del terreno en particular en zonas urbanas o donde existan instalaciones y obras de infraestructura, como es el caso del Gran Canal del Desagüe, tomando en cuenta los factores que intervienen en este fenómeno, como velocidad de avance de la excavación, presión frontal, inyección del espacio anular dejado por el escudo durante el avance y deformación del soporte primario.
- Análisis del efecto de consolidación por bombeo y por sobrecargas basándose en el conocimiento de las condiciones hidrológicas que permitirán determinar la distribución de los esfuerzos efectivos en el sitio.
- Presiones de contacto suelo-revestimiento por interacción suelo estructura de soporte.
- Efectos sísmicos, atendiendo a la fuerte variación en la respuesta dinámica de las diferentes unidades geotécnicas.
- Definición de las características del ademe a base de dovelas y revestimiento definitivo, compatibles con las condiciones antes mencionadas.
- Definición del tipo de equipo idóneo (excavación y colocación de revestimiento) para las condiciones geotécnicas del sitio y de los procedimientos de construcción recomendables que permitan garantizar que las deformaciones inducidas estén dentro de los valores tolerables incluyendo procedimientos para condiciones especiales que puedan presentarse a lo largo del tramo y que no hayan sido detectadas por la exploración.

El diseño de los morteros de inyección de contacto (dovela-suelo), incluyendo el volumen, presión de inyección y tiempo de fraguado.

1.3.5.- GEOTECNIA PARA LUMBRERAS.

Las características mecánicas, físicas y las propiedades índices de los materiales existentes son consideradas de acuerdo a la ubicación de las lumbreras.

Es de gran utilidad un perfil estratigráfico para el diseño de las lumbreras.

El diseño geotécnico de las lumbreras debe incluir como mínimo de forma enunciativa mas no limitativa, lo siguiente:

- Diagramas de esfuerzos y empujes.
- Análisis de estabilidad y estanqueidad de las paredes de la excavación.
- Revisión de la estabilidad de la zanja para el muro Milán.
- Análisis de estabilidad del fondo de las excavaciones ante los mecanismos de: falla de fondo, falla por subpresión y falla por pateo de la estructura de contención, según el caso.
- Análisis geotécnico de lumbrera utilizando método del elemento finito.
- Análisis de sobre compensación a corto plazo (condiciones de construcción).
- Análisis de sobre compensación o flotación a largo plazo (condiciones medias de operación).
- Análisis de los efectos de consolidación (fricción negativa).
- Análisis bajo cargas y deformaciones inducidas por sismo.
- Análisis de estabilidad de taludes, cimentaciones de obras superficiales o cualquier otra estructura cercanos a la lumbrera.

Los proyectos deberán incluir el procedimiento constructivo de las lumbreras, planos de proyecto geométricos y estructurales debidamente firmados por un responsable de seguridad estructural con registro vigente, memorias de cálculo, catálogos de conceptos y especificaciones de construcción.

Para el análisis y diseño de las lumbreras, es indispensable contar con un programa avalado por la dependencia.

1.3.6.- GEOLOGÍA DEL TRAZO.

La Cuenca de México es una altiplanicie rodeada de montañas volcánicas, se localiza en la parte centro-oriente de la Faja Volcánica Transmexicana entre los meridianos 98° 15'- 99° 30' y los paralelos 19° 00'- 20° 15' en distancias cortas mide en dirección norte-sur unos 90 km y en la dirección este-oeste la parte norte casi con 100 km, su área es aproximadamente de 9,600 km². La elevación de sus planicies es de 2,240 m.s.n.m. en la parte sur y 2390 m.s.n.m. en la norte; la cuenca incluye al Distrito Federal y parte de los Estados de México, Hidalgo y Tlaxcala .

La Cuenca de México se formó al cerrarse el antiguo Valle de México, por el sur, como resultado de una intensa actividad volcánica, la cual dio origen a la sierra de Chichinautzin, estructuras conformadas por rocas andesítico-basálticas.

El nuevo conjunto montañoso interrumpió el drenaje existente, debido a la acumulación de lavas y productos volcanoclásticos; depósitos que al alcanzar una altura considerable formaron una presa natural, estas nuevas condiciones favorecieron la existencia de lagos y su posterior azolvamiento paulatino, de forma paralela tuvieron lugar eventos, volcánicos cortos y locales.

La sección geológica del túnel interpretada por la ingeniería básica disponible a la fecha, revela los paquetes que conforman la secuencia estratigráfica integrada por los siguientes depósitos:

- Lacustre
- Aluviales
- Tobas, lavas y rocas volcánicas
- Abanicos aluviales

Para acelerar la conclusión de la obra, se dividió el Túnel Emisor Oriente en seis grandes frentes o tramos, los cuales se construirán de manera independiente, para lo cual se requerirán el mismo número de equipos para realizar la excavación.

La obra estará conformada por las siguientes etapas o frentes de trabajo:

Frente de trabajo	Cadenamientos		Lumbrera		Longitud en metros
	Inicial	Final	Inicio	Final	
Tramo 1	00+000 al 10+050		De L-0 a L-5		10,050
Tramo 2	10+050 al 21+632		De L-5 a L-10		11,582
Tramo 3	21+632 al 30+790		De L-10 a L-13		9,158
Tramo 4	30+790 al 40+992		De L-13 a L-17		10,202
Tramo 5	40+992 al 49+762		De L-17 a L-20		8,770
Tramo 6	49+762 al 62+417		De L-20 al portal de salida		12,655

Tramo 1

Este tramo es de la lumbrera 2 del Túnel Interceptor Río de los Remedios (TIRR) a la lumbrera L-5 del TEO; la lumbrera 2 del TIRR se le denominó lumbrera L-0 del TEO, localizada en Anillo Periférico Norte y Av. Gran Canal, Delegación Gustavo A. Madero en el Distrito Federal. La lumbrera L-0 se utilizará para el ensamble de un equipo, el cual será utilizado para la excavación del túnel con una longitud aproximada de 10.05 kilómetros, del cadenamiento 0+000 al 10+050; las lumbreras intermedias serán de diámetro menor.

Tramo 2

Este tramo inicia en la lumbrera L-5 y termina en la L-10, se localiza en la intersección del Gran Canal, Dren General del Valle y Av. Carlos Hank González, en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México; la lumbrera L-5 será de diámetro interior mínimo o el necesario para bajar y ensamblar el equipo excavador, el cual será utilizado para la excavación del túnel con una longitud aproximada de 11.58 kilómetros, del cadenamiento 10+050 al 21 +632; las lumbreras intermedias serán de diámetro menor.

Tramo 3

Este tramo va de la lumbrera L-10 a la lumbrera L-13 del TEO, la L-10 será de diámetro necesario para el montaje del equipo excavador, el cual será utilizado para la excavación del túnel con una longitud aproximada de 9.16 kilómetros, del cadenamiento 21+632 al 30+790; las lumbreras intermedias serán de diámetro menor.

Tramo 4

Este tramo va de la lumbrera L-13 a la lumbrera L-17, la L-13 será de diámetro interior mínimo o el necesario para el descenso y ensamble del equipo. El túnel en este tramo tendrá aproximadamente 10.20 km y va del cadenamiento 30+790 al 40+992; las lumbreras intermedias serán de diámetro menor.

Tramo 5

Este tramo va de la lumbrera L-17 a la lumbrera L-20, la L-17 será de diámetro interior mínimo o el necesario para el descenso y ensamble del equipo. El túnel en este tramo tendrá aproximadamente 8.77 km y va del cadenamiento 40+992 al 49+762; las lumbreras intermedias serán de diámetro menor.

Tramo 6

Este tramo va de la lumbrera 20 al portal de salida, la L-20 será de diámetro necesario para la extracción del equipo. El túnel en este tramo tendrá aproximadamente 12.66 km y va del cadenamiento 49+762 al 62+417, la excavación se realizará del portal hacia la lumbrera 20 y se podrá realizar la rezaga hacia el portal; las lumbreras intermedias serán de diámetro menor.

1.3.7.- ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL TEO.

Conforme a los trabajos de ingeniería básica en materia de geología, corroborados a través de los estudios propios del proyecto ejecutivo, las características geológicas generales a lo largo del TEO son las siguientes:

En los primeros 3 kilómetros, el túnel atraviesa depósitos lacustres formados por arcillas típicas del Valle de México, poco consolidadas y con contenidos de agua entre 100 y 300 por ciento.

En los siguientes 31 kilómetros, se cruzan también depósitos lacustres, pero constituidos por arcillas limo-arenosas con bajos contenidos de agua (50 por ciento a 100 por ciento), con intercalaciones de 4 kilómetros de basalto y cenizas y 7 kilómetros de ceniza poco compactadas.

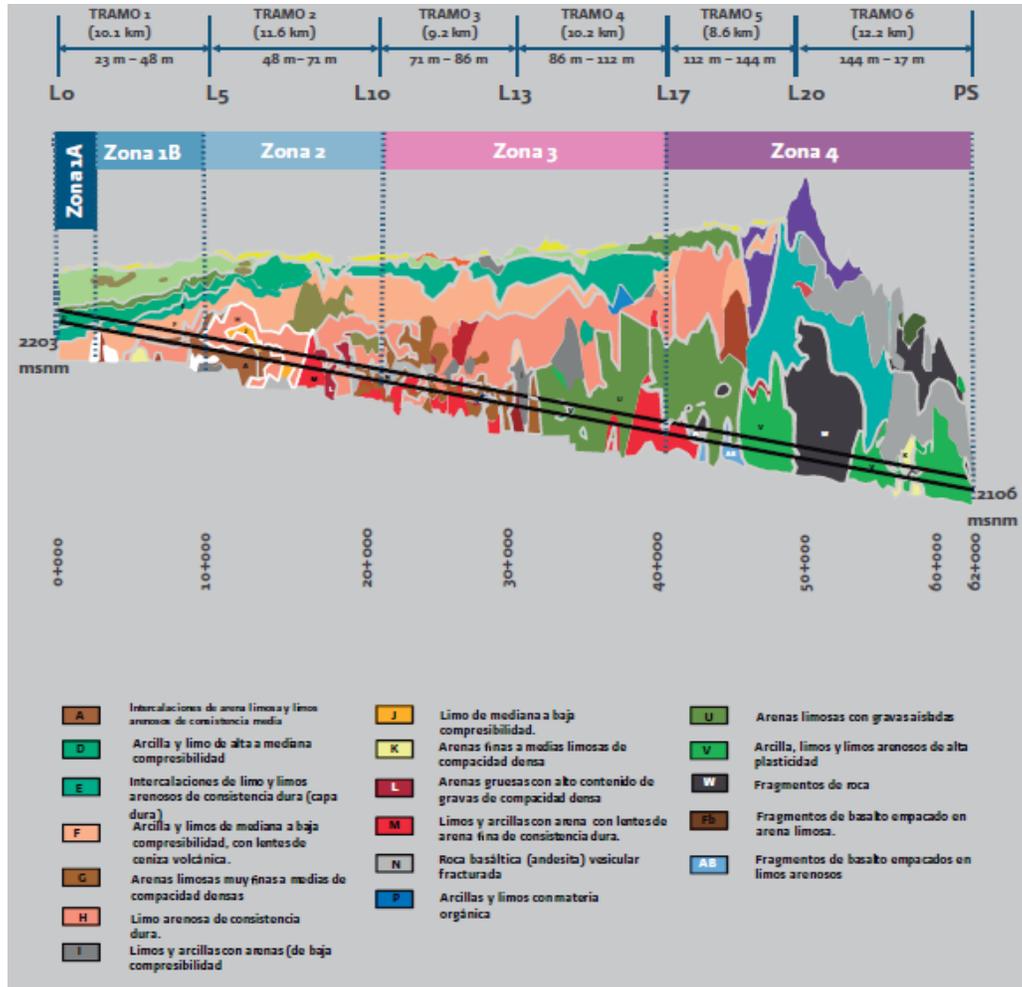
Del kilómetro 34 al kilómetro 39 la excavación será en arenas aluviales con gravas poco permeables.

Del kilómetro 39 al kilómetro 43 se encontrarán abanicos aluviales y el túnel continuará por vulcanitas pliocénicas hasta el kilómetro 46.

Finalmente, cortará los depósitos de arcillas lacustres, también pliocénicos, dispuestos en bloques tectónicos cubiertos por abanicos aluviales e intercalaciones de lavas basálticas próximas al portal de salida, así como rellenos de tobas y lavas duras no alteradas.

1.3.8.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL TEO.

Desde el punto de vista geotécnico, el trazo del TEO puede clasificarse en cuatro grandes zonas descritas en el siguiente perfil geológico.

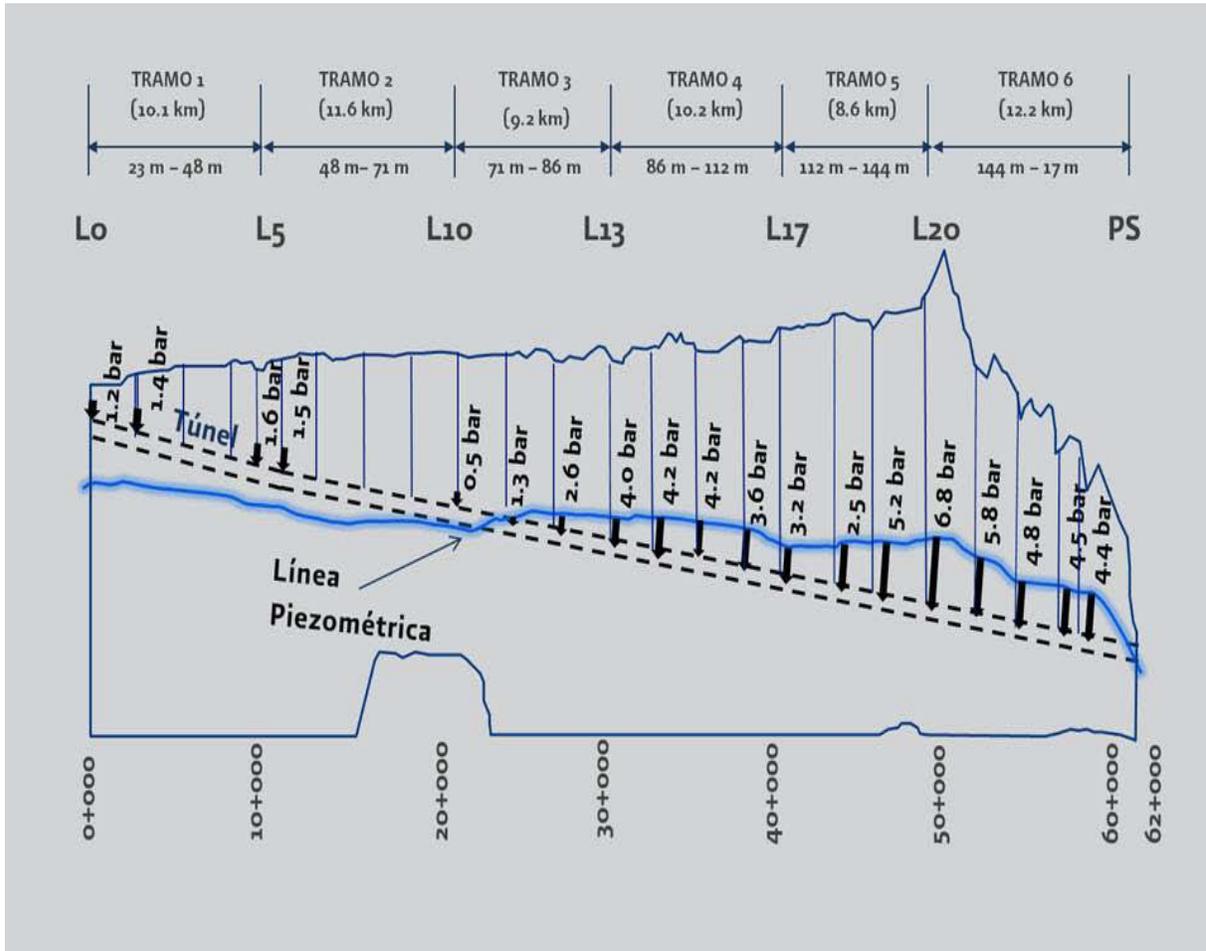


Perfil geotécnico a lo largo del Túnel Emisor Oriente.

1.3.9.- ASPECTOS GEOHIDROLÓGICOS DEL TEO.

Mediante exploraciones de campo se detectaron acuíferos con aportaciones importantes de agua en el tramo de las lumbreras 12 a 15, así como acuíferos inferiores confinados que presentan artesianismo en la zona de Huehuetoca (lumbreras 18 a 21), donde se tienen mediciones piezométricas cercanas a 7 bares actuando sobre el túnel, sin menoscabo del

tramo L-22 a L-24 donde se tienen presiones sobre el túnel de 4.2 bares (42 metros de columna de agua).



Líneas piezométricas en el trazo del TEO.

1.3.10.- LUMBRERAS.

Se consideraron 25 lumbreras, de las cuales 7 fueron utilizadas para el ingreso y montaje de los equipos tuneledoras y 18 se ocuparon como lumbreras de paso.

Las condiciones geológicas de los suelos y rocas durante el trazo, condicionaran las características del procedimiento constructivo.

Para el avance de la obra contarán los aspectos constructivos relevantes como que tipo de equipos y sistemas de construcción, para cumplir con la profundidad y verticalidad permitida, la sobre-excavación del fondo y el túnel y el control de filtraciones mediante bombeo.

Las lumbreras consideran revestimiento definitivo de concreto reforzado, con una resistencia definida por el proyecto.

En la fase de análisis estructural se deberán tomar en cuenta las etapas constructivas, diseñando los elementos estructurales que conformen las lumbreras (muros, losas, brocales, atraques de escudo, cuna, muro pantalla) para la combinación de acciones más desfavorable de la etapa constructiva.

Se deberá presentar el análisis y diseño estático y dinámico de las conexiones de llegada y salida del Túnel con las lumbreras tomando especial atención en las deformaciones diferenciales que pudieran presentarse entre túnel y lumbrera y la repercusión de estas deformaciones en la etapa de servicio.

El procedimiento de construcción de las lumbreras deberá contemplar los trabajos de mejoramiento del suelo a la llegada o salida de los equipos de excavación, lo anterior para garantizar la estabilidad de la excavación en la etapa de demolición del muro de la lumbrera.

Las lumbreras deben contar el proyecto de mejoramiento de suelo con el procedimiento constructivo, especificaciones y planos de detalles.

1.3.11. TÚNEL.

De acuerdo a la ingeniería básica se requirió un diámetro de 7 metros interior y un trazo inicial de 62 kilómetros de longitud.

Las tuneledoras utilizadas durante el proceso de excavación colocarán el revestimiento primario a base de piezas prefabricadas de concreto reforzado y el revestimiento definitivo será colado in situ y tendrá un espesor definido por el proyecto.

Según el trazo se localizan formaciones predominantemente aluviales y volcánicas, compuestas por limos arenosos y arcillosos, limos arena arcillosos, arenas, basaltos, etc.; en un tramo importante de estas formaciones se espera una significativa carga hidráulica al nivel del eje del túnel.

Como producto de las excavaciones se deberá contar con estudios de bancos de tiro potenciales para la disposición del material producto de excavación del túnel y realizar trámites ante las autoridades competentes (ejidales, municipales, estatales y/o federales) entre otras como las licencias, permisos y/o autorizaciones en materia de impacto ambiental para cada banco de tiro.

Toda ejecución de un proyecto cuenta con un plazo definido en su contrato, la ruta crítica y los hitos deberán cumplirse para asegurar el cumplimiento en la fecha de terminación de esta etapa del proyecto.

La revisión de la dependencia a los documentos técnicos consiste en la verificación que las bases de diseño cumplan con los requisitos indicados. Posteriormente se emite la memoria de cálculo y finalmente se realiza la revisión de los planos de diseño.

El proyecto incluyó la retroalimentación del sistema de auscultación.

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 y secundario garantice un diámetro interior final del túnel de 7.00 m.

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 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 éstos.

El diseño estructural del revestimiento primario a base de "dovelas" deberá diseñarse para soportar las acciones producidas por el suelo y/o roca, y garantizar una deformación diametral máxima permitida, (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 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 la distorsión máxima permisible, entendiéndose que la distorsión máxima es la diferencia entre diámetro máximo deformado y 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 considerar 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.

Por experiencia en otras obras, para el diseño del revestimiento primario dovelas no se aceptara más de una junta en cruz (entiéndase por juntas en cruz el punto al que concurran cuatro esquinas de dovelas), lo anterior para evitar posibles planos de falla.

El revestimiento definitivo deberá diseñarse para soportar las acciones producidas por el suelo y/o roca sin considerar la aportación de las dovelas y garantizar una deformación diametral permisible, para cargas a corto, mediano y largo plazos, además deberá contemplar los recubrimientos mínimos especificados en el capítulo referente a durabilidad de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal 2004.

El proyecto deberá incluir el procedimiento de fabricación, los planos geométricos y estructurales debidamente firmados por un responsable de seguridad estructural con registro vigente.

Debido a que el curado de las dovelas se realizó con vapor, se diseño el sistema de curado incluyendo los tiempos mínimos de elevación, mantenimiento de temperatura y enfriado de las piezas. Cumpliendo los alcances de las resistencias especificadas en el diseño y las normas aplicables.

Se realizó también la elaboración de estudios y autorizaciones en materia de impacto ambiental.

1.3.12.- ESTRUCTURAS SUPERFICIALES.

El análisis y diseño de estas estructuras se hará con apego al Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias que apliquen. Además, se seguirán las recomendaciones indicadas en el estudio de mecánica de suelos.

1.3.13.- OBJETIVOS DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN.

La instrumentación geotécnica es la herramienta que permite obtener información cuantitativa y cualitativa para adecuar y corregir las obras civiles de manera racional, obteniendo seguridad y eficiencia, por lo que se le reconoce una gran utilidad.

La instrumentación tiene como fin conocer el comportamiento de las estructuras, desde la etapa de construcción, para verificar hipótesis y criterios de diseño, para ajustar especificaciones de materiales y su colocación; y durante la vida útil de la estructura, para detectar oportunamente cualquier anomalía que se presente. Este conocimiento permite evaluar en todo momento las condiciones de seguridad de las estructuras, particularmente durante etapas específicas de construcción y después de la ocurrencia de cargas extraordinarias como pueden ser sismos o tormentas intensas y, sobre todo, observar la tendencia a largo plazo, durante la vida útil de la obra, de las variables que pueden indicar un comportamiento anormal.

Los trabajos de monitoreo se realizarán con la frecuencia que indique el proyecto de instrumentación.

1.3.14.- CRITERIOS DE DISEÑO GEOTÉCNICO DEL TÚNEL.

El proyecto geotécnico del túnel consideró las características mecánicas y las propiedades índices 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.

Dado que el revestimiento primario a base de dovelas permanecerá actuando solo hasta que se coloque el revestimiento definitivo, se debió 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.

Por cada tramo de túnel se consideró 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 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.

1.3.15.- CRITERIOS DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE LUMBRERAS.

Se consideraron las características mecánicas y las propiedades índices de los materiales existentes en el lugar donde se ubicarán cada una de las lumbreras.

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

- Diagramas de esfuerzos y empujes.
- Análisis de la falla de fondo por cortante.
- Revisión de la flotación final de la lumbrera.
- Revisión de la estabilidad de la zanja para el muro Milán.
- Análisis geotécnico de lumbrera utilizando el método del elemento finito.
- Análisis de estabilidad de talud, cercanos a la lumbrera.
- Procedimiento constructivo.
- El análisis que se utilice deberá ser avalado por la dependencia.

1.3.16.- CRITERIOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.

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

Las estructuras 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 cumpliendo 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 desfavorable, 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 Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

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 deberá analizarse y diseñarse en 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 del elemento finito.

1.4.- ALCANCES DEL PROYECTO ESTRUCTURAL.

El proyecto estructural no debe afectar el proyecto hidráulico y deberá respetar las dimensiones de las lumbreras, el túnel y estructuras complementarias las cuales son revisadas por estados **límite de servicio**. Se considerará como estado limite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de las estructuras, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas. Los valores específicos de estos estados limite, se apegarán a las Normas que se decida adoptar para el caso particular del túnel en sus revestimientos primario y secundario se tomará como estado limite de deformaciones a los valores indicados. (Se considerará como estado **límite de falla** cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de las estructuras o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga).

Este cálculo como en cualquier otro debe satisfacer requisitos de economía, estabilidad y resistencia de todo el sistema de drenaje.

Se consideraron acciones permanentes y accidentales, así como las diferentes combinaciones de ellas con probabilidad de ocurrencia no despreciable a que estarán sujetas las estructuras durante su vida útil.

Utilizando los métodos de análisis estático o dinámico más adecuado a cada caso, se obtendrán los elementos mecánicos de diseño en las secciones críticas de los diferentes elementos estructurales; se diseñarán los elementos estructurales y se darán las recomendaciones respectivas para su ejecución.

También se incluyó el diseño del revestimiento de: túneles, lumbreras, estructuras conexión y obras complementarias temporales para construcción.

En el diseño se determinarán las sobrecargas o descargas relativas, que soportará el revestimiento durante la construcción y su vida útil, especificando el espesor del soporte y de los materiales a utilizar.

Una vez concluidos los diseños requeridos por el proyecto se procederá a la elaboración de todas las especificaciones técnicas y constructivas.

Para las estructuras de concreto se determinarán las diferentes etapas de colado especificando tipo de concreto y características de los agregados, así como tipo de juntas a utilizar.

1.4.1.- MEMORIAS DE CÁLCULO.

Las memorias de cálculo deben contener como mínimo, lo siguiente:

Índice; antecedentes; objetivo; descripción del proyecto estructural; parámetros de diseño; materiales considerados en el diseño; análisis de cargas; empujes, cargas y acciones a que se encontrara sujeta la estructura (dinámicas y estáticas, accidentales y permanentes); análisis estructural (incluir archivos de entrada y salida de resultados) de los elementos que constituyen la estructura, junto con esquemas que muestren tanto la estructuración como tipificación de elementos; diseño indicando los elementos mecánicos más desfavorables por condición de carga y por combinación de estas, indicando la ubicación de los datos de diseño en el archivo de resultados del análisis para una pronta ubicación y revisión; croquis de armado y detallado de elementos; referencias bibliográficas.

1.4.2.- PLANOS.

Los planos estructurales se elaborarán detallando en el caso de las estructuras superficiales: cimentación, pisos, juntas de piso, juntas de construcción, columnas, trabes, contratraves, losas, muros de relleno, castillos, dalas, cerramientos, etc. , así como los planos del procedimiento constructivo. Para el caso de las lumbreras y Túnel se elaborarán planos de diseño y planos en donde se detalle el procedimiento constructivo.

Las estructuras se presentan en planos a escala y en los tamaños adecuados, conteniendo planta, cortes y detalles estructurales, así como el procedimiento constructivo, ubicación de cada unidad, datos de proyecto, lista de materiales referidos con números en círculos a los dibujos y cantidades de obra. Con unidades del sistema internacional y en idioma español.

Debe indicarse claramente en las notas de los planos, las pruebas que se deben realizar al concreto, al acero (soldaduras) terracerías (compactación) y la periodicidad o cantidad de éstas, de igual forma, ésta dentro de su alcance el realizar las pruebas durante la etapa de construcción.

Todo plano debe ir avalado por un director responsable de obra y corresponsable en seguridad estructural.

1.4.3.- MATERIALES.

El proyectista es el responsable de diseñar todas las estructuras que conforman el Túnel Emisor Oriente para que sean impermeables, resistentes a los agentes químicos presentes en el agua que se conducirá y en el suelo adyacente y que cumplan con las especificaciones por durabilidad. El proyecto ejecutivo deberá apegarse a lineamientos ecológicos en cuanto al uso de materiales de construcción.

En cuanto a materiales como concreto, agua y aceros se deberá diseñar y construir, tomando en cuenta la disponibilidad del mercado nacional y cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas NOM, que el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, SC, ONNCCE emite, en caso de materiales que estén fuera del alcance de la Norma Oficial Mexicana se deberá presentar la Norma correspondiente que deberán cumplir, se llevará a efecto una revisión por parte de la dependencia.

En cuanto a los diseños en estructuras metálicas de carácter permanente y expuesto a los ataques de sustancias agresivas presentes en el ambiente, se deberá especificar con detalle suficiente los sistemas de protección del acero y los procedimientos de aplicación correspondientes.

Se desarrolló el proyecto de mejoramiento de suelo en la entrada y salida de las lumbreras con el procedimiento constructivo por aplicar, especificaciones y planos de detalles necesarios en donde se describa gráficamente cada una de las etapas a seguir.

1.4.4.- TOPOGRAFÍA.

Es necesario contar con el equipo adecuado para campo y gabinete, así como con el personal técnico con experiencia en levantamientos topográficos similares a los requeridos, para lo cual es requisito indispensable conocer previamente al inicio de los trabajos el banco de nivel oficial que registrará la altimetría de los trabajos.

Por lo cual se deberán establecer bancos de nivel mediante clavo hilti, varilla o mojonera, seleccionando el más adecuado de acuerdo a las características del sitio y hasta donde sea posible se ubicará en guarniciones o estructuras que garanticen su permanencia y que sea fácilmente localizable colocando una placa metálica con la información del banco.

Los bancos de nivel deben quedar ubicados fuera de zonas futuras de trabajo y deberán ser identificados claramente asentando el número de banco y su elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm).

- a) Número del banco de nivel.
- b) Fecha de nivelación.
- e) Elevación (msnm).
- d) Banco de partida y su elevación.
- e) Coordenadas (X, Y).
- f) Croquis de localización.
- g) Tipo de banco establecido (monumento u objeto físico, indicando sus características).
- h) Fotografías (una de detalle y otra panorámica) donde aparezca el banco de nivel y se aprecie claramente la ubicación del mismo.

1.4.5.- PLANOS TOPOGRÁFICOS.

A partir de los resultados del levantamiento y con la información obtenida en los trabajos de cálculo de gabinete, se procederá a la formación y dibujo del plano topográfico en planta, a una escala legible y con curvas de nivel.

Se asentará la información de la poligonal de apoyo como son su cadenamamiento, vértices, ángulos, distancias, rumbos, bancos de nivel, etc., complementando la información con un croquis general de localización, cuadro de construcción de coordenadas de la poligonal de apoyo, notas aclaratorias, norte, simbología, cuadro de referencia, tenencia de la propiedad.

1.4.6.- INFORME FINAL.

Se elaborarán las memorias descriptivas, memorias de cálculo los planos ejecutivos correspondientes. Las especificaciones generales de ejecución de obras, las especificaciones particulares que se requieran y los planos de procedimientos constructivos detallados, a fin de que la obra sea realizada de acuerdo con el proyecto ejecutivo, así como con el programa y costos establecidos en el mismo.

Antecedentes: localización del trazo de túneles, lumbreras y conexiones, descripción de las unidades geotécnicas mencionando características generales e indicando las propiedades mecánicas de suelos y rocas, así como resultados del análisis geotécnico (especificando sección de excavación, métodos y criterios, equipos, procedimientos constructivos y demás características). En cada caso se especificará el criterio y propósito del mismo. Presentar memorias descriptivas de los trabajos realizados en forma clara y precisa (detallada), incluyendo la metodología y las técnicas empleadas y especificando la teoría utilizada y los criterios de obtención de los parámetros de diseño debidamente calculados según las fórmulas del análisis empleado y los programas de cómputo aplicados.

Las memorias de cálculo con una presentación adecuada para una ágil revisión, incluyendo datos de entrada y de salida de análisis numéricos.

Habiendo diseñado la solución más adecuada y atendidas las observaciones que la dependencia realice se procederá a elaborar los planos de proyecto, la cuantificación de materiales y cantidades de obra.

Los trabajos de ingeniería permitirán definir:

- a) Análisis y diseño estructural de todos los elementos de túneles y lumbreras, así como estructuras de conexión y obras auxiliares, complementarias e inducidas.
- b) Elaboración de los planos ejecutivos del proyecto geotécnico y estructural.
- c) Elaboración de las especificaciones generales y particulares de construcción incluyendo las de instrumentación y medición de su comportamiento.
- d) Recomendaciones sobre el mantenimiento del sistema del túnel de conducción.
- e) Elaboración del programa de ejecución y cantidades de obra.

1.4.7.- ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.

El proyecto ejecutivo incluirá las especificaciones generales de construcción, las especificaciones particulares y las especificaciones de calidad de los materiales a la entidad, para que previa revisión emita la conformidad.

1.4.8.- CATÁLOGO DE CONCEPTOS.

El proyecto ejecutivo incluirá el catálogo de conceptos y cantidades de obra, el cual será la base de la integración de los precios unitarios.

1.4.9.- INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO A ENTREGAR.

La información que comprenderá la ingeniería del Proyecto debe considerar lo establecido en los términos de referencia y en su caso en los Adenda y Características Particulares; la información a entregar será al menos, la indicada a continuación:

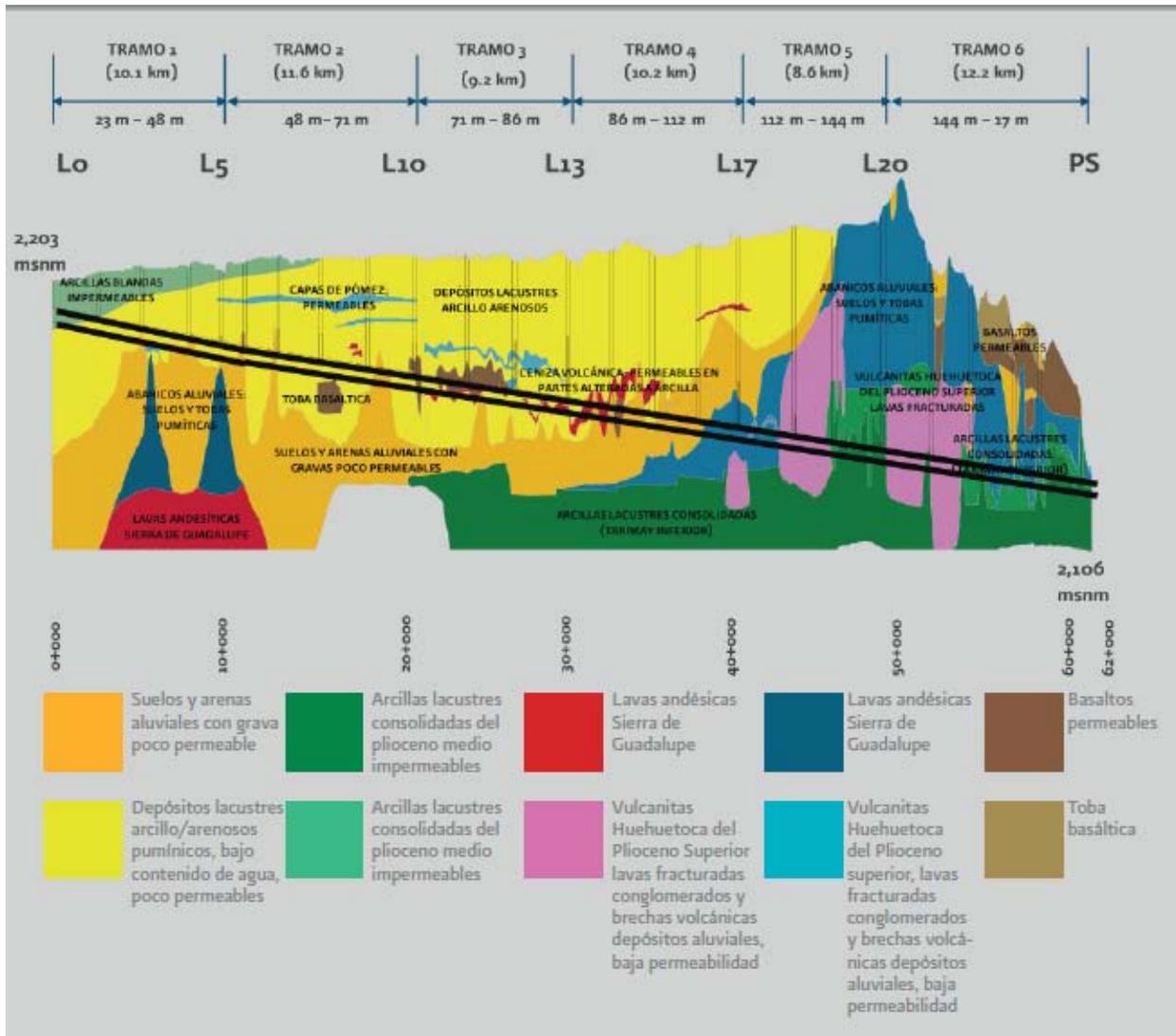
- Descripción y criterios de diseño.
- Especificaciones generales y particulares.
- Planos, diagramas, dibujos y documentos de diseño de ingeniería civil y electromecánica, incluyendo los de fabricante, en su caso.
- Planos generales y estructurales de la obra civil.
- Planos arquitectónicos.
- Memorias de cálculo de todas las obras civiles del proyecto.
- Los parámetros relevantes de los equipos mecánicos y eléctricos.
- Programas de computadora (software) aplicados en el diseño, su descripción y sus datos de entrada y salida.
- Procedimiento constructivo de cada tipo de lumbrera.
- De la excavación del túnel y la colocación del revestimiento primario.
- Del revestimiento secundario o definitivo.

A continuación se mencionan las características principales de los tipos de suelo.

Zona 1A: De L0 a L1A (2,753 metros)	ZONA DE SUELOS BLANDOS: <ul style="list-style-type: none"> • Con contenido de agua muy alto, mayor que el 400 por ciento, baja resistencia al corte, alta compresibilidad. • Niveles de agua iguales a la hidrostática. • La rezaga del material se hizo por bombeo.
Zona 1B: De L1A a L05 (7,300 metros)	ZONA DE TRANSICIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Arcillas blandas con contenido de agua superior al 200 por ciento y suelos firmes formados por limos con menos del 100 por ciento de agua. • Se detectaron lentes de arena y condiciones piezométricas abatidas. • La excavación se hizo con frente mixto y rezaga por bombeo.
Zona 2: De L05 a L10 (11,582 metros)	ZONA DE TRANSICIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Menor cobertura de suelos blandos, con materiales deformables al nivel del túnel y presencia de mantos colgados con flujo a través de lentes de arena. • El contenido de agua es mayor que el 50 por ciento, pero los niveles piezométricos están abatidos. • La excavación se hace con frente mixto y la rezaga del material se hace con banda transportadora.
Zona 3: De L10 a L17 (19,360 metros)	ZONA DE TRANSICIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Suelos firmes y roca. • Presencia de roca basáltica abrasiva, lentes de arena con agua y materiales deformables al nivel del túnel. • Niveles piezométricos restablecidos. • La excavación se hace con frente mixto y la rezaga del material se extrae con banda transportadora.
Zona 4: De L17 a PS (20,808 metros)	ZONA DE MONTAÑA: <ul style="list-style-type: none"> • Suelos firmes o duros poco deformables con presencia de boleos empacados en una matriz arcillosa. Se ha hecho una modificación de trazo, pegando el TEO hacia el Emisor Central, mejorando las condiciones de excavación al evitar buena parte de lo boleos. • Condiciones piezométricas elevadas, con más de 5 bares (50 metros de columna de agua) y contenidos de agua menores que el 50 por ciento. Con el cambio de trazo, que se determinó realizar como parte de la ingeniería de sitio, que se pega al del Túnel Emisor Central, si bien las presiones se sostienen, los suelos de la excavación son de mucho menor permeabilidad que los del trazo original. • La rezaga del material se hace con banda transportadora.

Características principales de suelos en el trazo del túnel emisor oriente.

En la siguiente figura se indica de forma más detallada la zonificación de suelos en el trazo del Túnel Emisor Oriente.



Zonificación de suelos en el trazo del túnel emisor oriente.

El Túnel Emisor Oriente conducirá por gravedad aguas pluviales y residuales provenientes de los túneles Interceptor Oriente y del Interceptor Río de los Remedios, cuyos caudales confluirán en lo que se denomina Lumbreira 0 del TEO.

El Túnel Emisor Oriente y el Túnel Emisor Central conducirán de forma alternada las aguas pluviales y residuales de la Ciudad de México a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco para el tratamiento y reúso. Los excedentes en lluvia, serán vertidos hacia el río Tula.

CAPITULO 2.- LUMBRERAS.

Una vez concluido el Proyecto Ejecutivo y conocidas las condiciones reales en el suelo, con apoyo de la instrumentación y monitoreo, se inicia la construcción del proyecto con las primeras estructuras, las lumbreras las cuales varían en diámetro, profundidad y procedimiento de construcción, estas condiciones se definen según su ubicación, utilización y condiciones geológicas.

2.1.- DEFINICIÓN.

La definición por el Ing. V.H. Hardy C., señala que “es una excavación vertical o inclinada (55° con horizontal), de sección rectangular o circular u otra según el proyecto, que se puede excavar de arriba hacia abajo o viceversa, con procedimientos mecánicos convencionales ó muy avanzados y que servirá para alojar las tuberías de presión y formar la caída de un aprovechamiento hidroeléctrico, o bien para dar acceso a un túnel que se excavará a partir de la lumbrera y que servirá para la introducción del equipo y materiales para hacer la excavación del túnel y para la extracción del producto de dicho material”.

Esta definición indica la importancia que tiene una lumbrera y de ahí se desprende que su construcción es parte integral del procedimiento de excavación de un túnel.

Las lumbreras utilizadas para el ingreso y extracción de las tuneledoras se denominan de "Montaje" las cuales contarán con dimensiones adecuadas para recibir al equipo a excavar y permitir el descenso, armado, desensamble y extracción de las tuneledoras con seguridad, las paredes pueden estar contenidas mediante tablaestacas metálicas o con muros concreto reforzado.

Durante la construcción del túnel el equipo requerirá mantenimiento mayor, el cual se realiza en las lumbreras de paso (que son de menor tamaño ó diámetro a las de montaje).

En ambos casos, lumbreras de montaje y de paso, podrán ingresar personal, equipo, herramienta y materiales para la construcción del túnel y extraer rezaga.

Una vez concluido el túnel las lumbreras pueden adaptarse para recibir o captar aguas pluviales mediante estructuras adosadas, con lo cual se entrara en operación el túnel.

En un futuro de manera programada, las lumbreras permitirán el acceso para el mantenimiento del túnel, mediante el seccionamiento de tramos por medio de compuertas.

2.2.- UBICACIÓN.

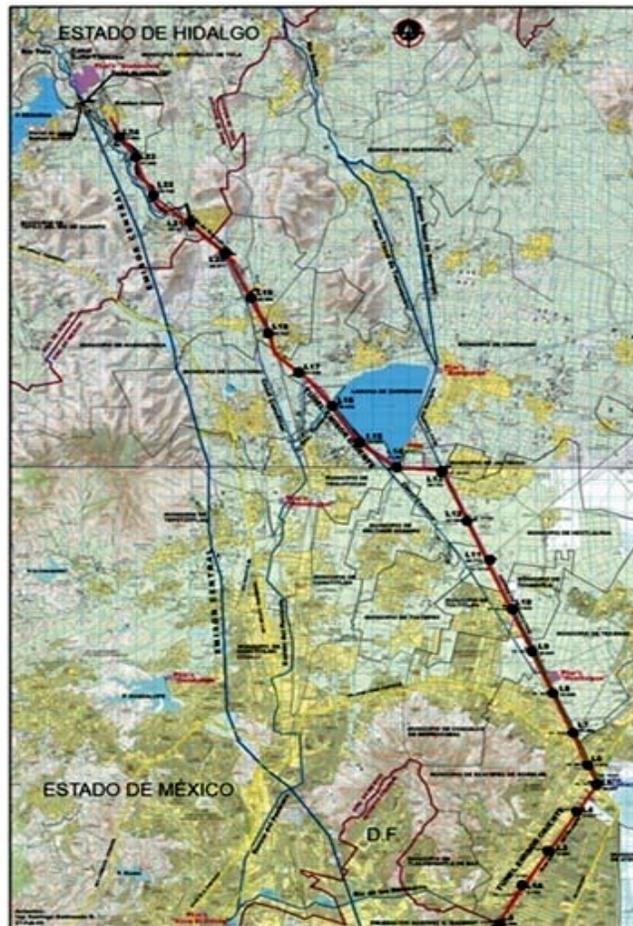
El proyecto del Túnel Emisor Oriente, contempla la construcción de 24 lumbreras con profundidades variables entre los 34 y 145 metros.

La lumbrera 02 del Túnel Interceptor Río de los Remedios, está considerada como la Lumbrera 0 en el Túnel Emisor Oriente, por lo tanto las lumbreras que están consideradas en el TEO son 25.

De las 25 lumbreras, siete de las mencionadas tendrán un diámetro interior mayor debido a que se utilizaran para el descenso, montaje, desmantelamiento y extracción de las maquinas excavadoras, el resto de las lumbreras serán de menor diámetro interior.

Las condiciones geomécnicas de los suelos y rocas, a lo largo del trazo, condicionaran las características de los procedimientos constructivos de las lumbreras.

Su distribución en planta se muestra en la figura siguiente, iniciando en la confluencia de Río de los Remedios y Gran canal en la Delegación Gustavo A. Madero en el Distrito Federal siguiendo su trazo por el Estado de México, hasta llegar al Estado de Hidalgo:



Planta general de la ubicación de lumbreras.

2.3.- DIÁMETROS.

De acuerdo a su diámetro, las lumbreras en el Túnel Emisor Oriente se clasifican en:

Lumbreras de montaje:

Siete lumbreras (L-0, L-03A, L-05, L-10, L-13, L-17 y L-20) fueron consideradas a concluirse con diámetros interiores terminados de 16 metros o mayores, por las cuales se descenderán, posicionaran y armaran componentes de equipo tuneleador (previamente prearmados en superficie), así como también para la extracción de las máquinas tuneleadoras, además de esta principal actividad, podrán utilizarse para mantenimiento de tuneleadoras, entrada y salida de personal técnico y obrero, ingreso de dovelas, suministro de materiales y servicios, así como para la extracción de la rezaga de la excavación.

Lumbreras de paso:

Dieciocho lumbreras (L-1A, L-03, L-04, L-06, L-07, L-08, L-09, L-11, L-12, L-14, L-15, L-16, L-18, L-19, L-21A, L-22, L-23A y L-24A) fueron consideradas a concluirse con diámetros interiores menores a 16 metros y servirán para el paso y mantenimiento de tuneleadoras durante la excavación y de la misma forma que las lumbreras de montaje podrán utilizarse en la entrada y salida de personal técnico y obrero, ingreso de dovelas, suministro de materiales y servicios, así como para la extracción de la rezaga de la excavación, otro de sus fines es reorientar la dirección del túnel.

Se relaciona a continuación de forma detallada el diámetro interior proyectado, para cada una de las lumbreras:

Lumbrera	Diámetro
L-0	16.00 metros
L-01A	12.00 metros
L-03	13.50 metros
L-03A	16.00 metros
L-04	13.50 metros
L-05	16.50 metros
L-06	13.60 metros
L-07	15.60 metros
L-08	16.00 metros
L-09	16.00 metros
L-10	20.00 metros
L-11	16.00 metros
L-12	16.00 metros
L-13	20.00 metros
L-14	16.00 metros
L-15	16.00 metros
L-16	12.00 metros

L-17	19.80 metros
L-18	17.00 metros
L-19	17.00 metros
L-20	22.46 metros
L-21A	15.00 metros
L-22	12.00 metros
L-23A	12.00 metros
L-24A	12.00 metros

2.4.- PROFUNDIDAD.

Debido al perfil del terreno y a que el funcionamiento del túnel es por gravedad, la profundidad de las lumbreras se incrementara de la lumbrera L-0, con una altura de 23 metros, (donde recibirá de forma controlada mediante compuertas, el gasto hidráulico del Túnel Río de los Remedios), hasta cerca de 150 metros de profundidad en la lumbrera L-20.

El proyecto contempla 25 lumbreras, se relaciona a continuación de forma detallada la profundidad proyectada del nivel de plantilla hidráulica, para cada una de las lumbreras:

Lumbrera	Profundidad
L-0	23.29 metros
L-01A	34.50 metros
L-03	41.15 metros
L-03A	41.24 metros
L-04	46.66 metros
L-05	50.22 metros
L-06	56.07 metros
L-07	61.99 metros
L-08	63.75 metros
L-09	70.50 metros
L-10	72.50 metros
L-11	80.00 metros
L-12	81.00 metros
L-13	89.21 metros
L-14	97.00 metros
L-15	102.45 metros
L-16	109.69 metros
L-17	116.29 metros
L-18	125.45 metros
L-19	127.82 metros
L-20	144.96 metros
L-21A	116.00 metros
L-22	108.56 metros

L-23A	88.69 metros
L-24A	87.42 metros
Portal de salida	23.19 metros

2.5.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.

Los procesos constructivos de las estructuras del proyecto, son programados en forma consecutiva para la optimización del programa de obra, por lo cual se tiene la siguiente secuencia básica en cada tramo.

Construir primeramente las lumbreras de acceso y secuencialmente las lumbreras de paso con dirección a la siguiente lumbrera de acceso.

El método constructivo está determinado por la profundidad y las condiciones geológicas y geotécnicas detectadas a lo largo del trazo del túnel y su perfil estratigráfico, a la permeabilidad del suelo y a las herramientas de construcción disponibles.

Se propusieron tres tipos de procedimientos constructivos para las lumbreras:

- * Excavación en suelos blandos.
- * Excavación en suelos mixtos.
- * Excavación en suelos duros.

Cada uno cuenta con condicionantes de equipo y seguridad en el proceso constructivo que influyen en el programa de obra correspondiente.

2.5.1.- MÉTODO CON MURO MILÁN.

Excavación de pantalla perimetral previa a la excavación de la lumbrera en toda su profundidad.

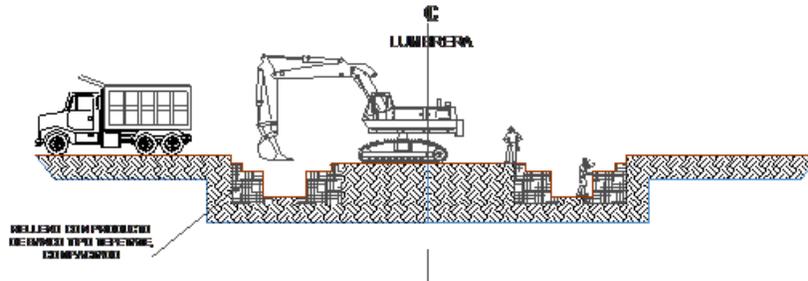
A continuación se realizara una descripción de este procedimiento, el cual consiste en 12 etapas:

Etapas 1.- Construcción de la plataforma de trabajo.

- a) La plataforma de trabajo deberá estar plana y adecuada para el soporte de los equipos de excavación.
- b) Se realizara mediante la mezcla de materiales de tezontle y grava controlada en proporción y espesores de proyecto.
- c) La Plataforma de trabajo debe iniciar a partir del paño exterior del brocal.
- d) El material deberá acomodarse para formar una plataforma de trabajo plana, drenada y compactada.

ETAPA 1

CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE TRABAJO

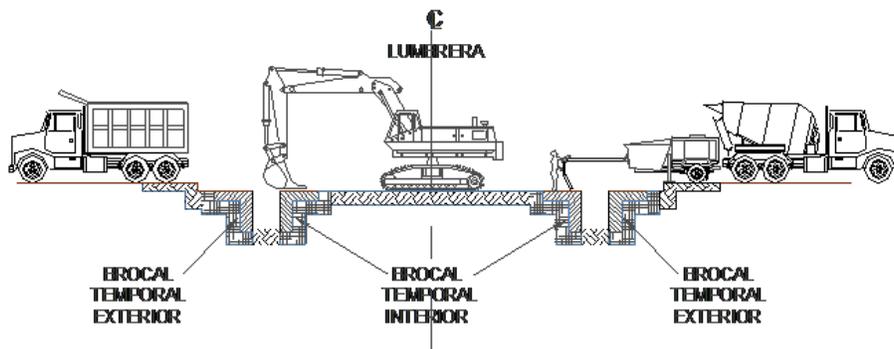


Etapa 2.- Construcción de brocales temporales.

- Trazo y nivelación del área de construcción.
- Excavación del brocal mediante equipo mecánico y/o manual.
- Suministro y colocación de acero de refuerzo de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- Suministro y colocación de cimbra de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- Suministro y colocación de concreto de acuerdo al proyecto ejecutivo.

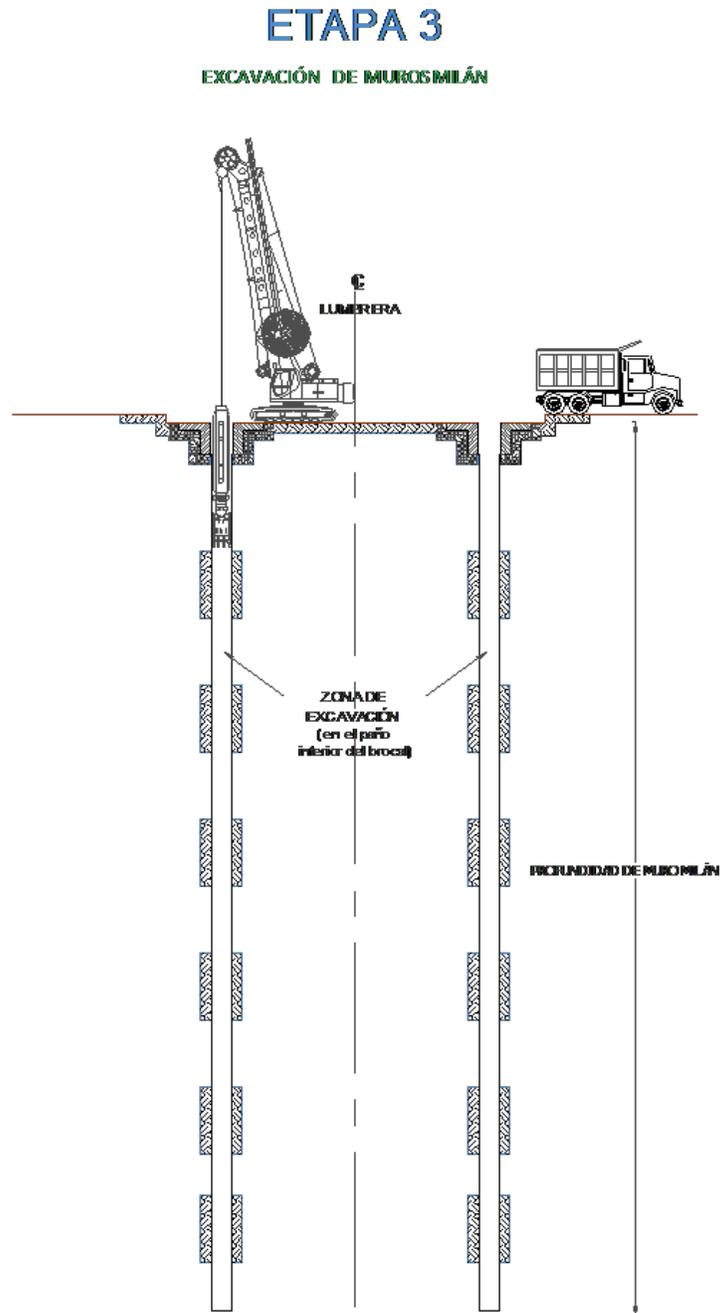
ETAPA 2

CONSTRUCCIÓN DE BROCALES TEMPORALES



Etapa 3.- Excavación de muros Milán.

- a) Identificar con numeración los tableros a excavar para control del avance.
- b) Nivelación del equipo, mediante equipo topográfico y/o plomadas.
- c) Excavación del tablero hasta nivel de proyecto.
- d) Sustitución de material excavado por lodo bentonítico.
- e) Excavación por tableros alternados de acuerdo al proyecto ejecutivo.



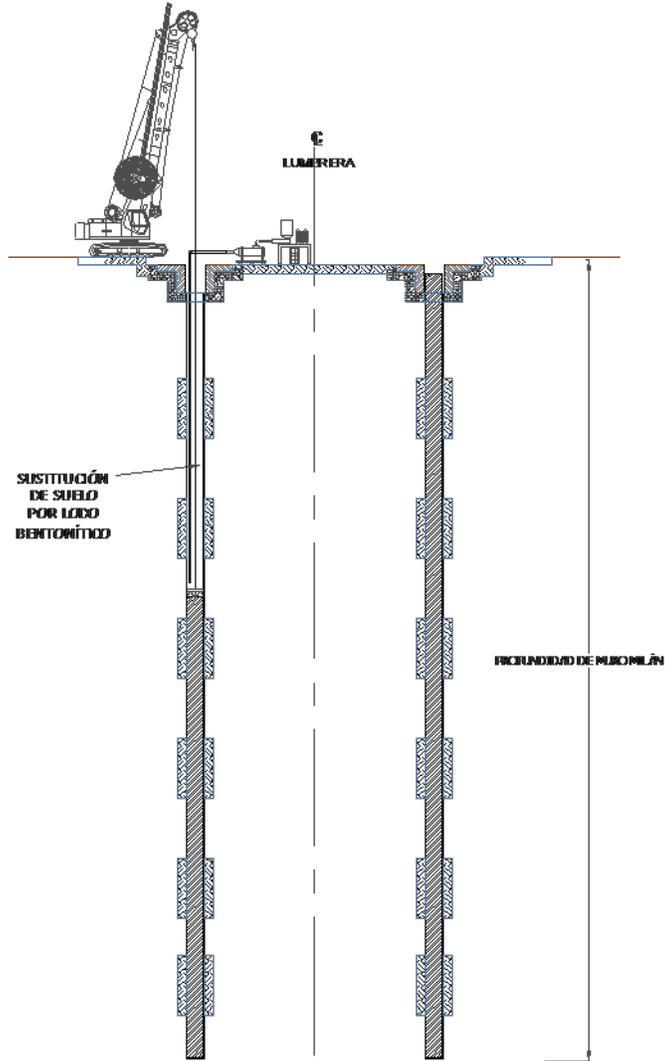
Etapa 4.- Sustitución de suelos por lodo bentonítico.

- a) Sustitución, en todo momento del material excavado por lodo bentonítico.
- b) Nivel del lodo bentonítico nunca por debajo a -0.50 m respecto al nivel del brocal.
- c) Se revisaran las características del lodo bentonítico, cuidando que se conserven las características originales del lodo, tales como:

Viscosidad.
Densidad < 1.15.
Cake a 7'30" < 3 mm.
PH de 7 a 11.
Bajo contenido de arena 5%.

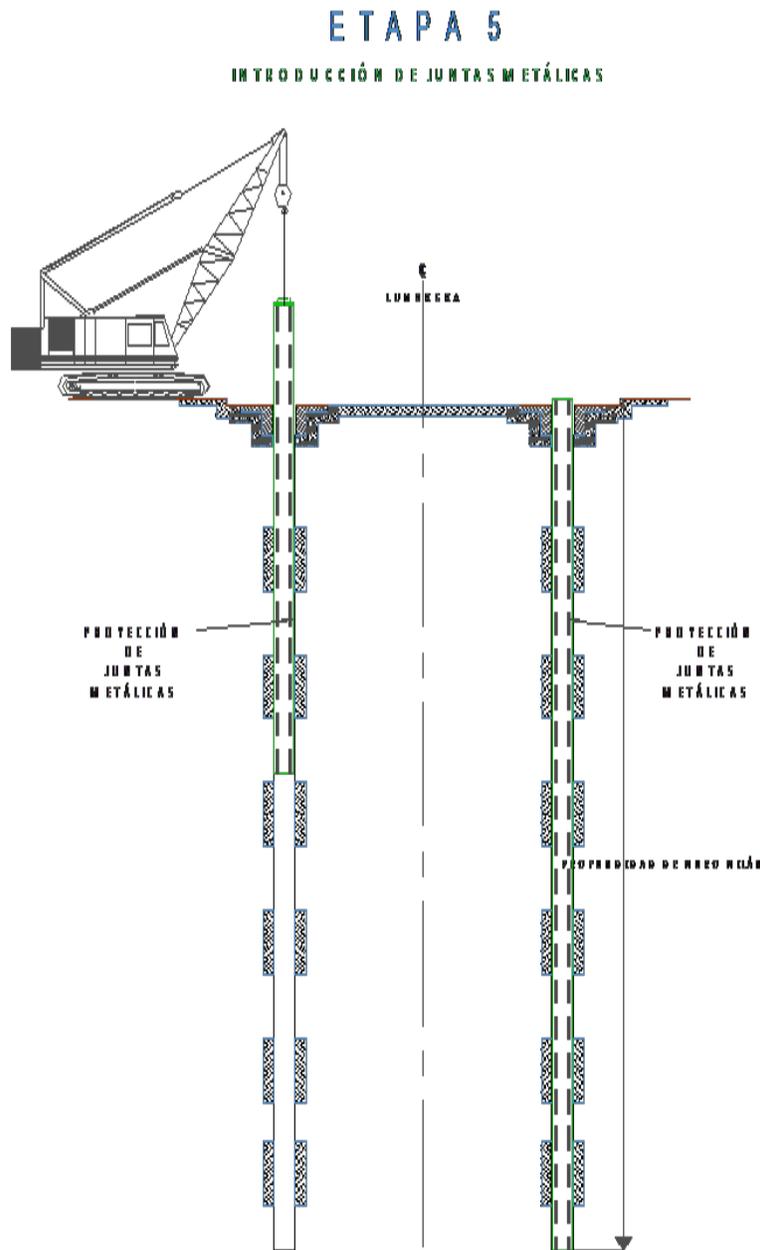
ETAPA 4

SUSTITUCIÓN DE SUELOS POR LODO BENTONÍTICO



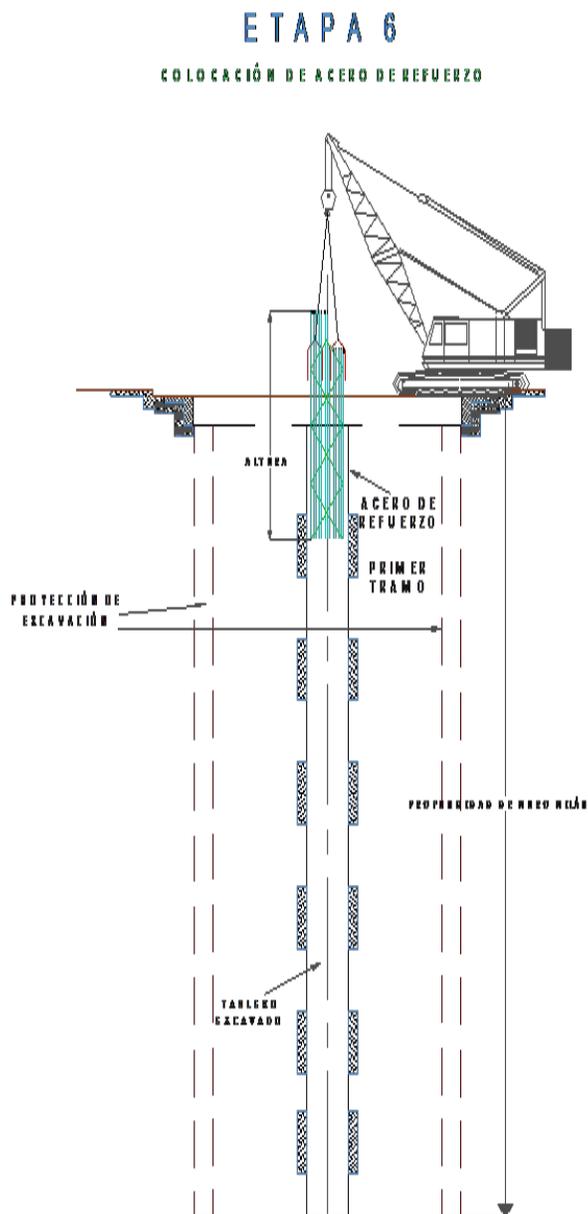
Etapa 5.- Introducción de juntas metálicas.

- a) Posterior a la limpieza del lodo bentonítico se proceden a colocar las juntas metálicas que sirven de cimbra en los extremos de los tableros excavados.
- b) La junta metálica en ningún momento se apoyara en el fondo de la excavación por lo cual se suspenderá de los brocales.
- c) A la mayor brevedad se regresara para excavar la posición que se encuentra en el tablero adyacente al tablero colado.
- d) La junta se retira después de haber realizado la limpieza del tablero adyacente, con el fin de conservar el contacto con el concreto del tablero adyacente.



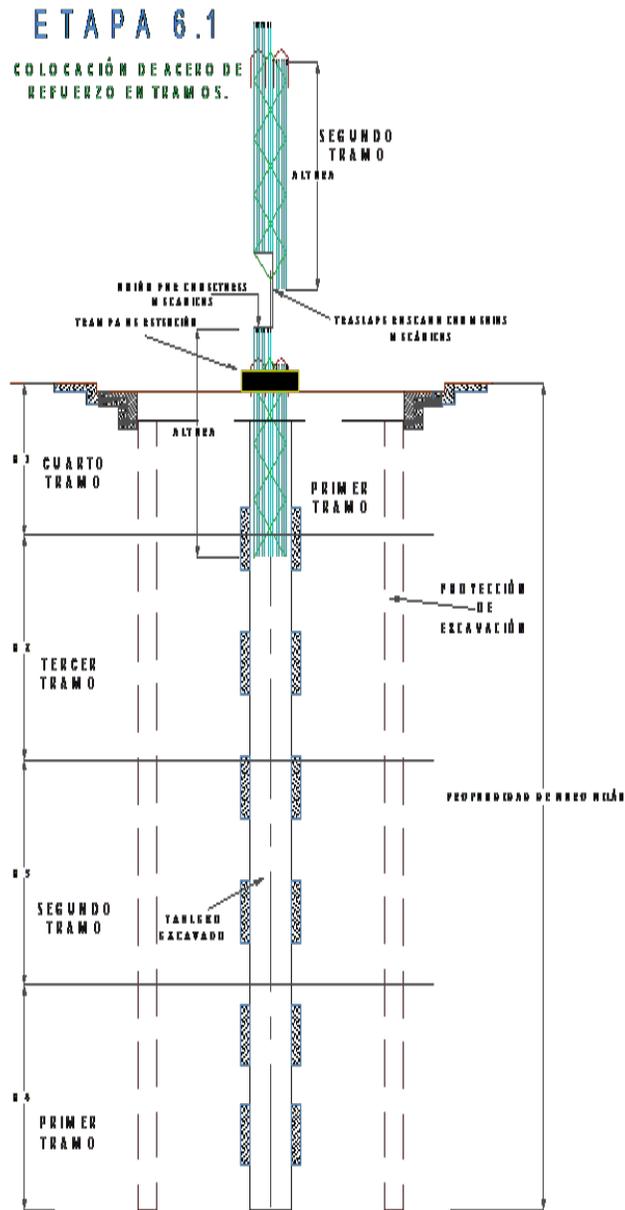
Etapa 6.- Colocación de acero de refuerzo.

- a) Previo a la construcción de la parrilla se procede a habilitar el acero de refuerzo de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- b) Debido a las dimensiones de los armados se habilitaran plantillas de concreto simple o cama de madera para asegurar la uniformidad del armado.
- c) Se pueden utilizar si el proyecto lo permite uniones mediante conectores mecánicos roscados, con lo cual se alineara el acero en tramos, hasta completar toda la longitud del armado.
- d) Previo al izaje de la parrilla, se procede a desacoplar los conectores en secuencias, según la longitud del tablero.



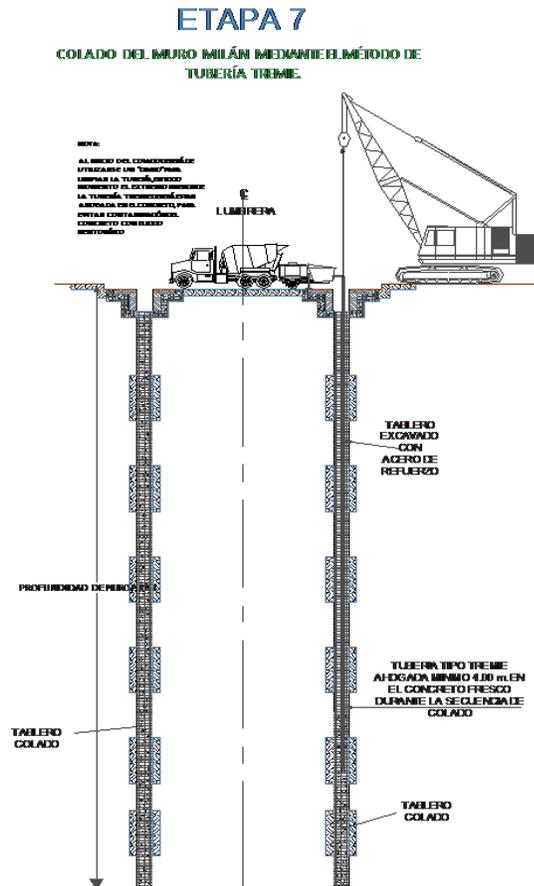
Etapa 6.1 Colocación de acero de refuerzo.

- a) Mediante una grúa sobre oruga se procede al izaje vertical de la armadura.
- b) Con el apoyo de la grúa se procede a introducir la primera parte del armado en la excavación sujetando en su extremo superior del armado ya introducido mediante una trampa colocada sobre el brocal.
- c) Se procede al izaje y colocación de un 2do. tramo del armado, sosteniéndolo con la grúa verticalmente para permitir el acople de los conectores, una vez conectada la totalidad de las varillas se afloja la trampa y se desciende el armado en la excavación.



Etapa 7.- Colado del muro Milán mediante el método de tubería tremie.

- a) Al inicio del colado deberá de utilizarse un "diablo" para limpiar la tubería.
- b) El suministro del concreto será mediante tubería tremie hasta fondo de la excavación.
- c) Tubería tremie estará constituida en tramos de tal manera que permita seccionarlo cuando el concreto suba en la excavación y no permita su adecuado desplazamiento.
- d) En todo momento la punta del tubo debe estar ahogado dentro del concreto fresco.
- e) El concreto que se suministrará deberá de cumplir con las especificaciones indicadas en el proyecto ejecutivo.
- f) El vaciado del concreto se hará de forma continua.
- g) El vaciado mediante los tubos tremie, será de forma simultánea.
- h) Iniciado el colado del concreto no se podrá interrumpir hasta su terminación.
- i) Durante el vaciado de cada olla se harán mediciones del nivel mediante un sondeador (plomada) para verificar los volúmenes teóricos contra reales, registrando estos datos en un formato.
- j) El nivel del concreto final se realizará por arriba del nivel del proyecto para asegurar la sanidad del concreto.
- k) Durante todo el proceso de colado se retirará el lodo bentonítico desplazado enviándolo al almacenamiento ó bien a un desarenador para su reutilización.

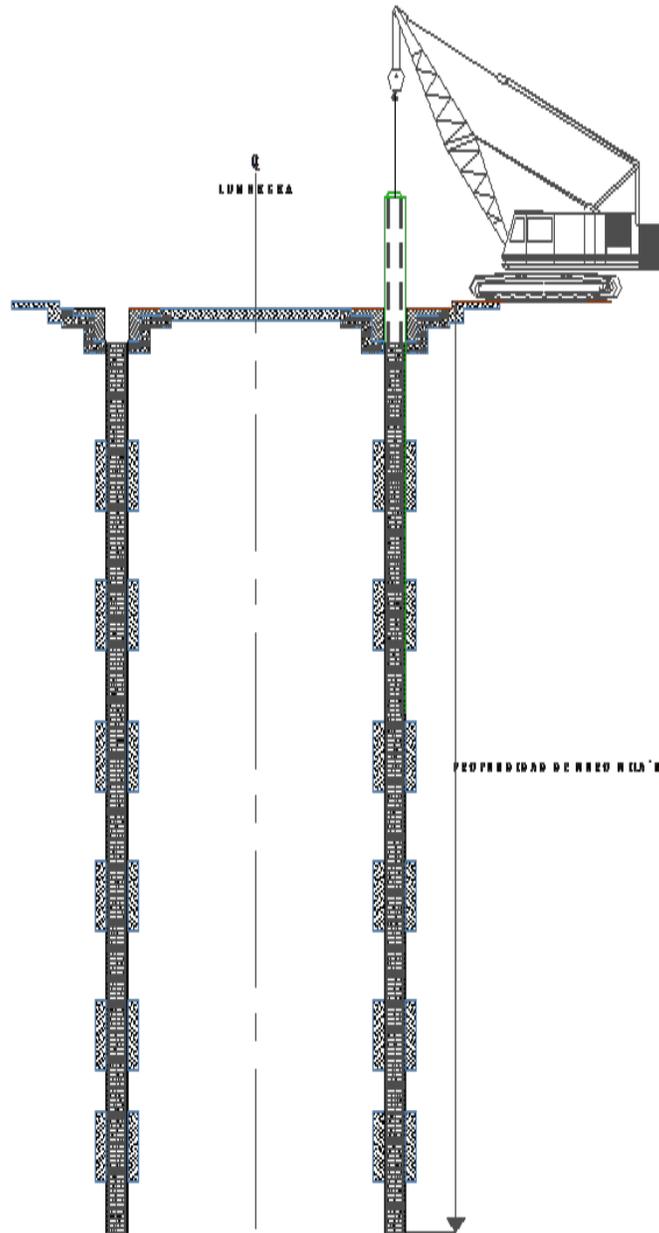


Etapa 8.- Desmonte de juntas metálicas.

- a) Una vez terminado el colado de un tablero y de acuerdo a la secuencia establecida, se procederá a excavar el tablero adyacente.
- b) Terminada la excavación del tablero se procede a limpiar el lodo bentonítico previo al colado y se procede a despegar y extraer la junta metálica con el dispositivo que cuenta la almeja y con la grúa se retira de la excavación.

ETAPA 8

DESMONTE DE JUNTAS METÁLICAS

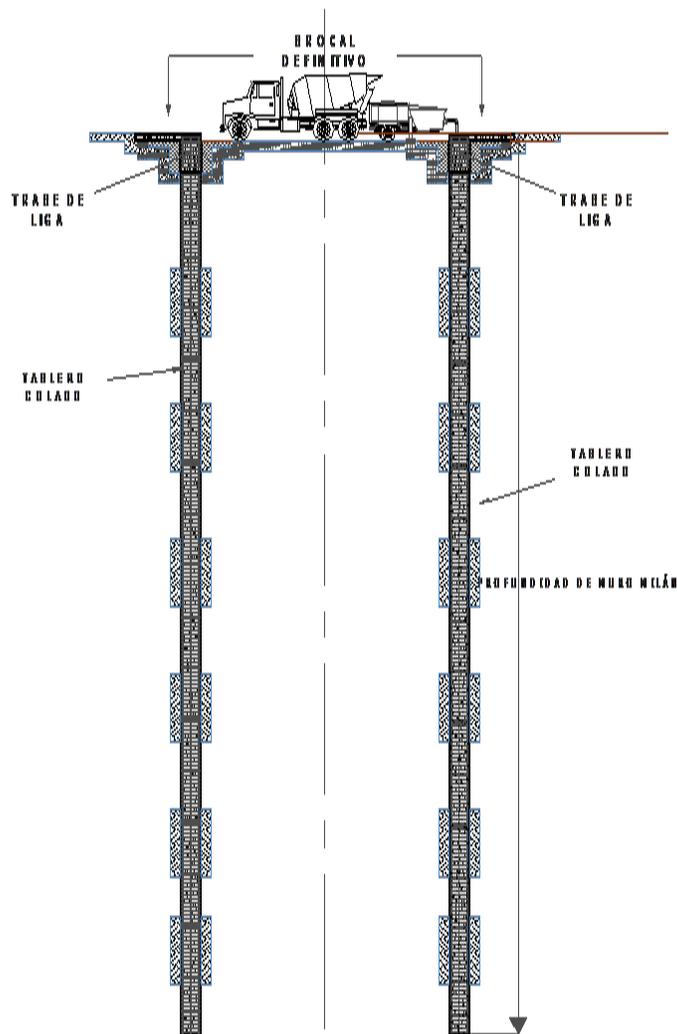


Etapa 9.- Construcción del brocal definitivo.

- a) Terminando la totalidad de los tableros que conforman el muro Milán se procede al descabece de este hasta el nivel del proyecto del brocal definitivo.
- b) Se procede al suministro, habilitado y colocación del acero de refuerzo del brocal definitivo.
- c) Se coloca la cimbra para el brocal definitivo.
- d) Se realiza el colado del brocal definitivo.

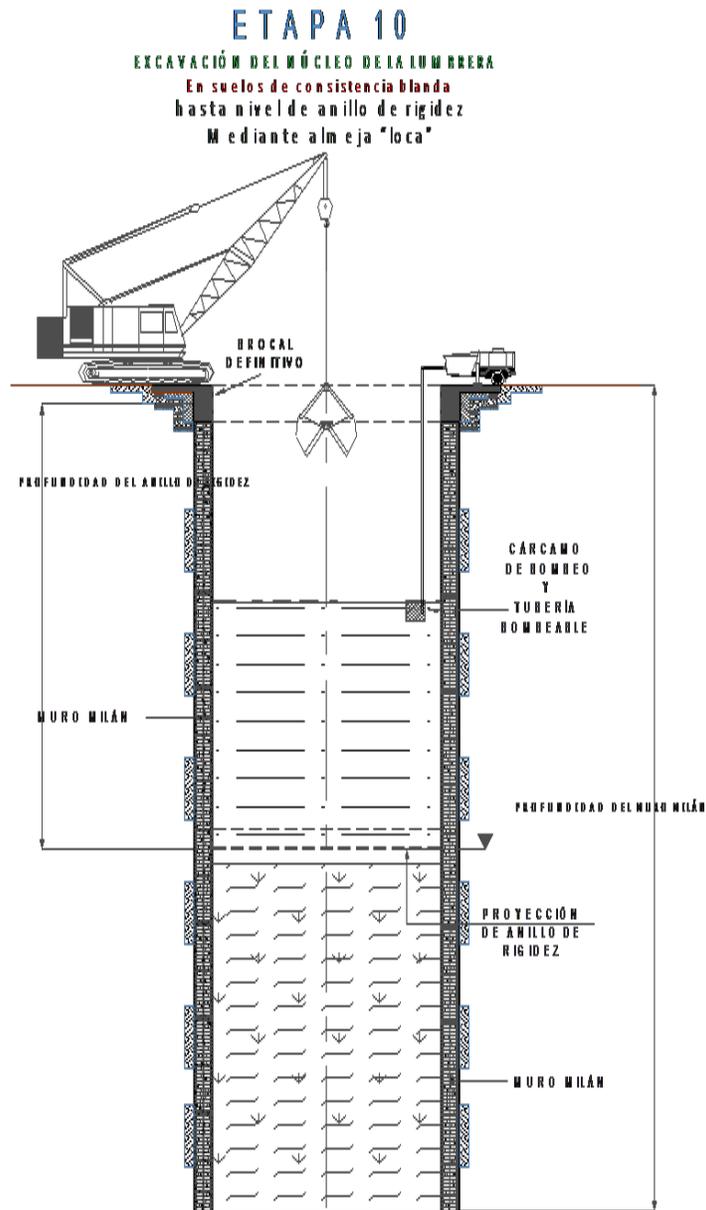
ETAPA 9

CONSTRUCCIÓN DEL BROCAL DEFINITIVO



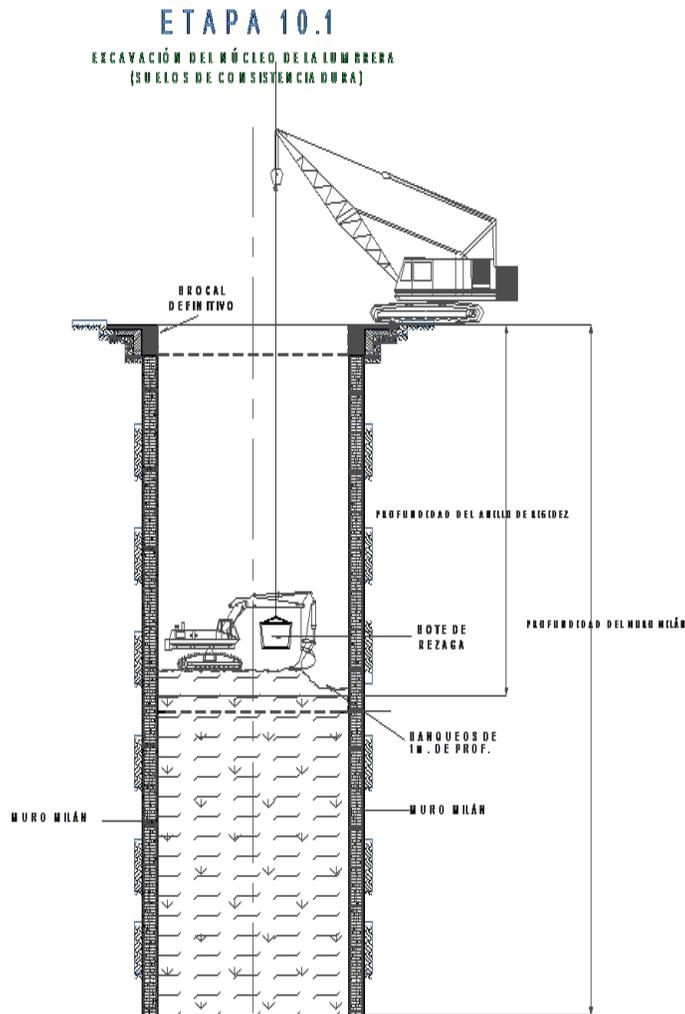
Etapa 10.- Excavación del núcleo de la lumbrera.

- a) Después de descimbrar la trabe de liga se procede al inicio de la excavación del núcleo.
- b) Excavación con almeja loca del núcleo hasta el nivel de desplante de la losa de fondo.
- c) Material producto de la excavación se retira mediante camiones al tiro asignado.
- d) Durante el proceso de excavación se empleara la construcción de cárcamos de recolección en alguna presencia de agua en donde se colocara bombeo de achique para extracción del agua a la superficie.



Etapa 10.1.- Excavación del núcleo de la lumbrera.

- a) Ingresar al fondo de la lumbrera una excavadora sobre orugas con la cual se continuará la excavación del núcleo.
- b) Excavación a media sección de la superficie de la lumbrera en banquetes.
- c) Se realizará el rezagado mediante botes y grúa sobre oruga Link-belt de adecuada capacidad.
- d) En las zonas donde se presenten filtraciones a través de la junta del muro Milán ó bien de zonas en donde el concreto presente segregaciones, se deberán proceder a realizar inyecciones.
- e) Las filtraciones de agua al interior de la lumbrera se controlarán mediante bombeo de achique para llevar el agua hasta la superficie.
- f) La brigada de topografía definirá el nivel máximo del fondo de excavación de la lumbrera.
- g) Se realizará el afine del fondo.
- h) La excavación del núcleo será hasta el nivel inferior de losa de fondo.

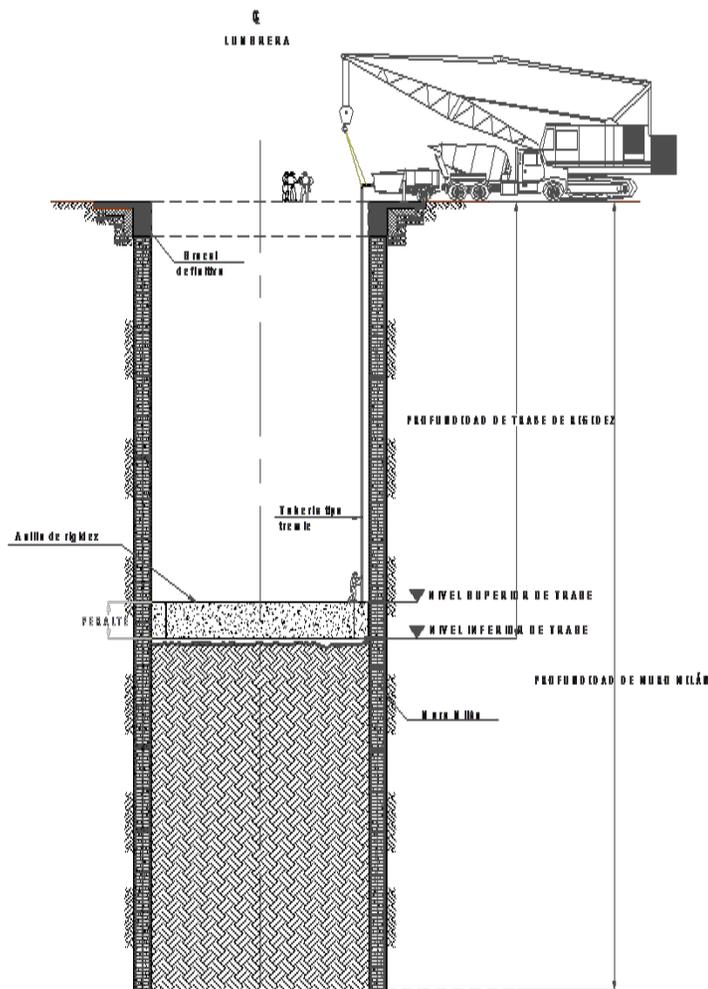


Etapa 10.2.- Construcción de anillo de rigidez horizontal.

- i) Previo a la construcción de la losa de fondo se iniciará la construcción del anillo de rigidez horizontal.
- j) Trazo del anillo de rigidez horizontal.
- k) Escarificación en muro Milán para descubrir primer lecho.
- l) Dejar reservaciones del acero de refuerzo para muro secundario.
- m) Suministro y colocación de acero de refuerzo de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- n) Suministro y colocación de cimbra de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- o) Suministro y colocación de concreto de resistencia de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- p) Acomodo del concreto con vibrado necesario.

PLANTA ETAPA 10.2

CONSTRUCCIÓN DE ANILLO DE RIGIDEZ

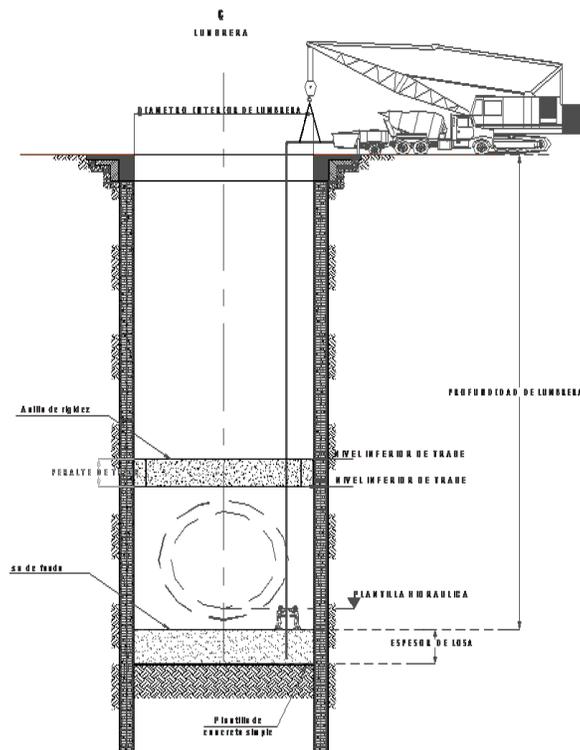


Etapa 11.-Construcción de losa de fondo.

- a) Se inicia una vez terminada la excavación del núcleo.
- b) Colado de una plantilla de concreto pobre de resistencia y espesor de proyecto, previo al colado de la losa.
- c) Perforación perimetral para el habilitado de los conectores mecánicos para hacer la liga estructural entre el muro Milán y la losa de fondo.
- d) Suministro, habilitado y colocación del armado de la losa fondo, según indique el proyecto ejecutivo, utilizando para ello una grúa para la realización de todas las maniobras necesarias.
- e) Previo a la colocación del acero se realiza la verificación de los niveles del acero de tal manera de asegurar los recubrimientos establecidos.
- f) Colocación de acero de refuerzo, con los diámetros y separaciones del proyecto ejecutivo.
- g) Colocación del concreto hidráulico mediante una bomba y tubería de colado que contara en un extremo con un tanque amortiguador para evitar la segregación del concreto.
- h) El tiempo máximo que transcurra entre alcanzar el nivel máximo de excavación, armar y colar de losa de fondo, deberá estar acotado.
- i) Habilitar previo al colado de la losa de fondo los disparos del acero de refuerzo para ligar muros del cárcamo de bombeo.

PLANTA ETAPA 11

CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE FONDO
Armado y colado de losa de fondo

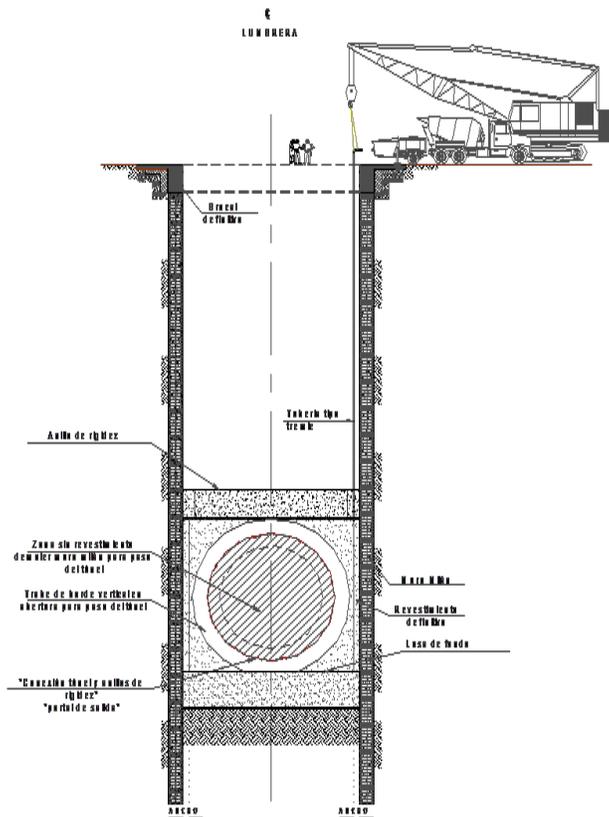


Etapa 12.- Construcción de emportalamiento.

- a) Trazo de la trabe de borde vertical.
- b) Escarificación del concreto en muro Milán para descubrir el primer lecho de acero de refuerzo.
- c) Ubicación e instalación de anclas con anclaje.
- d) Habilitado del acero de refuerzo en trabe vertical.
- e) Trazo en muro Milán desde losa de fondo hasta el anillo de rigidez horizontal de los conectores de cortante del revestimiento definitivo y el muro Milán.
- f) Anclar los conectores de cortante.
- g) Habilitado y colado de acero de refuerzo de revestimiento definitivo.
- h) Este habilitado no considera del hueco para salida del equipo excavador, donde se va a demoler el muro Milán.
- i) Cimbrado de revestimiento definitivo.
- j) Cimbrado de la trabe de borde vertical.
- k) Colado de revestimiento definitivo y de la trabe de borde vertical.
- l) Cimbrado del anillo de rigidez horizontal y su posterior colado.
- m) Una vez que el concreto haya alcanzado su resistencia de proyecto demoler manual y/o mecánicamente el muro Milán para abertura del paso del escudo.

PLANTA ETAPA 12

CONSTRUCCIÓN DE EMPORTALAMIENTO



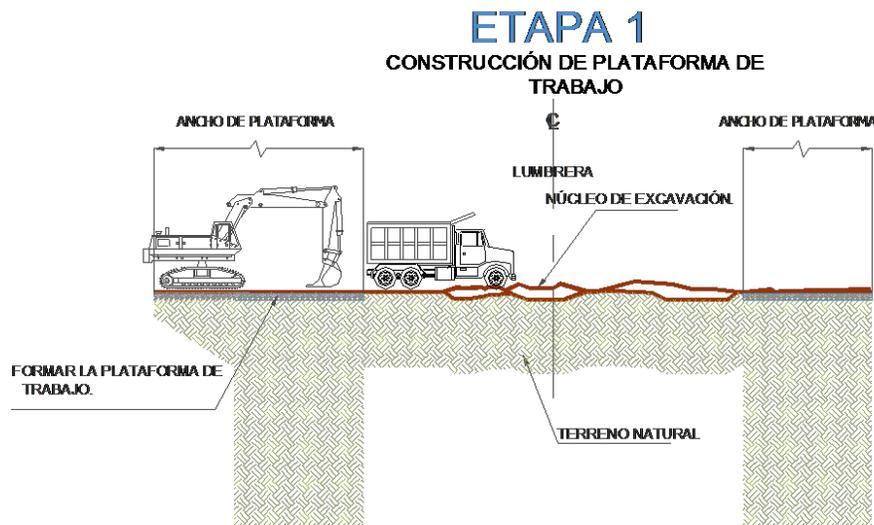
2.5.2.- MÉTODO MURO MILÁN + MÉTODO CONVENCIONAL.

Excavación y construcción de pantalla perimetral hasta la profundidad que el equipo de excavación lo permita y posteriormente excavación convencional.

A continuación se realizara una descripción de este procedimiento, el cual consiste en 12 etapas:

Etapa 1.- Construcción de plataforma de trabajo.

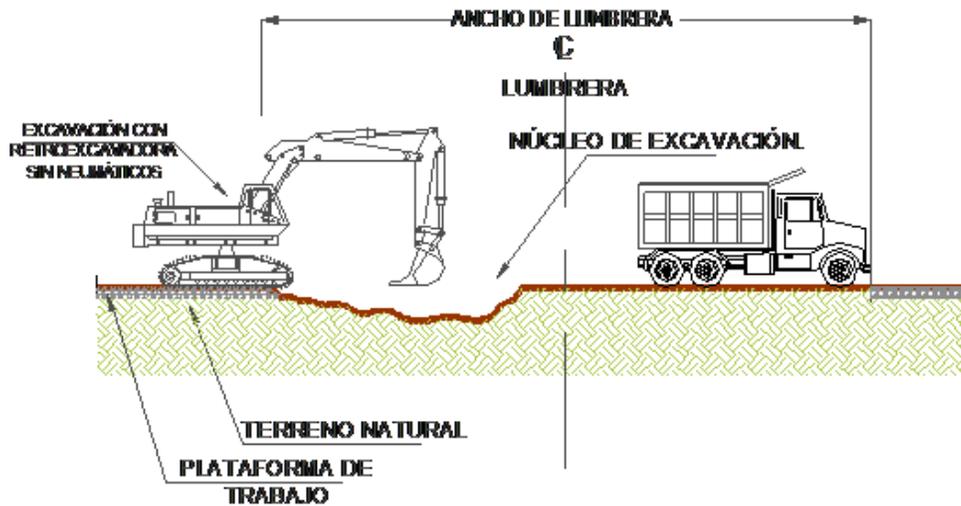
- a) Construcción de plataforma de trabajo plana y competente para correcto soporte de los equipos de excavación.
- b) Mezcla materiales de tezontle y grava controlada.
- c) Plataforma de trabajo a partir del paño exterior del brocal.
- d) Material acomodado para conformar una plataforma plana, drenada y competente.



Etapa 2.- Excavación para construcción de brocal temporal.

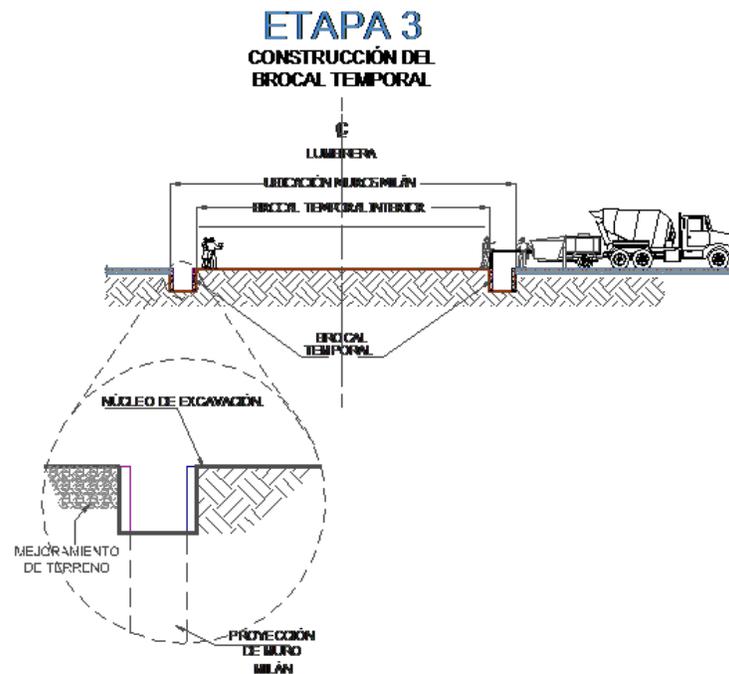
- a) Excavación previa bajo el nivel del brocal.
- b) Trazo y nivelación del área de construcción.
- c) Excavación del brocal mediante equipo mecánico y/o manual.

EXCAVACIÓN PARA CONSTRUCCION DE BROCAL TEMPORAL



Etapa 3.- Construcción del brocal temporal

- Suministro y colocación de acero de refuerzo de acuerdo al proyecto.
- Suministro y colocación de cimbra respetando con tolerancias.
- La colocación del concreto ó colado será contra las paredes de las zanjas o excavación.
- Concreto hidráulico de resistencia conforme al proyecto.
- Acomodo del concreto con vibrado necesario.
- Al momento de descimbrar, se colocará un nivel de troqueles.
- Se podrá rellenar el espacio entre brocales con material producto de la excavación.
- La cimbra podrá retirarse una vez que el concreto pueda autosoportarse y la construcción de una etapa siguiente podrá iniciarse inmediatamente.

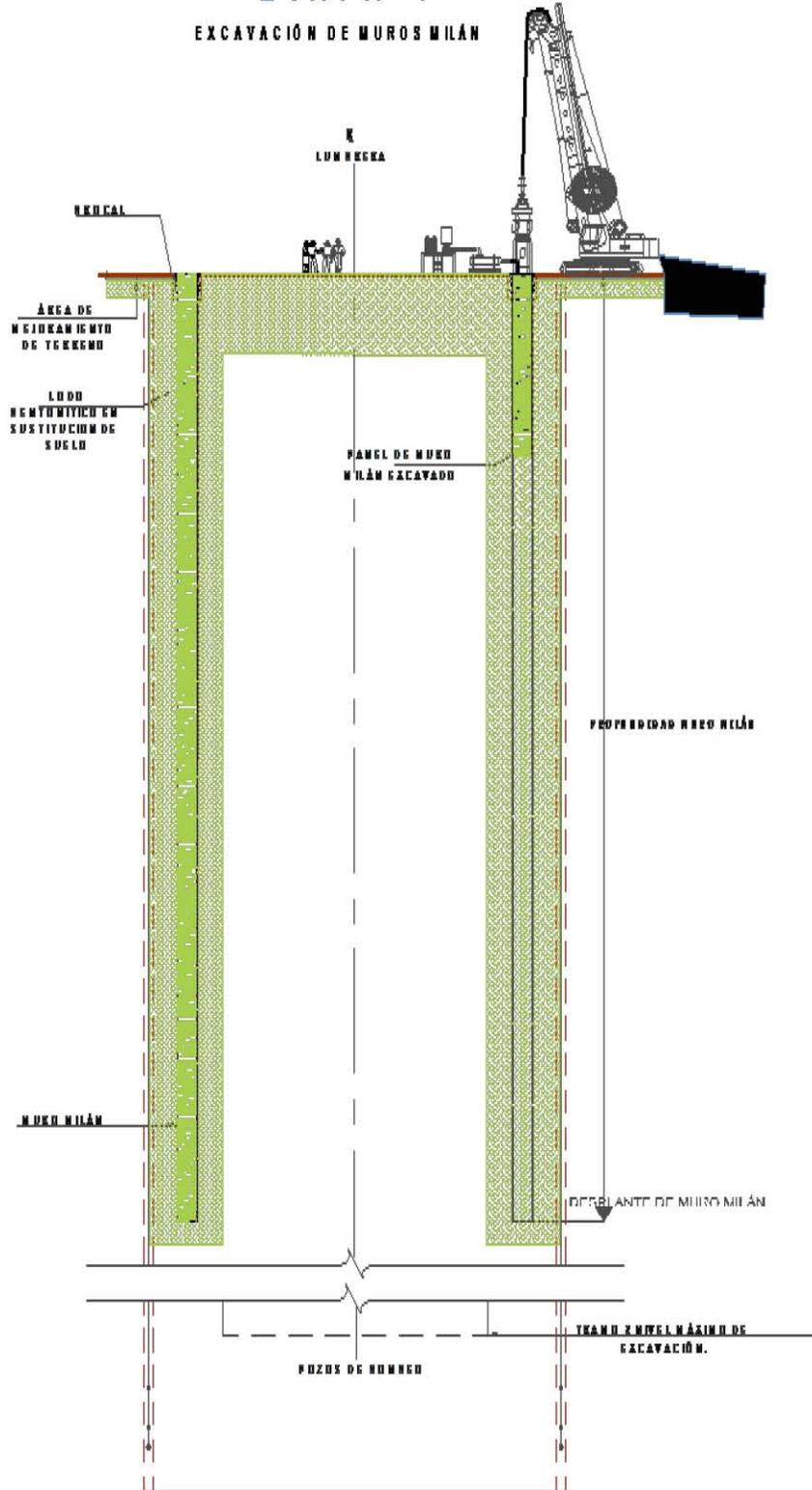


Etapa 4.- Excavación en tableros para alojar el muro Milán.

- a) Previo a la excavación se debe numerar los tableros para control del avance.
- b) Nivelación del equipo, mediante equipo topográfico y/o plomadas.
- c) Excavación del tablero hasta profundidad de proyecto.
- d) Sustitución de material excavado por lodo bentonítico.
- e) Excavación por tableros alternados.

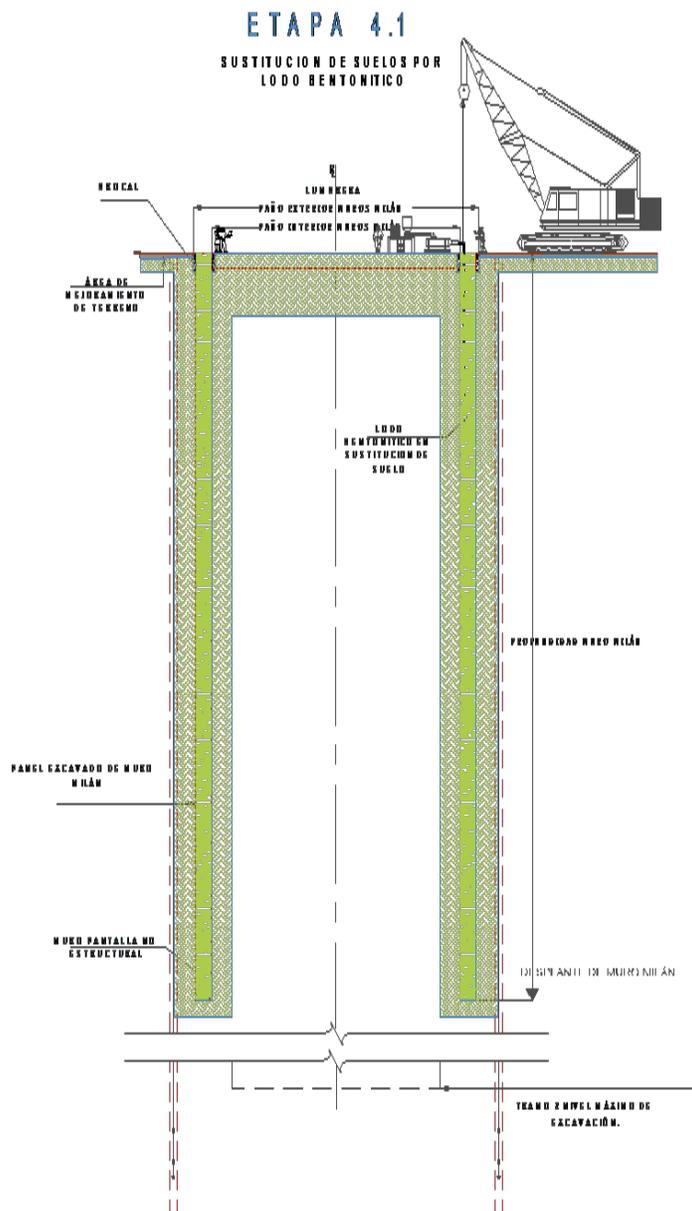
ETAPA 4

EXCAVACIÓN DE MUROS MILÁN



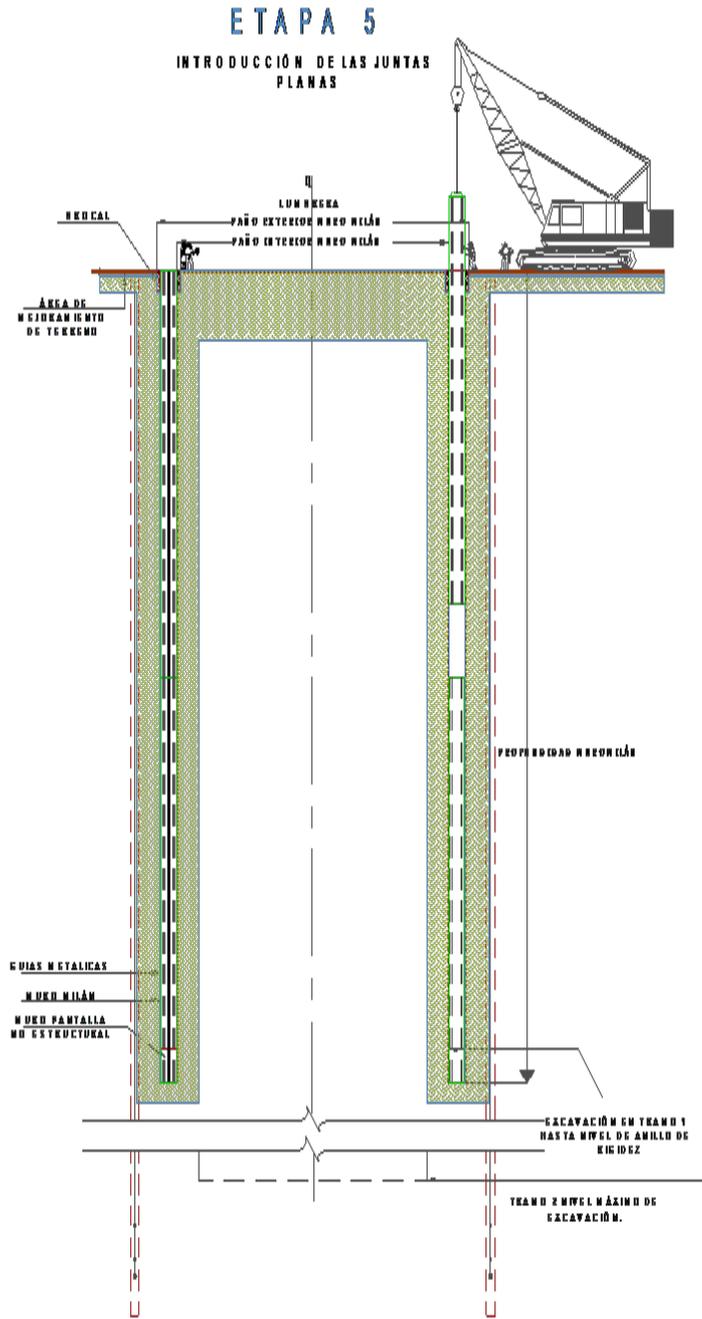
Etapa.- 4.1 Sustitución de suelos por lodo bentonítico.

- a) Sustitución en todo momento de material excavado por lodo bentonítico.
- b) Nivel del lodo bentonítico nunca por debajo a -0.50 m respecto al nivel del brocal.
- c) Se revisaran las características del lodo bentonítico, cuidando que se conserven las características requeridas del lodo, tales como:
 - *Viscosidad.
 - *Densidad < 1.15.
 - *Cake a 7'30" < 3 mm.
 - *PH de 7 a 11.
 - *Bajo contenido de arena menor del 5%.



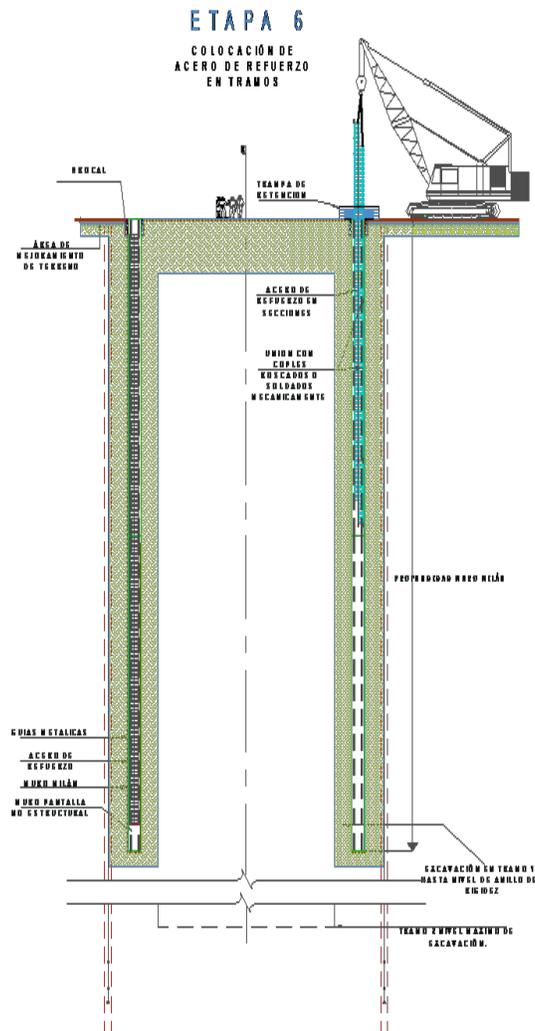
Etapa 5.- Introducción de las juntas planas.

- a) Colocación de juntas metálicas que sirve de cimbra en los extremos de los tableros excavados.
- b) La junta metálica en ningún momento se apoyara en el fondo de la excavación
- c) La junta metálica se suspenderá de los brocales.
- d) La junta se retira después de haber realizado la limpieza del tablero adyacente.



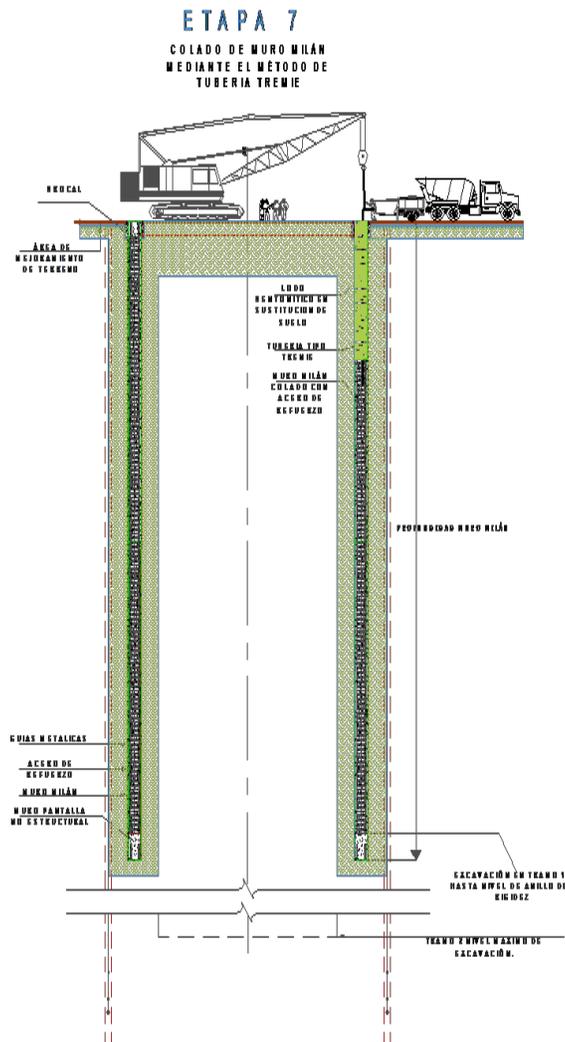
Etapa 6.- Colocación de acero de refuerzo.

- a) Construcción de plantillas de concreto simple o cama de madera.
- b) Habilitar el acero de refuerzo de acuerdo al proyecto ejecutivo en área plana.
- c) La unión de acero vertical si el proyecto lo permite se realizara mediante conectores mecánicos ó soldadura u otro mecanismo de unión.
- d) Armado de acero en tramos.
- e) Cada armadura será recibida y checada por un técnico especializado quien señalará el lado excavación con una marca de pintura roja.
- f) Con grúa sobre oruga con capacidad suficiente, introducir la primera parte del armado en la excavación.
- g) Sujetar extremo armado ya introducido mediante una trampa colocada sobre el brocal.
- h) Izaje y colocación de un segundo tramo del armado.
- i) Acople de los armados de acero con conectores o soldadura.
- j) Armado de acero se afloja de la trampa y se desciende el armado en la excavación.



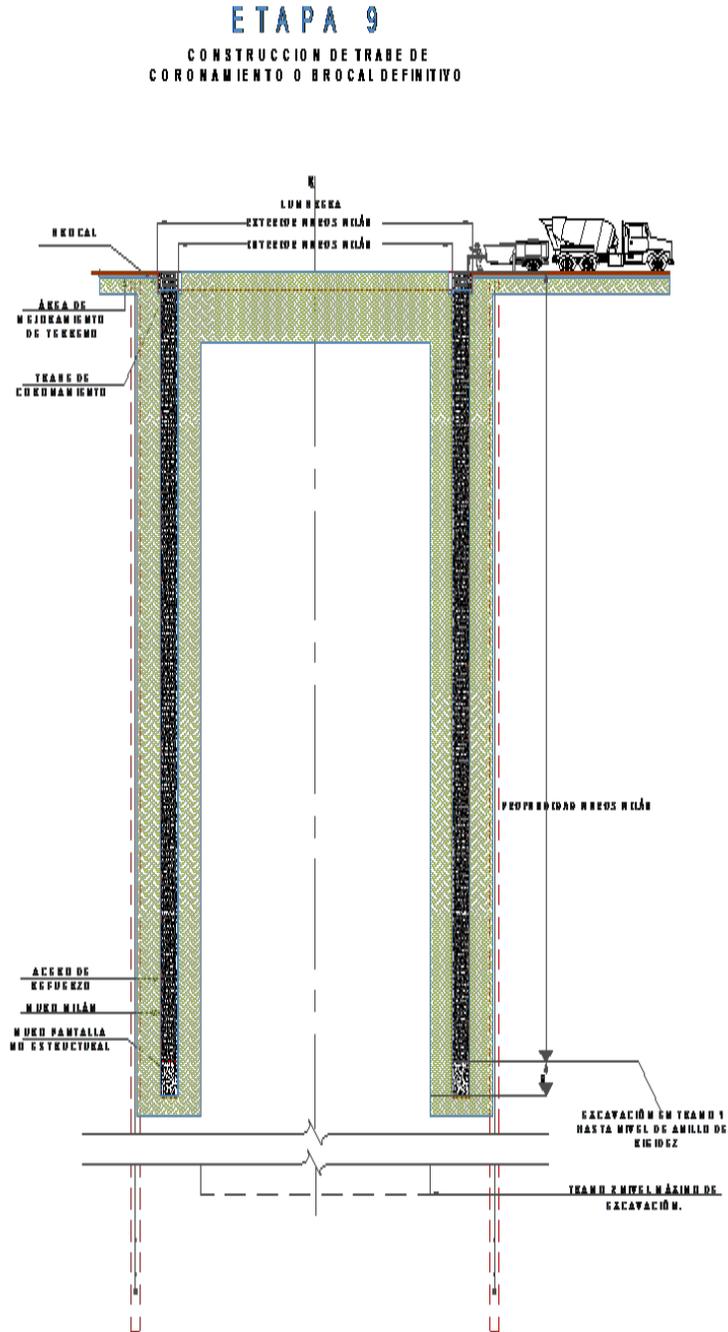
Etapa 7.- Colado de muro Milán mediante tubería tremie.

- a) Colado del muro Milán mediante método tubería tremie.
- b) Tubería tremie constituida por tramos.
- c) La punta del tubo tremie debe estar ahogada dentro del concreto ya vertido.
- d) El concreto debe cumplir con las especificaciones del proyecto.
- e) El colado del concreto se hará de forma continua hasta su terminación.
- f) Durante el vaciado se harán mediciones del nivel para verificar volúmenes teóricos contra reales.
- g) Nivel del concreto final se realizara por arriba del nivel del proyecto para asegurar su sanidad.
- h) El lodo bentonítico desplazado se enviara a almacenamiento o a un desarenador para su reutilización.
- i) Una vez que el concreto haya adquirido las resistencia requerida para desmolde, se iniciará la excavación del tablero contiguo para retiro de junta metálica.



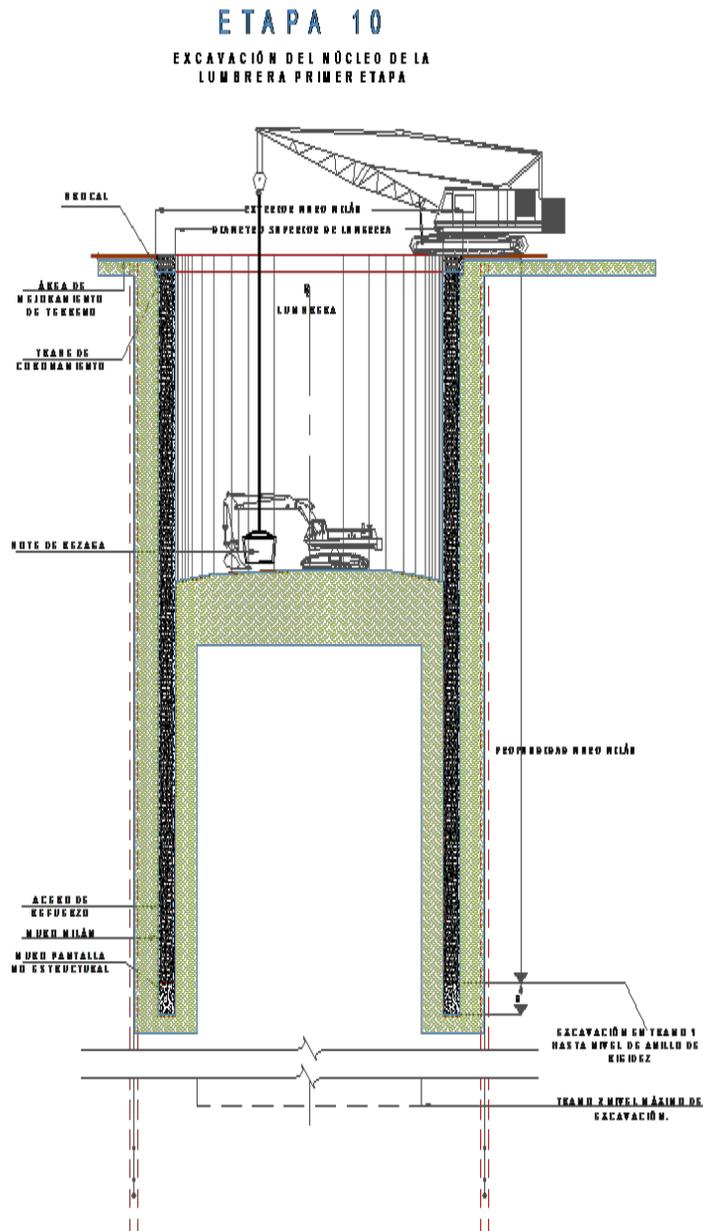
Etapa 9.- Construcción de trabe de coronamiento.

- a) Descabece del muro Milán hasta nivel del proyecto de la trabe de coronamiento.
- b) Suministro, habilitado y colocación del acero de refuerzo de la trabe de coronamiento.
- c) Se coloca la cimbra para la trabe de coronamiento.
- d) Se realiza el colado de la trabe de coronamiento.



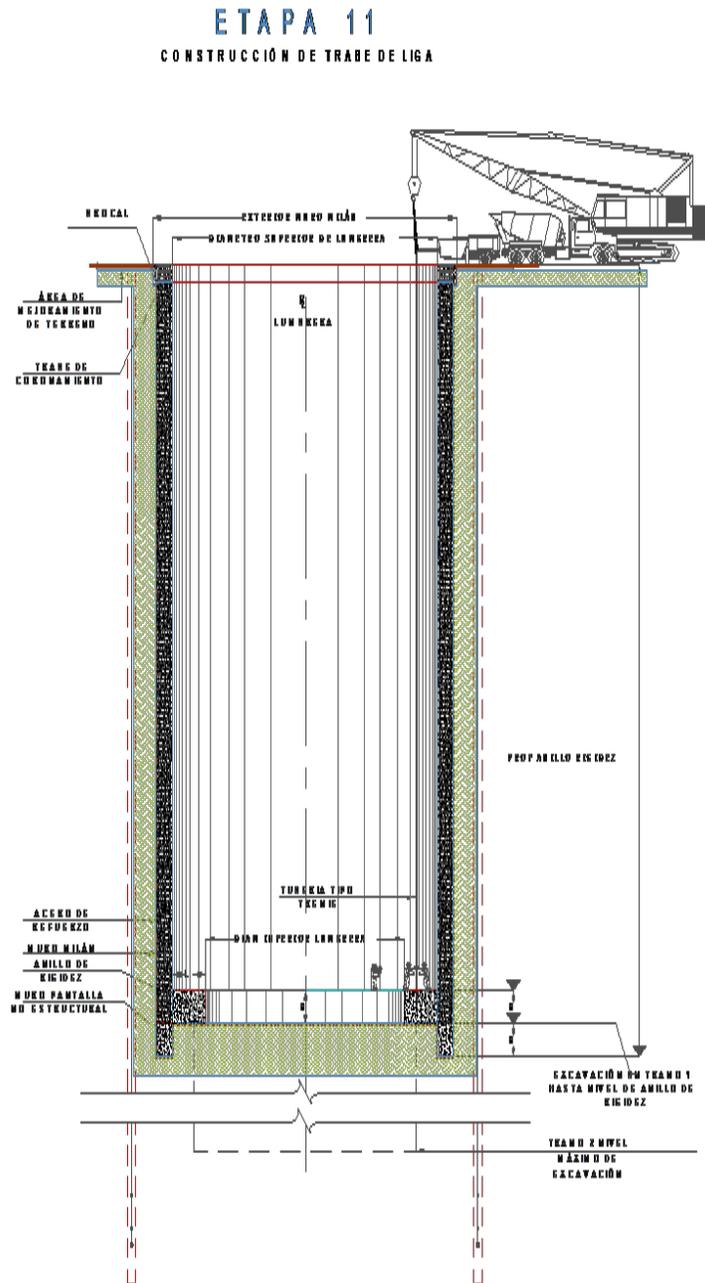
Etapa 10.- Excavación del núcleo de la lumbrera primer etapa.

- a) Posterior a la construcción del brocal definitivo y trabe de coronamiento, se procede al inicio de la excavación del núcleo.
- b) Excavación con almeja loca del núcleo hasta el nivel indicado en proyecto.
- c) El material producto de la excavación se retira mediante camiones al tiro asignado.
- d) En caso de filtraciones, se procede a la colocación de drenes e inyección mediante una lechada agua - cemento.
- e) Se empleara cárcamos para recolección de agua y bombas para su extracción en el fondo de la excavación.



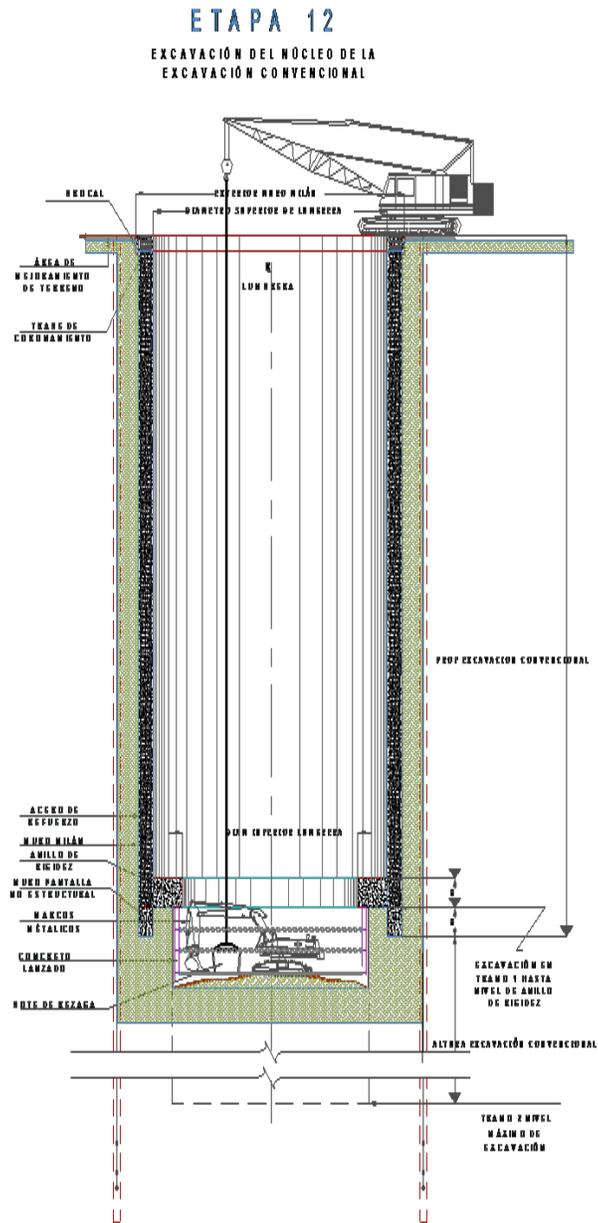
Etapa 11.- Construcción de trabe de liga o anillo de rigidez.

- a) Se inicia la construcción de la trabe de liga.
- b) Se deberá verificar el nivel topográfico de la trabe de liga.
- c) Dejar reservaciones del acero de refuerzo para muro secundario.
- d) Suministro y colocación de acero de refuerzo de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- e) Suministro y colocación de cimbra de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- f) Suministro y colocación de concreto de acuerdo al proyecto ejecutivo.
- g) Acomodo del concreto con vibrado necesario.



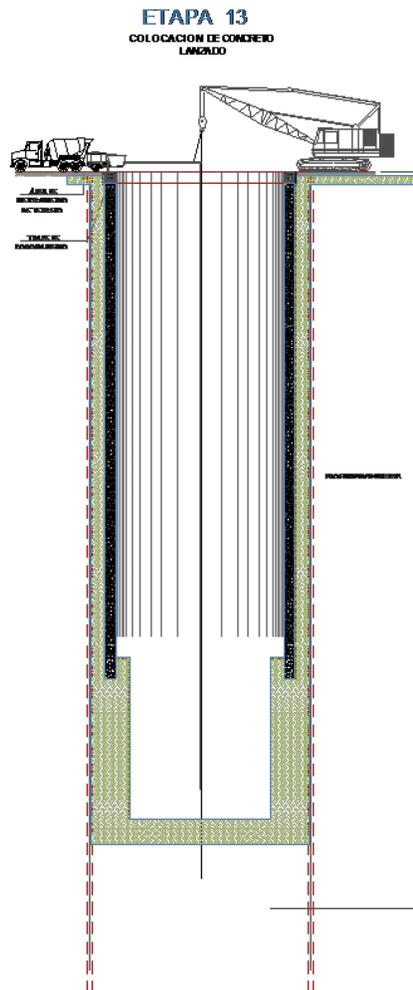
Etapa 12.- Excavación del núcleo de la lumbrera en segundo tramo (inicio de excavación convencional).

- a) Rezaga de material excavado mediante bote.
- b) Extracción a superficie de material de rezaga por medio de una grúa sobre oruga.
- c) Acarreo del material excavado por medio de camiones al banco de tiro asignado.
- d) Durante el proceso de excavación se empleará la construcción de cárcamos de recolección de agua donde se colocará bombeo de achique para su extracción a superficie.
- e) A partir del nivel inferior de la trabe de liga se iniciara la colocación del primer marco metálico.



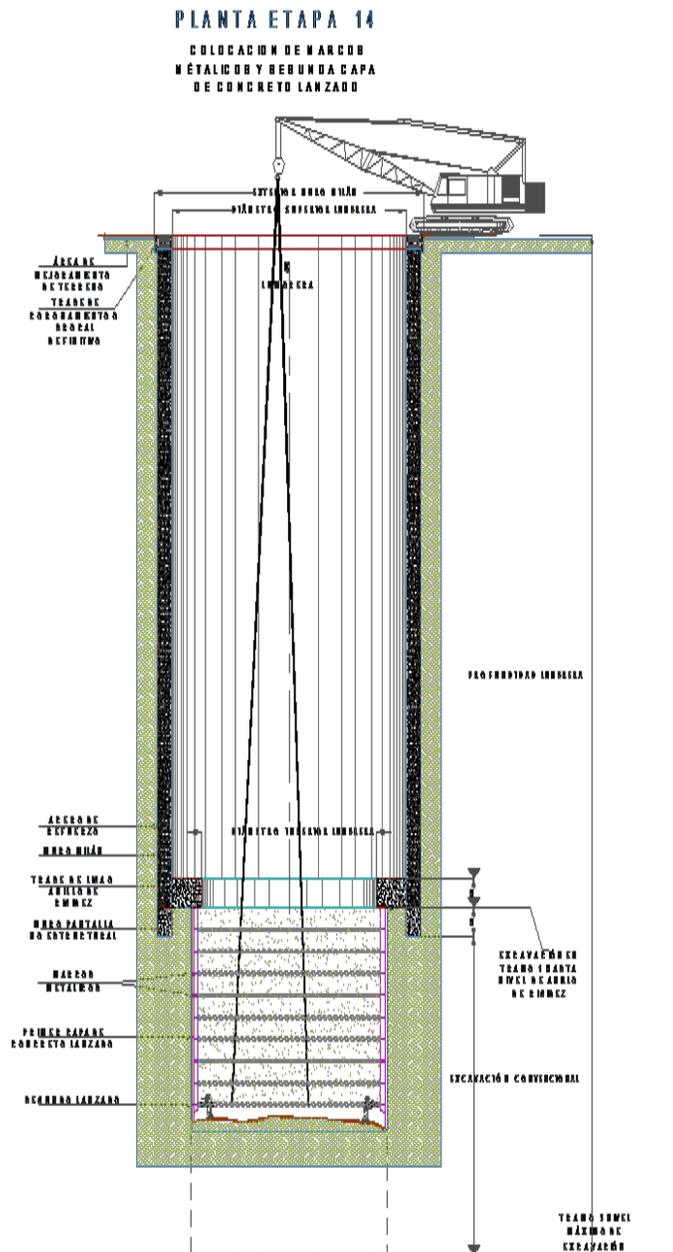
Etapa 13.- Colocación de concreto lanzado.

- a) Colocación de la primera capa de concreto lanzado con espesor especificado de proyecto, después de concluir el avance de excavación.
- b) Se coloca el marco metálico; por segmentos, en todo el perímetro de la lumbrera.
- c) Se lanza la segunda capa de concreto lanzado, después de haber colocado los marcos metálicos, esta capa total cubrirá cuando menos la mitad del alma del perfil.
- d) Se recomienda que el concreto lanzado sea reforzado con fibras metálicas tipo dramix.
- e) El concreto lanzado deberá cumplir con la resistencia de proyecto.
- f) La mezcla es por vía húmeda.
- g) La mezcla se proyecta hacia la superficie por tratar, por medio de una lanzadora de concreto, accionada con aire comprimido a través de una línea de distribución hasta la boquilla de lanzado. la distancia entre la boquilla y la superficie por tratar, debe ajustarse de acuerdo a la velocidad de descarga, para lograr un mínimo de rebote, en general, la distancia debe estar dentro de los límites y la boquilla debe permanecer con dirección normal a la superficie por tratar.



Etapa 14.- Colocación de marcos metálicos y segunda capa de concreto lanzado.

- a) Se realiza colocación de marcos metálicos de perfil estructural.
- b) Se vigilara que la separación vertical entre marcos metálicos sea conforme al proyecto ejecutivo.
- c) Los anillos metálicos se colocaran después de la primera capa de concreto lanzado.
- d) Un marco metálico nuevo se suspenderá con varillas verticales soldadas a marcos metálicos colocado previamente.
- e) Después de colocar el marco metálico, se procede a colocar la segunda capa de concreto lanzado.



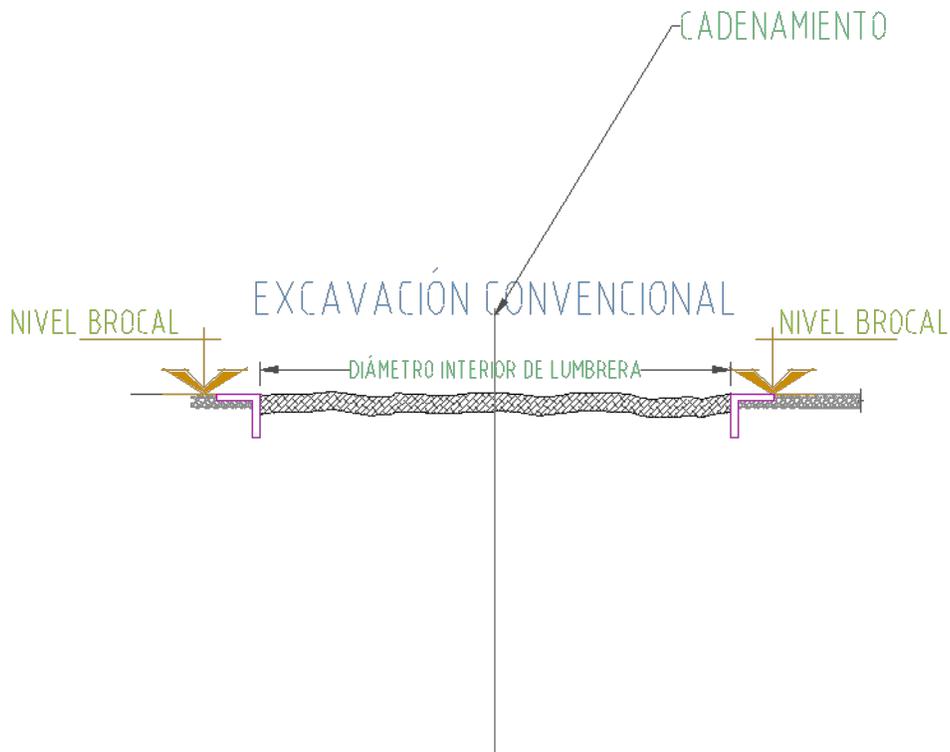
2.5.3.- MÉTODO CONVENCIONAL.

Utilizado en las lumbreras en suelo firme.

A continuación se realizara una descripción de este procedimiento, el cual consiste en 7 etapas:

Etapa 1.- Trazo y construcción de brocal perimetral.

- a) Los brocales se construirán en una zanja excavada para este fin, colando los brocales contra la pared de la excavación. La secuencia constructiva es: trazo, excavación, colocación de armado, colocación de cimbra y colado. Cabe señalar que en el sitio de ubicación de la lumbrera se debe realizar un mejoramiento previo del suelo, a base de una escarificación y despalme sustituyendo el mismo espesor con “tepetate” (arena-limosa) compactado al porcentaje indicado en el proyecto ejecutivo.
- b) La cimbra podrá retirarse una vez que el concreto pueda autosoportarse y la construcción de una etapa siguiente podrá iniciarse inmediatamente.

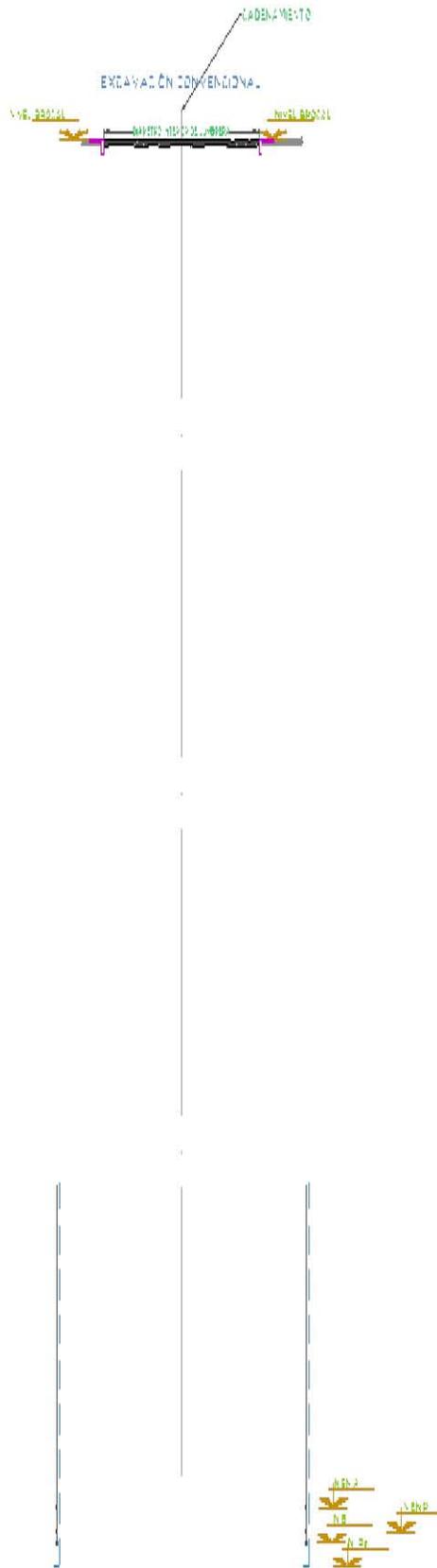


Etapa 2.- Construcción de pozos de bombeo.

- c) Teniendo en cuenta que es necesario liberar la presión de agua en los materiales permeables y reducir las filtraciones de agua al interior de la excavación, se considera un sistema perimetral de bombeo formado por pozos profundos de sección circular y profundidad acotadas en el proyecto ejecutivo, equipadas con tubo metálico ranurado, rodeado por grava, como material de filtro desde el nivel de plataforma y hasta el nivel máximo. La confirmación del número de pozos de bombeo requeridos se realizará con base en una prueba de bombeo que deberá ejecutarse en el sitio de la lumbrera (pudiendo emplearse como pozo de prueba uno de los pozos que formarán parte del sistema, o bien considerando que el pozo de prueba será posteriormente un pozo de reinyección). El bombeo profundo se complementará con bombeo de achique en el interior de la excavación. Para dar seguimiento al abatimiento del agua en el interior, también es factible considerar un pozo de observación (tubería de PVC, ranurada y rodeada por grava. La perforación desde el nivel de plataforma y hasta el nivel requerido se realiza con broca tricónica en diámetro proporcional al pozo.

Es importante mencionar que con el fin de garantizar la seguridad de la excavación y dado el papel fundamental que juega el bombeo en este proceso, es posible contemplar un sistema de bombeo formado por dos subsistemas independientes, con el fin de tener la posibilidad de pasar de un sistema al otro, de forma casi inmediata, en caso de alguna contingencia

- d) El sistema de bombeo deberá construirse previo a iniciar la excavación y construcción del muro método convencional.
- e) El agua producto del bombeo profundo deberá reinyectarse al subsuelo mediante un pozo dispuesto para este fin. El pozo de reinyección deberá ubicarse a una distancia no próxima a los límites de la lumbrera. El pozo de reinyección consistirá en un pozo de diámetro y profundidad necesaria, acondicionado con tubería ranurada, rodeado por grava como material de filtro desde el nivel de plataforma y hasta el nivel máximo.



Etapas 3.- Excavación y construcción de muro de concreto lanzado primer tramo.

- f) Se deberán instalar inclinómetros a una profundidad mayor a la máxima de excavación.
- g) La excavación del núcleo a cielo abierto iniciará después de haber iniciado la operación del sistema de bombeo y de haber tomado la lectura inicial de los inclinómetros. La excavación del núcleo central podrá realizarse mediante excavadora tipo y rezagando el material excavado con grúas tipo Link-belt, equipadas con almeja de al menos 1.5 m³ de capacidad.

Hacer cortes verticales de altura especificada en el proyecto. Es importante considerar que durante la ejecución de los trabajos, esta secuencia puede adecuarse.

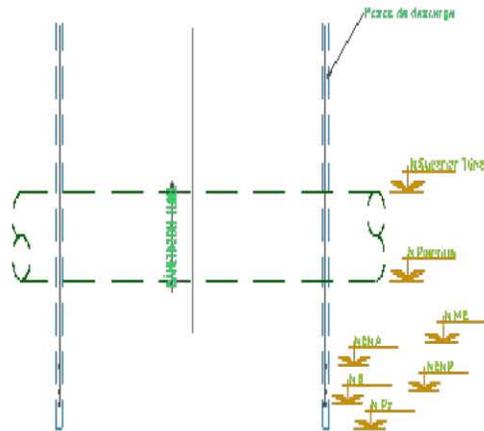
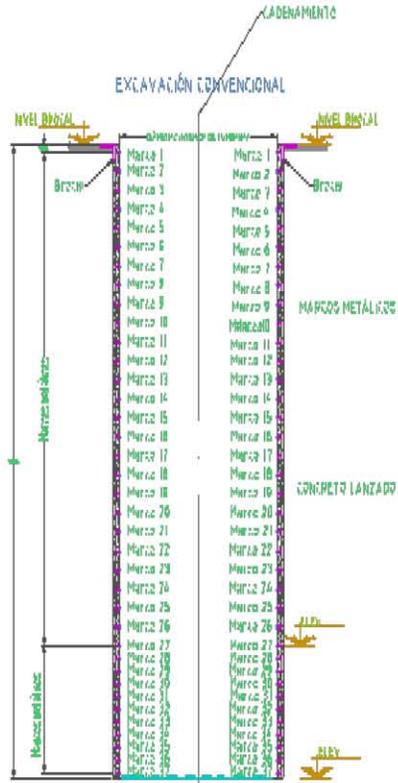
El concreto lanzado será reforzado si lo requiere en proyecto con fibras metálicas, para proteger de inmediato la cara del corte y preparar la superficie para asentar los marcos metálicos horizontales. El cemento a utilizar deberá estar indicado en las especificaciones, al igual que la relación agua/cemento.

Colocar y fijar los marcos metálicos horizontales a una separación vertical como lo indique el proyecto. La cara del patín de los marcos deberá tener colocados antes de su instalación conectores de cortante (pernos Nelson), ya que este muro de concreto lanzado y marcos metálicos se integrará al muro secundario para tener un trabajo estructural conjunto en etapa de servicio. Un marco metálico nuevo por colocar se deberá suspender a través de varillas verticales soldadas al marco colocado en la etapa anterior.

Después de la colocación de los marcos, lanzar concreto entre las almas de los perfiles, el concreto, el cemento y la relación agua/cemento, deberán cumplir las especificaciones requeridas.

Continuar la excavación con esta misma secuencia hasta donde se indique

Al llegar a cierta profundidad de excavación vertical, se excavará mediante una retroexcavadora una “zanja piloto” ubicada preferentemente en el perímetro de la excavación, con el fin de realizar una evaluación del tipo de material que se presenta respecto al que se espera y así poder confirmar las condiciones del terreno y, junto con el comportamiento de la excavación observado mediante los inclinómetros, ajustar ó reafirmar el procedimiento de excavación (incluyendo las alturas de excavación por cada etapa). En obra se definirá la mejor ubicación para la zanja con el fin de que no interfiera con los frentes de construcción.

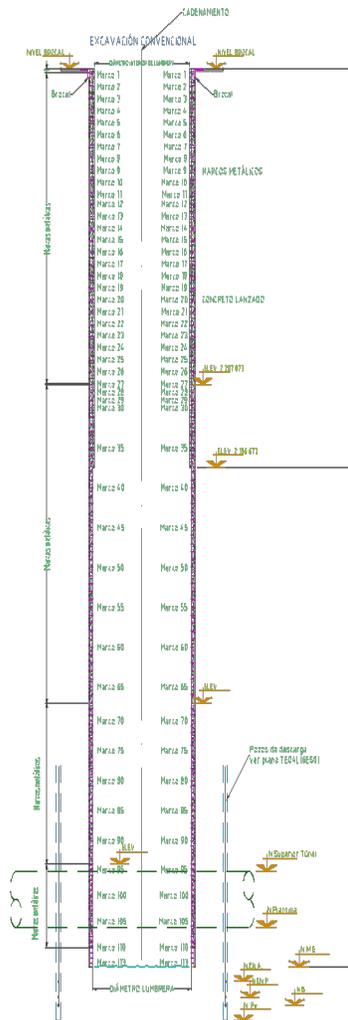


Etapas 5.- Excavación y construcción de muro de concreto lanzado, segundo tramo.

Una vez construido el muro secundario, se continuará con el muro de concreto lanzado hasta el nivel máximo de excavación, siguiendo la misma secuencia que para el primer tramo ya construido. Los marcos metálicos se colocarán a la separación vertical especificada según su profundidad, hasta el fondo.

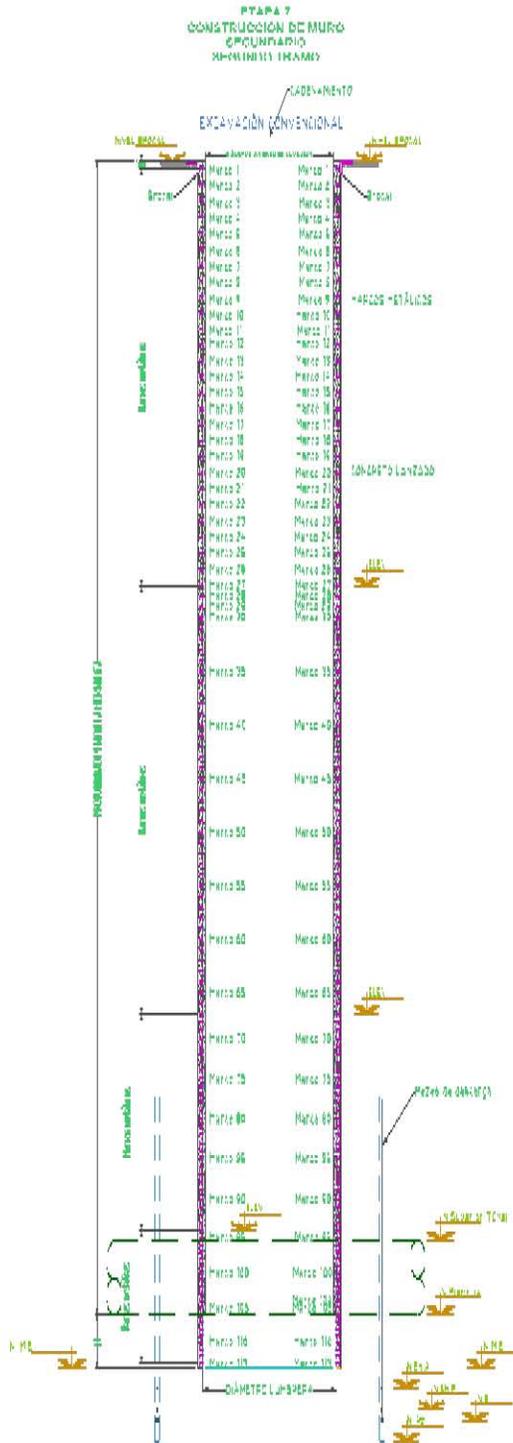
Llegado al nivel máximo de excavación, se construirá el muro secundario concreto reforzado. Deberá preverse el ajuste al acero de refuerzo del cuerpo de la lumbrera en la zona de conexión con el túnel, así como la construcción del anillo de emportalamiento.

La construcción del muro secundario será con cimbra deslizante, por lo que obra deberá definir el tipo de cimbra deslizante más adecuado, previendo las preparaciones para sujeción que pudieran requerirse. El proceso de construcción de muro secundario consiste en una secuencia de etapas de habilitado de acero de refuerzo, colocación de cimbra y colado en forma ascendente.



Etapa 6.- Construcción de muro secundario, segundo tramo.

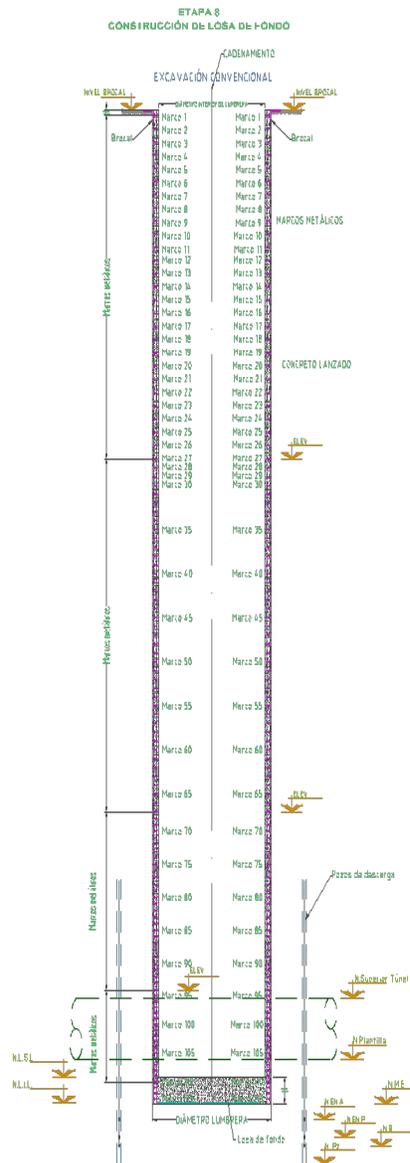
El habilitado del acero de refuerzo para el muro secundario y el colado deberá realizarse, incluyendo la zona de unión del refuerzo vertical de la etapa anterior con el de esta etapa.



Etapa 7.- Construcción de losa de fondo.

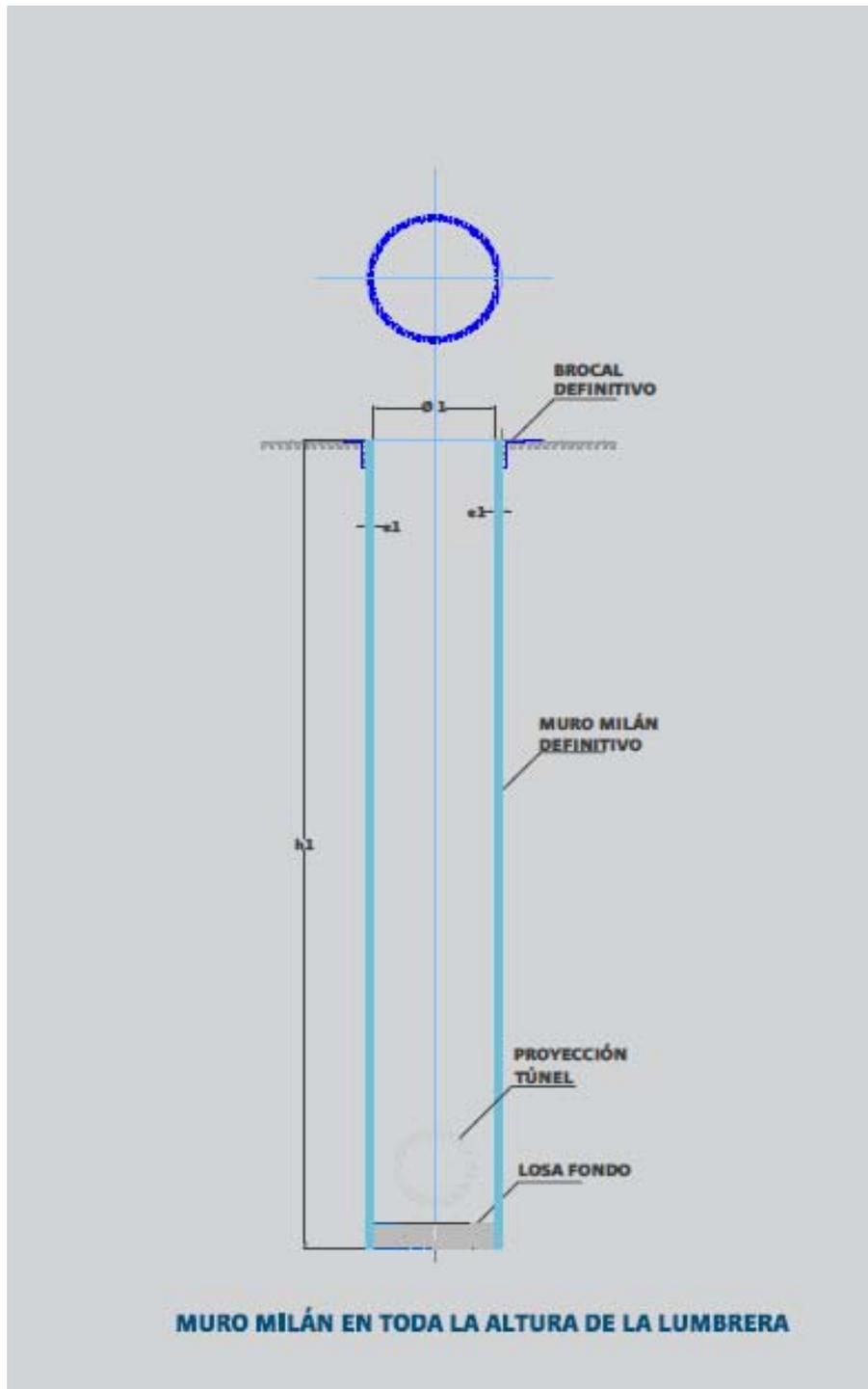
Se deberán afinar el fondo de excavación con herramienta manual, para posteriormente colocar un firme de concreto, previo al colado de la losa.

- h) La losa de fondo se colará en una sola etapa, por lo que en obra se deberán tomar las previsiones necesarias para un colado masivo continuo. El acero de refuerzo se habilitará directamente en la ubicación de la losa, empleando varillas verticales (tantas como sean necesarias) para suspender las parrillas superiores en su posición. Tanto el procedimiento de colado de la losa, como el sistema de varillas verticales para soporte de la parrilla superior de refuerzo, deberán ser sometidos a aprobación por parte de la supervisión.
- i) El bombeo deberá garantizar el mantener los niveles del agua abatidos por debajo del nivel de excavación, durante el proceso de excavación y colado.

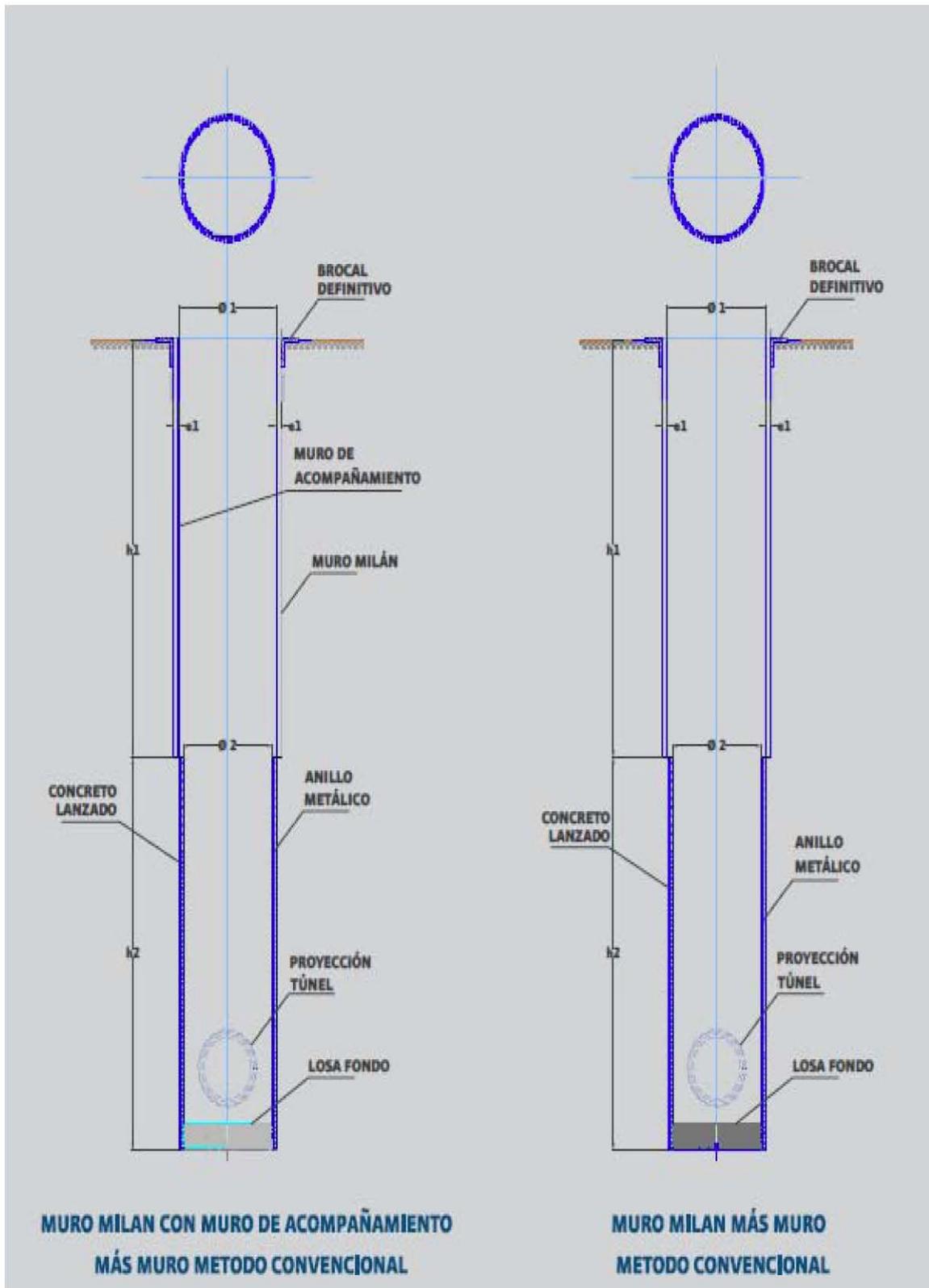


Lumbrera	Cadenamiento	Método Constructivo
L-0	0+000	Flotación (construida antes del TEO)
L-1A	2+753	Muro Milán en toda la altura del muro
L-03	5+398	Muro Milán en toda la altura del muro
L-3A	6 + 488	Muro Milán en toda la altura del muro
L-04	8+208	Muro Milán en toda la altura del muro
L-05	10+050	Muro Milán + Muro convencional
L-06	11+476	Muro Milán + Muro convencional
L-07	13+486	Muro Milán +Muro convencional
L-08	16+032	Muro Milán + Muro convencional
L-09	18+844	Muro Milán + Muro convencional
L-10	21+632	Muro Milán + Muro convencional
L-11	24+777	Muro Milán + Muro convencional
L-12	27+603	Muro Milán + Muro convencional
L-13	30+790	Muro Milán + Muro convencional
L-14	33+416	Muro Milán + Muro convencional
L-15	35+865	Muro Milán + Muro convencional
L-16	38+533	Muro convencional con anillos
L-17	40+992	Muro Milán + Muro convencional
L-18	44+304	Muro Milán + Muro convencional
L-19	46+699	Muro Milán + Muro convencional
L-20	49+992	Muro Milán + Muro convencional
L-21A	52+518	Muro Milán en toda la altura del muro
L-22	54+823	Muro convencional con anillos
L-23A	57+479	Muro convencional con anillos
L-24A	58+934	Muro convencional con anillos

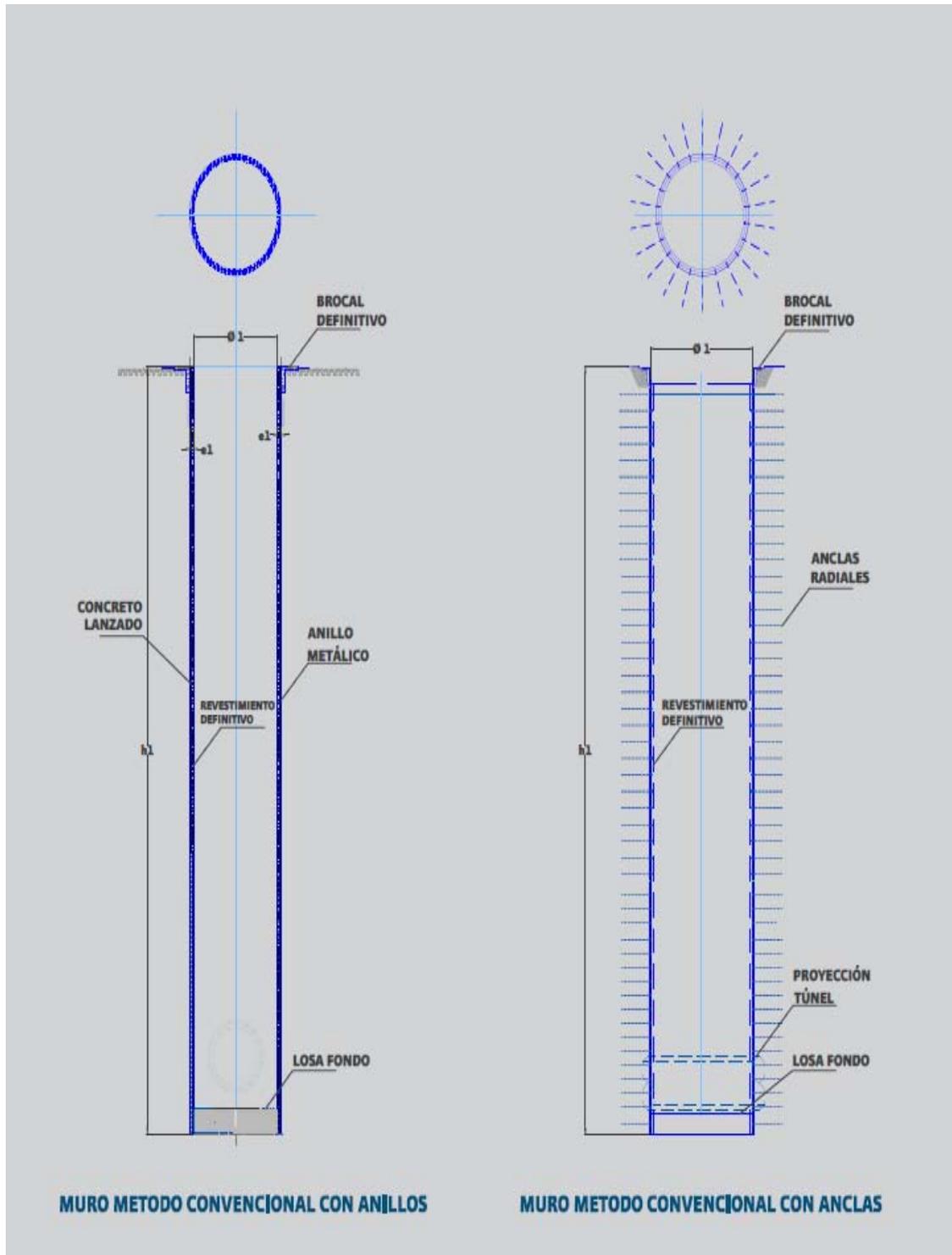
Relación de lumbreras con cadenamientos
y procedimientos constructivos.



Sección de lumbreras construidas con muro Milán en toda su profundidad



Sección de lumbreras construidas con muro Milán hasta donde la herramienta o suelo lo permite y excavando el resto de la lumbreira por el método convencional.



Sección de lumbreras construidas por el método convencional.

Se muestra foto como referencia, del equipo denominado hidrofresa, mediante el cual se realizo excavación perimetral en lumbreras del tramo 5.



Lumbrera 20 excavación para muro milán con hidrofresa.

2.6.- PORTAL DE SALIDA DEL TEO.

El portal de salida del TEO se ubica al oriente de la descarga del Túnel Emisor Central (TEC), muy próximo a la misma.

Actualmente el TEC descarga hasta 120 metros cúbicos sobre segundo en condiciones de operación normal, caudal que se estima subirá a 150 metros cúbicos sobre segundo con las labores de rehabilitación y mantenimiento, las aguas del TEC se envían al distrito de riego del Valle del Mezquital en un caudal medio de 40 metros cúbicos sobre segundo, con máximos de hasta 50 metros cúbicos sobre segundo, con excedencias al río Tula, donde confluyen también las aguas del río El Salto (margen derecha del TEO, al poniente) con un caudal de hasta 80 metros cúbicos sobre segundo aportados a su vez por el emisor del poniente y el río Cuatatán, previa regulación en la Laguna de Zumpango.

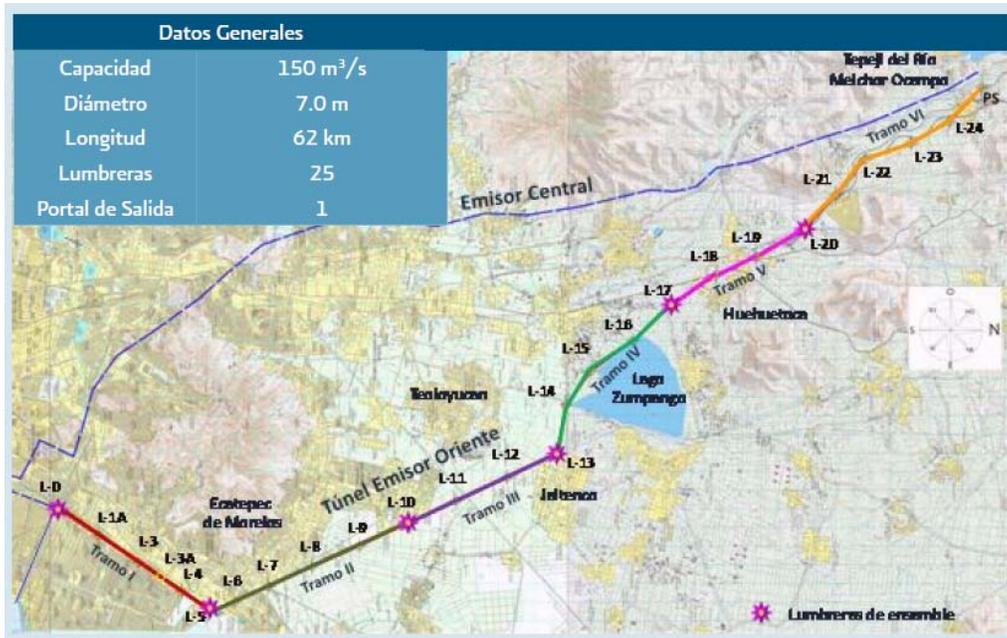
A estos caudales se sumará la descarga del TEO con un caudal de hasta 150 metros cúbicos sobre segundo, los mismos que habrán de conducirse por el río Tula hacia la Presa Endhó.

A la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, actualmente en construcción, se derivarán hasta 35 metros cúbicos sobre segundo, con excedentes al río Tula durante época de lluvias.

CAPITULO 3.- TÚNEL.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

Definido el trazo del túnel, la ubicación y procedimientos constructivos de las lumbreras y la logística de avance de excavación de las tuneleadoras, a continuación, se describirán las etapas que componen la construcción del Túnel Emisor Oriente.



Trazo del túnel emisor oriente.



Logística original de excavación del túnel emisor oriente.

Se iniciara con la descripción de los componentes de los equipos, su proceso de ensamble y bajada al fondo de la lumbrera, así como su funcionamiento y/o operación durante el cual quedara colocado e instalado, la colocación del revestimiento primario de concreto reforzado y al concluir esta etapa proceder a la extracción del equipo y las instalaciones que lo apoyan en la operación, finalmente se inicia la colocación del acero y concreto para el revestimiento definitivo del túnel, dejándolo preparado para su operación.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.

Concluido el proyecto ejecutivo que contiene información geohidrológica y derivado de la subdivisión de los tramos, se seleccionaron seis tuneledoras (Earth Pressure Balance, EPB), tres de tecnología alemana y tres norteamericana que permitirán trabajar de manera simultánea en seis frentes para avanzar con mayor rapidez en la construcción.

De las tres máquinas con tecnología alemana, dos tienen un diámetro de corte de 8.70 metros, para los tramos 1 y 2, y la otra con diámetro de corte de 8.90 metros para el tramo 6.

Los otros tres equipos norteamericanos tienen un diámetro de corte de 8.90 metros, para trabajar en los tramos 3, 4 y 5. El diámetro de excavación resulta de sumar al diámetro de túnel terminado (que será de 7 metros) más los espesores por revestimientos primario y secundario del túnel.

El diseño de los equipos fue en base a las características geotécnicas y geohidrológicas imperantes en el terreno que habrán de atravesar.

Las tuneledoras están provistas de las herramientas necesarias (discos cortadores y/o dientes) para realizar el corte, según sea el caso para los diferentes tipos de suelo; extraer la rezaga, ya sea por bombeo, banda transportadora o vagonetas; gatos de empuje y herramientas para la colocación de las dovelas (que permiten sostener el suelo excavado durante la excavación), que corresponden a estructuras de concreto que sirven de sostenimiento al suelo durante la etapa de excavación; asimismo, entre otras herramientas, las tuneledoras cuentan con los instrumentos de control de alineamiento y nivel, cámaras hiperbáricas para la entrada de personal especializado al frente de la excavación (donde puede haber altas presiones de agua) para la inspección de la rueda y poder realizar cambios de herramientas de corte, así como bombas y equipo para inyectar con mortero las oquedades que quedan entre el perímetro de la excavación y el perímetro exterior de las dovelas.

La relación de los componentes principales se relaciona a continuación:

- 1.- Motorización principal compuesta de motores eléctricos de accionamiento el número de motores varía según diseño.
- 2.- Rueda de corte.
- 3.- Herramientas de corte, el tipo de herramienta varía según el tipo de suelo.
- 4.- Escudo delantero, incluye cámara hiperbárica y cilindros de empuje.

- 5.- Escudo intermedio.
- 6.- Cilindros de articulación en el faldón.
- 7.- Escudo de faldón de cola, incluye cepillos de alambre.
- 8.- Erector de dovelas.
- 9.- Tornillo sin fin.
- 10.- Sistema de bandas, bombeo o Backup de vagonetas para rezagado.
- 11.- Alimentador de dovelas.
- 12.- Equipo de inyección de mortero.
- 13.- Equipo de espumas.
- 14.- Equipo de inyección de bentonita.
- 15.- Sistema eléctrico, hidráulico, de agua para refrigeración.
- 16.- Sistema de bombeo de achique.
- 17.- Sistema de ventilación y de aire.
- 18.- Cabina de mandos.
- 19.- Sistema de guiado.
- 20.- Prevención de gas metano.

3.3. PRELIMINARES A LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL.

Para iniciar la excavación del túnel, es necesario previamente realizar el preensamble del equipo en superficie y concluir su armado en el fondo de la lumbrera, para lo cual se debe contar con los siguientes trabajos en superficie y en el fondo de la lumbrera:

3.3.1.- OBRA CIVIL.

- Construcción de plataforma de maniobras de patio de manto, donde se almacenaran los anillos de concreto prefabricados, durante la excavación.
- Construcción de cimentación para grúa.
- Construcción de cimentación para planta de inyección.
- Construcción de cimentación para soldadura de rueda de corte, la cual se requiere para realizar los trabajos de ensamble de la rueda de corte en superficie.
- Construcción de cimentación para soldadura de faldón de cola, la cual se requiere para realizar los trabajos de ensamble del faldón de cola en superficie.
- Construcción del depósito de material producto de la excavación del túnel, este material es trasladado desde el frente de excavación hasta la superficie de la lumbrera, para ser depositado en un banco de tiro autorizado por la dependencia.
- Construcción de trincheras, registros y ductos para instalaciones eléctricas, hidráulicas, de bombeo y servicios generales.
- Construcción de almacén de agregados para planta de inyección, esta mezcla será inyectada entre el revestimiento primario y el suelo excavado para rellenar espacios y abatir el flujo freático.
- Suministro, tendido y compactación de material de banco para formar plataforma en superficie para armado en superficie del tren de equipo de la tuneleadora y para pruebas.
- Demolición de muro de lumbrera para salida del escudo y acarreo del material.

3.3.2.- INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS.

- Instalación del sistema de enfriamiento de la tuneledora en superficie.
- Suministro e instalación de tanques para agua para elaboración de mezcla de inyección.
- Instalación del sistema de enfriamiento y servicios generales.
- Instalación de planta para elaboración de mezcla de inyección.
- Suministro e instalación de tuberías de los diámetros y materiales requeridos en superficie y en lumbrera para: instalación eléctrica, instalaciones hidráulicas, bombeo de lodos, de mortero para inyección, aire comprimido, sistema de enfriamiento de la tuneledora, bombeo de achique, de servicios generales.
- Suministro e instalación de cableado eléctrico en superficie y lumbrera, en las longitudes y calibres requeridos para la conexión y operación de los equipos, iluminación de campamento y lumbrera.
- Suministro e instalación de tableros eléctricos.
- Selección y disposición de grúa hidráulica, pórtico o de celosías, con capacidad suficiente para realizar las maniobras con seguridad.
- Instalaciones hidráulicas y eléctricas.
- Suministro e instalación del sistema de ventilación.
- Instalación de una cuna metálica o rieles ahogados dentro de una estructura de concreto reforzado, con sección curva necesaria para recibir la parte baja del escudo, dicha cuna se habilita de acuerdo con las elevaciones del proyecto.

3.4. PREARMADO EN SUPERFICIE, BAJADA Y ENSAMBLE AL FONDO DE LA LUMBRERA.

Una vez concluidos los trabajos preliminares se puede iniciar el prearmado de la tuneledora en superficie en tres etapas:

- Trabajos de soldadura para unión-ensamble de segmentos de la rueda de corte, los cuales incluyen las maniobras necesarias para los trabajos de soldadura.
- Trabajos de soldadura para unión de segmentos de faldón de cola, así como colocación y soldadura de los cepillos en el faldón de cola, los cuales son parte de los trabajos de ensamble que se requieren para bajar armadas las piezas al fondo de la lumbrera.
- Armado y preensamble de otras piezas del escudo en superficie incluyendo la bomba para espumas, las cuales corresponden al ensamble de las partes del escudo que llegaron separadas y que se requiere armar previo a su descenso.
- Al termino del armado de los componentes y el preensamble hasta donde permite el procedimiento constructivo, el diámetro y profundidad de la lumbrera, se realizan las pruebas de funcionamiento de la tuneledora y el armado en superficie del tren de equipo, así como de sus sistemas eléctrico, hidráulico y neumático.

3.4.1.- ENSAMBLE DE LA PRIMERA SECCIÓN DE LA MAQUINA TUNELERA.

A continuación se indica un ejemplo de cómo concluir el proceso de ensamble de una tuneledora en el fondo de la lumbrera, dicho procedimiento varía según recomendaciones del fabricante y condiciones constructivas.

Será necesario realizar maniobras de bajada de los elementos tales como:

- Segmentos inferiores.
- Segmentos medios.
- Segmentos superiores.
- Accionamiento principal.
- Gatos de empuje.
- Tornillo sinfín y su motorización.
- Cruz portante.
- Cámara hiperbárica.
- Rueda de corte.
- Grúa pórtico.
- Erector de dovelas.
- Faldón de cola.

Para lo anterior se debe contar con un procedimiento seguro de ensamble y bajada, que considere cada elemento por etapas de la primera sección inferior y colocarla en el fondo de la lumbrera que incluye gatos de empuje, mangueras y conexiones, ductos, válvulas, preparaciones y conexiones.

La unión de las piezas del escudo en fondo de lumbrera se realiza mediante el apriete de tornillería, soldadura, conexiones hidráulicas, eléctricas y electrónicas.

Posteriormente se instalaran las partes y componentes de la sección lateral izquierda, para bajarla y posicionarla sobre la primera sección, atornillando las uniones y se revisa la verticalidad, giro y posición de esta parte que se mantiene suspendida hasta que se concluya la soldadura de unión calificada, entre ambas partes del escudo.

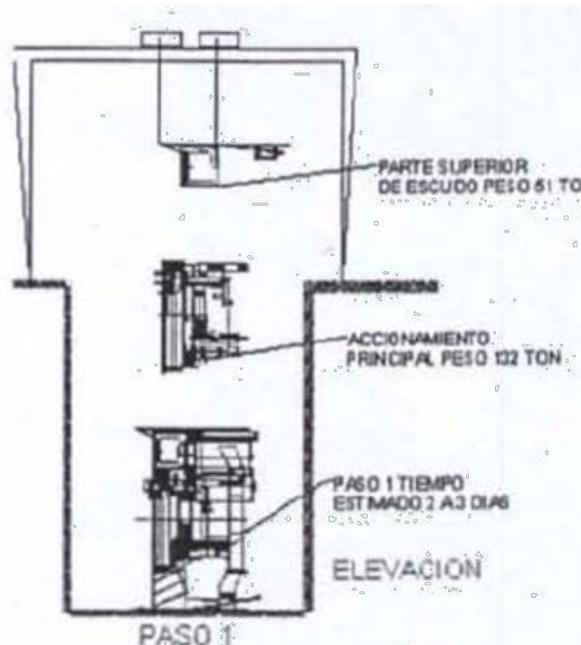


Vista frontal del ensamble de uno de los segmentos de tuneledora.

Se instalan componentes y partes de la sección lateral derecha, a continuación se baja hasta posicionarla sobre las secciones anteriores, uniéndolas con tornillería y checando su posición antes de soldar las uniones de ensamble.

A continuación se baja la flecha y los motores del accionamiento principal para alojarla sobre la parte inferior ensamblada y soldada.

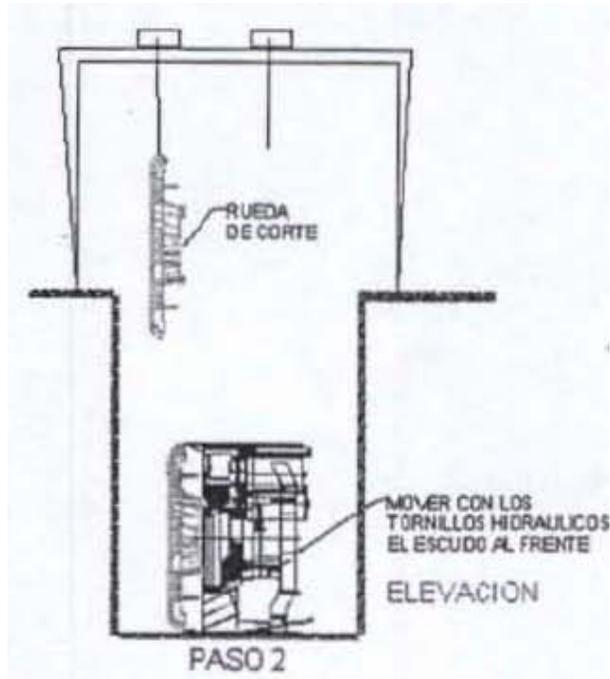
Finalmente se baja la parte superior de la carcasa del escudo, para dejar completa la primera sección, uniéndola con tornillería y soldadura calificada.



3.4.2.- CABEZA CORTADORA.

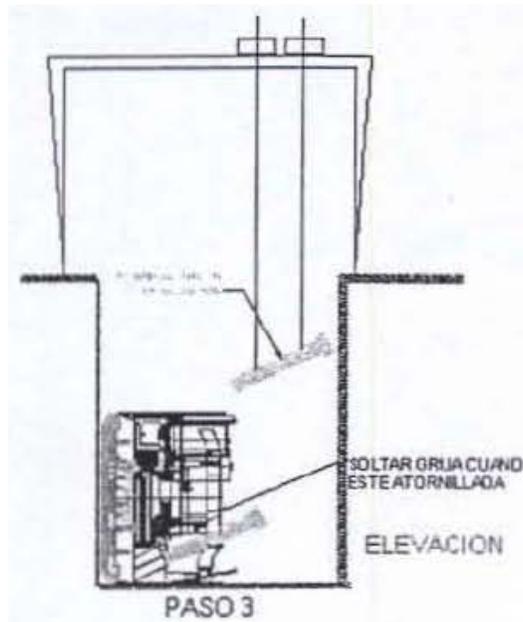
A continuación se baja verticalmente la cabeza cortadora, se posiciona y acopla a la flecha principal de corte y empuje, realizando las uniones atornilladas, las conexiones y ensambles necesarios, como la colocación de los cortadores frontales de extensión.

Para dar mayor espacio y continuar permitiendo las maniobras para alojar la sección posterior de la tuneledora que incluye el faldón de cola, tornillo sinfín 2 y su motorización, se avanza el escudo con los gatos de empuje inferiores hacia el portal de salida.

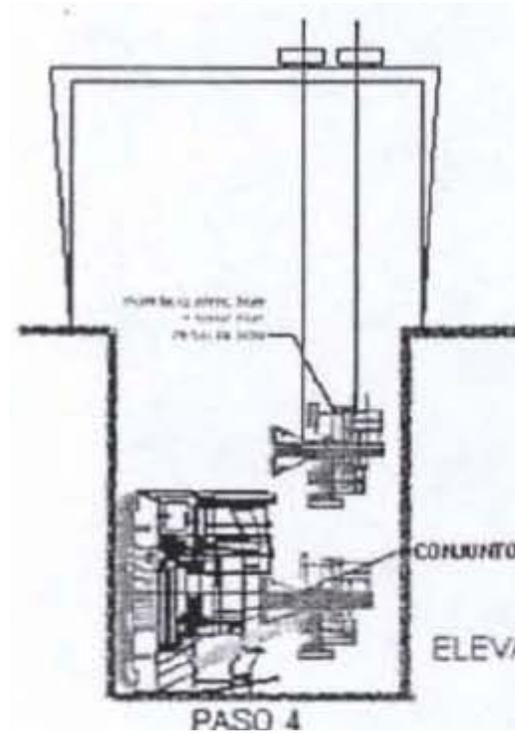


3.4.3.- SECCIÓN POSTERIOR DE LA MAQUINA TUNELERA.

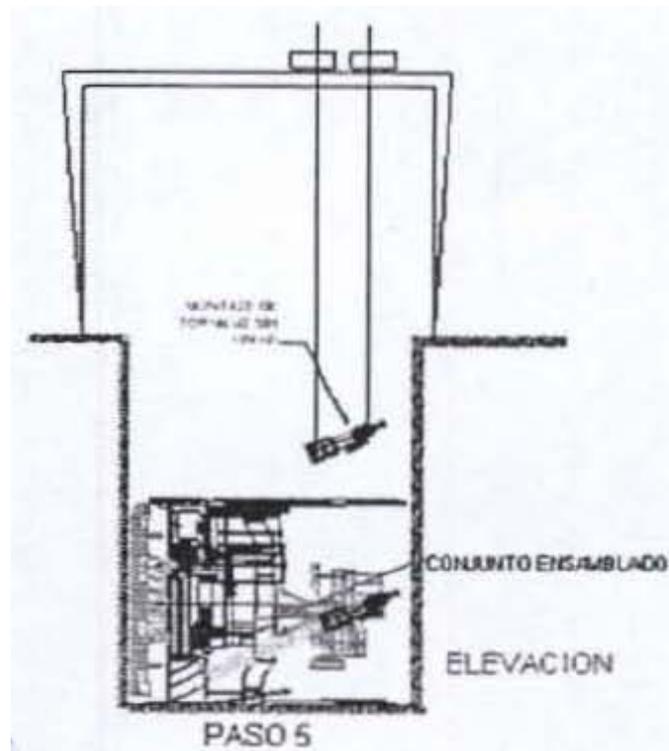
Se baja la primera sección del tornillo sinfin de rezaga, en posición inclinada con dos puntos de amarre, para poder alojarlo dentro de la primera sección de la tuneleadora, manteniéndolo suspendido hasta terminar de acoplarlo y atornillararlo.



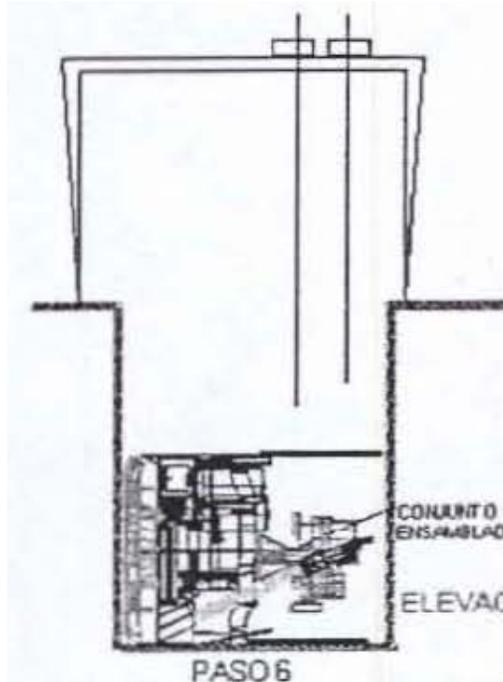
A continuación se ensambla y baja completo el pórtico y anillo erector ensamblados.



En seguida se bajan e instala el complemento del tornillo sin fin de rezaga.



Finalmente se coloca el faldón completo, montándolo en tres partes y soldando las uniones, instalando cepillos y sellos.



3.4.4.- PUESTA EN MARCHA.

Terminado el ensamble de todas las piezas, se continúa con la comprobación de las instalaciones eléctricas, hidráulicas, electrónicas y pruebas en vacío mediante la obturación de la cámara de excavación con bentonita, a través del ingreso del frente del escudo al portal, lo cual también evitara caídos y fugas en esta zona.

Conforme la tuneledora ingresa, se podrán instalar todos los componentes del tren de arrastre sobre las plataformas ubicadas sobre las paredes de la lumbrera y se realizar las pruebas con carga de todos los sistemas, durante los primeros metros de excavación.



Frente de excavación de tuneledora.

3.5. FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.

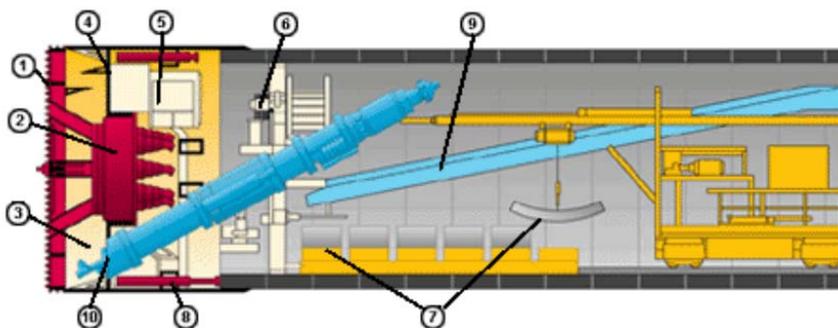
Para realizar los trabajos de excavación del túnel se deberán contar con un mínimo de instalaciones:

- Instalaciones de Alta y baja tensión.
- Subestación eléctrica.
- Máquina tuneledora (TBM) y su equipo complementario.
- Sistema de extracción del material producto de excavación.

- Sistema de transporte de dovelas y mortero de inyección.
- Sistema de ventilación.
- Aire comprimido.
- Agua.
- Planta de inyección.
- Losa de concreto para almacenamiento de dovelas.
- Cárcamo de Rezaga.

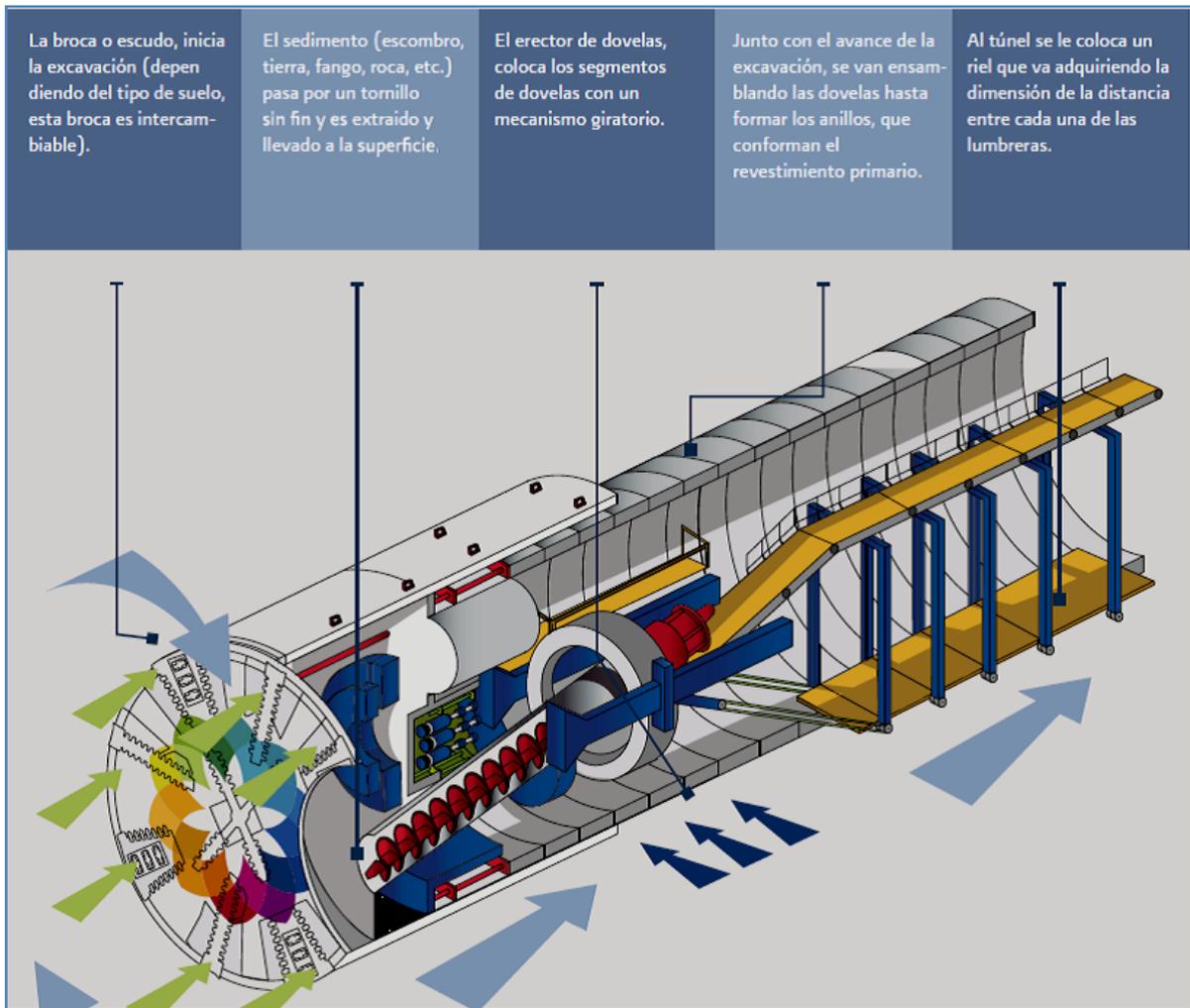
A continuación se describe el ciclo de excavación de las tuneledoras tipo EPB:

- Durante la excavación se deberá cumplir la presión frontal especificada y que la velocidad de avance cumpla con las características del terreno.
- Extracción del material producto de la excavación con el sistema de rezaga.
- En caso de utilizarse, deberá verificarse el control de calidad de los lodos a utilizarse en los frentes de excavación.
- En caso de requerirse se utilizara tratamiento del terreno con agentes espumantes.
- Se realizara la colocación de grasas obturantes en faldón y transmisión en forma oportuna.
- El transporte y colocación de anillos deberá realizarse sin daño en las dovelas y en la secuencia requerida.
- Los sellos de los anillos de dovelas se instalaran de forma adecuada.
- La unión entre dovelas con el anillo contiguo, deberá ser la adecuada.
- Se verificara que la separación entre faldón y dovela (gaps) sea la permitida durante la excavación.
- El volumen y presión de inyección de la mezcla será el adecuado para garantizar el contacto entre las dovelas y el terreno.
- Se deberá llevar el control del bombeo de agua durante el proceso de excavación del túnel.
- Con la finalidad de optimizar tiempos de excavación durante el proceso se podrá llevar un control de los tiempos inactivos y sus causas.
- Con el apoyo topográfico se verificará la posición del túnel, trazos y niveles.

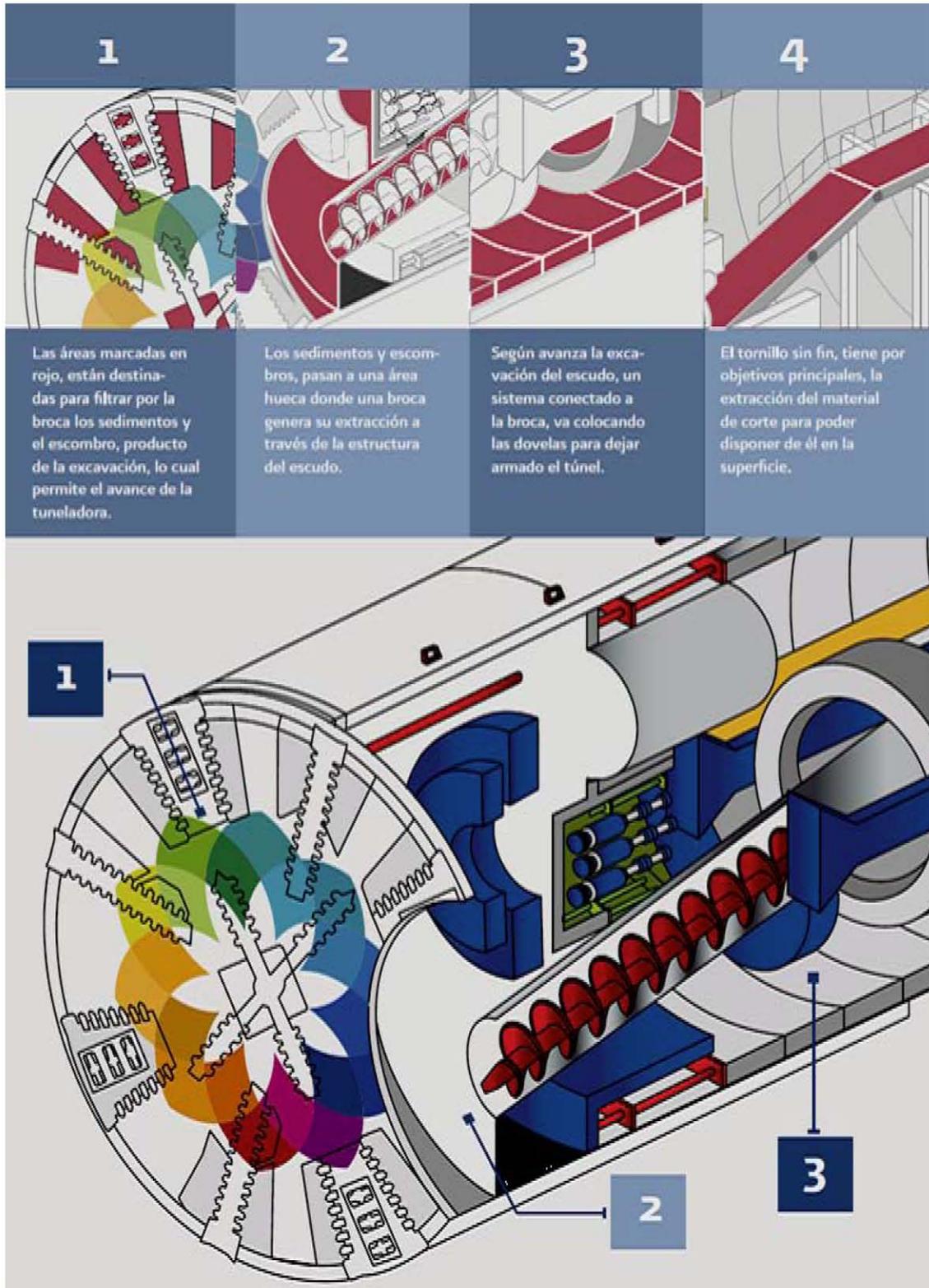


- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1. Rueda de Corte. | 6. Erector de dovelas. |
| 2. Accionamiento. | 7. Dovelas. |
| 3. Cámara de excavación. | 8. Cilindros de propulsión. |
| 4. Sensor de presión. | 9. Cinta transportadoras |
| 5. Esclusa de aire comprimido. | 10. Sinfín de extracción. |

Esquema básico de una EPB



Esquema de funcionamiento de una tuneledora.



Esquema de funcionamiento de la tuneledora.

3.6. REVESTIMIENTO PRIMARIO DEL TEO.

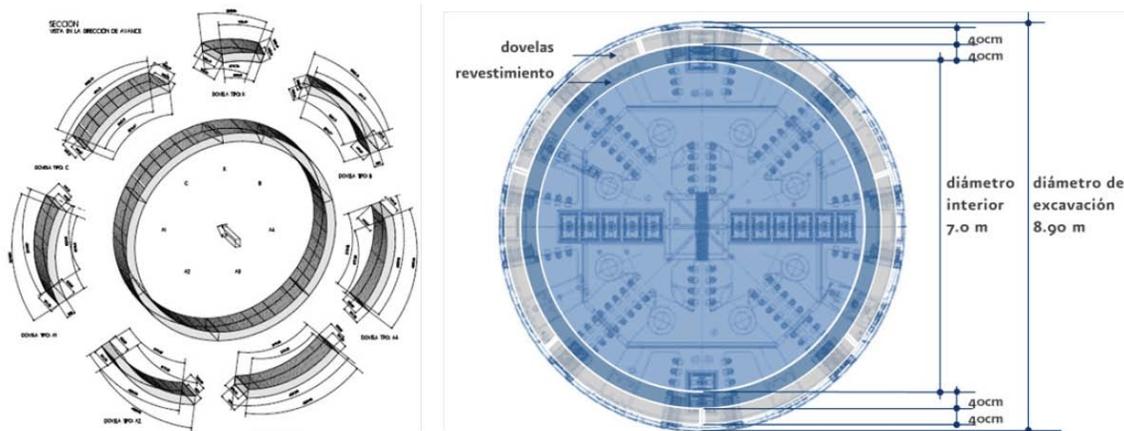
Durante el avance de la excavación la tuneledora requerirá con anticipación de la producción de anillos de concreto los cuales varían en dimensiones y espesores según el equipo tuneledor a utilizar.

A continuación se describirán las etapas de fabricación, almacenaje, traslado y colocación en túnel del revestimiento primario:

Fabricación:

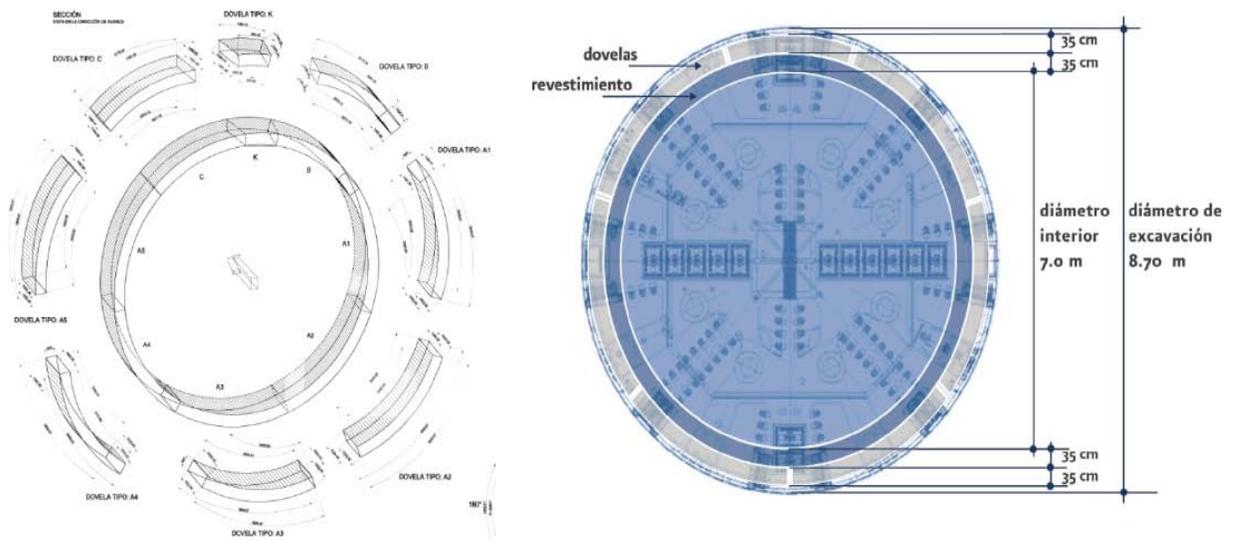
Para la realización de estos trabajos se requiere un volumen considerable, por lo anterior es necesario contar con planta de fabricación de dovelas que garantice el volumen y la calidad requerida.

En los tramos 1A y 2 las dovelas son de 35 centímetros de espesor, el anillo de dovelas se formará con 6 piezas principales y un candado, es decir, con un arreglo 6 más 1, cada anillo contará una longitud de 1.5 metros y un peso total estimado de 29 toneladas.



Sección de dovelas y revestimiento de túnel tramos.

Para los tramos 1B, 3 , 4 , 5 y 6 el espesor de dovelas será de 40 centímetros, el arreglo es de 7 más 1, la longitud de 1.5 metros y el peso total del anillo de 34 toneladas.



Sección de dovelas y revestimiento de túnel tramos.

La producción de los anillos de concreto reforzado se realizo en tres fábricas, la primera produce los anillos de los tramos 1-A y 2, la segunda las piezas de los tramos 1-B, 3 y 4 y la tercera la de los tramos 5 y 6.

Almacenaje posterior a los 28 días de la fabricación.

Durante la fabricación de los anillos de concreto reforzado se deberá cumplir con la calidad de los concretos y dimensiones y calidad del refuerzo, así como de su curado, para lo anterior las normas mexicanas requieren 28 días en almacenaje, para garantizar la resistencia requerida, durante su almacenaje se dejaran pasillos que faciliten maniobras de estiba y acarreos internos, para evitar que las dovelas se golpeen al efectuar cualquier maniobra.

Se deberá realizar su correcta estiba en la zona de almacenamiento apoyados en polines para entongado de anillos, previendo mal manejo de las dovelas durante todas las maniobras desde el desmolde, estiba, carga, transporte y descarga a los frentes de excavación, en caso de despostillamiento se deberá determinar el tipo de reparación que se amerite ó en su caso su rechazo.

Carga y transporte de anillos de dovelas de la planta de fabricación al frente de excavación.

Las maniobras de carga y transporte de anillos de la planta hasta el frente de excavación y descarga en el lugar; estiba en zona de almacenamiento de las lumbreras, se realizaran mediante camiones, plataformas con el apoyo de grúas.

Igual que en el caso de almacenaje, durante la carga y transporte se deberá tener cuidado durante todas las actividades, desde el desmolde, estiba, carga, transporte y descarga a los frentes de excavación, ya que en caso de despostillamiento, agrietamientos se determinará en campo el tipo de reparación que se amerite ó en su caso su reposición.

Una premisa para realizar la excavación es que posterior a la colocación del conjunto de dovelas y una vez formado el anillo ó revestimiento primario, mediante el erector (equipo incluido en la tuneledora), el avance de la tuneledora se realiza través de gatos de empuje apoyados en la parte lateral de este anillo, por ello es necesario garantizar la calidad de los anillos de concreto reforzado.

Inyección entre terreno natural y revestimiento primario.

Durante el proceso de excavación es necesario rellenar los espacios entre dovela y suelo, con el objeto de evitar efectos de asentamientos en la superficie en el trazo del túnel.

La mezcla de inyección puede ser a base de cemento, bentonita, arena sílica, agua y aditivo con un proporción, producto de un diseño que indicara volumen, presiones y tiempo de fraguado.

También existen inyecciones de contacto entre dovelas y revestimiento definitivo y su objeto es ocupar los espacios producidos por la contracción del concreto, el cual se realiza una vez concluido el colado del revestimiento definitivo.

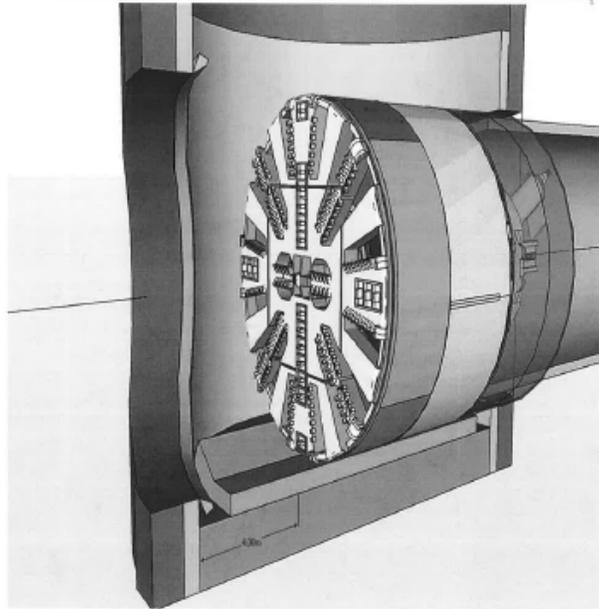
3.7. EXTRACCIÓN DE LOS EQUIPOS.

Se describe a continuación el proceso de extracción de una tuneledora al concluir sus etapas de excavación, dicho proceso varía según el equipo, equipo complementario y el diámetro de la lumbreras donde se extraerá.

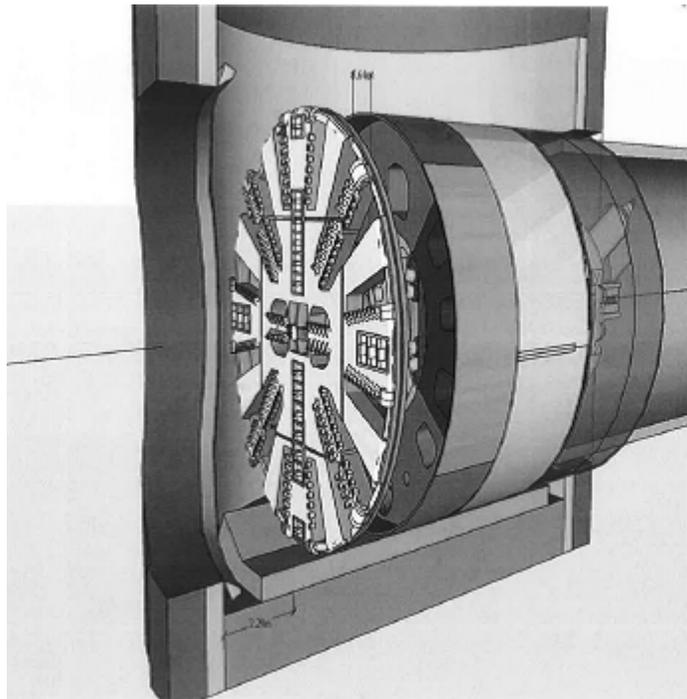


Vista frontal de salida de tuneledora.

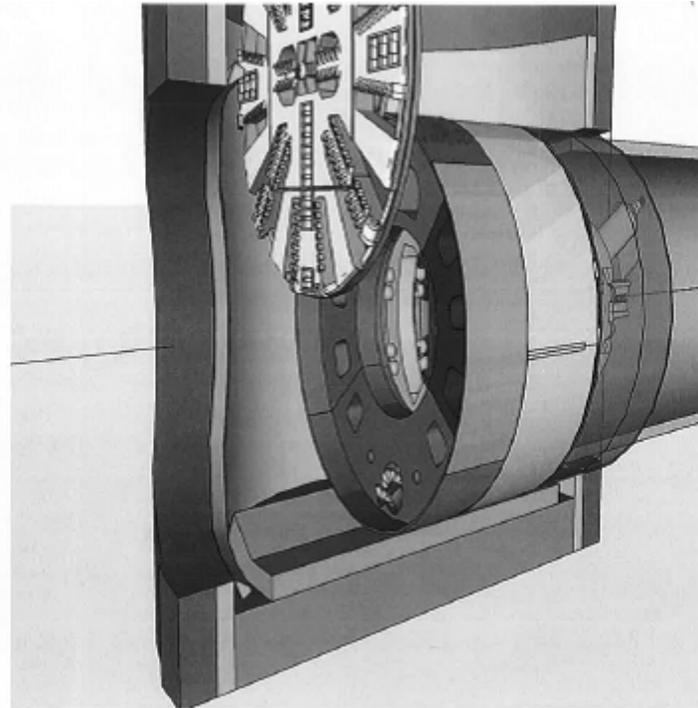
Se presenta a continuación de forma grafica las maniobras más representativas durante la extracción de los componentes de una tuneleadora.



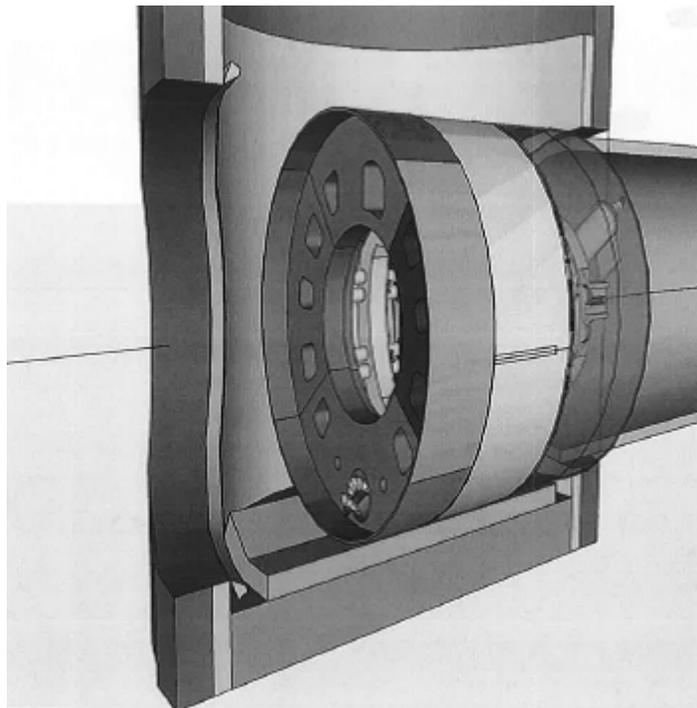
Salida del equipo a una distancia que permita el retiro de la rueda de corte.



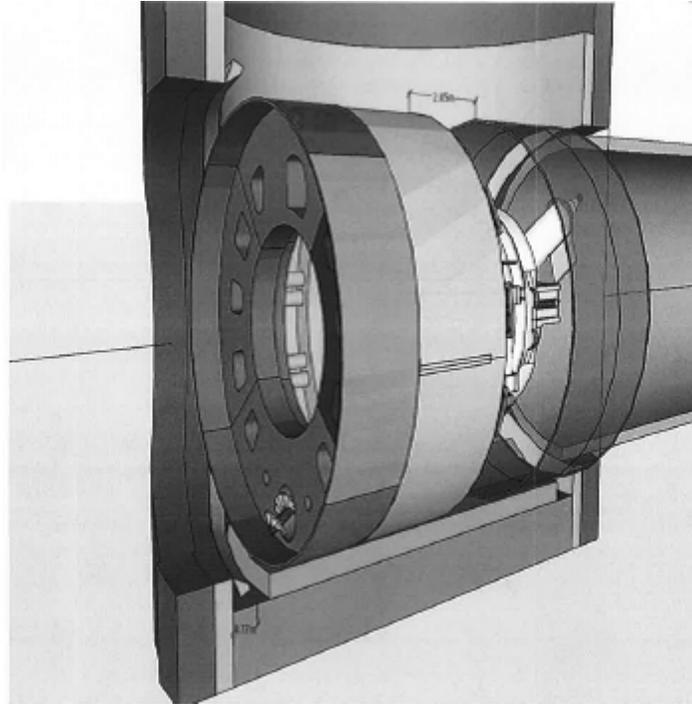
Desmontaje de la rueda de corte.



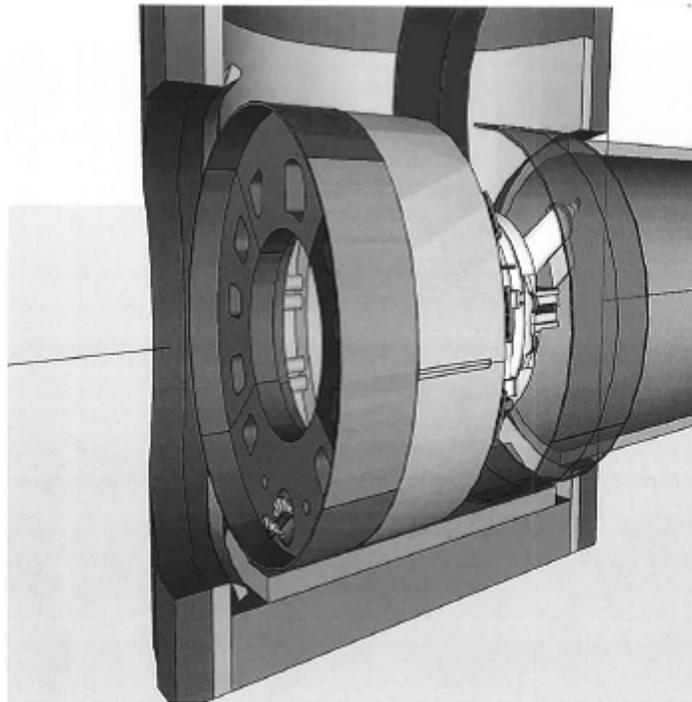
Se realiza el retiro de la rueda de corte.



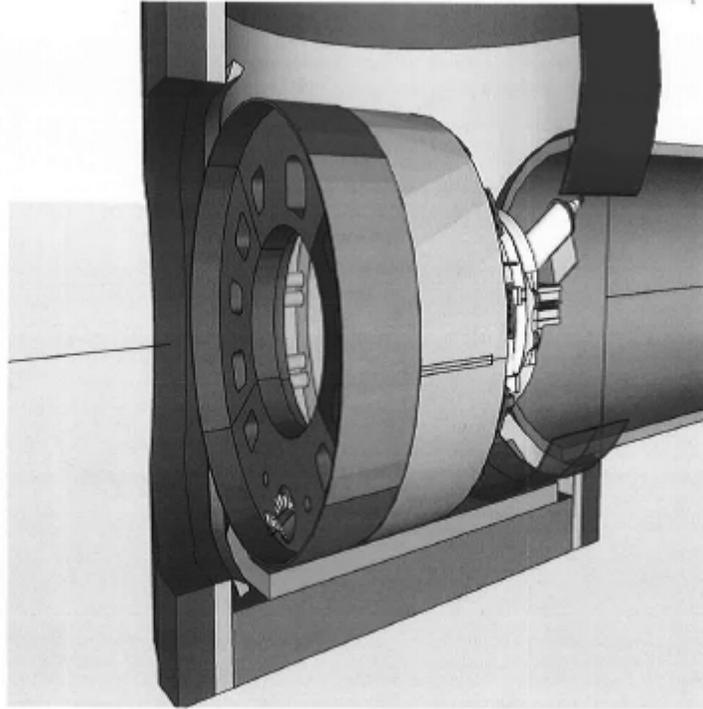
Se vuelve a empujar el escudo a una distancia que permita el retiro del escudo medio y faldón.



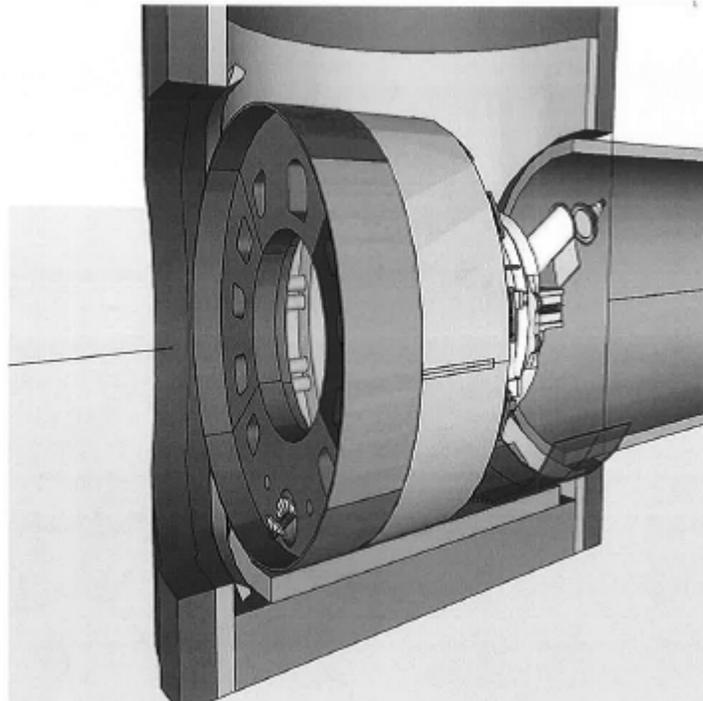
Se realiza el desacople del escudo medio y faldón.



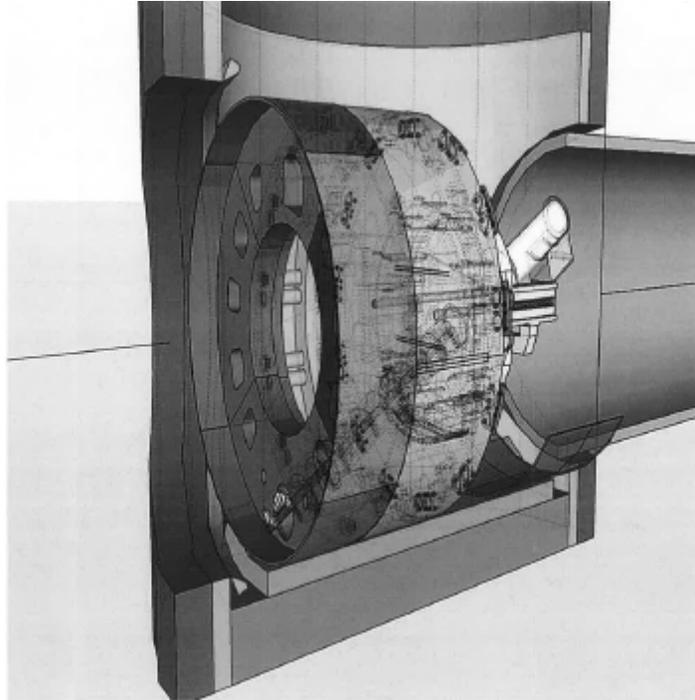
Se realiza el retiro de sección 1 del faldón.



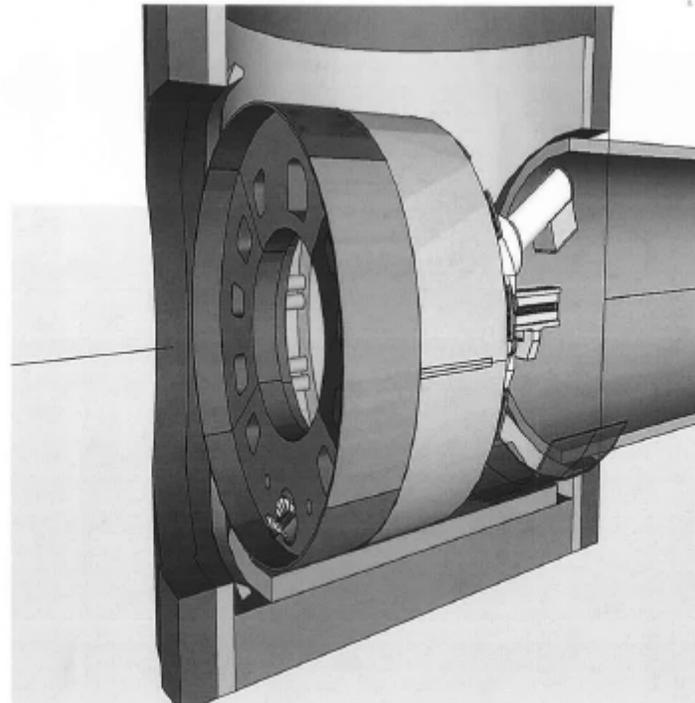
Se retira la sección 2 del faldón.



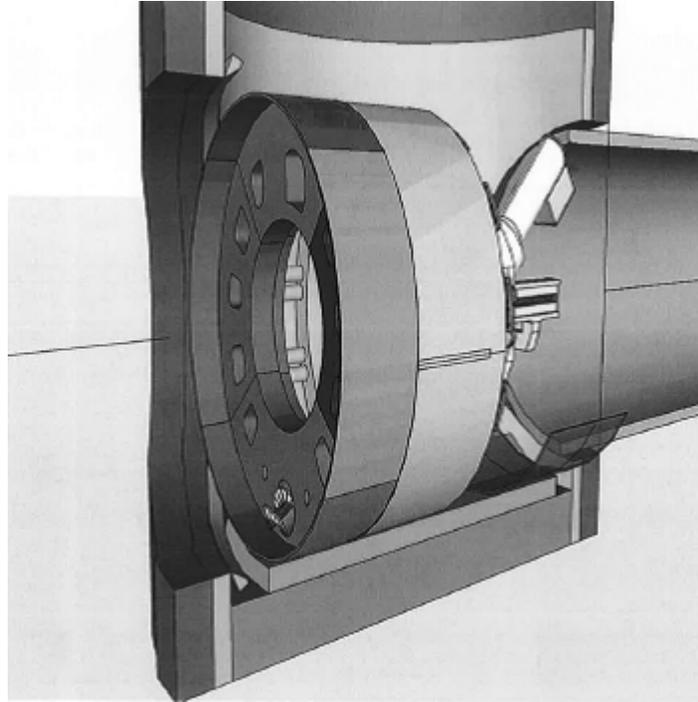
Se desacopla la transmisión de tornillo sin fin #2 dentro del túnel con ayuda de diferenciales.



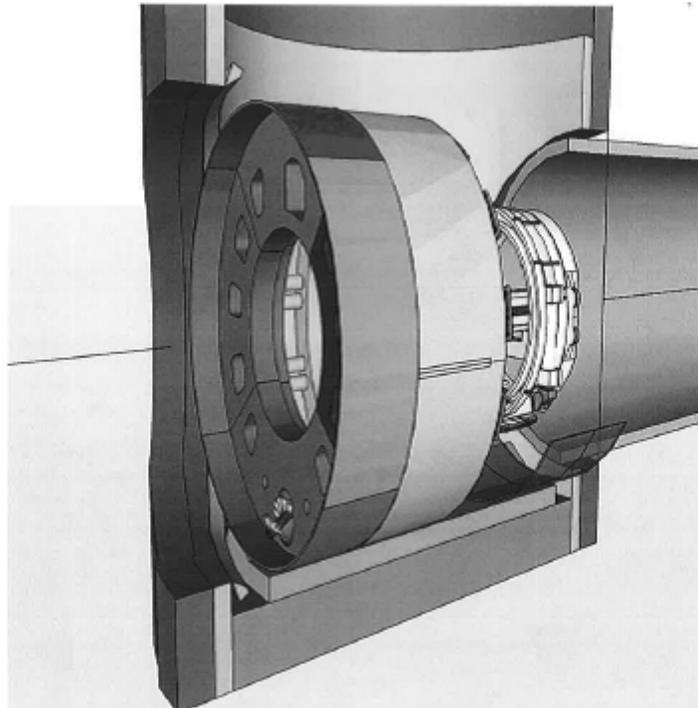
Retiro de transmisión de tornillo.



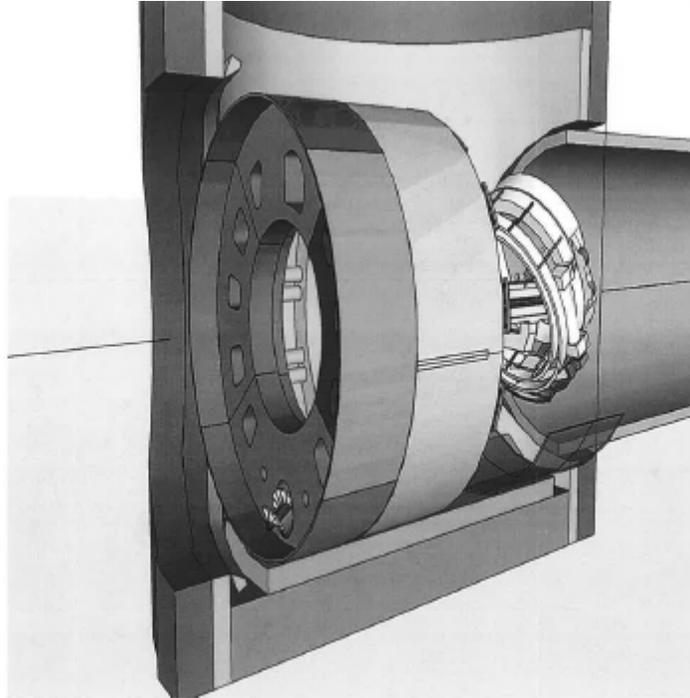
Desacople de tornillo sin fin #2.



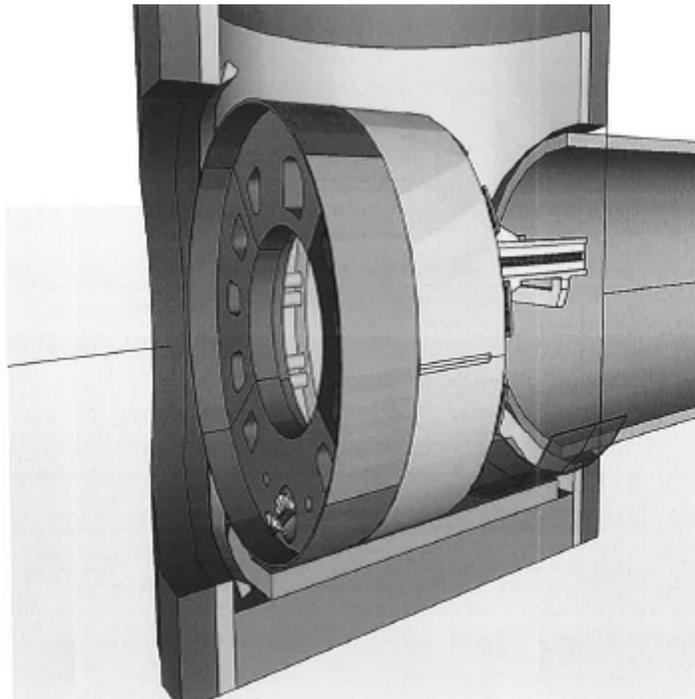
Giro de tornillo para extracción.



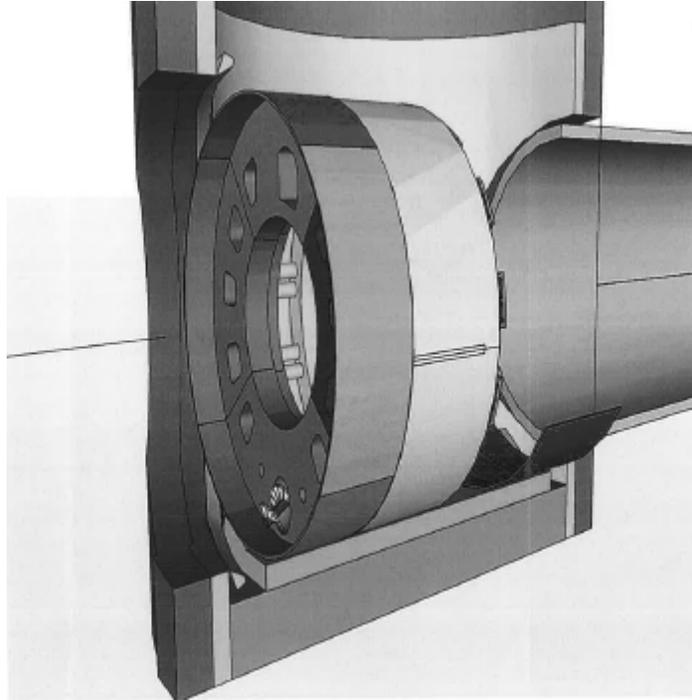
Recorrido de erector hasta paño de lumbrera



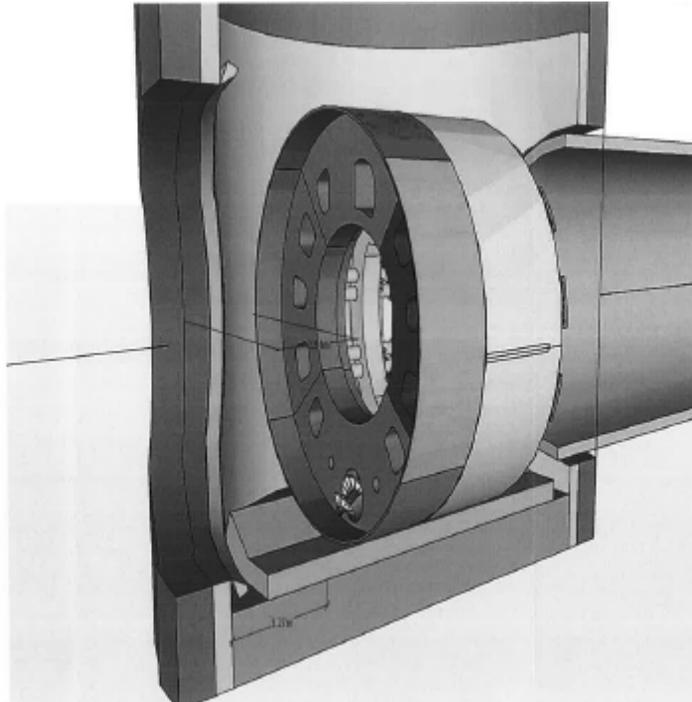
Retiro de erector de vigas guía



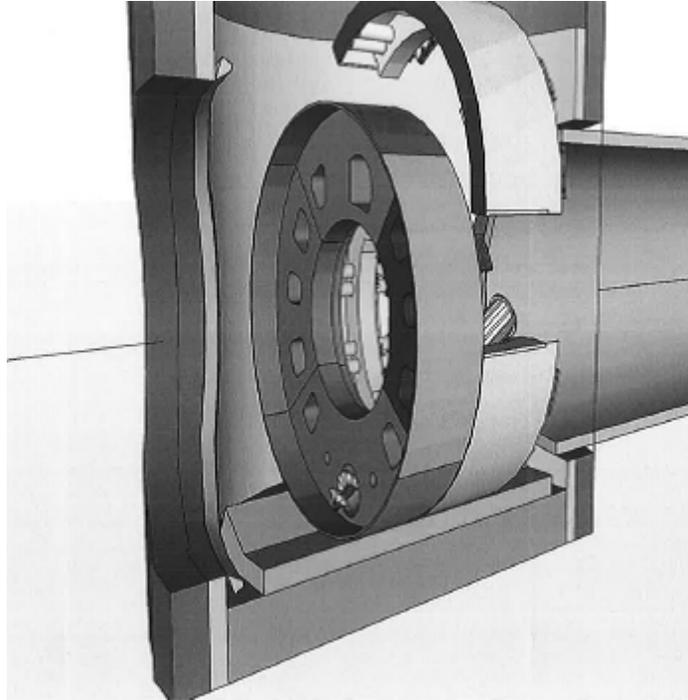
Desacoplamiento de viga guía de erector



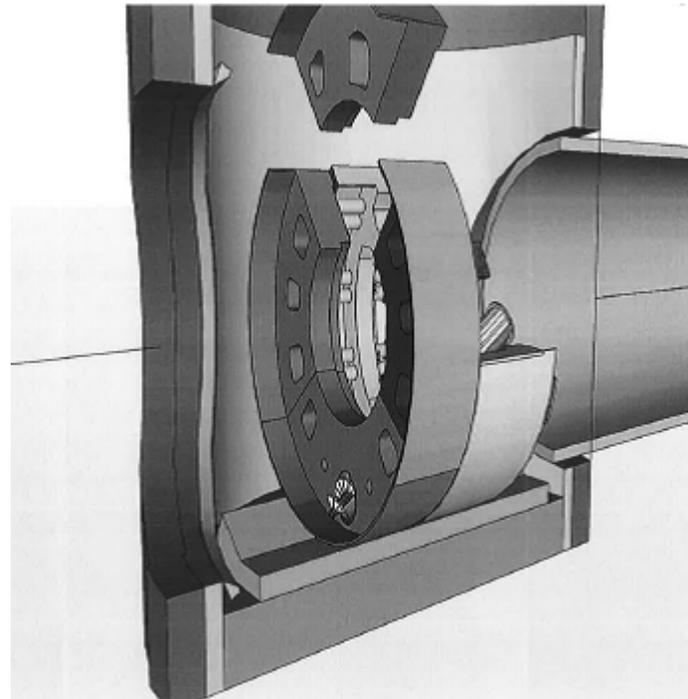
Retiro de segmento 3 de faldón.



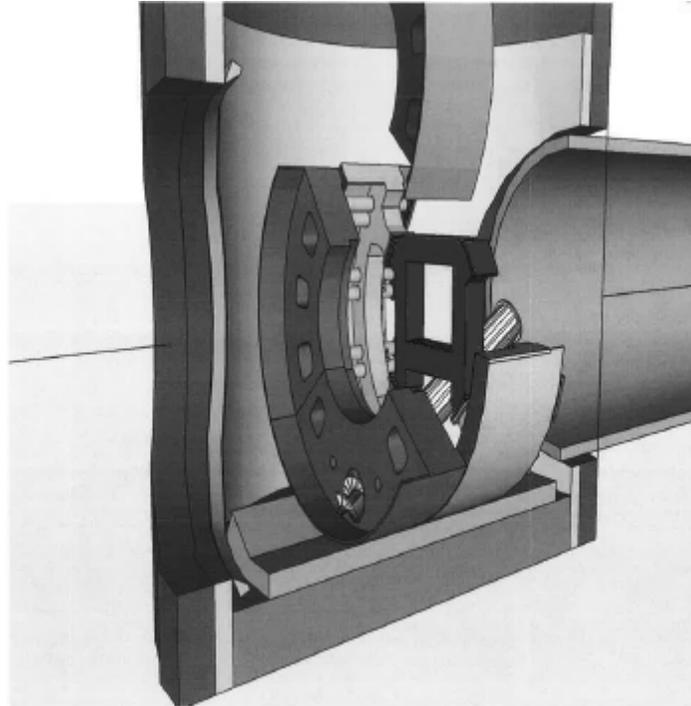
Se recorre restante de escudo para permitir maniobras.



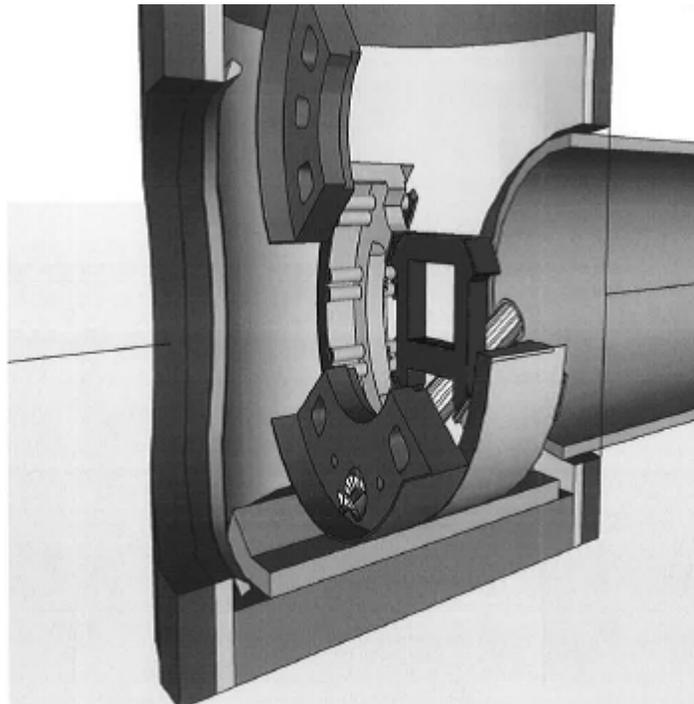
Retiro del segmento 1 de escudo medio



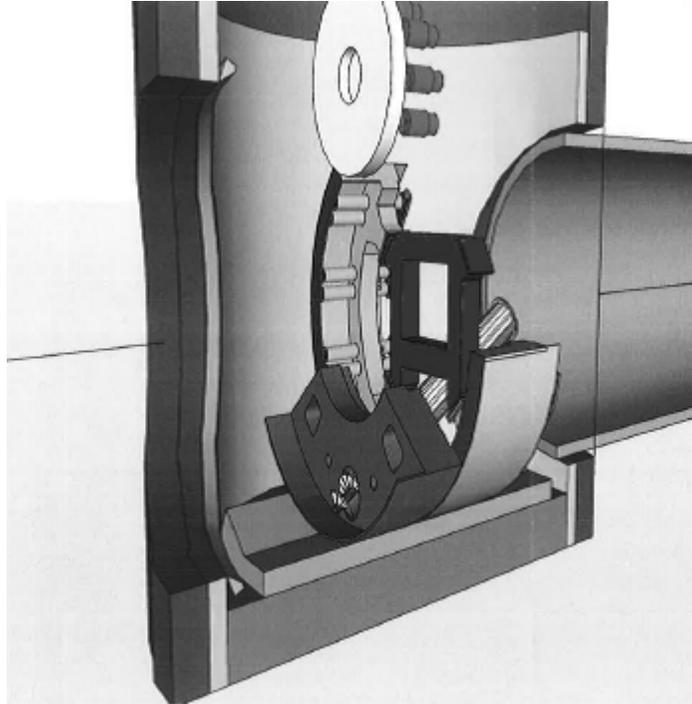
Retiro de cámara hiperbárica con segmento 1 de escudo frontal



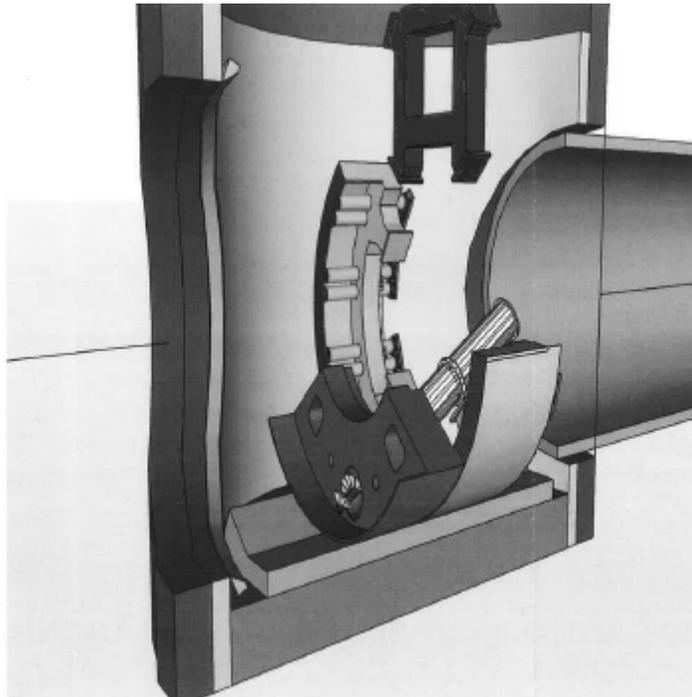
Retiro de segmento 2 de escudo frontal



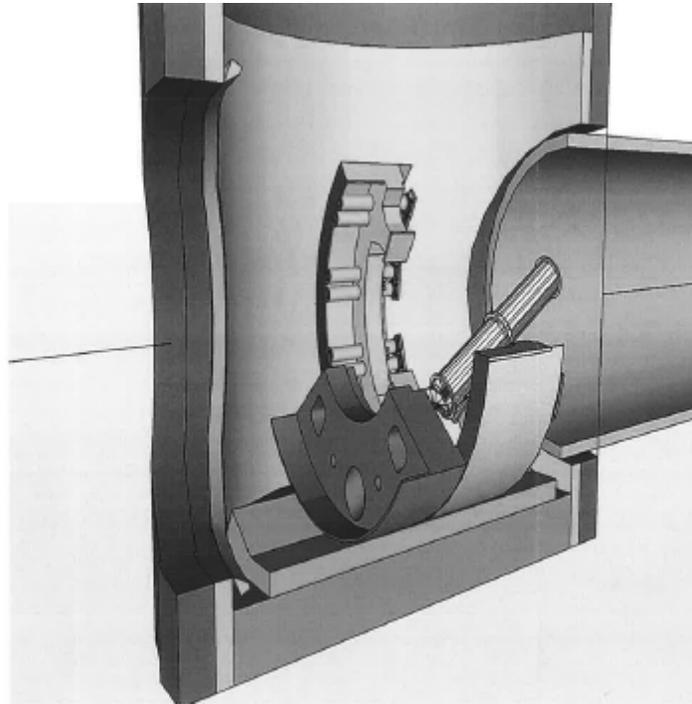
Retiro de segmento 3 de escudo frontal



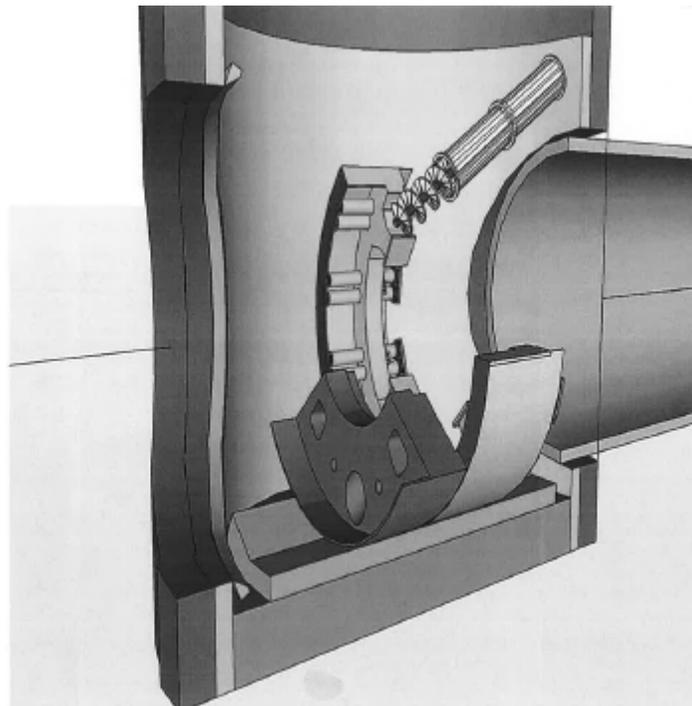
Retiro de transmisión de escudo



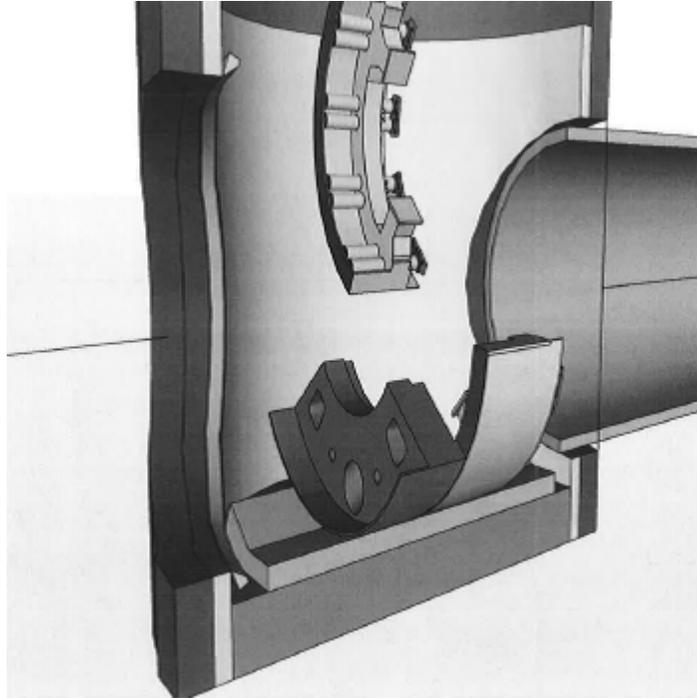
Retiro de cruz portante



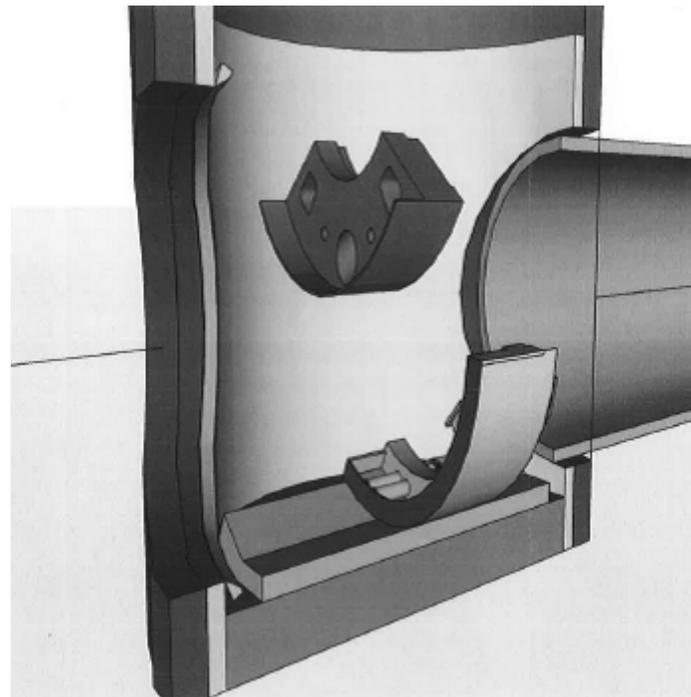
Desacoplamiento de tornillo sin fin #1



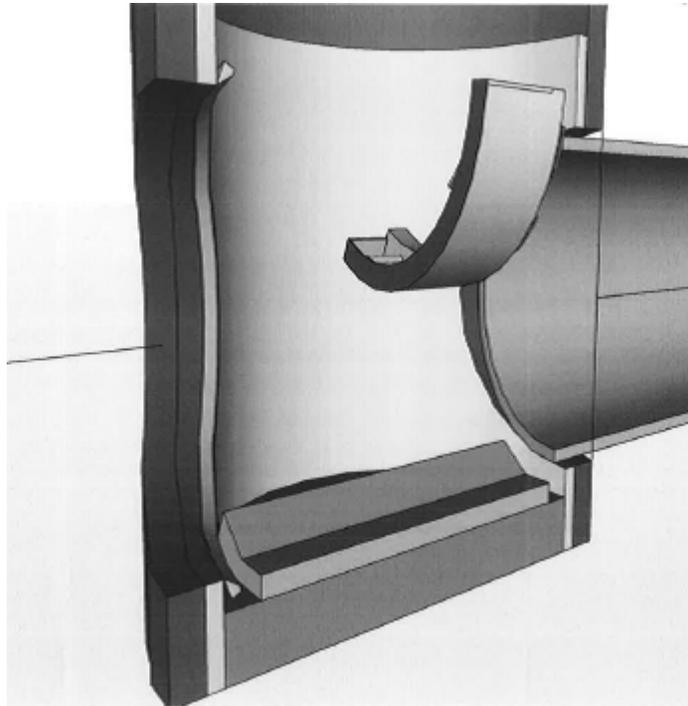
Retiro de tornillo sin fin #1



Retiro de segmento 2 de escudo medio



Retiro de segmento restante de escudo frontal



Retiro de segmento restante de escudo medio

3.8. REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

Una vez concluida la colocación del revestimiento primario y su etapa de inyección de mortero entre terreno natural y dovelas, en un subtramo, si las condiciones constructivas lo permiten, se inician los trabajos para inicio del revestimiento secundario, el cual consiste en la colocación de acero con los espesores y separaciones que indique el proyecto y una vez cubierta cierta longitud del túnel, se proceda al colado con concreto con la resistencia que indique el proyecto, mediante cimbra metálica de longitud fija, el concreto es bombeado desde superficie a lo largo del túnel, por lo cual se requiere aditivos para evitar su disgregación y fraguado garantizando que el concreto llegue con las propiedades optimas al lugar esperado.

Los tramos 1A y 2 contarán con un revestimiento definitivo de concreto reforzado de 35 centímetros de espesor.

Los tramos 1B, 3, 4, 5 y 6 contarán con un revestimiento definitivo de concreto reforzado de 40 centímetros de espesor.

Los anillos de dovelas representan el sostenimiento primario del túnel y junto con el revestimiento secundario, que se procede a armar y colar en sitio una vez que la tuneleadora sale de cada tramo, conforman la estructura final del túnel, que da el soporte total a largo plazo, incluida la estanqueidad del conducto.



Vista del armado de acero de refuerzo y preparación de cimbrado para colado del revestimiento definitivo.

3.9. FRENTES DE TRABAJO Y ESTATUS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TEO.

Para la construcción del tramo 1, la concepción original era iniciar la excavación en la lumbrera 0 (L-0) para concluir en la lumbrera 5 (L-5). Sin embargo, por las lluvias atípicas, que se presentaron en febrero de 2010, provocaron inundación en la zona de trabajo en la superficie y en el fondo de la lumbrera, generando atraso en la excavación, por lo anterior hubo necesidad de modificar los planes de excavación; la máquina tuneleadora prevista para excavar el tramo 5, se utilizó para apoyo de excavación en el tramo 1.

Para la extracción de las tuneleadoras, se definió construir una nueva lumbrera, la L-3A. En septiembre de 2012, las dos excavadoras arribaron con una diferencia de 15 días, marcando el final de la excavación del tramo 1 del TEO.

La tuneleadora del tramo 2 entró en la L-5 y está excavando hacia la L-10.

Para la excavación del tramo 3, el ingreso de la tuneleadora estaba planeado en la L-13, pero hubo necesidad de cambiarlo a la L-10 para reducir riesgos que la presión de agua en L-13 imponía sobre el arranque de la obra. De esta manera, la excavación del tramo 3 se lleva de la L-10 a la L-13.

La tuneleadora del tramo 4 se ha introducido a través de la L-17 para excavar hacia la L-13.

Terminada la excavación del ahora llamado tramo 1-B (de L5 a L3A), la máquina tuneleadora de apoyo se regresó a la L-20 para iniciar la excavación del tramo 5, en dirección a la L-17.

Y la tuneleadora del tramo 6 inició su excavación por el portal de salida y se encuentra excavando hacia la L-20.

B.- CONCLUSIONES.

Los beneficios que se obtendrán una vez que se concluya este proyecto se relacionan a continuación:

1.- Capacidad de drenaje de 150 m³/s y con el Túnel Emisor Central alcanzan una capacidad conjunta de 315 m³/s, capaces de absorber una tormenta con recurrencia de 50 años y permitir el desalojo de las aguas residuales y pluviales fuera del Valle de México generadas en época de lluvias torrenciales.

2.- Flexibilidad en la operación general del sistema de drenaje, permitiendo maniobras de operación conforme la presencia de lluvias aisladas de gran intensidad y la inspección y mantenimiento del drenaje profundo, alternando su funcionamiento con el Emisor Central.

3.- Además de los beneficios socioeconómicos generados por el proyecto, se evitarán daños a bienes y personas.

4.- Daños evitados a viviendas como pérdida o deterioro de enseres y bienes muebles e inmuebles, que potencialmente podrían generarse en delegaciones del Distrito Federal y municipios del Estado de México.

5.- Daños evitados a la infraestructura pública como 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; reparación o rehabilitación de vialidades afectadas.

6.- Daños evitados en el sector económico. El Distrito Federal y el Estado de México aportan en conjunto el 32 por ciento del PIB Nacional, por lo que es previsible que en caso de generarse inundaciones en una zona potencialmente afectada que podría abarcar 9 delegaciones del Distrito Federal y 4 municipios del Estado de México, se tendrían considerables impactos negativos en la actividad económica de la zona afectada.

7.- Atención de emergencia implicando aportación de recursos económicos y humanos mismos que se evitarán destinar para atender la emergencia por inundaciones potenciales.

En junio de 2013 se inauguró el tramo 1 del Túnel Emisor Oriente, con un desarrollo de túnel de 10 km, de lumbrera 0 a lumbrera 5, derivando hacia la planta de bombeo “El Caracol” la cual bombeará las aguas a superficie del Gran Canal ya que en este punto la pendiente permite el desalojo de las mencionadas, por lo cual queda pendiente la conclusión de los otros 5 frentes, los cuales miden aproximadamente 10 kilómetros cada uno, para la llegada del agua pluvial y residual a la Planta de Tratamiento Atotonilco, cuya agua tratada será utilizada para riego.

Para la puesta operación del Tramo 1, fue necesario la siguiente obra complementaria:

- Medias cañas del túnel en el paso de lumbreras.
- Losas tapas en lumbreras.
- Chimeneas o sistemas de ventilación en lumbreras.
- Bardas perimetrales para delimitación del área definitiva del predio.
- Casetas de vigilancia y/o de operación.
- Alimentación de energía eléctrica.
- Funcionamiento en conjunto con la planta de bombeo Caracol.
- Dos compuertas de 5.0 m x 5.0 m y de 7.0 x 7.0 m en la lumbrera L0, para interconectar el TIRR con el TEO.
- Una compuerta de 7.0 m x 7.0 m en lumbrera L5 para conectar el TEO con la Planta de Bombeo Caracol.
- En zonas inundables de los municipios de Ecatepec y Netzahualcóyotl se han construido captaciones que descargan al TIRR y al Tramo 1 del TEO.

Debido a que el funcionamiento es por gravedad, se consideró en el diseño geométrico que los primeros 11 km (L0 a L6) tuvieran una pendiente de 1.9 m/km para absorber en un lapso de 50 años los hundimientos regionales, al cabo del cual dicha pendiente se reducirá a 1.515 m/km (10 cm por año) suficiente para que la capacidad de conducción sea de 150 m³/s con un diámetro terminado de 7.0 m.

En la construcción del Túnel Emisor Oriente participan diversas instancias del ámbito federal y local, en beneficio de los habitantes del Valle de México.

- Gobierno Federal.
- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).
- La Secretaría de la Función Pública (SEFUPU).
- Gobierno del Distrito Federal (GDF).
- Gobierno del Estado de México.
- Gobierno del Estado de Hidalgo.

Los recursos económicos provienen del programa Proyectos de Inversión, Programa Especial de Gobierno Federal, Recursos del Programa de Estímulos Fiscales (PEF) y del Fideicomiso 1928, creado para apoyar el Proyecto de Saneamiento del Valle de México.

C.- BIBLIOGRAFÍA.

Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal Tomo I

Historia del desagüe de la cuenca.

Editado por el Gobierno del Distrito Federal y la Secretaria de Obras y Servicios.
Impreso en los Talleres Gráficos de la Nación.

México, D.F., 1975

Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal Tomo II

Historia del desagüe de la cuenca.

Editado por el Gobierno del Distrito Federal y la Secretaria de Obras y Servicios.
Impreso en los Talleres Gráficos de la Nación.

México, D.F., 1975

Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal Tomo III

Historia del desagüe de la cuenca.

Editado por el Gobierno del Distrito Federal y la Secretaria de Obras y Servicios.
Impreso en los Talleres Gráficos de la Nación.

México, D.F., 1975

Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal Tomo IV

Atlas de planos técnicos e históricos.

Editado por el Gobierno del Distrito Federal y la Secretaria de Obras y Servicios.
Impreso en los Talleres Gráficos de la Nación.

México, D.F., 1975

Programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del Valle de México

Comisión Nacional del Agua

2013

Túnel Interceptor Rio de los Remedios y planta de bombeo Casa Colorada

Comisión Nacional del Agua

2013

Primera Etapa del Túnel Emisor Oriente

Comisión Nacional del Agua

2013

Túnel Rio de la Compañía y Planta de Bombeo la Caldera

Comisión Nacional del Agua

2013

"Seguridad en el trabajo en la Construcción de Túneles"

Publicado por la Asociación Mexicana de Ingeniería De Túneles y Obras Subterráneas y Comisión Federal de Electricidad.

Financiado por el Ministerio Alemán para la Investigación y Tecnología y Asociación Internacional de Túneles.

Curso "Lumbreras de gran diámetro en suelos blandos del lago de Texcoco"

Asociación Mexicana de Ingeniería De Túneles y Obras Subterráneas.

14 de noviembre de 2002.

Auditorio del CENAPRED, Centro Nacional Prevención de Desastres.

Av. Antonio Delfín Madrigal No. 665, col. Pedregal de Santo Domingo, C.P. 04360, México, D.F.

Curso Internacional de Túneles

Asociación Mexicana de Ingeniería De Túneles y Obras Subterráneas.

2 al 4 de mayo de 2013.

Centro Asturiano

Av. Arquímedes 4, Col. Polanco, C.P. 11570, México D.F.

Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012

Comisión Nacional del Agua - Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México - Gerencia de Coordinación Técnica de Proyectos del Valle de México.

México D.F. Septiembre 2012.

Libro Blanco CONAGUA-05

Construcción del Túnel Emisor Oriente

Comisión Nacional del Agua

Octubre 2012

Publicado

Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004

Ley de Obras Publicas y Servicios Relacionados con las Mismas

Publicación por el Diario Oficial de la Federación

Reglamento de la Ley de Obras Publicas y Servicios Relacionados con las Mismas

Publicación por el Diario Oficial de la Federación

D.- GLOSARIO.

Aguas residuales ó aguas negras

Aguas contaminadas de desechos orgánicos humanos o animales.

Aguas grises

Son las aguas resultantes del uso domestico, tales como el lavado de utensilios y de ropa, no contienen bacterias y se descomponen más rápido que las aguas residuales o negras debido a que tienen menos nitrógeno y fósforo.

Aguas pluviales

Agua generada por lluvias.

Brocal exterior, interior, provisionales

Estructura de concreto reforzado perimetral a las lumbrera que servirán de guía para la excavación perimetral al inicio.

Brocal exterior definitivos

Estructura de concreto reforzado perimetral a las lumbrera que servirán como soporte de la losa tapa al final.

Almeja Guiada

Equipo de excavación para construcción de muros milán a la profundidad que el equipo y suelo lo permita.

Muro Milán

Muro de concreto armado, colado en sitio (*in situ*) donde el tipo de suelo lo permita, para apoyo a la excavación del núcleo de las lumbreras, su uso es en obras subterráneas y túneles urbanos (Metro).

Lumbrera

Lumbreras, por definición (Ing. V.H. HARDY C.), “es una excavación vertical o inclinada (55° con horizontal), de sección rectangular o circular u otra según el proyecto, que se puede excavar de arriba hacia abajo o viceversa, con procedimientos mecánicos convencionales o muy avanzados y que servirá para alojar las tuberías de presión y formar la caída de un aprovechamiento hidroeléctrico, o bien para dar acceso a un túnel que se excavará a partir de la lumbrera y que servirá para la introducción del equipo y materiales para hacer la excavación del túnel y para la extracción del producto de dicho material”.

En esta definición se indica la importancia que tiene una lumbrera y de ahí se desprende que su construcción es parte integral del procedimiento de excavación de un túnel.

Almeja Loca

Equipo similar a la almeja guiada con mayor capacidad de extracción cuya función es excavar el núcleo de la lumbrera, puede utilizarse en el método de excavación de lumbreras mediante muro milán o método convencional si el terreno lo permite.

Tuneledora EPB

Escudo de Presión de tierras, que incluye equipo complementario para suministrar energía eléctrica, lodos, agua, aire y otros consumibles para permitir la excavación y avance del equipo.

Grasas de obturación

Grasas aplicadas en los cepillos del faldón y en el accionamiento principal del equipo las cuales impide el ingreso de agentes contaminantes como agua, lodo y polvo.

Espumas

Se utilizan para obtener un amasado del suelo que pueda mantener la presión de equilibrio necesaria en la cámara de trabajo, así como evitar variaciones de presión excesivas. La formación de pequeñas burbujas en el amasado del suelo, persigue el mismo efecto que la burbuja de grandes dimensiones de los escudos de lodos.

Polímeros

Cuando la presencia de agua en el terreno es elevada o cuando el terreno presenta poca cohesión, el trabajo de las espumas es insuficiente para un óptimo rendimiento, por lo que deben utilizarse los polímeros que actúan como complemento de las espumas. Los polímeros se inyectan en la mayoría de los casos simultáneamente con las espumas, pero también se pueden inyectar solos.

Anillo de dovela

Anillos de concreto reforzado prefabricados y curados en planta, formados en 6 ó 7 piezas, de 35 o 40 cm de espesor, que permitirá construir posteriormente un revestimiento adicional-definitivo para obtener un diámetro terminado de 7 metros, estos anillos de dovelas se utilizaran como sostenimiento primario del túnel y como apoyo durante el empuje de los gatos de las tuneledoras.

Revestimiento definitivo

Posterior a la colocación del revestimiento primario mediante prefabricados, se construirá el revestimiento definitivo con acero de refuerzo y cimbra deslizante, durante su colado se utilizaran aditivos, bombas de concreto y tanques amortiguadores para evitar disgregación del concreto.