



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA LUMBRERA 18
DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE.**

Tesis Profesional que para obtener el Título de Ingeniero Civil
presenta:

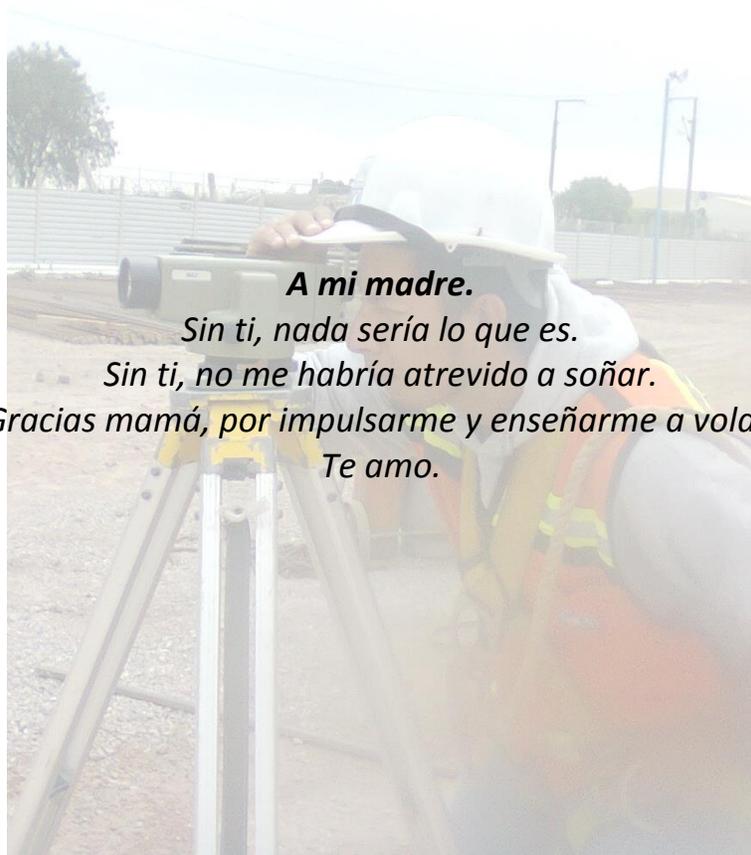
Juan Carlos Reyes García

Director de Tesis:

Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez

Ciudad Universitaria, México D.F. abril 2014

DEDICATORIA



A mi madre.

Sin ti, nada sería lo que es.

Sin ti, no me habría atrevido a soñar.

Gracias mamá, por impulsarme y enseñarme a volar.

Te amo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres y hermanos, por todos y cada uno de los sacrificios que hicimos juntos.

Gracias papá por tu cariño y tu apoyo.

Gracias Víctor por tu cansancio, tu esfuerzo y tu ejemplo.

Gracias David por tu paciencia y tus desvelos.

Gracias Rubí, fuiste una motivación enorme.

Gracias Adriana, por tu amor y por contagiarme tus ganas de triunfar.

Gracias a mis profesores en la vida académica y en mi vida profesional, sus enseñanzas son un gran tesoro y un orgullo para mí.

Gracias a todos los ingenieros del Tramo V del Túnel Emisor Oriente por darme la oportunidad y por su confianza.

Gracias a mis compañeros de escuela y de trabajo, que grata experiencia ha sido aprender a su lado.

Gracias a los Ingenieros M.I. Oscar José Vega y Roldán, Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez, M.I. Hugo Sergio Haaz Mora, M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega, M.I. Carlos Narcia Morales, por su apoyo y contribución para la elaboración de éste trabajo.

Gracias al personal de obra, también ustedes han sido mis maestros.

Gracias Dios por tenerme a tu amparo y por ponerme en este camino.

Por supuesto, gracias a ti **mamá**, por tus desvelos, por tu esfuerzo, por tus lágrimas, por tu amor, por tus rezos, por reconfortarme en momentos difíciles, por tus sacrificios, por tu entrega para mí y para mis hermanos, por todo tu amor, por tu coraje, por tu voluntad de hierro, por tu fuerza, por tu integridad. Sin ti jamás hubiera llegado a donde estoy. Dios te bendiga.

A todos y cada uno, mil gracias.

INDICE

OBJETIVO

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 Generalidades

1.1 Antecedentes históricos	3
-----------------------------------	---

CAPITULO 2 Túnel Emisor Oriente

2.1 Descripción general del proyecto	9
--	---

2.2 Descripción de la geología del tramo V del Túnel Emisor Oriente	11
---	----

CAPITULO 3 Procedimiento constructivo

3.1 Preparación y mejoramiento de terreno	17
---	----

3.2 Construcción del brocal interior y brocal exterior	19
--	----

3.3 Descripción del funcionamiento de la máquina hidrofresa	23
---	----

3.3.1 Instalaciones requeridas para el correcto funcionamiento de la hidrofresa	24
---	----

3.4 Muro Milán	26
----------------------	----

3.4.1 Excavación para la construcción del muro Milán	26
--	----

3.4.2 Descripción de los diferentes armados de acero de refuerzo para el muro Milán utilizados en la lumbrera 18 del Túnel Emisor Oriente	30
---	----

3.4.3 Colocación de concreto en muro Milán	32
--	----

3.4.4 Trabe de coronamiento	39
-----------------------------------	----

3.5 Excavación del núcleo	40
---------------------------------	----

3.6 Trabe de liga muro Milán-Revestimiento definitivo (método convencional) .	43
---	----

3.7 Revestimiento	48
-------------------------	----

3.7.1 Revestimiento primario	49
------------------------------------	----

3.7.2 Revestimiento definitivo	56
--------------------------------------	----

3.8 Construcción de la losa de fondo	70
--	----

CAPITULO 4 Instrumentación Geotécnica 75

4.1 Piezómetros	78
-----------------------	----

4.2 Inclínómetros.....	79
------------------------	----

CONCLUSIONES 81

REFERENCIAS..... 84

OBJETIVO.

Describir brevemente la problemática de las inundaciones en el Valle de México y las diferentes soluciones que se han planteado y ejecutado desde la época prehispánica hasta nuestros días.

Describir brevemente el proyecto “Túnel Emisor Oriente” como un proyecto que representa una mejora en la capacidad de drenaje del Valle de México y como tal una solución al problema de las inundaciones.

Exponer los procedimientos constructivos empleados en la construcción de la lumbrera 18 del Túnel Emisor Oriente; así como las condiciones y retos presentados durante la ejecución del proyecto.

INTRODUCCIÓN.

De acuerdo a algunos historiadores, desde su fundación por parte de los Aztecas, la gran Ciudad de México, ha sido asolada por las inundaciones; de ahí la necesidad de crear grandes obras hidráulicas como respuesta a este problema. La zona metropolitana del Valle de México, concentra el 20% de la totalidad de la población del país, misma que requiere el suministro de los servicios básicos para mantener una calidad de vida aceptable.

La infraestructura para proporcionar estos servicios, a la fecha es insuficiente, pues la modernidad, el crecimiento acelerado de la mancha urbana, y los hundimientos en el suelo del Valle de México han rebasado la capacidad de ésta. Debido a la insuficiencia del drenaje profundo y a la falta de un sistema alternativo ante condiciones extraordinarias y mantenimiento, el riesgo de inundaciones severas en el Valle de México es inminente, lo cual generaría grandes consecuencias no solo a nivel local, sino también a nivel nacional.

El reto para la Ingeniería Civil es restablecer el equilibrio hidrológico de la Cuenca del Valle de México y contribuir de manera sustentable a la viabilidad de la Ciudad. Como parte de la estrategia para lograr este reto, se ha puesto en marcha la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO), que en conjunto con el existente Túnel Emisor Central conducirán las aguas residuales producidas en la ciudad hasta el Río Tula, donde será aprovechada en la agricultura del Estado de Hidalgo.

La construcción del Túnel Emisor Oriente, además de ampliar la capacidad de desagüe del Valle de México como drenaje alterno al Emisor Central y al Gran Canal de Desagüe, permitirá realizar los trabajos de mantenimiento necesarios en estos sistemas, garantizando así un adecuado funcionamiento en cada uno de ellos.

El presente trabajo describe el proceso constructivo de la Lumbreira 18 del Túnel Emisor Oriente (TEO), que en los siguientes años será puesto en marcha y funcionará conjuntamente con el Túnel Emisor Central como medio de conducción de las aguas residuales generadas en el Distrito Federal, Estado de México e Hidalgo.

Sin duda, el Túnel Emisor Oriente es una de las obras de Ingeniería Civil más importantes que se ejecutan actualmente en el país, dada su magnitud e importancia en el sector infraestructura y salud.

La construcción de esta obra, además de contribuir en el desarrollo del Valle de México cumple exactamente con el objetivo principal de la Ingeniería: **“Modificar la Naturaleza en Beneficio de la Humanidad”**

CAPÍTULO 1: Generalidades

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Las grandes obras hidráulicas en el Valle de México se explican en gran medida como una respuesta al problema de las inundaciones que han azotado a la Ciudad de México desde su fundación por los aztecas.

La expulsión del agua del Valle de México fue una estrategia de apropiación del territorio por parte de los colonizadores españoles mucho más amplia que una lucha contra las inundaciones. Los españoles, inicialmente utilizaron la experiencia, conocimiento del territorio y la tecnología indígena; aprendieron de los Mexicas a construir y manejar diques para detener el embate de los lagos desbordados. Se atribuye a Nezahualcóyotl a quien se le ha reconocido como el primer ingeniero notable de América, la construcción de un enorme dique de piedra de 16 Km de longitud para proteger a la gran Tenochtitlán del azote de las inundaciones. El dique levantado en 1449, tenía como objetivo evitar que las crecidas de los lagos de Zumpango y Texcoco fluyeran hasta el lago central.

Ya durante la época de la colonia, después de la inundación de 1555, el Virrey Don Luis de Velasco ordenó a los indios construir un dique de piedra y tierra en el mismo sitio donde yacían las ruinas del dique prehispánico.

De esa constante lucha contra las inundaciones y de la desconfianza de los conquistadores en la tecnología indígena y a su coexistencia con el medio lacustre nació la idea de construir un desagüe que expulsaría los excedentes de agua, protegiendo así a la Ciudad de México. Para ello, a lo largo de la segunda mitad del siglo XVI, los virreyes encargaron varios proyectos a sus sabios. Así en 1607 el cosmógrafo alemán Enrico Martínez fue autorizado para construir un túnel que conduciría las aguas de sus ríos más caudalosos fuera del Valle de México, principalmente el río Cuautitlán y drenaría al mismo tiempo el lago de Zumpango. Esta primera salida artificial, concluida un año después es conocida como el **Tajo de Nochistongo**. A partir de ese momento, la cuenca del Valle de México dejó de ser lo que era naturalmente, desde el movimiento tectónico que dio origen a la Sierra del Chichinautzin; es decir, dejó de ser una cuenca endorreica para empezar a ser, por obra humana, una cuenca abierta a la vertiente del Golfo de México.

El Tajo de Nochistongo, evitó en la capital Virreinal las inundaciones provenientes de los lagos y los ríos del norte del Valle. Sin embargo, no fue suficiente para controlar las crecidas originadas en los ríos del oriente, sur y centro del valle que desembocan en el lago de Texcoco. De 1628 a 1630 hubo gran destrucción y mortandad causadas por las inundaciones al grado que la población de la capital comenzó a migrar hacia la Ciudad de Puebla.

La construcción de la segunda salida artificial de las aguas de la cuenca del Valle de México fue iniciada en el año de 1886, y concluida el año de 1900. A esta obra se le denominó el “**Gran Canal de Desagüe**”, y el cuál fue calificado por el General Porfirio Díaz como máxima realización de su gobierno, y con la que pretendía liberar a la capital de la República de sus constantes inundaciones.

El proyecto del Gran Canal de Desagüe consistió en un canal abierto de 47.5 km de longitud que va desde San Lázaro hasta Zumpango, que se conecta con un túnel de 10 km de largo y 4 m de diámetro que atraviesa la sierra de Tequixquiac para luego desembocar en un tajo a cielo abierto de 2.5 km.

Cuatro décadas después, y debido al crecimiento demográfico y a la expansión de la mancha urbana, el Gran Canal de Desagüe se volvió insuficiente. De los años 1930 a 1940, la población que radicaba en la capital de la república se duplico llegando a ser 2 millones de habitantes. Esto motivó a la expansión del Gran Canal y la construcción, de 1937 a 1947, de la tercera salida artificial del agua de la cuenca, conocida como el segundo Túnel de Tequixquiac.

Mediante estas tres salidas, se logró un importante drenado de ríos y lagos. El peligro de inundaciones se había reducido de manera considerable, sin embargo, el impacto ecológico resultó ser muy alto. El gran canal de desagüe expulsaba no solamente las aguas superficiales, sino también las aguas subterráneas que después de ser extraídas del subsuelo y utilizadas por los habitantes de la ciudad, iban a parar al reciente sistema de alcantarillado. Desde 1608 el caudal drenado del Valle de México, sea por el Tajo de Nochistongo o por el Gran Canal, se ha incrementado sin que sea compensado por una entrada de agua equivalente. El equilibrio ecológico de la cuenca del Valle de México ha sido roto. De esta manera, al perder agua las arcillas del subsuelo de la Ciudad de México se han comprimido, para generar los hundimientos diferenciales del terreno.

A principios del siglo XX los hundimientos de la Ciudad de México eran muy lentos (de 2 a 5 cm por año), pero en la medida en que la ciudad crecía aceleradamente y el Estado posrevolucionario asumía el imperativo ético de proporcionar agua a todos los habitantes de la Ciudad, los hundimientos aumentaron drásticamente. Los pozos profundos abatieron al acuífero del valle con mayor celeridad y ello ocasionó que entre 1938 y 1948, el hundimiento del centro de la Ciudad se incrementara a 18 cm por año. En 1950 el hundimiento de algunas zonas de la ciudad había alcanzado los 50 cm anuales. Según cifras oficiales el centro de la Ciudad se hundió 5 metros entre 1950 y 1980. Se ha calculado que durante el siglo XX, la Ciudad de México se hundió a un ritmo promedio de 1 m cada 10 años.

Este fenómeno, no se restringe únicamente al Distrito Federal, sino que también abarca algunos municipios del Estado de México, como es el caso de Nezahualcóyotl, Chalco, Naucalpan y Ecatepec.

Una de las consecuencias del hundimiento de la ciudad ha sido la de inutilizar el Gran Canal de Desagüe. Cuando este fue inaugurado en el año de 1900 el Zócalo capitalino se encontraba 5 m arriba del nivel del canal. Todos los colectores del drenaje tenían suficiente pendiente para conducir por gravedad las aguas negras hasta el Gran Canal y este tenía suficiente pendiente como para arrastrar su caudal hasta el túnel de Tequixquiac. Sin embargo, para el año de 1950, el Gran Canal había perdido ya la mayor parte de su pendiente, y el desnivel entre el Zócalo capitalino y la parte más alta del Gran Canal era suficientemente grave como para que el agua del drenaje retrocediera a los colectores y durante los aguaceros inundara las calles de la capital. En la actualidad, el Zócalo capitalino está 7 metros por debajo de la parte más alta del Gran Canal

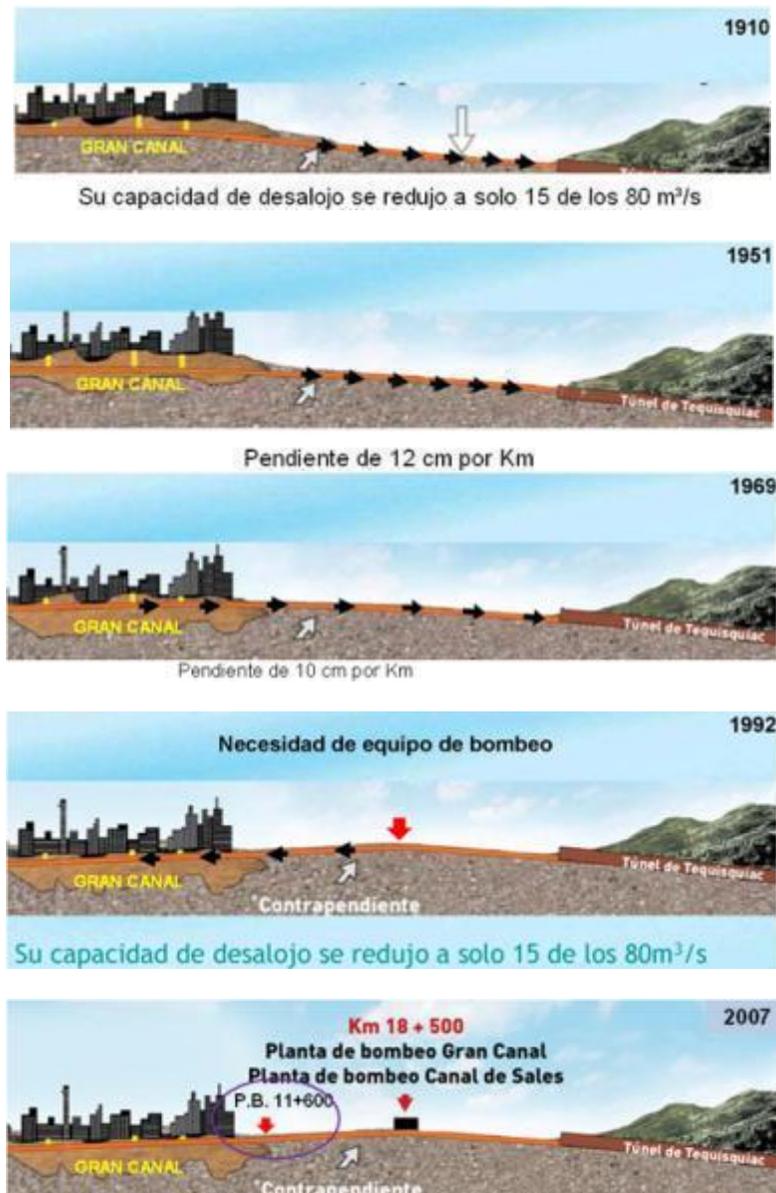


Fig. 1_1 Evolución del hundimiento del Valle de México
FUENTE: Folletería CONAGUA.

Debido a esta inutilización del Gran Canal, en el año de 1951, el centro de la ciudad se inundó durante tres meses y era común usar lanchas para transportarse en esa reminiscencia de la antigua México Tenochtitlán. La solución propuesta por la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México fue la de construir un sistema de bombeo en los colectores para que elevaran el agua hasta el Gran Canal. De esta forma fueron construidas a lo largo de las décadas siguientes 79 plantas de bombeo en el Distrito Federal y 122 en el Estado de México, lo cual ha implicado un importante gasto de energía eléctrica.

En 1960 fueron construidos el **Interceptor y el Emisor Poniente**, con objeto de recibir y desalojar las aguas del poniente de la cuenca, evacuándolas a través del Tajo de Nochistongo. Sin embargo, nuevamente el acelerado crecimiento de la ciudad, pronto volvió insuficientes las capacidades del Gran canal de Desagüe y del Emisor Poniente. El lago de Texcoco que a inicios del siglo XX se ubicaba a 2 m por debajo del nivel del centro de la ciudad, en 1970 ya se encontraba 5.5 m por encima de la misma. Las autoridades capitalinas y las autoridades Hidráulicas Federales llegaron a la conclusión de que se requería un sistema de drenaje que no fuera afectado por los hundimientos, no necesitara bombeo y expulsara las aguas por una cuarta salida artificial. Esto último debido a la saturación de los túneles de Tequixquiac. Se diseñó entonces el **Sistema de Drenaje Profundo**.

En 1967, durante la presidencia de Gustavo Díaz Ordaz se decidió construir esta obra que consistió en un túnel de 60 Km que conduce las aguas pluviales y usadas a 200 m bajo tierra y dispone de la capacidad para desalojar un gasto de 200 m³/s. La primera fase fue concluida durante el sexenio de Luis Echeverría, quien anunció que esta obra, una de las más importantes del siglo, libraría definitivamente a la metrópoli del grave peligro de las inundaciones. Su inauguración en 1975 representa la cuarta salida de las aguas del valle.

Durante el gobierno de José López Portillo se inició la segunda etapa del drenaje profundo que incluyó la prolongación del interceptor central en una extensión de 5.5 km y un nuevo interceptor, el centro-poniente, con 16.5 km de longitud. En los últimos años el sistema de drenaje profundo se ha prolongado hasta abarcar regiones cada vez más lejanas del Distrito Federal, proceso similar al que experimentó el Gran Canal de Desagüe. La idea ha sido aprovechar la infraestructura ya construida y vincular a todo el Distrito Federal por medio de un sistema seguro y eficiente.

Durante el gobierno de Miguel de la Madrid se comenzó la construcción del colector semiprofundo Iztapalapa, destinado al desalojo de aguas residuales y pluviales generadas en la zona oriente el cual se terminó en Julio de 1987. Durante la administración de Carlos Salinas de Gortari se prosiguió la ampliación del sistema de drenaje profundo, habiéndose construido 25 km más durante su gestión, lo cual sumaba un total de 125 km. En el periodo de Ernesto Zedillo se continuó con las obras del drenaje a un ritmo más lento.

Paralelamente a la expansión del nuevo sistema de drenaje, el desagüe general del Valle de México construido durante el Porfiriato, ha seguido experimentando cambios importantes; durante la administración del jefe del entonces Departamento del Distrito Federal, Manuel Camacho Solís, inició el entubamiento de los 9.7 km que pertenecen a la jurisdicción del DF. Con ésta obra se lleva a cabo un profundo cambio en la fisonomía e imagen del canal, conservando su estructura y funciones.

Desde la inauguración del socavón del Nochistongo, en 1611, hasta la puesta en operación de las plantas de bombeo ubicadas en el km 9 del canal de desagüe en 2002, se han hecho grandes obras de infraestructura que han desecado los ríos y lagos.

En la ciudad de México se genera un caudal de aguas negras del orden de 45 m³/s, de los cuales el DF produce 25m³/s y 17 municipios conurbados del Estado de México aportan el resto.

Las cuatro salidas del valle de México conducen las aguas residuales de la zona Metropolitana hacia el río tula, en donde son captadas para el riego y agricultura sin tratamiento previo. Uno de los resultados involuntarios del combate a las inundaciones fue la creación de una amplia región cuya actividad económica (la agricultura), depende de la salida artificial de agua de la cuenca del valle de México. Éste fue el primer paso para crear la región Hidropolitana y vincular también al DF y Edo. México en materia hidráulica.

1.2 Descripción del actual sistema de drenaje en la Ciudad de México

El Gran Canal de Desagüe es el principal desfogue de aguas residuales y pluviales de la Zona Oriente y centro de la Ciudad de México, y de zonas conurbadas densamente pobladas de los municipios de Ecatepec, Netzahualcóyotl, Chimalhuacán, Tecámac, Coacalco de Berriozábal, Tultitlan, Jaltenco, Tultepec, Melchor Ocampo, Coyotepec, Huehuetoca, Tepejé del Río de Ocampo, y Atotonilco de Tula . Inicia en el oriente de la Ciudad de México y en su trayecto une diversos canales del ex Lago de Texcoco. Su funcionamiento es indispensable para desalojar las aguas residuales y es particularmente crítica su capacidad de drenaje de las aguas pluviales durante la época de lluvias. Su limitada capacidad actual de desalojo es un factor importante en las probables enormes pérdidas económicas, lo que representa una amenaza a la vida y salud de la población.

Las actuales estructuras que forman la conducción de aguas residuales y pluviales a cielo abierto, se ubican en suelos con diferentes espesores y tasas de asentamiento diversas, desde arcillas muy blandas afectadas por fuertes asentamientos en su confluencia con el Río de los Remedios, depósitos arcillosos de menor espesor en la zona noreste de la Sierra de Guadalupe, hasta tobas, andesitas y basaltos en la parte norte de la Laguna de Zumpango.

CAPÍTULO 2: Túnel Emisor Oriente.

2.1 Descripción general del proyecto.

Como parte del programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del Valle de México, puesto en marcha por el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se ha puesto en marcha la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales “Atotonilco” y el **Túnel Emisor Oriente**. Con estas obras se pretende aliviar la sobreexplotación de los acuíferos y mejorar la capacidad de drenaje del Valle de México, mejorando la calidad de vida de 20 millones de Mexicanos.

El Túnel Emisor Oriente (TEO) es una magna obra de ingeniería, cuyo principal objetivo es mejorar la capacidad de drenaje del Valle de México, funcionando conjuntamente con el Emisor Central; además, en época de secas se podrá dar el mantenimiento a cada uno de los sistemas de drenaje sin la necesidad de suspender totalmente el servicio, reduciendo así los riesgos de fallas estructurales o de funcionamiento.

El Túnel Emisor Oriente recibirá las aguas residuales y pluviales provenientes de los túneles Interceptor Oriente y Río de los Remedios cuyos caudales convergerán en la Lumbrera 2 del Túnel Río de los Remedios; a partir de ahí el agua se conducirá a gravedad por el Emisor Oriente hasta desembocar en el sitio denominado El Salto, en el estado de Hidalgo.

Canal de desagüe en dirección noreste, para después pasar por debajo del gran canal y doblar ligeramente hacia el noreste, de ahí continuará prácticamente paralelo al gran canal hasta el cadenamiento 38+500 , donde hará una deflexión hacia el noreste, cruzará a la margen izquierda y llegará cerca de la parte sur de la laguna de Zumpango. Continuará en esa dirección hasta intersectar con el canal de Castera y seguirá paralelo a éste, pasará por el costado izquierdo de la laguna de Zumpango, cruzará el Canal Santo Tomás hasta el Canal Cuautitlán donde continuará prácticamente paralelo a éste hasta llegar al Portal de Salida en el Salto.

La longitud total del túnel es de aproximadamente 61.3 Km, a lo largo de los cuales serán construidas 24 lumbreras con profundidades variables entre 25 y 150m. En el caso de la Lumbrera 18, la profundidad será de 128.5 m.

El diámetro terminado de la sección transversal del túnel, de acuerdo a estudios realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, deberá ser de 7m.

De las 24 lumbreras a construir, 5 de estas serán lumbreras de acceso para el equipo de excavación del túnel, éstas lumbreras tendrán un diámetro final de 17.0 m, mientras que las lumbreras restantes tendrán un diámetro terminado de 12.0 m; este es el caso de la Lumbrera 18.

2.2 Descripción de la Geología del tramo V del Túnel Emisor Oriente

Con la finalidad de estudiar las particularidades del suelo mexicano, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se llevó a cabo un encuentro de especialistas en la materia, los cuales estudiaron las condiciones de construcción del Túnel Emisor Oriente. Todos ellos coincidieron en que el Túnel Emisor Oriente representa un gran reto para la Ingeniería debido a las condiciones especiales que presenta el suelo del Valle de México, formado en su mayoría por arcilla, ya que en un principio éste era un lago.

En superficie, el trazo total del túnel se ha proyectado principalmente sobre rocas volcánicas de composición intermedia y básica que constituyen a las formaciones Chiquihuite, Andesitas basálticas; Tarango y Santa Isabel-Peñón, de edades Mioceno-Pleistoceno, así como depósitos cuaternarios de aluvión; aflorando en menor proporción cerca de la laguna Requena se encontrarán rocas sedimentarias de la formación Soyatal del cretácico y corresponden a la litología más antigua que aflora en el área de estudio.

El proyecto ejecutivo del Túnel Emisor Oriente, se ha elaborado con base en los estudios geotécnicos realizados en los suelos de la trayectoria del túnel. El conocimiento de las características de los suelos se obtuvo de dos etapas de estudios de exploración geotécnica. La primera etapa de estudios se elaboró previamente al desarrollo del proyecto ejecutivo, esta etapa es llamada Ingeniería Básica. En esta etapa de estudios se obtuvieron los datos enfocados principalmente al estudio de los sitios de las lumbreras y la cual permitió tener un panorama general sobre la geología y geotecnia básica de la trayectoria del TEO.

La segunda etapa del estudio geotécnico se realizó durante el desarrollo del proyecto ejecutivo, y en la cual se realizaron 260 sondeos exploratorios del suelo a lo largo de los 62 Km del trazo del túnel, incluyendo los sitios de ubicación de las lumbreras.

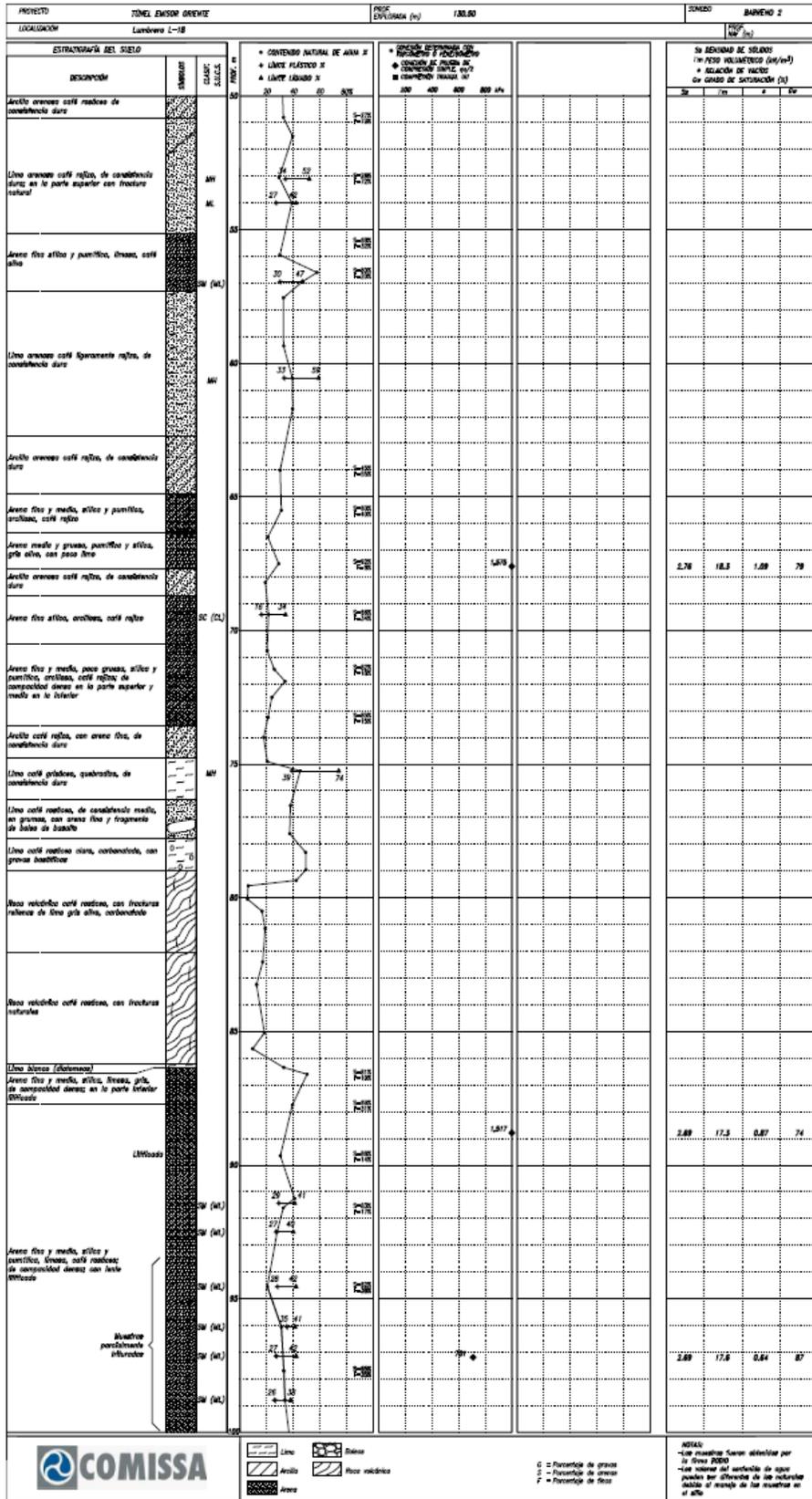


Fig. 2_2_2 Sondeo exploratorio en L-18 (50-100 m)

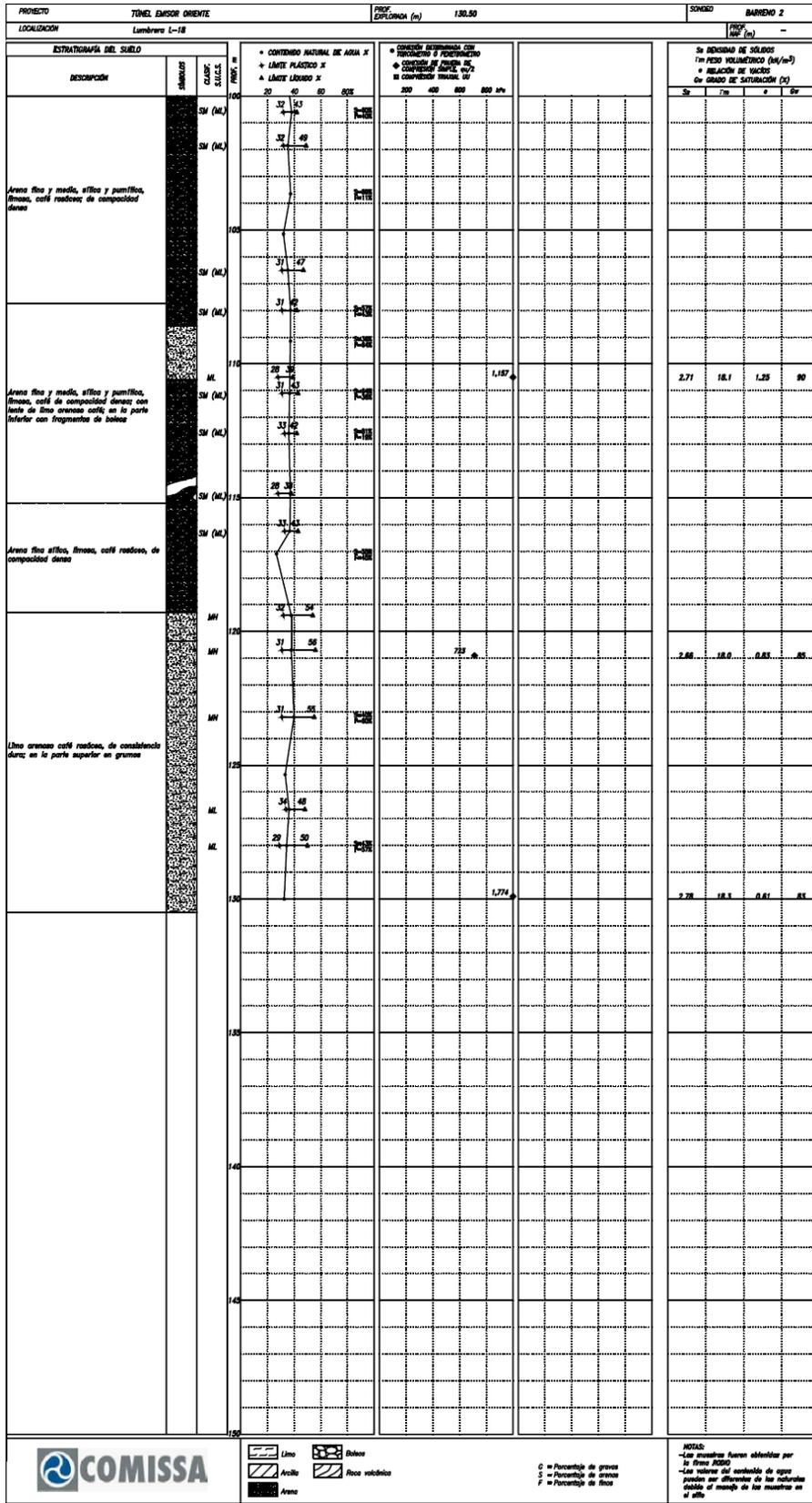


Fig. 2_3 Sondeo exploratorio en L-18 (100-130 m)

A partir de la Lumbreira 18 y hasta la Lumbreira 24 habrá que tomar en cuenta un aspecto importante para la construcción del túnel, esto es la fuerte presión de agua del subsuelo. La elevada presión de agua, asociada a la presencia de formaciones rocosas permeables en el frente de excavación del túnel, plantean la problemática de la afectación de los rendimientos de trabajo en el avance de excavación, ya sea de las lumbreiras o del túnel, debido a que se requerirá de trabajos especiales como cárcamos y bombeos de achique, y dar el mantenimiento constante a las herramientas de excavación y herramientas de corte de la tuneladora debido a desgastes excesivos.



Fig. 2_3 Filtración de agua en las paredes de la excavación

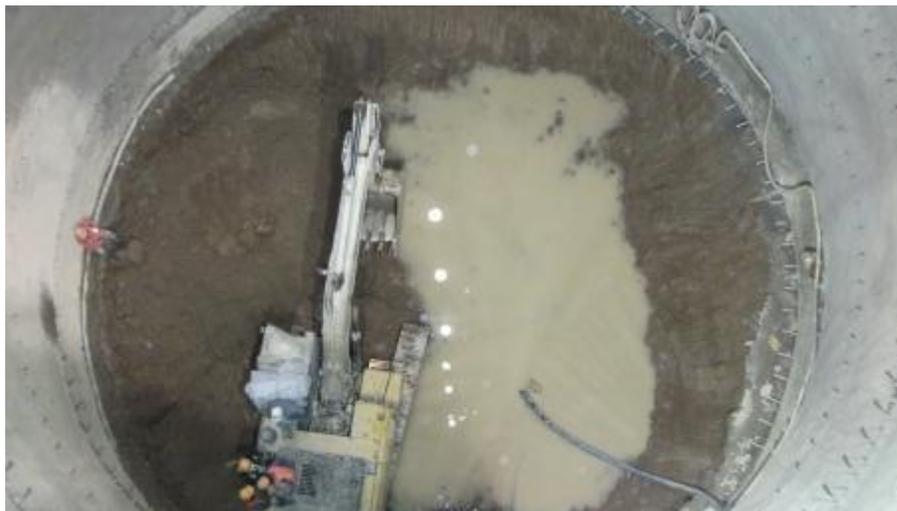


Fig. 2_4 Acumulación de agua en el cárcamo de bombeo

En el caso de la Lumbreira 18, durante los primeros 80 m, se construyó un cárcamo de bombeo en el fondo de la excavación y se envió el agua hasta la superficie utilizando una bomba sumergible de 10 H.P.

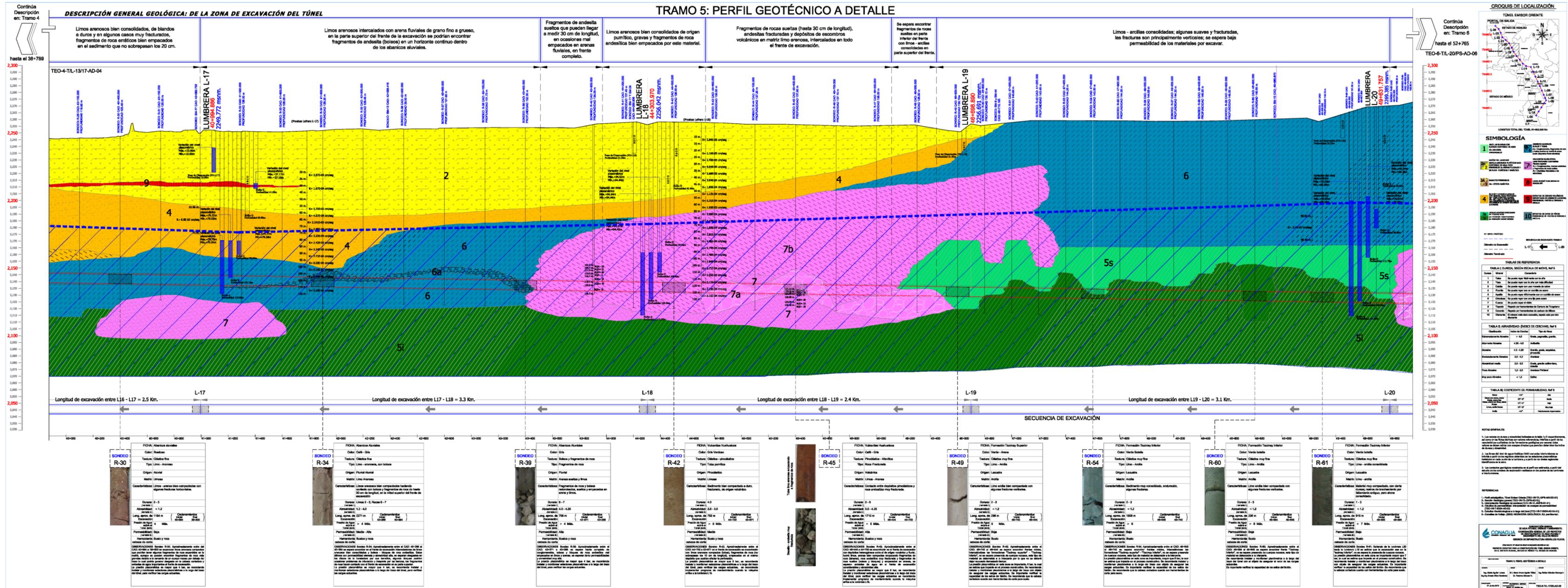


Fig. 2_5 Perfil geotécnico a detalle TRAMO V, Túnel Emisor Oriente.

CAPÍTULO 3: Procedimiento constructivo

3.1 Preparación y mejoramiento del terreno.

La lumbrera 18 se localiza en el cadenamamiento 43+612 del túnel, el cual se encuentra en el municipio de Huehuetoca en el Edo. de México, en el barrio conocido como Puente Grande, el cual se dedica a la siembra y el cultivo de la tierra; motivo por el cual la capa vegetal que cubre estos terrenos es bastante gruesa y poco compacta lo que es poco favorable para los fines de la construcción, pues este predio en su estado natural no soportaría las cargas aplicadas por el paso de maquinaria y vehículos pesados, tampoco las cargas transmitidas por las instalaciones propias del frente de trabajo.



Fig. 3_1 Predio de L18 antes del inicio de obra

Por estas razones, haciendo uso de un cargador frontal y herramienta menor, fue necesario retirar la capa vegetal y materia orgánica que se encontraba en el área del frente de trabajo, misma que en ocasiones alcanzaba hasta 1 metro de espesor.

Una vez que se retiró la capa vegetal, se inició el proceso de relleno con tepetate, esto con la intención de mejorar la capacidad de carga del terreno. El tepetate fue suministrado en camiones volteo. Antes de tender el material, se regó con agua, para posteriormente, con el cargador frontal, revolverlo hasta que alcance una humedad y apariencia homogénea. Posteriormente se tiende en capas no mayores de 30 cm, para esto, nuevamente se usan camiones volteo pues tienen la capacidad de tirar el material y circular al mismo tiempo. El nivel final de la capa de tepetate y su pendiente, se dio con la motoconformadora; previamente el equipo de topografía coloca los niveles y referencias, de tal forma que la pendiente de la capa de tepetate sea igual o similar a la pendiente original del terreno; de manera que se favorezca el escurrimiento del agua de lluvia. El tepetate debe ser compactado al 90% de la prueba proctor standard, para ello se utilizó un rodillo vibrocompactador de 10 ton.

Debido a la modificación en el suelo de este predio, las lluvias que se presentaron durante la realización de estos trabajos, escurrían libremente, pues habíamos alterado la capacidad de retención y absorción original. Así fue necesario colocar una capa uniforme de tezontle, con el fin de mejorar la capacidad de retención del suelo, y así evitar el pronto desgaste del material desplantado e inundaciones en los predios vecinos, lo que pudo provocar problemas sociales y hasta la suspensión de la obra.



Fig. 3_2 Mejoramiento de suelo a base de tepetate y tezontle

Ahora bien, si ya se había mejorado el terreno, el área del brocal de la lumbrera requería de un tratamiento especial, pues la carga que ha de soportar esa área de terreno en especial es de una magnitud superior a cualquiera de las cargas ejercidas por otras máquinas e instalaciones. El peso de la hidrofresa, la maquinaria principal durante la primera etapa de ejecución del proyecto, trabajaría en el mismo sitio durante poco más de tres meses en forma constante, sin considerar los posibles retrasos e inconvenientes en esta etapa del proyecto.

Siguiendo las consideraciones hechas por los proyectistas y calculistas del proyecto, se realizó el mejoramiento de terreno del área de influencia del brocal de la lumbrera. Así se procedió a realizar una excavación de 90 cm de profundidad y 11 m de radio, misma que se rellenó con 5 capas de 20 cm, de grava controlada compactada al 95% de la prueba Proctor standard. Este proceso fue realizado casi de la misma forma en que se realizaron los trabajos de mejoramiento de suelo con tepetate.

Para mala fortuna, los trabajos del mejoramiento de terreno del brocal se realizaron durante los meses de mayo y junio, periodo en el que la lluvia fue abundante e intensa en el Municipio de Huehuetoca, lo que dificultó el trabajo del material y su adecuada compactación. Sin embargo se logró obtener el porcentaje de compactación requerido por el proyecto, en tiempo y forma.

3.2. Construcción del brocal interior y exterior.

Una vez que se mejoró la zona de influencia del brocal, se excavó una zanja en la que serían alojados los faldones de los brocales interior y exterior de la lumbrera. La zanja tenía una profundidad de 2.50 m, aunque después de la construcción de los brocales se aumentó la profundidad para que el cabezal de corte de la hidrofresa, el cual se describirá en capítulos siguientes, tuviera las condiciones para un correcto funcionamiento.

La excavación de la zanja fue delimitada por el equipo de topografía de la obra para evitar posibles sobreexcavaciones y por tanto mayor gasto de materiales. Como es posible ver en las siguientes imágenes, la precisión de la excavadora y la destreza del operador no son 100% confiables, por lo que fue necesario afinar las paredes de la excavación mediante métodos manuales, para garantizar la correcta colocación del acero de refuerzo y la posterior colocación de concreto.



Fig. 3_3 Excavación de zanja para construcción de brocales interior y exterior

Para facilitar el trabajo de los camiones revolvedora y del personal de obra, se decidió construir primeramente el brocal interior, por lo cual se habilitaron 30 ton de acero y 125 m² de cimbra de madera, para formar la estructura de acero del brocal interior.



Fig. 3_4 Secuencia de armado de acero y cimbra para brocal interior

Se vaciaron 80 m³ de concreto $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$, a tiro libre y vibrado para asegurar la correcta colocación de este. En esta etapa del proyecto, el brocal no es sometido a carga alguna, por lo que bastó con 24 horas a partir de la conclusión del colado para poder descimbrar y curar el concreto colocado, e iniciar así los trabajos de construcción del brocal exterior, el cual fue construido de la misma forma que el brocal interior.



Fig. 3_5 Secuencia de construcción del brocal exterior

Una vez construidos ambos brocales se inician los trabajos para la construcción de la plataforma de trabajo de la hidrofresa. Esta plataforma es una losa de concreto armado con un espesor de 15 cm, sobre la cual se desplaza la máquina para excavar los 24 tableros que forman la 1ª etapa de la lumbrera.

El nivel de concreto terminado de la plataforma de trabajo de la hidrofresa, debe estar al mismo nivel que el concreto terminado de los alerones de los brocales, razón por la cual fue necesario agregar una nueva capa de grava controlada en esta área de trabajo. Al igual que en las capas anteriores, se verifica que el grado de compactación cumpla con el 95% de la prueba Proctor Estándar para poder continuar con los trabajos.

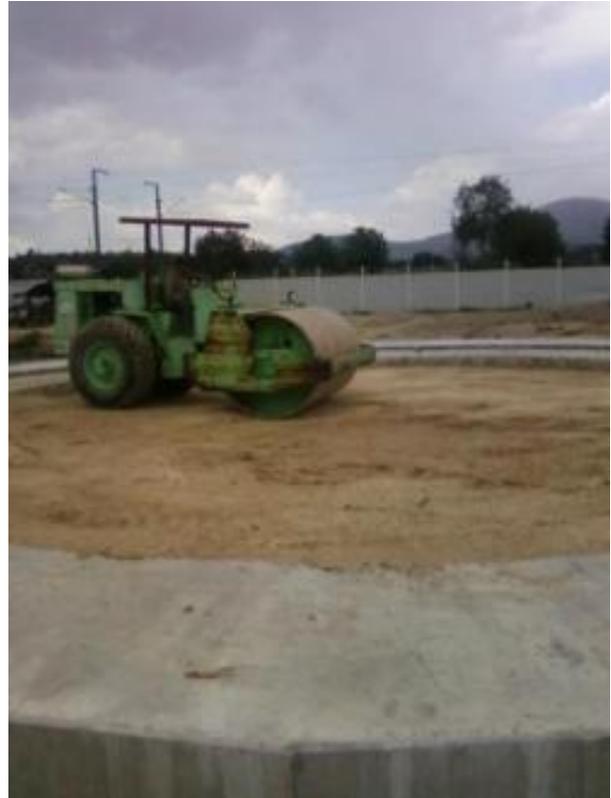


Fig. 3_6 Secuencia de construcción de losa de servicio (continúa en la página siguiente).



Fig. 3_6 Secuencia de construcción de losa de servicio (viene de la página anterior).

3.3 Descripción del funcionamiento de la máquina “hidrofresa”

La maquinaria hidrofresa BC40 es una herramienta de trabajo relativamente nueva en América, que representa tecnología de punta para la excavación de muros Milán a grandes profundidades, en suelos duros o rocosos. Esta máquina de 37 toneladas de peso, sustituye a los equipos guiados o almejas, además de realizar trabajos de excavación continua lo que favorece los tiempos de ejecución de los proyectos.

La hidrofresa es una maquinaria hidráulica diseñada y construida especialmente para excavar zanjas profundas y cortinas subterráneas. La máquina base a la que se monta la hidrofresa es una grúa sobre orugas común, reformada especialmente para su utilización como soporte de fresado.

La hidrofresa BC40, utiliza un sistema de guiado de verticalidad del cortador el cual se basa en un sistema ultrasónico que garantiza la correcta ejecución de la excavación. Estos datos son monitoreados por el operador de la máquina, para que este pueda corregir las posibles desviaciones del cortador.

Esta maquinaria es capaz de excavar tableros de 1.20 m X 2.80 m a una profundidad de hasta 120 m. Su uso representa una gran ventaja en tiempos de excavación y fabricación de muro Milán; sin embargo, debe considerarse que este equipo funciona conjuntamente con la **planta de lodos**, en la cual se le da un tratamiento al producto de excavación y a la bentonita utilizada en este proceso.

A medida que avanza la excavación, las ruedas de corte del cortador o cabezal de la hidrofresa, trituran el suelo y a través de una bomba localizada dentro del mismo cabezal, el material producto de excavación es succionado junto con el lodo bentonítico de trabajo hasta la planta de lodos, en donde se separa, se le da tratamiento al lodo

bentonítico y el material producto de excavación es arrojado hasta el patio en donde es cargado y acarreado hasta el tiro establecido por la CONAGUA.



Fig. 3_7 Hidrofresa BC40.

3.3.1 Instalaciones requeridas para el correcto funcionamiento de la hidrofresa

Como anteriormente se mencionó, para que el funcionamiento de la hidrofresa sea completo, se requieren de instalaciones y equipos auxiliares.

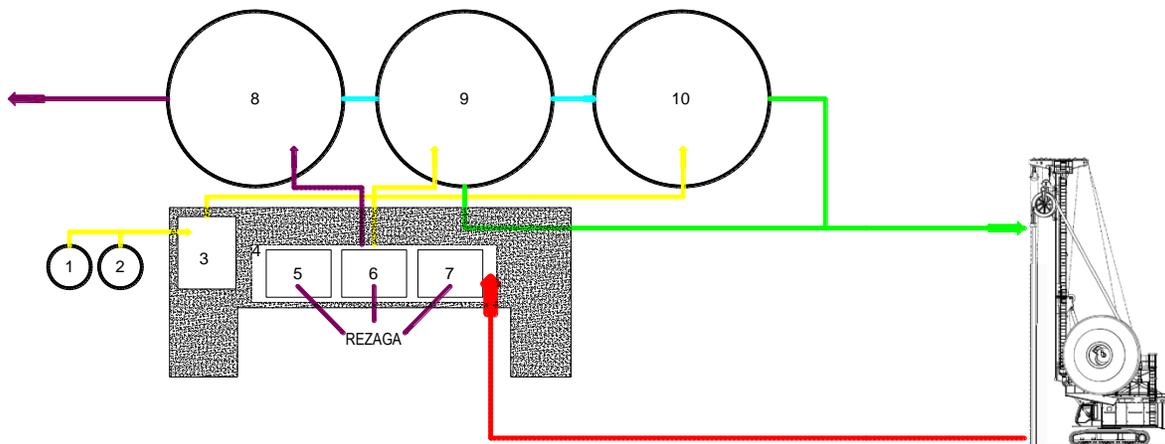
Estas instalaciones y equipos, realizan la función de tratamiento del lodo bentonítico y separación del material producto de la excavación.

El proceso de depuración del lodo bentonítico consta de cuatro fases. Se requiere de una planta desarenadora, una planta mezcladora o dosificadora de bentonita, un separador de finos, Una planta de floculación y decantadores. Mediante este proceso se recicla el lodo bentonítico para poder reutilizarlo como ademe en el proceso de excavación.



Fig. 3_8 Planta de tratamiento de lodos

El proceso es sencillo. Una vez que se tienen todas las instalaciones y la maquinaria montada, se procede a elaborar lodo bentonítico, mezclando bentonita sódica con agua en una porción de 70 Kg por cada 973 litros de agua. Este lodo es utilizado como ademe en la excavación del primer tablero. En el siguiente diagrama, se muestra el ciclo de trabajo en la planta de lodos.



- 1 y 2.- Silos de almacenamiento de bentonita sódica.
- 3.- Planta dosificadora de bentonita.
- 4.- Planta desarenadora.
- 5,6, y 7.- Separadores de finos.
- 8,9,y 10.- Planta de floculación y decantadores.

Las líneas amarillas indican las tuberías de bentonita nueva. La línea verde es la línea de conducción de bentonita desde la planta de lodos hacia la hidrofresa. La línea roja marca la trayectoria de la bentonita usada hacia la planta de lodos para su tratamiento. Las líneas purpuras marcan la salida de la bentonita de desecho para su acarreo al tiro establecido.

Fig. 3_9 CICLO DE TRABAJO DEL LODO BENTONÍTICO

3.4 Muro Milán

3.4.1 Excavación para la construcción del muro Milán

Una vez que se tienen todas las instalaciones para el correcto funcionamiento de la hidrofresa, se deben preparar las guías para el cabezal de la máquina. En el proyecto ejecutivo de la lumbrera se tienen proyectados 2 tipos de tableros y armados diferentes como se muestra en la siguiente imagen.

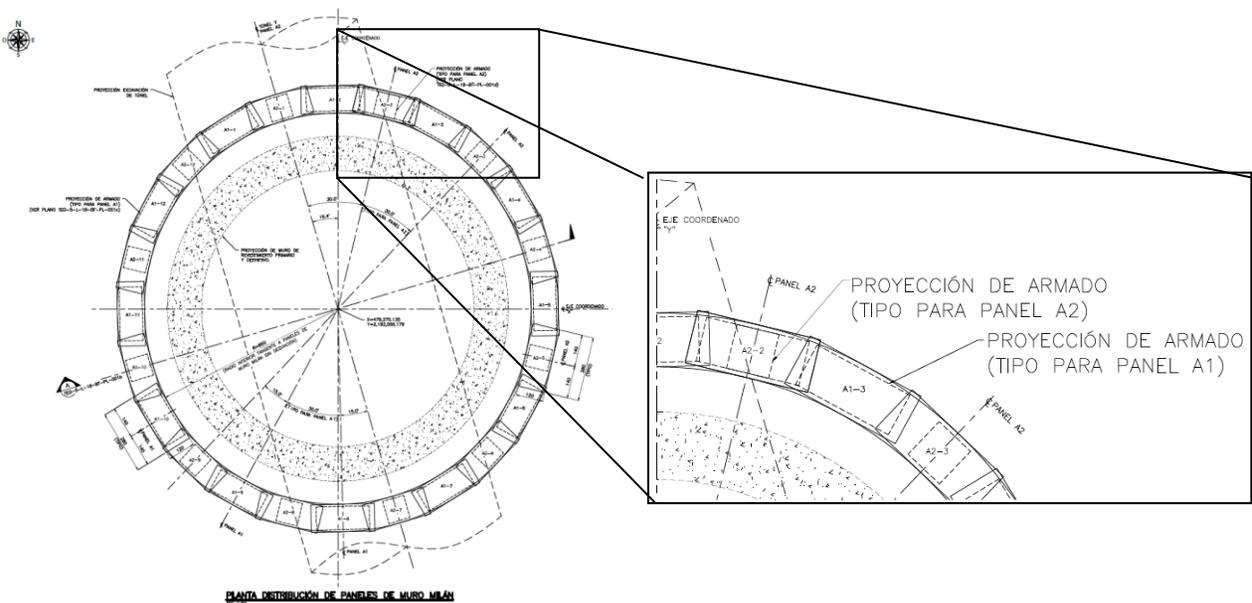


Fig. 3_10 Diagrama “planta de distribución de paneles de muro Milán”

Como se muestra en la imagen anterior n, el armado de los tableros tipo A2, tiene menores dimensiones que el armado del tablero tipo A1, razón por la cual se le colocaron tubos tipo PEAD (Polietileno de Alta Densidad) con el propósito de ajustar estas dimensiones a las dimensiones de la excavación.

Por procedimiento constructivo, se construyeron primeramente los tableros tipo A2, de esta forma fue necesario aumentar la profundidad y rellenar las pre excavaciones de los tableros tipo A1 de tal manera que se formase un cárcamo para bombear el lodo bentonítico lo bastante profundo para cubrir la bomba del cabezal de la hidrofresa evitando así sobrecalentamientos durante la excavación de los primeros metros del tablero.

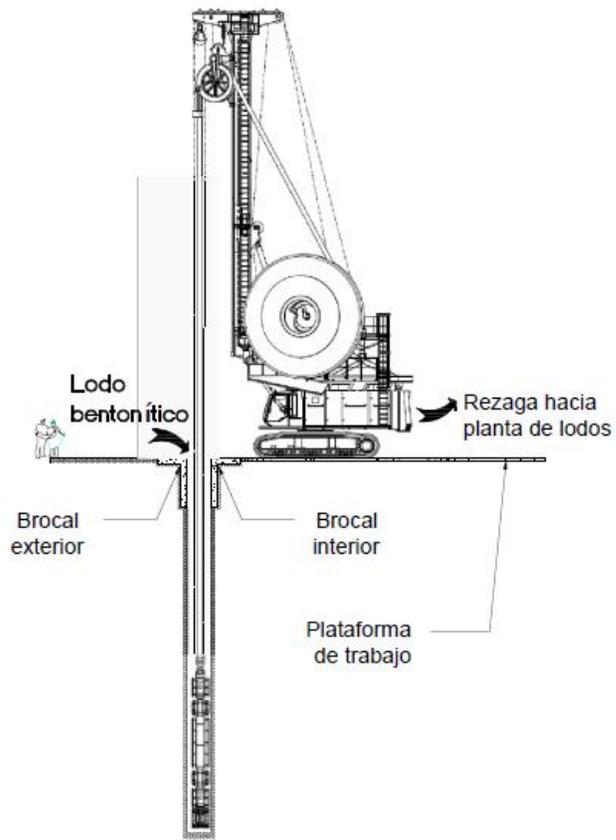


Fig. 3_11 Diagrama e Imágenes de excavación con hidrofresa

Durante la excavación de un tablero se deben realizar diferentes maniobras como el estibado del armado de acero que será colocado en la excavación, la preparación del siguiente tablero por excavar, y la limpieza del área de trabajo, evitando así retrasos entre una actividad y otra , para asegurar la continuidad de los trabajos en el tiempo establecido.

Una vez que se ha excavado un tablero, es conveniente que el siguiente tablero por excavar sea el diametralmente opuesto al anterior, esto con el propósito de conservar la estabilidad del suelo y darle el tiempo adecuado de fraguado del concreto entre la excavación de un tablero y la colocación de concreto del tablero anterior. Sin embargo, esto no es una regla. La secuencia de excavación será definida por el criterio del ingeniero en cargo, dependiendo del tiempo de excavación y el fraguado del concreto de tableros contiguos.



Fig. 3_12 Imagen en la que se muestra la excavación de un tablero y la inmersión de acero en el tablero diametralmente opuesto.

Es muy importante señalar que al terminar la excavación de un tablero, se cambia el lodo bentonítico de trabajo por lodo bentonítico nuevo, hasta obtener las características del lodo deseadas. Esto se hace para los fines de la correcta colocación del concreto en la excavación, lo cual se explicará más adelante.

Además de esto, una vez que se ha terminado la excavación de un tablero y el desarenado del mismo, se verifica la verticalidad de la excavación utilizando un equipo llamado “KODEN Sonic Caliper” la cual es una herramienta utilizada para determinar la sección transversal de la excavación y la verticalidad de esta.



Fig. 3_13 Verificación de verticalidad con KODEN

Este aparato funciona de una manera similar al radar de un submarino, pues se sumerge una sonda dentro del lodo bentonítico en la excavación, que manda una onda sonora que rebota en las paredes de la excavación y es captada nuevamente por la sonda. Así, la consola dibuja una gráfica utilizando los datos captados por la sonda.



Fig. 3_14 Verificación de verticalidad con KODEN. (Gráfica)

3.4.2 Descripción de los diferentes armados de acero de refuerzo para el muro Milán utilizados en la Lumbra 18 del Túnel Emisor Oriente.

Como se describió en secciones anteriores, la sección transversal del cabezal de corte de la hidrofresa es de forma rectangular cuyas dimensiones son 1.20 m X 2.80 m, lo que significa que para dar forma semicircular a la sección transversal de la lumbra deberá existir un traslape entre los 24 tableros que forman su primera etapa, como se puede ver en el siguiente esquema.

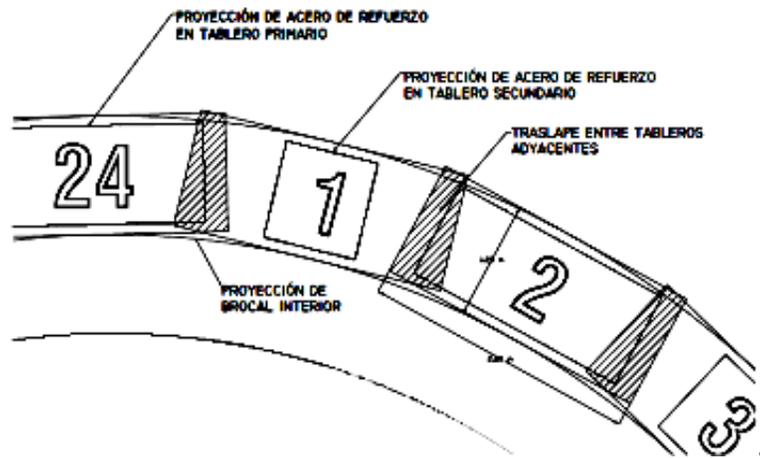


Fig. 3_15 Imagen de traslape entre tableros tipo A1 y A2

Bajo esta consideración es posible entender porque existen dos tipos de armados de acero de refuerzo. La excavación de un tablero primario demuele una sección del concreto del tablero secundario, pero no daña el acero del mismo.

La longitud de los armados es de 79.0 m mas 1.0 m de anclaje. Las varillas comerciales solo tienen 12.0 m de largo por lo que la continuidad entre cada una de estas se da con el uso de coples o conectores mecánicos roscados. La cuerda o rosca de las varillas deberá ser habilitada en un taller especializado y junto con los conectores deberán ser sometidos a una prueba destructiva a tensión para garantizar la fluencia y resistencia del acero del lote en obra, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

También es necesario garantizar la continuidad, el correcto acomodo de las varillas longitudinales y verticalidad de las secciones que forman el armado de acero de los tableros, por lo que se fabricaron como un solo elemento, es decir se fabricaron todos los tramos de un armado en un solo grupo. La forma de garantizar la verticalidad del armado la hacemos colocando una vía de rieles de acero, como los de un ferrocarril, perfectamente horizontales y alineados. Sobre estos se construyeron los armados de acero de los tableros.



Fig. 3_16 Armado del acero de refuerzo para muros Milán

Una vez que se ha completado al 100% el armado de acero de uno de los tableros, se desacopla y se estiba ordenadamente de acuerdo a la secuencia de colocación, cerca de la excavación, de manera que el acceso a éste y su colocación se haga de la manera más práctica y rápida posible.

El izaje de cada una de las secciones se realiza apoyándose de una grúa con una capacidad mayor a 30 toneladas, es decir, la grúa deberá ser capaz de soportar el peso del armado acoplado al 100 %.

Cada sección del armado se levanta en forma horizontal para después realizar la maniobra de suspenderlo en el aire en posición vertical, introduciéndolo lentamente dentro de la excavación. Una vez dentro, se apoya en su extremo superior con vigas de acero, las que a su vez se apoyan transversalmente en ambos brocales. Para colocar los tramos siguientes, se repite la misma operación de izaje y plomeo, pero además de esto, antes de retirar las vigas de acero de apoyo temporal, se deben acoplar nuevamente las secciones anteriores del armado con la sección actual. El lecho superior de acero de la última sección del armado queda por encima del nivel de los brocales, de forma que sea posible su apoyo temporal con las vigas de acero, y a su vez se alcance el nivel de proyecto del lecho bajo de acero de refuerzo.

Es muy importante mencionar, que durante el proceso de izaje y colocación de acero de refuerzo de cada uno de los tableros, interviene gran cantidad de personal de obra realizando labores de forma manual, por lo que las medidas de seguridad son tomadas con especial atención.

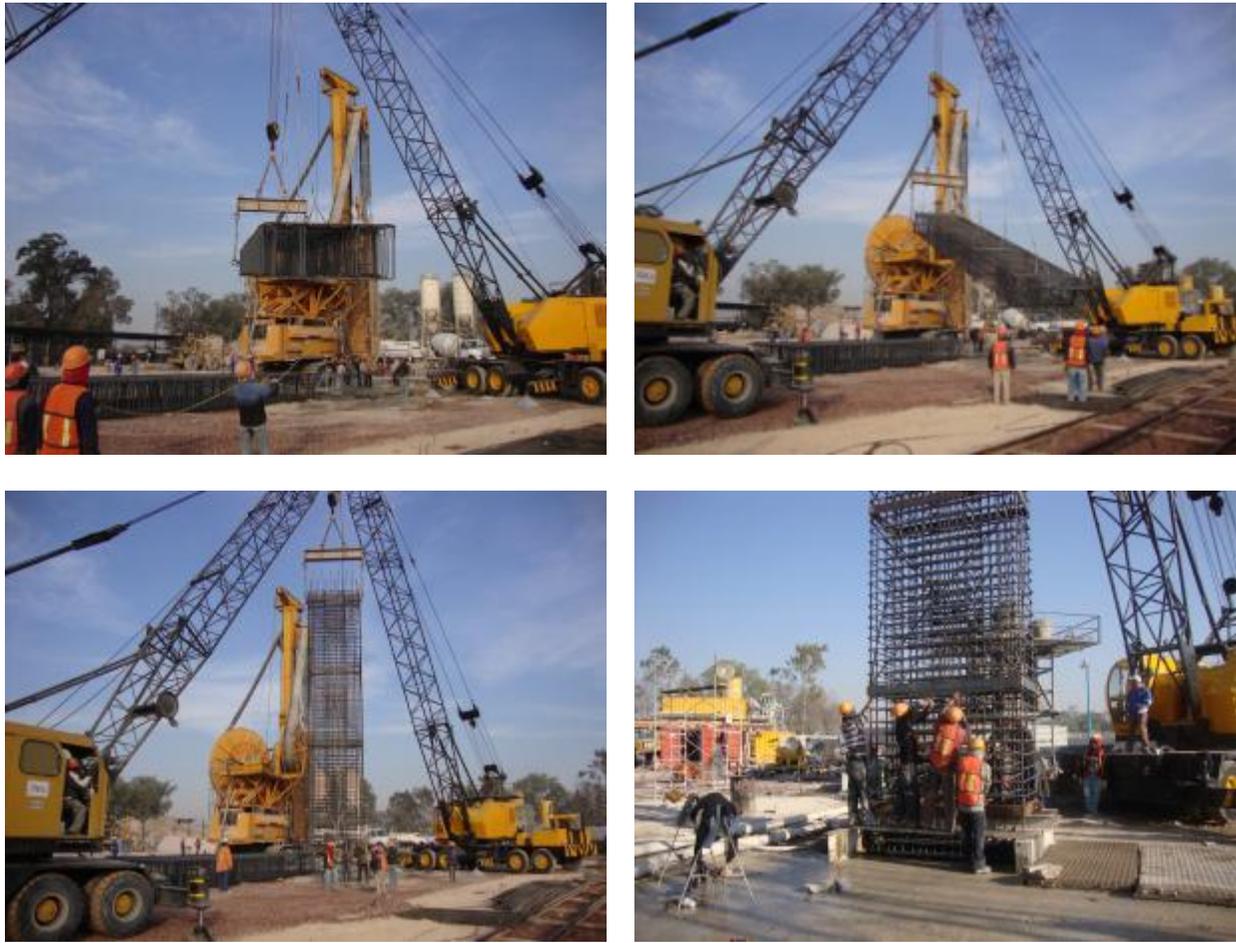


Fig. 3_17 Secuencia de colocación de acero de refuerzo dentro de la excavación

3.4.3 Colocación de concreto en muro Milán

Una vez que se han colocado en su sitio todas las secciones del armado para el muro Milán, se realiza la colocación del concreto.

Dada la profundidad de la excavación, se debe tener especial cuidado con la colocación del concreto, pues se debe garantizar que se cubra perfectamente todo el volumen de la excavación. Para este fin, se implementó el uso de concreto autocompactable. Como su nombre lo indica, este concreto no requiere de vibrado para su correcta colocación, pues la fluidez con la que es preparado es suficiente para cubrir la sección transversal de la excavación, formando una columna de concreto de abajo hacia arriba hasta llenar completamente la excavación del tablero.

Las características físicas de los materiales a utilizar para la fabricación del concreto (arena, grava, agua, cemento y aditivos para concreto) deben ser comprobadas mediante las respectivas pruebas de laboratorio. Con estos resultados, es posible realizar un diseño adecuado de la dosificación de los materiales. Igualmente, cuando el concreto se prepara, se comprueba la extensibilidad de éste para garantizar su correcta colocación y la calidad de los trabajos.

Para evitar juntas frías durante la colocación de concreto en los tableros, el suministro de este debe ser constante desde el inicio y hasta el final del colado. En el caso de la obra de la L-18, la preparación del concreto se hizo en obra, pues se contó con una planta dosificadora y personal certificado ante la EMA para realizar pruebas de laboratorio al producto.



Fig. 3_18 Secuencia de prueba de extensibilidad de concreto autocompactable

Para colocar el concreto en la excavación del tablero, es necesario considerar que esta está ademada con lodo bentonítico, y que este también debe poseer ciertas características físicas como el contenido de arena, densidad, y pH, dentro de los rangos

que establece el laboratorio con la finalidad de no alterar las características del concreto, por ejemplo, la resistencia a compresión ($f'c$).

Hasta el momento ya se han explicado los procesos de excavación, cambio de lodo bentonítico, izaje y colocación de acero, y la preparación del concreto. El proceso siguiente es la colocación del concreto desde el fondo de la excavación.

Para colocar el concreto en el fondo de la excavación y formar así una columna ascendente hasta la superficie, se utilizó la Tubería TREMIE. Este tipo de tubería de acero de 8" de diámetro tiene la característica de permitir el flujo de material de adentro hacia afuera, pero nunca de fuera hacia adentro. Es decir, cuando se hace descender el concreto por esta tubería, la bentonita dentro de la excavación no tiene acceso al interior del tubo y el concreto llega hasta la salida de éste sin ser contaminado. Lógicamente, cuando se introduce dentro de la excavación la tubería, esta queda llena de lodo bentonítico, la forma de expulsarlo hacia el exterior es muy sencilla, más sencilla de lo que se podría pensar.



Fig. 3_19 Secuencia de colocación de tubería TREMIE (continúa en página siguiente)



Fig. 3_19 Secuencia de colocación de tubería TREMIE (viene de página anterior)

Una vez que se ha colocado toda la tubería y antes de colocar el embudo, se introducen dentro de esta tres pelotas de hule, las cuales están llenas de aire y agua, con un diámetro casi idéntico al de la tubería, es decir casi 8 pulgadas. El concreto vaciado dentro de la tubería empuja las pelotas hacia abajo, y estas a su vez, empujan el lodo bentonítico atrapado en el tubo, hasta que las pelotas encuentran la salida del tubo y por acción de la densidad del aire atrapado en ellas, son expulsadas hasta la superficie, y el tubo ahora queda lleno de una columna de concreto que sale poco a poco del tubo hasta llenar por completo la excavación.

Otra de las ventajas que conlleva el uso de la tubería Tremie, es que este tipo de tubo es de acoplamiento rápido, lo que disminuye el tiempo de colocación, y además durante el colado, el retiro de cada una de los tubos se hace de forma relativamente rápida, lo que es de gran ayuda para que la colocación del concreto se haga de forma más constante.

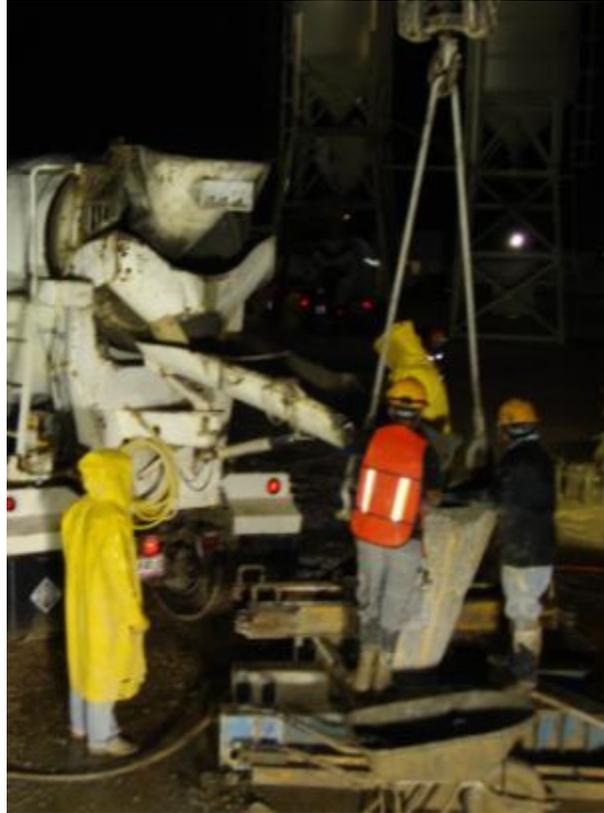
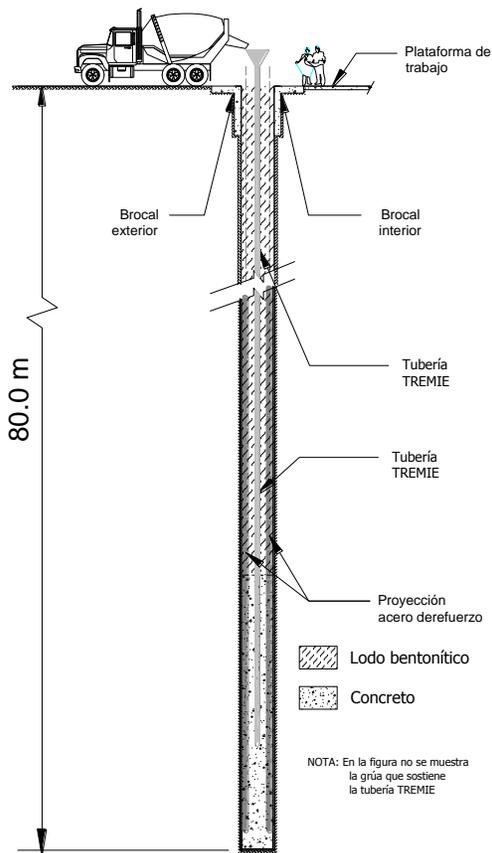


Fig. 3_20 Diagrama de colocación de concreto en muros Milán e imagen en obra

Durante el colado de los 24 tableros del muro Milán se lleva un control numérico en el que se compara la columna teórica de concreto colocado con la columna real, medida físicamente con una sonda. De esta manera es posible controlar el retiro de cada uno de los tubos, de acuerdo con el avance de la colocación del concreto, de tal manera que la columna de concreto dentro de la tubería, sea capaz de vencer la columna de concreto colocado, por encima del nivel de la salida del tubo. Es decir, la presión ejercida por la carga de concreto dentro del tubo, debe ser capaz de vencer la carga estática del concreto ya colocado, evitando así taponamientos en la tubería y retrasos en el colado.

Para verificar físicamente que la columna de concreto ha llenado por completo la excavación, debe colocarse concreto hasta que este llegue a la superficie y sea posible verlo y tocarlo con las manos. Una vez que esto ha sido comprobado, de forma manual se vacía la columna de concreto hasta que el lecho superior de esta llegue a dos metros por debajo del nivel de los brocales; esto se hace con la intención de construir, una vez terminados los 24 tableros de la primera etapa de la lumbrera, la trabe de coronamiento.

CONSTRUCCIONES Y TRITURACIONES S.A. DE C.V.

No. De tablas: 10 Densidad: 1.04 % Contenido de arena: 0.25
 Prof. De excavación: 30.00

Fecha: 7 Agosto / 2014 8. Mayo. 2011

Nº.	No. De Unidad	Extensión (m ² o l. cúb.)	Hora de Inicio		Vol. Pared (M ³)	V.A. Acum. (M ³)	Columna Techos (m)	Columna recta (m)	Columna Venar (m)	TUBERIA				OBSERVACIONES
			Inicio	Terminó						Mts Tuberia colocada	Mts Tuberia retirada	Mts Tuberia reusada	Mts Tuberia sumergida	
1	01	21.09	21:22		8	8	2.38			79.00				
2	02	21.25	21:40		8	16	4.76							
3	03	22.08	22:38		8	24	7.14							
4	04	22.41	23:10		8	32	8.52	8.10	71.30	98.00	1.0	7.10		
5	05	23.27	03:42		8	40	11.90			78.00				
6	06	23.52	00:25		8	48	14.28	14.90	65.60	71.60	3.00	4.20	12.90	
7	07	00:50	00:54		8	56	16.60							
8	08	00:57	01:04		8	64	19.04							
9	09	01:06	01:14		8	72	21.92							
10	10	01:22	01:31		8	80	23.80	21.10	55.90	79.80		2.40	13.90	
11	11	01:34	01:43		8	88	26.18			71.60				
12	12	01:48	01:52		8	96	28.56							
13	13	01:58	02:08		8	104	30.94	29.70	52.30	71.60			19.30	
14	14	02:05	02:18		8	112	33.32			68.40	3.20	0.60		
15	15	02:14	02:24		8	120	35.70	31.80	18.20	65.80			20.20	
16	16	02:38	02:47		8	128	38.08			61.20	6.20	16.80		
17	17	02:43	02:50		5	136	40.76	35.50	44.70	63.20	0.20	23.00	12.50	
18	18	03:05	03:12		8	144	41.84			56.00				
19	19	03:19	03:26		8	152	43.20							
20	20	03:18	03:36		8	160	47.60	42.00	38.00	36.00			18.00	
21	21	03:45	03:52		8	168	47.98			45.80	6.20	25.00		
22	22	03:56	04:03		8	176	52.36							
23	23	04:02	04:15		8	184	54.94	46.00	31.00	49.80			18.80	
24	24	04:25	04:38		8	192	57.12			49.60	6.20	35.40		
25	25	04:40	04:53		8	200	59.50							
26	26	04:58	05:05		8	208	61.88	59.50	75.50	93.60			18.10	
27	27	05:16	05:27		8	216	64.76			37.40	6.00	41.00		

Fig. 3_21_1 Formato de campo. Control numérico en la colocación de concreto en Muro Milán hoja 1 de 2

CONSTRUCCIONES Y TRITURACIONES S.A. DE C.V.

No. de tablero 10 Consistencia 1.04 % Contenido de arena 0.25
 Prof. De supervisión 80.00 Fecha 8 Mayo 201

No.	No. De Unidad	Extensible (m ²)	Hora de tiro		Mts. Parcial (M3)	Vol. Acum. (M3)	Columna Teórica (m)	Columna real (m)	Columna por base (m)	TUBERIA				OBSERVACIONES
			Inicio	Termino						Mts. Tuberia colocada	Mts. T. Abajo retrada	Mts. acum. tuberia retrada	Mts. Tuberia Sujepta	
28	332-04		05:29	05:38	8	214	46.67			37.10		41.10		
	01		05:41	05:50	8	222	61.07	43.50	44.50	37.10	6.70	47.80	22.80	
30	02		06:02	06:09	8	230	71.40			31.20				
	03		06:12	06:21	8	238	76.28	65.50	18.50	31.20	17.10	60.20	20.30	
33	04		06:33	06:42	8	246	76.66			18.80				
	01		06:48	07:00	8	254	78.54			18.80				
34	02		07:10	07:20	8	262	80.72	76.00	4.00	17.60	6.70	66.24	14.80	
35	03		07:34	07:55	8	270								
36	04		08:29	08:55	8	278								

Fig. 3_21_2 Formato de campo. Control numérico en la colocación de concreto en Muro Milán hoja 2 de 2

3.4.4 Trabe de coronamiento

Como su nombre lo indica, la trabe de coronamiento es la estructura que “corona” o remata el lecho superior de concreto de los 24 tableros que forman la primera etapa de construcción de la lumbrera.

Esta estructura semicircular, tiene un complejo procedimiento de armado, pues la cantidad de acero y el diámetro de las varillas de la propia estructura, en conjunto con las varillas longitudinales de los tableros provocan que el personal que arma la estructura encuentre muy difícil el habilitado de las varillas y su colocación. Sin embargo, algo que caracteriza a la gente de obra, es que no cesan en sus esfuerzos hasta que “sacan la chamba”, así que aunque es un procedimiento relativamente lento y que requiere de gran cantidad de personal de las diferentes áreas de la construcción, el trabajo quedo terminado en menos de una semana.

Se colocaron 140 m³ de concreto, y un total de 10 toneladas de acero.

En este caso, los faldones de los brocales hicieron las veces de cimbra, y la colocación del concreto se hizo a tiro directo.



Fig. 3_22 Secuencia de construcción de la trabe de coronamiento de la lumbrera (continúa en página siguiente).



Fig. 3_22 Secuencia de construcción de la trabe de coronamiento de la lumbrera (viene de la página anterior).

3.5 Excavación de núcleo

Para dar inicio con la excavación del núcleo de la lumbrera es necesario demoler el concreto de la plataforma de trabajo de la hidrofresa. En esta etapa de la construcción de la lumbrera, el concreto de la plataforma de trabajo ya ha alcanzado su resistencia a 28 días, que es 350 Kg/cm^2 , por lo que la demolición realizada por medios manuales llevaría varios días de trabajo. Para ejecutar este trabajo se le coloca a la excavadora un martillo neumático, de esta forma la demolición de la plataforma dura menos de doce horas, para luego iniciar la excavación del núcleo.



Fig. 3_23 Demolición de plataforma de trabajo



Fig. 3_24 Inicio de excavación

Junto con la plataforma de trabajo, también se ha demolido el alerón del brocal interior, resta demoler el faldón. Para esto es necesario llegar a una profundidad de excavación de 2.50 m, que es el nivel del lecho bajo de concreto del alerón. Nuevamente es necesario colocar el martillo neumático de la excavadora para ejecutar este trabajo.

Tanto el brocal interior como la plataforma de trabajo son estructuras de concreto reforzado con acero, así que además de la demolición, es necesario retirar todo el acero y cortarlo con equipo de oxicorte para reducir el volumen de chatarra y disponer de esta en el lugar adecuado.



Fig. 3_25 Demolición de faldón del brocal interior

Una vez que se ha retirado por completo el brocal interior y la plataforma de trabajo, la excavación se realizará de manera continua hasta alcanzar una profundidad de 78.0 m, en este nivel se construyó la trabe de liga. Además de la excavación por medios mecánicos, se realiza la limpieza del paño de concreto del muro Milán por medios manuales, esto con la finalidad de darle un acabado limpio además de proteger al personal de una posible caída del material adherido al muro desde una altura considerable, lo que resultaría en una grave lesión.



Fig. 3_26 Excavación de núcleo y limpieza de tableros.

Durante la excavación se encuentran diferentes tipos de materiales, que en su mayoría son arenosos, así como rocas, boleas, arcillas, etcétera. De acuerdo a la dureza de estos materiales, puede ser necesario nuevamente el uso del martillo neumático, para demoler estos estratos de materiales duros y posteriormente retirar el material producto de excavación hasta la superficie.

Todo este proceso de excavación es relativamente sencillo: primero se realiza la demolición de elementos innecesarios, luego se inicia la excavación con uso de una excavadora y una grúa, y se limpian los muros; sin embargo el volumen del material producto de excavación, multiplicado por un coeficiente de abundamiento promedio de 0.25, resulta en un volumen de material de **22130.55 m³**, y esto es solo la primera etapa de la construcción de la lumbrera, aún no hemos llegado a la profundidad máxima de excavación. Todo este material es acarreado, en camiones volteo, hasta un tiro establecido por la CONAGUA.



Fig. 3_27 Tiro establecido en “San Miguel Jagüeyes”

3.6 Trabe de liga. Muro Milán - Método convencional

La trabe de liga es el elemento estructural que une la primera etapa constructiva de la lumbrera con la segunda; es decir, es el elemento que enlazará los 24 tableros del muro Milán con la etapa de construcción vía concreto lanzado, al que se le ha llamado revestimiento primario, y el revestimiento definitivo.

Para la construcción de este elemento, una vez que se ha alcanzado la profundidad de 78.0 m, se afinó el fondo de la excavación y se coló una plantilla de concreto simple de aproximadamente 5 cm de espesor, sobre esta se ejecutaron los trabajos de una manera más cómoda para el personal, pues además de caminar sobre una superficie plana, el manejo de los materiales y las referencias para la ubicación de estos se hicieran de una manera más sencilla.

Al igual que se hace en otras construcciones, para poder unir un elemento de concreto nuevo a uno de concreto viejo, se escarifica la zona de contacto entre ambos. Para este caso, se escarificaron los tableros hasta descubrir el acero de refuerzo de los mismos, aproximadamente 10 cm.

Como se puede observar en el diagrama, la longitud de anclaje del acero al muro Milán, varía de acuerdo al diámetro de las varillas, y debe ser adherido al concreto mediante una resina epóxica que asegura la unión entre el concreto fraguado con acero nuevo. Para el uso adecuado de esta resina se verifica que el barreno esté libre de polvo y

grasas, pues de lo contrario no se garantizaría la adherencia entre las anclas de acero y el concreto del muro Milán. Además de esto, es importante realizar los barrenos en dirección radial al centro de la lumbrera, pues de esta forma la distribución de los elementos de acero será simétrica y su colocación será más sencilla.

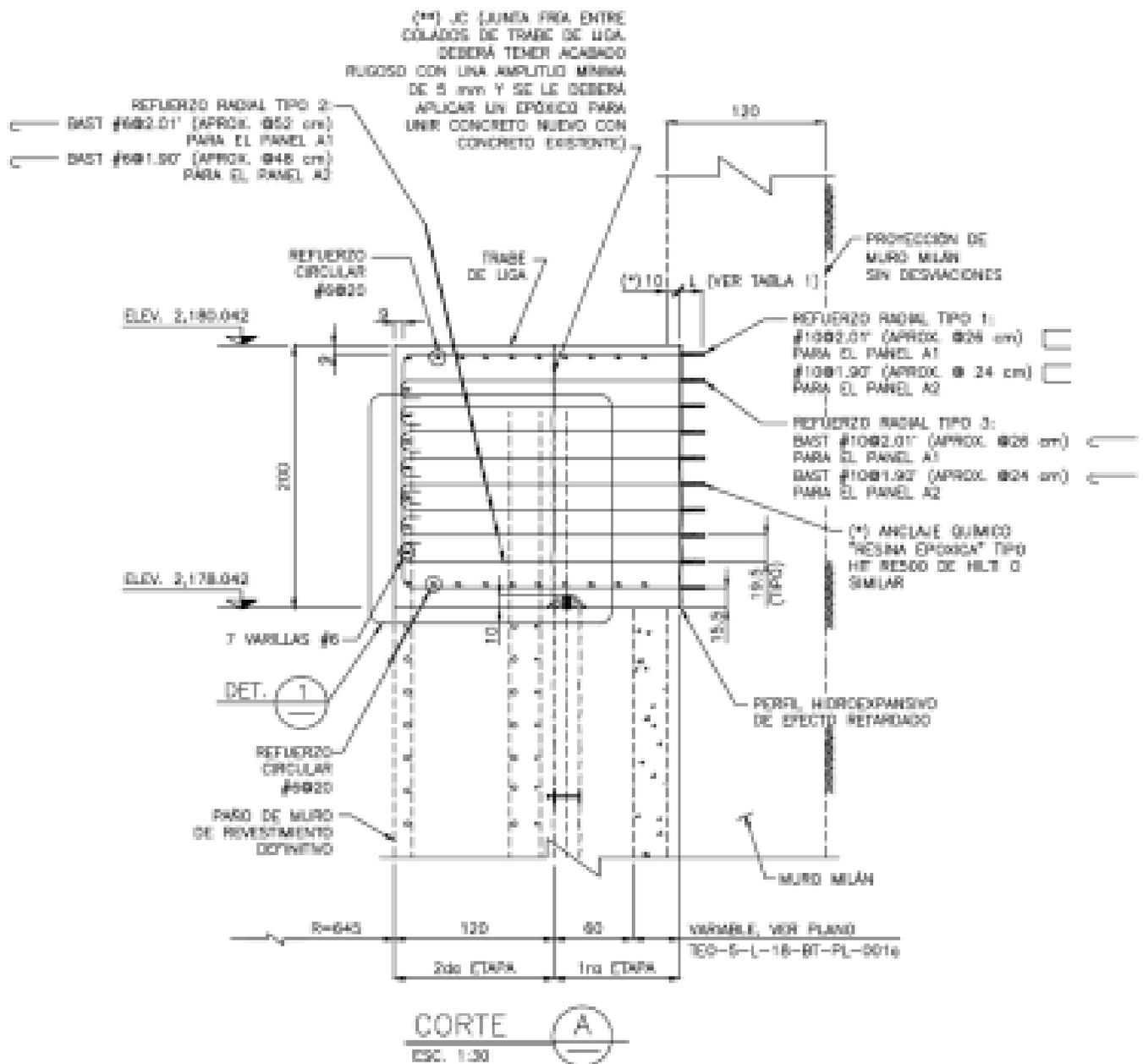


Fig. 3_28 Corte transversal en trabe de liga

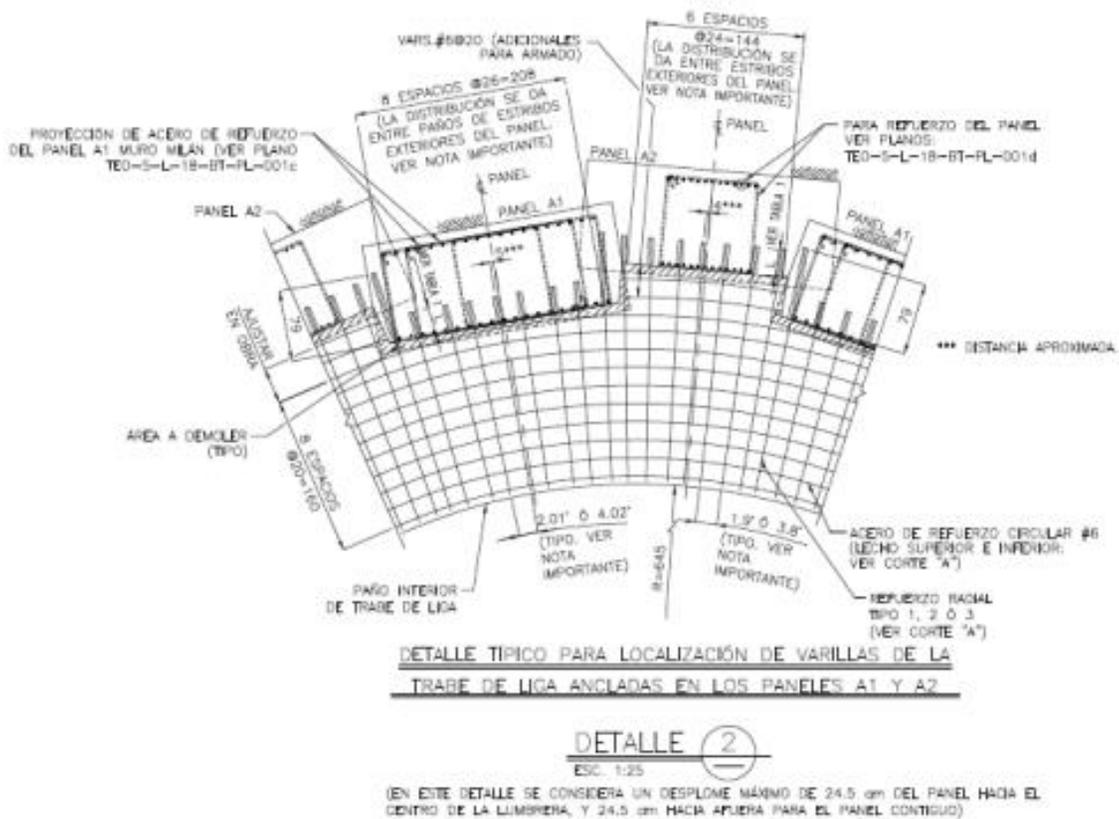


Fig. 3_29 Detalle de localización de las varillas en trabe de liga

Primeramente se colocó el refuerzo radial tipo 1, posteriormente el refuerzo tipo 2 y 3, para dejar al final el refuerzo circular.

La trabe de liga, es un elemento que se construyó en dos etapas. En la primera etapa se colocó concreto entre el paño de concreto del muro Milán y la cimbra colocada a un radio de 7.65 m medido desde el centro de la lumbrera. Dada la cantidad de acero colocado y la distribución no uniforme del mismo, la colocación de la cimbra de madera fue un trabajo que requirió de los esfuerzos de una gran cantidad de personal, pues cada uno de los tablonces que forman la cimbra en esta etapa de la obra, requiere cortes diferentes de acuerdo a la posición en que serán colocados; además de que el acomodo dentro del acero de refuerzo no es sencillo, ya que el espacio en el que puede maniobrar el personal es bastante reducido. Una vez que se colocó toda la cimbra de madera, se sellaron los espacios vacíos entre esta y el acero, para evitar fugas de concreto cuando se realiza el colado.

Dentro del armado, en la primera etapa de la trabe de liga, se dejaron 18 varillas de acero con un conector mecánico en la punta. Estas varillas hacen las veces de anclas para la sujeción de los marcos metálicos del revestimiento primario, el cual se describirá más adelante.

1



2



3



4



5



6



Fig. 3_30 Secuencia de armado de trabe de liga: 1.- Escarificado de muro, 2.- Barrenación de muro, 3.- Limpieza de los barrenos con aire comprimido, 4.- Inyección de resina epóxica, 5.- Colocación de acero, 6.- Vista aérea del avance.



Fig. 3_31 Colocación de cimbra de madera en la primera etapa de la trabe de liga.

Debido a la profundidad en la que se colocó el concreto, la dificultad que representa caminar encima del armado de acero, la cantidad de personal que laboró en esta actividad, y el volumen de concreto colocado, hacen de esta maniobra una maniobra riesgosa y lenta.

Por este motivo se decidió hacer uso, nuevamente de la tubería Tremie. Esta vez la tubería fue colocada en una trampa de acero fabricada en obra para esta maniobra. Esta trampa se fijó en la superficie, y se realizó el armado de la tubería, de la misma forma que se hacía para el colado de los tableros de muro Milán. El bote de la excavadora, se cambió de posición para que el concreto que llegaba al fondo de la excavación a través de la tubería Tremie, fuera recibido en este y colocado posteriormente en toda la primera etapa de la trabe de liga. Además del escarificado en los tableros, se usó un aditivo para la unión entre concreto viejo y concreto nuevo.



Fig. 3_32 Colocación de concreto en la primera etapa de la trabe de liga

Después de 24 horas de que se ha concluido el colado, se realiza el retiro de cimbra de madera y se inician los trabajos de construcción de una nueva etapa de la lumbrera, el revestimiento primario. Aunque después de 24 horas, este elemento de concreto no ha desarrollado su resistencia de diseño, este no es sometido a carga o sollicitación alguna, por lo que es factible descimbrar y continuar con el programa de trabajo.



Fig. 3_33 1ª etapa de la trabe de liga terminada

3.7 Revestimiento

En los trabajos de construcción del Túnel Emisor Oriente, se tiene contemplado la construcción de las 24 lumbreras por tres diferentes métodos, dependiendo del tipo de suelo.

El primer método es el Método por Muro Milán el cual consiste de un muro pantalla de acero reforzado que se construirá desde la superficie, hasta alcanzar la profundidad de diseño de la lumbrera.

El segundo método es el Método Convencional. Este consiste en el soporte de las paredes de la excavación, con concreto lanzado y marcos metálicos, desde la superficie hasta que se alcance la profundidad máxima de excavación de la lumbrera.

El tercer método, es una combinación de los dos métodos anteriores. Este es el caso de la Lumbrera 18

3.7.1 Revestimiento primario

Anteriormente se ha descrito la primera etapa de construcción de la lumbrera (muro Milán) y la construcción de la trabe de liga.

La siguiente etapa constructiva de la lumbrera es la excavación convencional.

De acuerdo al proyecto, se debe excavar el núcleo de la lumbrera en secciones definidas por la separación de los anillos metálicos. Las dimensiones de los perfiles metálicos que forman estos anillos varían de acuerdo a la profundidad de la excavación, así mismo la separación entre cada uno de estos.

Para la colocación del primer y segundo marco metálico, fue necesario excavar hasta encontrar el paño de concreto del Muro Milán. La sección entre la pared de la excavación y el paño interior de concreto lanzado, debe ser de 60 cm, sin embargo, para el caso del primer y segundo anillos, la sección entre el muro Milán y el paño exterior del concreto lanzado es de 20 cm, es decir, son 20 cm de terreno natural atrapado entre el concreto, y muy probablemente, por efectos de la excavación, esta sección de suelo estará fracturada, lo que podría ocasionar caídos durante los trabajos de lanzamiento de concreto y la contaminación de este.

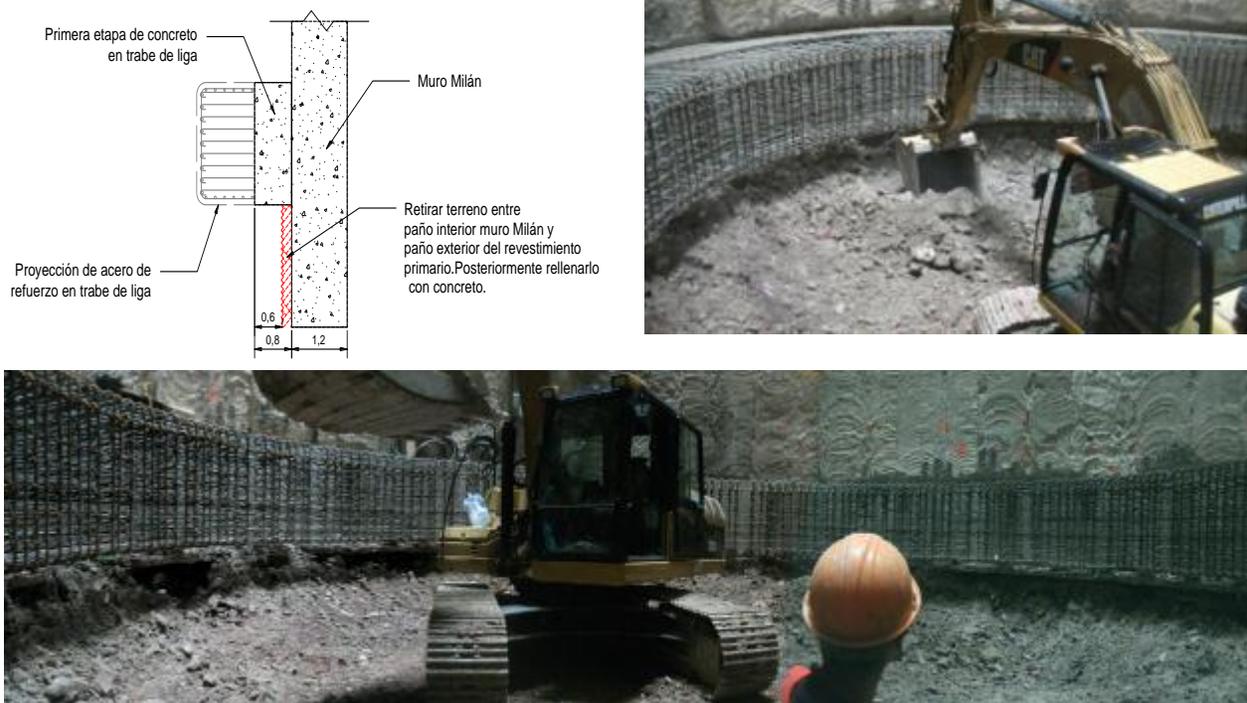


Fig. 3_34 Secuencia de excavación y diagrama para 1er y 2° marco metálico (continúa en página siguiente)



Fig. 3_34 Secuencia de excavación y diagrama para 1er y 2° marco metálico (viene de página anterior)

La sujeción entre anillos metálicos se hará con varillas de acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ de $\text{Ø} = 3/4"$, unidas a los anillos con soldadura. En el caso del primer anillo colocado después de la trabe de liga, este se unirá a la trabe por medio de las anclas y los conectores mecánicos colocados en el colado de la primera etapa de la trabe.

Una vez que el anillo metálico ha sido colocado, se procede al relleno del espacio entre este y la pared de la excavación con concreto lanzado. Este proceso se repite hasta alcanzar la profundidad máxima de excavación.



Fig. 3_35 Secuencia de colocación de anillo metálico

Para la correcta colocación del anillo metálico, es necesario ubicar topográficamente el centro de la lumbrera, de esta forma es posible posicionar el anillo de forma correcta, asegurando así la geometría del revestimiento.

Teóricamente se trata de un proceso sencillo, sin embargo, intervienen muchos factores los cuales determinan la velocidad, calidad y cantidad de material utilizado durante la ejecución de los trabajos.

El tiempo del ciclo de la excavación aumenta a medida que se incrementa la profundidad del piso de la excavación, es decir, la profundidad en la que se colocarán los anillos metálicos.

La dureza de los materiales encontrados durante la excavación es variable, así pueden encontrarse materiales relativamente fáciles de excavar, o materiales en los que es necesario el uso del martillo hidráulico de la excavadora para poder fracturarlo y así facilitar su extracción. También se encontraron estratos rocosos o con boleos o estratos en los cuales una sección de la lumbrera es sumamente sencilla de excavar y otra sección, en la misma profundidad, requiere el uso del martillo para poder demolerla, lo que obliga a que el proceso de la excavación sea más lento.



Fig. 3_36 Cambio de materiales de excavación en la profundidad aproximada de 83.0 m

Para la colocación de concreto lanzado, se instaló desde la superficie de la lumbrera y hasta la profundidad en la que se ejecutarán los trabajos, una tubería de 3"Ø. Los elementos que forman esta tubería tienen una longitud de 3.0 m cada uno, y son unidos entre sí mediante bridas de acoplamiento rápido.

El extremo superior de la tubería es acoplado con el cañón de la bomba de concreto, y el extremo inferior es acoplado con una manguera flexible de alta presión.

Al igual que en todos los elementos que hasta el momento se han construido, se verifica por medio de un laboratorio certificado la calidad de los agregados pétreos (arena y grava), así como los otros elementos que formarán el concreto; además, una vez que el concreto se ha preparado, se revisa el revenimiento de cada uno de los lotes preparados, pues el concreto debe estar lo suficientemente fluido para ser bombeado a través de la tubería sin provocar taponamientos en esta, y lo suficientemente viscoso para poder adherirse a las paredes de la excavación. En caso de que el concreto sea demasiado fluido, cuando es lanzado, la mayor parte de este cae al suelo, pues el fraguado no es tan rápido y su adherencia se ve reducida.

Como elemento extra en la fabricación del concreto lanzado, se hace uso de fibras metálicas de acero, las cuales tienen la función de evitar el agrietamiento del concreto debido al rápido fraguado de este causado por el aditivo acelerante, es decir, hace las veces del acero de refuerzo por temperatura.

Este aditivo acelerante es bombeado y proyectado durante todo el ciclo de lanzamiento junto con el concreto, de esta forma se puede alcanzar el espesor de la capa de concreto deseado más rápidamente. En el siguiente diagrama se observa más claramente lo anteriormente descrito.

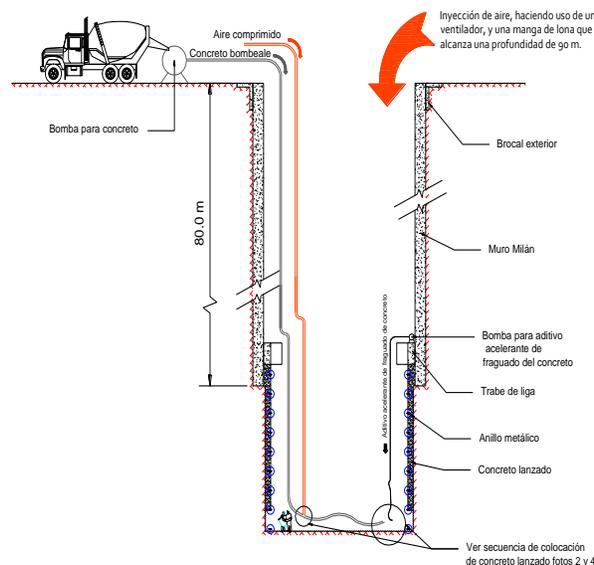
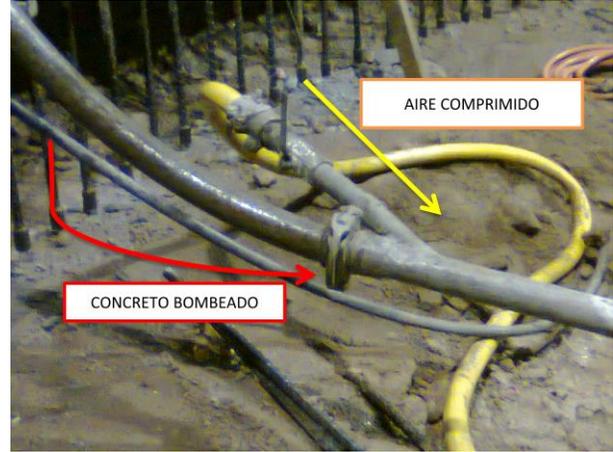


Fig. 3_37 Diagrama de colocación de concreto lanzado.

1



2



3



4



5



6



Fig. 3_38 Secuencia de colocación de concreto lanzado

En el diagrama de colocación de concreto lanzado, en su extremo superior derecho se puede observar una flecha que indica el sentido de inyección de aire al fondo de la excavación. Durante el lanzamiento de concreto, se genera gran cantidad de polvo, lo cual reduce la visibilidad y dificulta la respiración del personal. El objetivo de la inyección del aire, es elevar y disipar las partículas de polvo, para mejorar las condiciones de trabajo en el fondo de la excavación



Fig. 3_39 Inyección de aire a través de una manga de lona colocada desde la superficie hasta la trabe de liga.

Una vez que se han alcanzado 98.85 m y a partir de los 95 m de profundidad, se fabrica un armado de acero de refuerzo en todo el perímetro de la lumbrera. Este armado se une a los anillos metálicos, y cada vez que se alcanzó un avance de 3.85 m se le agregó otra etapa. Las varillas verticales, se unen a las inmediatamente superiores mediante conectores mecánicos.

Cuando se ha colocado el armado antes mencionado, se lanza una tercera etapa de concreto de 20 cm de espesor.



Fig. 3_40 Secuencia de construcción de tercera etapa del revestimiento primario (continúa en página siguiente)



Fig. 3_40 Secuencia de construcción de tercera etapa del revestimiento primario.(viene de la página anterior)

Como se ha mencionado, este proceso se repite cada vez que se alcanza una nueva profundidad de colocación de anillo metálico y cada vez que se tiene un avance de 3.85 m, hasta que se alcance la profundidad máxima de excavación.

En las anteriores fotografías es posible observar que la manguera y la boquilla con la que se coloca el concreto lanzado, están sujetadas al bote de la excavadora. Ya que este proceso se realiza de manera continua desde el inicio hasta el final de cada etapa, si un oficial lanzador sostuviera la manguera durante todo su turno sería demasiado agotador, además de ser riesgoso para él y para el personal, pues las sacudidas que se producen cuando la presión del aire es demasiada, podrían soltar la manguera de sus manos cansadas y provocar un serio accidente.

Para comprobar la correcta ejecución de estos trabajos, se cuenta con un laboratorio para la construcción instalado en obra, en el cual se ensayan en pruebas de compresión, especímenes de concreto obtenidos durante el proceso de colocación de concreto lanzado.

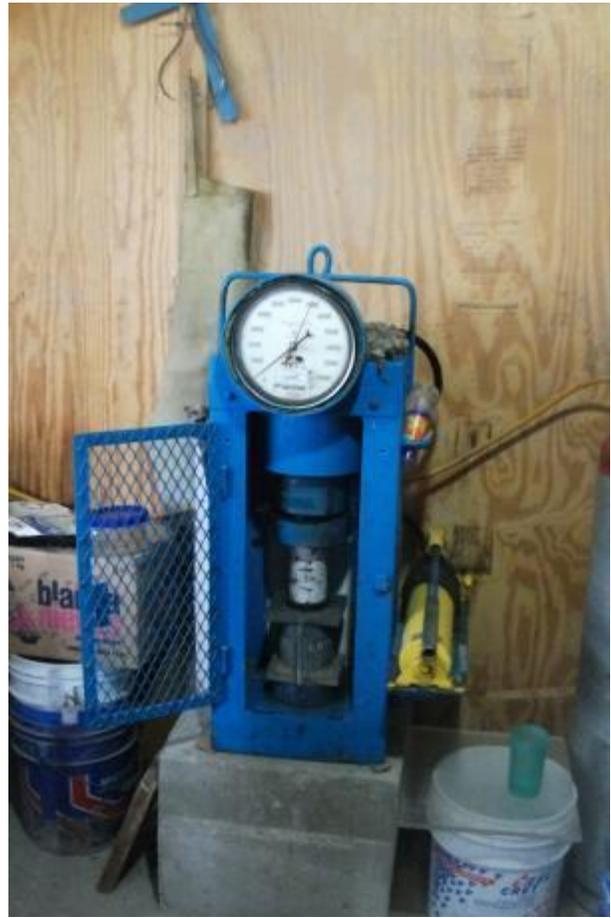


Fig. 3_41 Pruebas a especímenes de concreto obtenidas durante la colocación de concreto lanzado

3.7.2 Revestimiento definitivo

El revestimiento definitivo de la lumbrera, se definió como un sistema de concreto armado y perfiles metálicos de acero tipo A-36, los cuales quedan ahogados dentro del concreto.

Este sistema de perfiles metálicos de acero consta de 14 columnas de 17.5 m de longitud, 4 traveses, 8 cartelas y placas de unión, colocados en el perímetro de la lumbrera, enmarcando el portal del túnel. El peso total de estos perfiles metálicos en conjunto es de aproximadamente 400 toneladas.

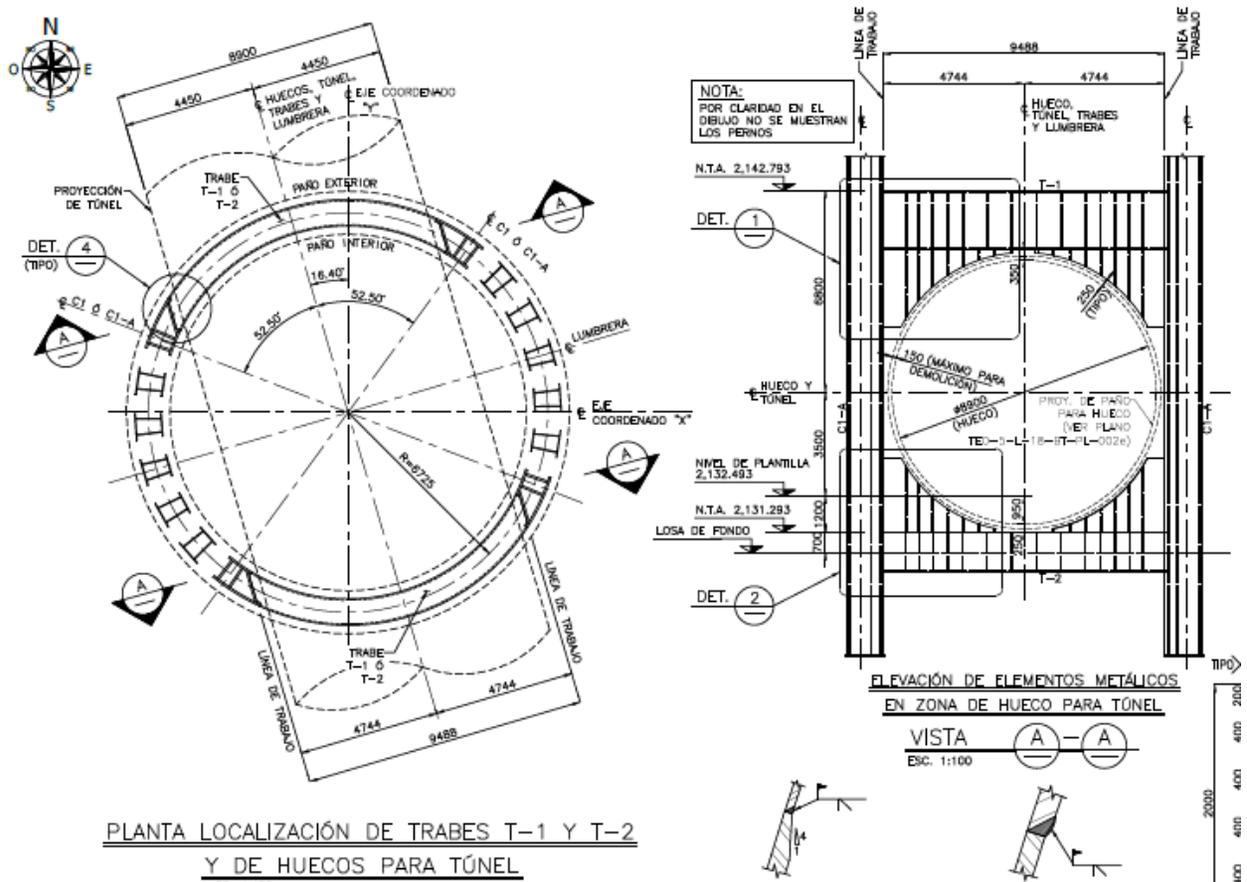


Fig. 3_42 Diagramas de elementos metálicos ahogados en concreto

La geometría de estos perfiles no es una sección comercial, por lo que fueron fabricados de acuerdo al proyecto en un taller especializado, así mismo se comprobó la calidad de los materiales y de los trabajos ejecutados mediante pruebas de laboratorio, como son la prueba de líquidos penetrantes en soldaduras y ultrasonidos en sitio. Por la gran cantidad de material necesario para su fabricación y la complejidad en los trabajos, se programa el inicio de la construcción de estos, 3 meses antes de la fecha de entrega. Es decir, se deben recibir en obra días antes de concluir la ejecución del revestimiento primario.

Además de esto, el peso de las columnas y la profundidad en la que serán colocadas, hacen a esta maniobra muy riesgosa, por lo que se revisaron todos y cada uno de los elementos de seguridad necesarios, tales como grilletes, estrobos, seguros, etcétera.

Inmediatamente después de que se ha colocado la tercera etapa del revestimiento primario en la profundidad máxima de excavación y se ha afinado el fondo de esta, se construyen las bases de concreto armado para las columnas metálicas. Es muy importante que la brigada de topografía en obra verifique la correcta localización de estos elementos, utilizando las coordenadas del eje del túnel. Si existiera un error y no

se hubiese detectado a tiempo, ocasionaría una pérdida de tiempo de trabajo importante o, en un caso extremo, la desviación del túnel.

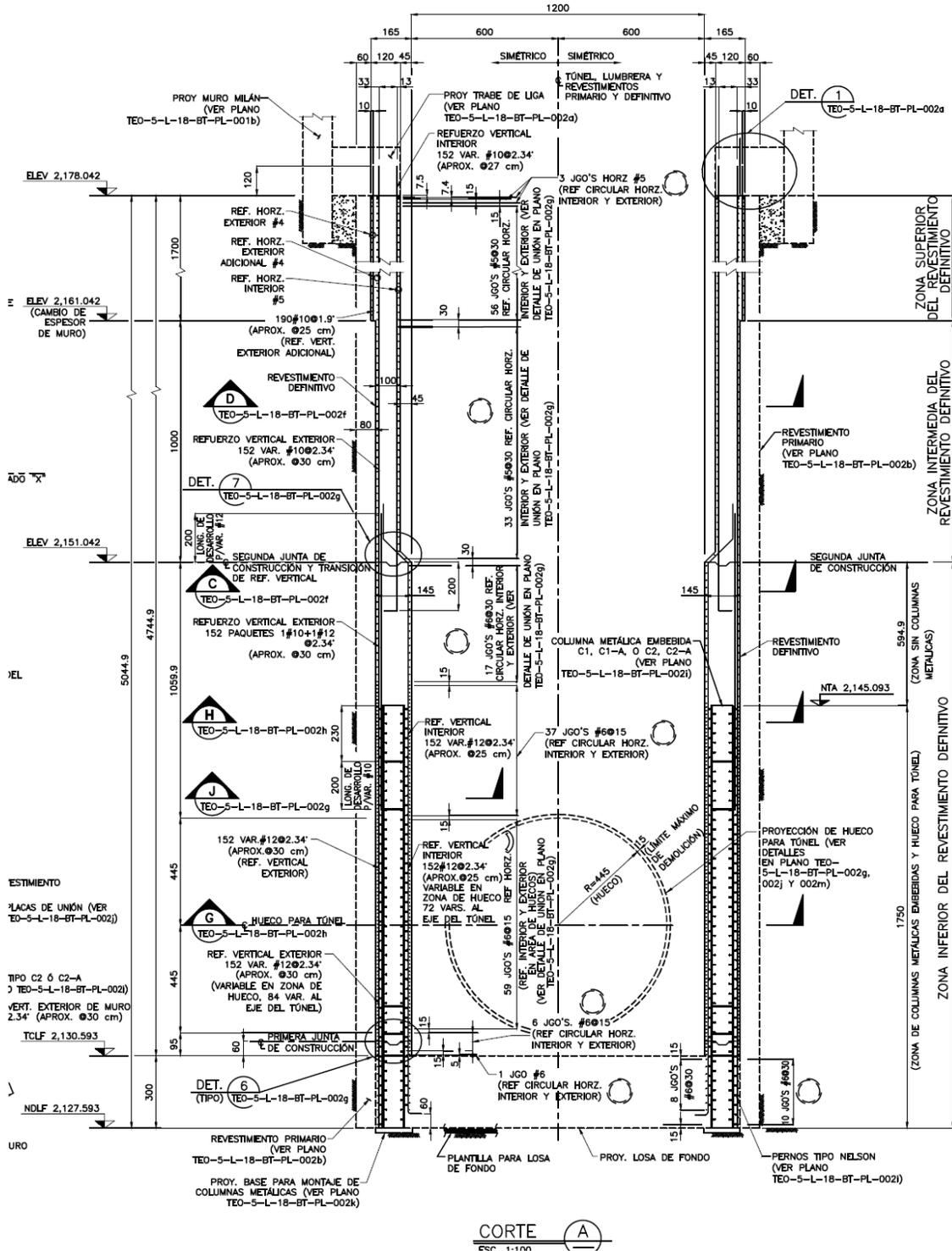


Fig. 3_43 Diagrama de corte transversal de lumbrea

Como es posible observar en el croquis anterior, las columnas metálicas quedarán confinadas entre el paño exterior e interior de acero de refuerzo del revestimiento definitivo, por lo que una vez concluidos los trabajos de construcción de la base de montaje para las columnas se debe continuar con el armado de acero del paño exterior, desde el fondo de la excavación y hasta alcanzar el nivel de la trabe de liga.

Al igual que en la construcción de otros elementos, la continuidad del acero vertical se hará con conectores mecánicos o coples, previamente analizados en un laboratorio de construcción. En el caso de la L-18, la longitud del refuerzo de acero vertical en el revestimiento definitivo es de más de 50m, y fue armado en forma ascendente, es decir, se inició su colocación en el fondo de la excavación de la lumbrera, hasta alcanzar su anclaje en la trabe de liga; razón por la cual, para su colocación se hizo uso de una plataforma de trabajo fabricada en obra. Esta plataforma descendió hasta la profundidad en la que se encontraba el extremo superior de la última etapa colocada de varillas verticales del acero de refuerzo del revestimiento definitivo, sujeta a la pasteca de una grúa. Seguido de esto, se ancló mediante estrobos y grilletes al acero de refuerzo del revestimiento primario. Una vez anclada, se libera la grúa y se procede al descenso del personal y material para continuar la colocación de acero.



Fig. 3_44 Secuencia de maniobras de descenso de plataforma de trabajo y armado de acero en revestimiento definitivo.(continúa en página siguiente).



Fig. 3_44 Secuencia de maniobras de descenso de plataforma de trabajo y armado de acero en revestimiento definitivo. (viene de la página anterior)

De acuerdo al proyecto, se deben dejar preparaciones en el hueco del túnel, de este modo, se modularon las secciones de acero refuerzo tanto horizontal como vertical para que el hueco del túnel quede libre para la colocación de la cimbra de madera y la posterior demolición del revestimiento primario, utilizando la tuneladora, en esa sección de la lumbrera, además de colocar acero de refuerzo en el borde del hueco para el túnel, tal como se observa en el siguiente croquis.

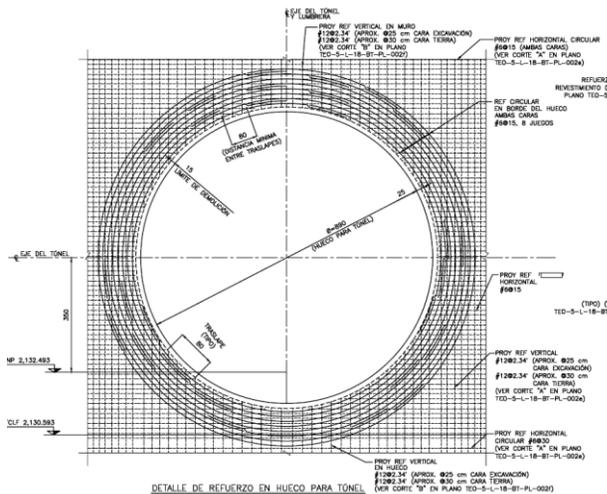


Fig. 3_45 Croquis de refuerzo en hueco para túnel



Fig. 3_46 Armado de acero paño exterior de revestimiento definitivo en Lumbrera 18

Una vez que sean concluidos los trabajos de armado de acero de refuerzo del paño exterior del revestimiento definitivo, se colocaron sobre la base para montaje los perfiles metálicos de acero, en la forma indicada en el proyecto ejecutivo.



Fig. 3_47 Secuencia de montaje de las columnas metálicas (continúa en página siguiente)



Fig. 3_47 Secuencia de montaje de las columnas metálicas tipo C2 (viene de la página siguiente)

Durante la ejecución de las maniobras de colocación de columnas metálicas, intervienen varios factores, la capacidad de carga de la grúa, la capacidad de carga del cable de acero, las condiciones climatológicas, y el principal, el peso de las columnas y otros elementos estructurales. Una columna tipo C2-C2A tiene un peso aproximado de 12 toneladas, mientras que las columnas tipo C1-C1A pesan aproximadamente 40 toneladas, siendo estas últimas piezas, las que representan mayor dificultad, dadas sus dimensiones y peso, para su colocación.



Fig. 3_48 Imágenes de fabricación en taller y descarga de elementos metálicos en sitio (continúa en página siguiente)



Fig. 3_48 Imágenes de fabricación en taller y descarga de elementos metálicos en sitio (viene de página anterior)

Por razones de agilización de los trabajos, se ha decidido que la secuencia de colocación de las columnas metálicas se realice en el sentido de las manecillas del

reloj, empezando por una columna tipo C2, sin embargo, esta secuencia no es única y podrá ser cambiada de acuerdo a las conveniencias del proyecto y del constructor. Así mismo no se debe de perder de vista la respuesta del suelo, el monitoreo de las referencias topográficas de la lumbrera, y las lecturas en la instrumentación geotécnica, pues en caso de que se detecten desviaciones, hundimientos o alteraciones en el fondo de la excavación causados por el peso concentrado de las columnas, se modificará la secuencia de colocación de columnas o su proceso de instalación.

Otra de las observaciones en las que el equipo de seguridad en obra y la ingeniería en sitio tuvo especial cuidado, es que estos trabajos requirieron de una gran cantidad de soldadura, por lo cual los elementos de ventilación y equipos de protección personal, deberán de ser los suficientes como para que se pueda trabajar en condiciones seguras en el fondo de la excavación.



Fig. 3_49 Imágenes de montajes de columnas tipo C1 y traveses de la estructura metálica (continúa en la página siguiente)



Fig. 3_49 Imágenes de montajes de columnas tipo C1 y traves de la estructura metálica. (viene de la página anterior)

Al igual que en todos los procesos de construcción de la lumbrera, se realizarán las pruebas de laboratorio necesarias para garantizar la calidad de la ejecución de los

trabajos y de los materiales usados en estos. Para realizar un adecuado programa de obra, se debe tomar en cuenta que los trabajos de soldadura de los perfiles metálicos en el fondo de la excavación requerirán del tiempo suficiente para que soldadores calificados ejecuten sus tareas tanto en altura como en el fondo de la lumbrera. Estos trabajos deben de ser probados en sitio, con la prueba de líquidos penetrantes y ultrasonidos. Si se llegase a detectar fallas en la soldadura que no sean aceptables dentro de los parámetros marcados para estas pruebas, los trabajos tendrían que repetirse, lo que representaría retrasos en los programas de obra y costos. “Tiempo es dinero”.

Una vez que se ha colocado toda la estructura metálica, columnas, traveses, cartelas, placas unión, etcétera, y se han realizado satisfactoriamente las pruebas de calidad a estos elementos, se está en condiciones de continuar con los trabajos de armado de acero del revestimiento definitivo y losa de fondo.

Conjuntamente con la ubicación y orientación de las columnas, y el acero de refuerzo, es muy importante que se revise la verticalidad de todos estos elementos, pues un desplome podría ocasionar que la cimbra deslizante no realice su recorrido con facilidad, es decir, podría atorarse en el acero y retrasaría los tiempos de colocación de concreto, además que no cumpliría con el recubrimiento mínimo especificado en el proyecto.



Fig. 3_50 Armado de acero terminado en paño interior de revestimiento definitivo

Una vez que se tiene armado el primer tramo del acero vertical del paño interior, es tiempo de iniciar con los trabajos de armado del acero de refuerzo de la losa de fondo. El procedimiento constructivo de la losa de fondo, será descrito en la siguiente sección, por el momento continuaré con la colocación de concreto en el revestimiento definitivo

Después de que se ha colado la losa de fondo, se procederá a realizar los trabajos de preparación de la cimbra deslizante.

La cimbra deslizante es un tipo especial de cimbra que permite el colado continuo de una estructura de concreto. La cimbra deslizante se utiliza en construcciones de elementos verticales de gran altura, por ejemplo: chimeneas, pilares de puentes, silos, plataformas petroleras, y en este caso revestimientos de lumbreras,

Su uso representa una gran ventaja en tiempos de ejecución de los trabajos, ya que el movimiento de la cimbra se realiza prácticamente de manera constante, dependiendo de las condiciones del concreto, del cambio de sección de los elementos a construir, como es el caso de la lumbrera 18, de la habilidad de los operadores del equipo de bombeo y de la propia cimbra, entre otros.

La cimbra deslizante, es una adaptación de la plataforma de trabajo utilizada para el armado de acero en el revestimiento definitivo. La cara de contacto de la cimbra con el concreto, tendrá una altura de 1.20 m, y será fabricada de madera machiembrada, fijada a la estructura metálica de la plataforma.

El deslizado de la cimbra se asiste de una grúa y gatos hidráulicos. La plataforma es estrobada de tal manera que cuando sea levantada conserve su horizontalidad; es decir, las orejas de izaje de la grúa son localizadas, de acuerdo a su geometría, perfectamente equilibradas.

Una vez que la plataforma está localizada a la profundidad de 125.50 m y perfectamente centrada, se iniciará la colocación del concreto por medio de bombas para concreto, trabajando de manera simultánea para colocar una capa de 40cm de espesor. Esto quedará más claro con el siguiente diagrama.

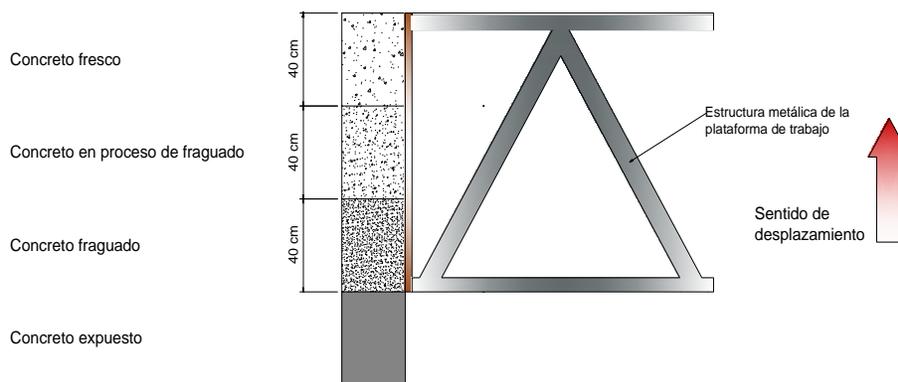


Fig. 3_51 Diagrama de edades del concreto durante el proceso de deslizado

Una vez que se ha iniciado la colocación de concreto, se continúa en etapas de 40 cm, continuas en todo el perímetro. El movimiento de la cimbra deberá ser regulado en función de la rigidez de la capa anterior de concreto; es decir la capa anterior de concreto debe de ser lo suficientemente rígida como para recibir la siguiente etapa de

40 cm, y a la vez ambas capas deberán de estar lo suficientemente fraguadas como para que la cimbra deslice sin provocar desprendimientos u oquedades en el concreto.

Para reducir la fricción entre la cara de contacto de la cimbra y el concreto, se hace uso de grasa desmoldante.



Fig. 3_52 Secuencia de colocación de concreto en revestimiento definitivo

El vibrado de concreto debe ser continuo y uniforme en todo el volumen colocado para evitar disgregaciones del material y a la vez mejorar el aspecto del trabajo terminado; sin embargo el vibrado se realiza únicamente sobre la capa de concreto que se está colocando.

El proceso de solidificación y endurecimiento del concreto es el resultado de las reacciones químicas que se producen entre el cemento y el agua, reacciones que de manera global y de principio a fin corresponden al proceso de hidratación del cemento, el cual para fines prácticos se considera dividido en dos etapas la del fraguado y la del endurecimiento. (Ref. 1)

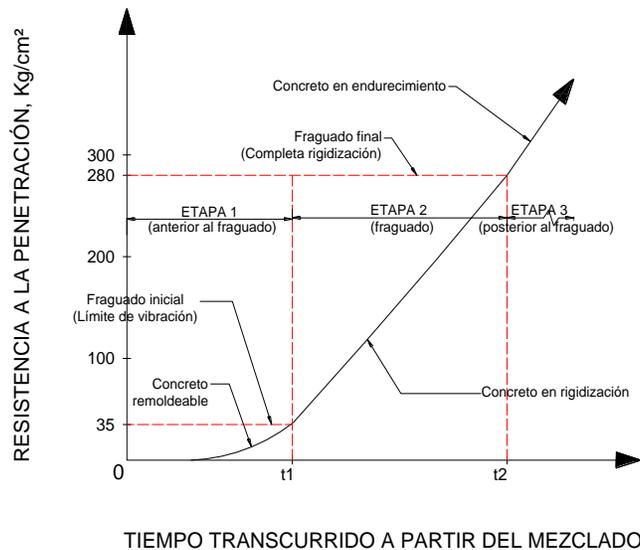


Fig. 3.53 Delimitación de etapas en el proceso de cambio de estado del concreto, seguido por medio de su resistencia a la penetración, en donde t_1 y t_2 son el tiempo inicial y final de fraguado respectivamente en horas.

En la gráfica anterior se distinguen 3 etapas:

- 1ª etapa. El concreto se presenta como una mezcla relativamente suave y moldeable.
- 2ª etapa. La mezcla aumenta progresivamente de consistencia para convertirse en una masa rígida que ya no es moldeable, pero que aún no adquiere resistencia mecánica apreciable. En esta etapa se admite la ejecución de trabajos superficiales relacionados con la obtención del acabado definido.
- 3ª etapa. Corresponde a la etapa del endurecimiento del concreto, en la que adquiere resistencia mecánica.

El trabajo experimental que sirvió de base para el desarrollo del método de prueba de la rigidización del concreto, llamado “ Método de las agujas de penetración (penetrómetro)” , establece que el concreto puede ser moldeado o remodelado sin perjuicio mientras su grado de consistencia o de rigidez se conserve inferior al de un cierto estado definido por una resistencia a la penetración igual a 35 Kg/cm², el cual se designa como estado de fraguado inicial o de límite de compactación por vibración; de esta manera la adquisición de dicha resistencia a la penetración representa el final de la primera etapa y el principio de la segunda.



Fig. 3_54 Imagen del penetrómetro de laboratorio, el cual se utiliza para determinar el tiempo de fraguado del concreto de acuerdo a la norma NOM-C-166 y ASTM C 403



Fig. 3_55 Penetrómetro de bolsillo

Siguiendo las consideraciones anteriormente mencionadas, podemos determinar la velocidad del deslizado de la cimbra y el vibrado del concreto.

Este proceso de trabajo se ejecutó de manera continua desde una profundidad de 125.50 m y hasta alcanzar el lecho superior de concreto de la trabe de liga; es decir, hasta alcanzar 76.0 m de profundidad.

Por ser un proceso sin interrupciones, debemos estar seguros de que el suministro de los materiales para la fabricación del concreto, es constante desde principio a fin, además de que el personal de supervisión y ejecución de los trabajos sea el suficiente durante las 24 horas del día, de lunes a domingo hasta que se termine este proceso.

3.8 Construcción de la losa de fondo.

La losa de fondo es el elemento estructural que mitigará las subpresiones ejercidas por el agua del subsuelo. Como se puede observar en el croquis, esta losa tiene un espesor de 3m y se deberá colar monólicamente conjuntamente con los primeros tres primeros metros del revestimiento definitivo y los huecos de las columnas metálicas.

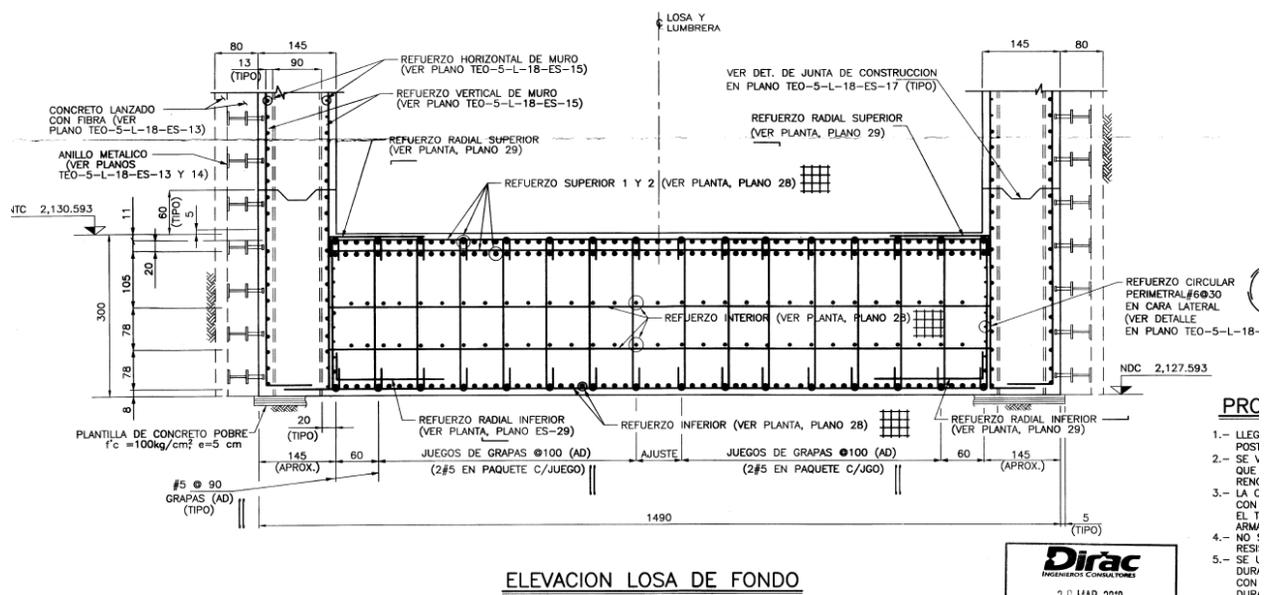


Fig. 3_56 Diagrama de armado de acero en losa de fondo

Antes de iniciar con el armado de acero de la losa de fondo, se realiza una sobrexcaación de 10 cm para alojar una plantilla de concreto simple; se verifica topográficamente que el nivel de tope de concreto de la plantilla coincida perfectamente con el nivel de desplante de concreto de la losa de fondo. De hecho, esta plantilla de concreto simple se coloca desde que se ha terminado la construcción del revestimiento primario, de esta forma, los trabajos subsecuentes podrán realizarse de una manera cómoda para el personal, prácticamente limpia y seca, y sobre todo se reduce el riesgo de accidentes durante los trabajos.

También es posible observar en el croquis del armado de la losa, que el armado de acero de ésta se compone de 5 lechos de varilla. Cada uno de estos lechos de varilla fue habilitado y modulado en la superficie de acuerdo a la geometría de la losa de fondo.

Para garantizar el recubrimiento especificado en el proyecto, se hace uso de las silletas de acero, habilitadas en obra, y se colocan, uniformemente distribuidas, debajo de cada varilla que compone el armado. Con un proceso similar, se habilitarán y armarán los lechos de varilla superiores, una vez que se ha concluido el inmediatamente anterior.

El número de varillas que forman los cinco lechos de acero de refuerzo de la losa de fondo y los diámetros de estas, hacen que la longitud de anclaje de las mismas se traslapen con las varillas de los lechos superiores e inferiores. Junto con las varillas del armado interior del revestimiento definitivo, forman una gran cantidad de paquetes de varilla de diámetro mayor a 1", lo que causa una gran dificultad para la unión de éstas, mayores tiempos de ejecución de los trabajos y posibles atrasos durante la colocación

del concreto, pues al ser un armado tan cerrado puede complicar el paso de este entre el acero. Por esta razón y de acuerdo al proyecto se utilizaron conectores tipo “Lenton terminator”. La utilidad principal de estos conectores es sustituir los ganchos de anclaje del acero de refuerzo en zonas donde se tiene gran acumulación de estas, además de proporcionar eficientemente la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto.



Fig. 3_57 Armado de losa de fondo



Fig. 3_58 Conectores tipo “Lenton terminator” y armado de losa de fondo terminado

Cuando se han concluido los trabajos de armado del acero de refuerzo en el revestimiento definitivo y finalmente en la losa de fondo, es posible iniciar con la colocación de concreto en este último elemento.

Por la gran cantidad de concreto que se colocó en la losa de fondo (523.0 m³), y debido a las exigencias del proyecto, el concreto fue enviado desde la planta dosificadora de

concreto constantemente desde el inicio hasta el fin de los trabajos, es decir, la colocación se hizo de forma monolítica, evitando así juntas frías.

Las reacciones que producen el endurecimiento del cemento Portland se caracterizan por la liberación de calor, a este efecto se le llama calor de hidratación. Cuando se utiliza concreto de una manera masiva se debe de considerar este efecto, pues la temperatura del concreto en la parte inferior puede aumentar varios grados, a diferencia de la parte superior que está expuesta, lo que ocasionaría cambios de volumen y fisuras.

En el caso del procedimiento de colocación de concreto en la losa de fondo de la Lumbrera 18, se tuvo especial cuidado del calor de hidratación del concreto, ya que el peralte de la losa es de 3.0 m, se hizo uso de retardantes del fraguado y se mantuvo monitoreada la temperatura del mismo. De esta forma, se evitan al máximo los efectos de cambios de volumen, las posibles fisuras y resquebrajamientos que esto ocasionaría.

El vibrado del concreto durante su colocación, es un punto que debe ser observado cuidadosamente, pues el exceso de este causa que el concreto se separe o disgregue, y un vibrado deficiente, puede causar que existan huecos u oquedades en la losa. Como una opción alternativa, puede usarse nuevamente concreto autocompactable, de la misma forma en que se hacía para el colado de los 24 tableros de muro Milán que formaron la 1ª etapa de la lumbrera.

Como anteriormente se ha mencionado, se contó con una planta dosificadora de concreto en obra, considerando que el tamaño máximo del agregado (T.M.A.= 1 ½”), hace muy complicado el bombeo del concreto, se opta por bajar el concreto autocompactable hasta el fondo de la lumbrera mediante el uso de la tubería tremie, el concreto será recibido en el fondo en un contenedor metálico con compuerta para después ser distribuido con el uso de canalones. Este proceso se realizó durante todo el colado; sin embargo, no es un proceso rápido, por tanto se programó que la duración de estos trabajos sería de 24 a 36 horas continuas. Es importante considerar que la distribución de la descarga del concreto en el fondo de la lumbrera debe realizarse en capas uniformes, además de que se realizaron pruebas en superficie de la extensibilidad del concreto autocompactable, y de tiro libre desde una altura de 3m simulando las condiciones en el fondo de la lumbrera. Con estas pruebas, observamos que el concreto conserva su composición durante la caída hasta el fondo de lumbrera, es decir, no se disgrega, lo que garantiza la correcta ejecución de los trabajos.

Fig. 3_59 Diagrama de colocación de concreto en losa de fondo. El concreto es producido en superficie y bajado por medio de un bote, para después descargarlo en caída libre desde una altura de 3.0 m.

Una vez que se han concluido los trabajos de colocación de concreto en la losa de fondo se procedió a efectuar los trabajos de armado del paño interior del revestimiento definitivo y la colocación de concreto con cimbra deslizante del mismo.

Fig. 3_60 Imágenes colocación de concreto en losa de fondo.

CAPÍTULO 4 Instrumentación Geotécnica

La etapa de instrumentación geotécnica, es considerada básica e indispensable antes, durante y después de los trabajos de construcción de una lumbreira, ya que los datos obtenidos por estos equipos e instalaciones, indican a los ingenieros de diseño y los ingenieros responsables de obra, las medidas que deben tomarse en el desarrollo de los trabajos, de manera que se eviten las condiciones de riesgo para la obra.

Los estudios que deben realizarse durante la etapa del anteproyecto consisten en un análisis de la información bibliográfica y cartográfica existente sobre el área en la que se ejecutará el proyecto, además de las visitas al sitio, mismas que permitirán a los ingenieros tener una visión más amplia y detallada de las condiciones de accesibilidad al sitio, las estructuras geológicas importantes, la existencia de los materiales de construcción, la hidrología superficial, etcétera. En estos estudios, es recomendable que sean realizados por ingenieros civiles y geólogos con experiencia, ya que estos trabajos serán la pauta para estudios posteriores. (REF 2).

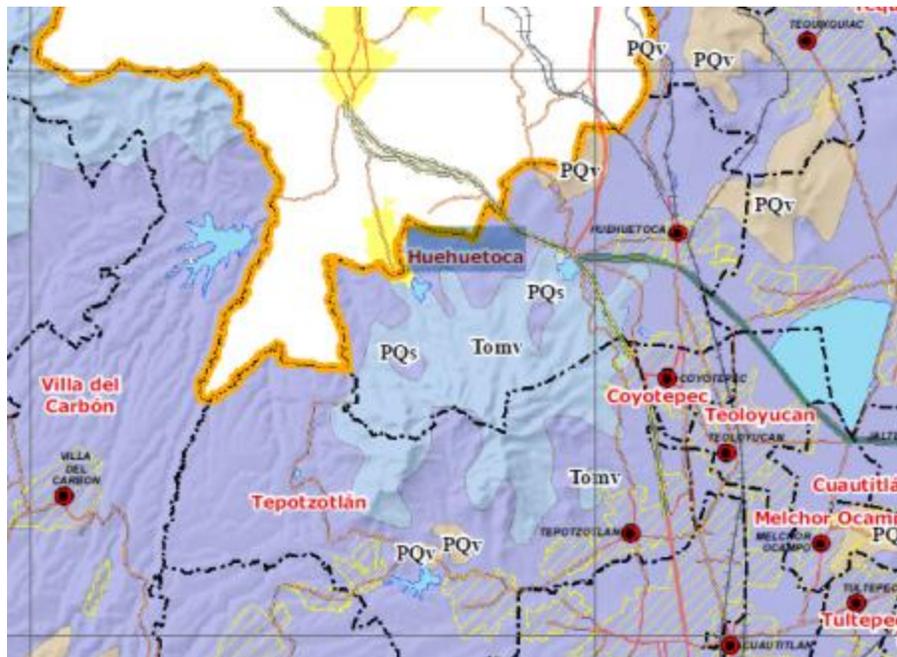


Fig. 4_1 Imagen de satélite en donde se indica la localización del predio de la L-18

Después de los estudios preliminares se realizan los estudios a detalle. La amplitud de estos estudios depende de la importancia, extensión y tamaño de la obra por construir. La información obtenida de estos estudios servirá para la ejecución del diseño de la obra; sin embargo, su uso puede ser de mucha ayuda durante la etapa de construcción.

Las actividades que se realizan durante un estudio detallado son:

1. Elaboración de un mapa geológico-geotécnico de la superficie del terreno en la zona de construcción de la obra.
2. Mapeo geotécnico del subsuelo
3. Obtención de muestras del subsuelo para estudios de laboratorio para conocer sus propiedades mecánicas.



Simbología Temática	
Tipos de Roca	
Rocas Carbonatadas y Volcanosedimentarias (JKm)	Rocas Intrusivas Máficas - Cretácico (Kigim)
Rocas Clásticas y Volcánicas (PCs)	Rocas Intrusivas Máficas - Terciario (Tim)
Rocas Clásticas (Ted)	Rocas Intrusivas Ultramáficas (Kium)
Rocas Intrusivas (KTig)	Rocas Volcanosedimentarias (TJmt)
Rocas Intrusivas Felsicas (Tif)	Rocas Volcánicas - Cuaternario (PQv)
	Rocas Volcánicas - Terciario (Tomv)

Fig. 4_2 Geología Regional Municipio de Huehuetoca Edo. de México, extraído del plano D-03 “Geología” del plan estatal de desarrollo urbano del Estado de México. Julio 2007.

Anteriormente en el capítulo 1, se muestran los sondeos exploratorios y el perfil geológico del suelo, que se utilizó en la etapa de diseño.

Dado que durante la ejecución de los trabajos, alteramos las condiciones naturales del suelo con la extracción del núcleo de la lumbrera, y el abatimiento del nivel de aguas freáticas; además del incremento de carga por acción del acero y concreto colocados, es necesario que también se conozca la reacción de éste. Los estudios durante y después de la construcción de la obra, son una confirmación de lo que se anticipó durante las investigaciones previas; sin embargo, pueden aportar datos valiosos que modifiquen el diseño o procedimiento constructivo de la misma.

En el caso de la lumbrera 18, los datos obtenidos y las circunstancias de trabajo que se obtuvieron durante la construcción, dieron como resultado la modificación de la profundidad de excavación para el uro Milán en la primera etapa de construcción de la lumbrera, pasando de 81.0 m a 80.0 m.

De acuerdo al proyecto ejecutivo de la lumbrera 18 del TEO, se ha definido la construcción de 4 inclinómetros, 5 piezómetros, 2 tubos de observación y 2 pozos de bombeo con la distribución que a continuación se muestran, con el objeto que los ingenieros responsables de obra estén informados de las condiciones de trabajo en las cuales desarrollan el proyecto, y que estos trabajos se ejecuten de una manera precisa y segura.

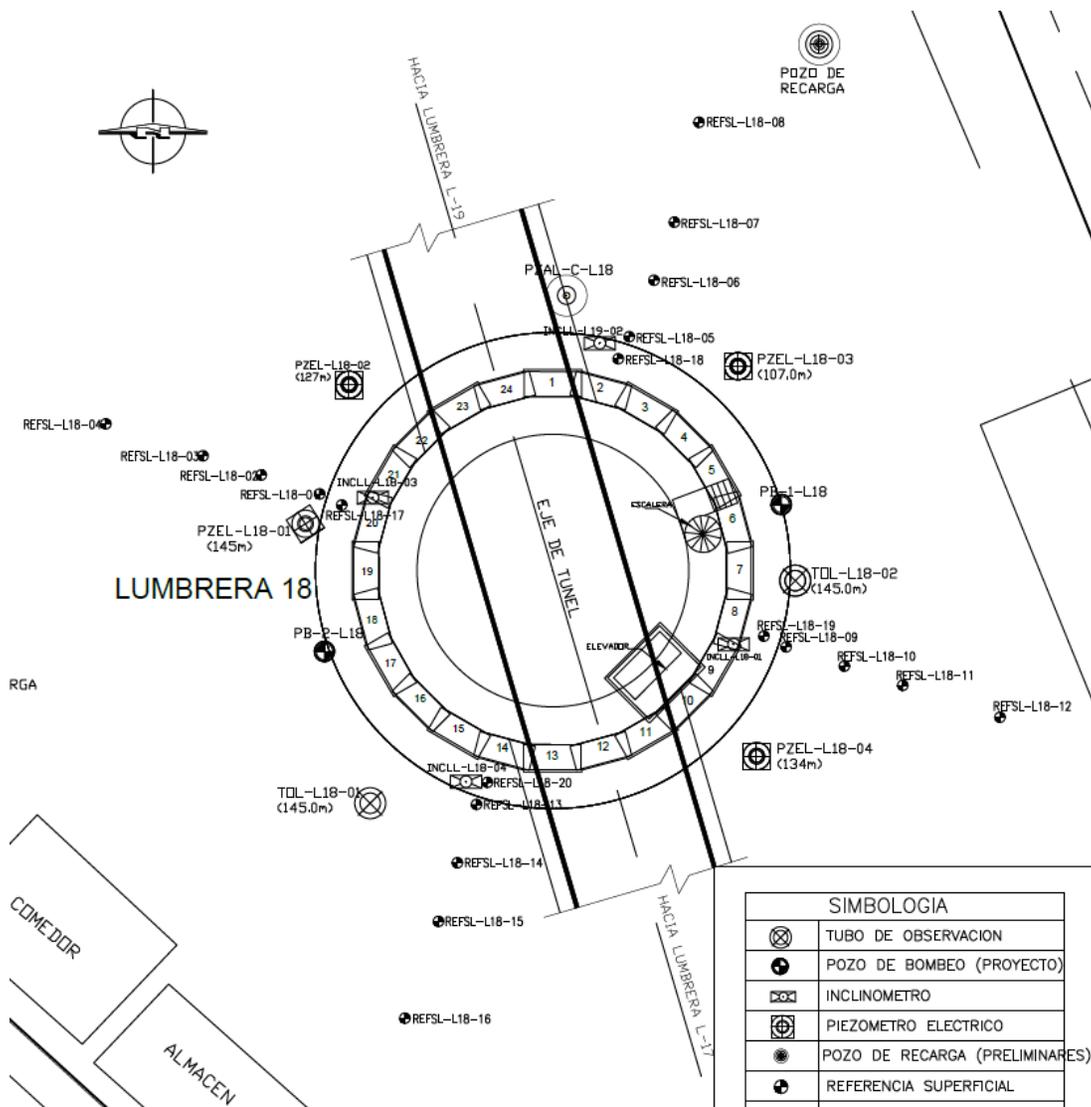


Fig. 4_3 Croquis de localización de instrumentación geotécnica en L-18.

4.1 Piezómetros

Los piezómetros son instrumentos para medir la presión del agua en el subsuelo a través de un transductor. Este transductor es de cuerda vibrante y consta de un alambre unido al diafragma por el interior y en el otro extremo una pieza fija. Cuando el alambre es excitado por una bobina eléctrica, este comienza a vibrar; esta vibración produce una señal de frecuencia en la bobina que se transmite al dispositivo de salida, la presión del agua al empujar sobre el diafragma cambia la tensión del alambre y por consiguiente la frecuencia de vibración.

La unidad de salida registra los valores de las frecuencias y aplicando algunos factores de calibración se obtiene la presión del agua.

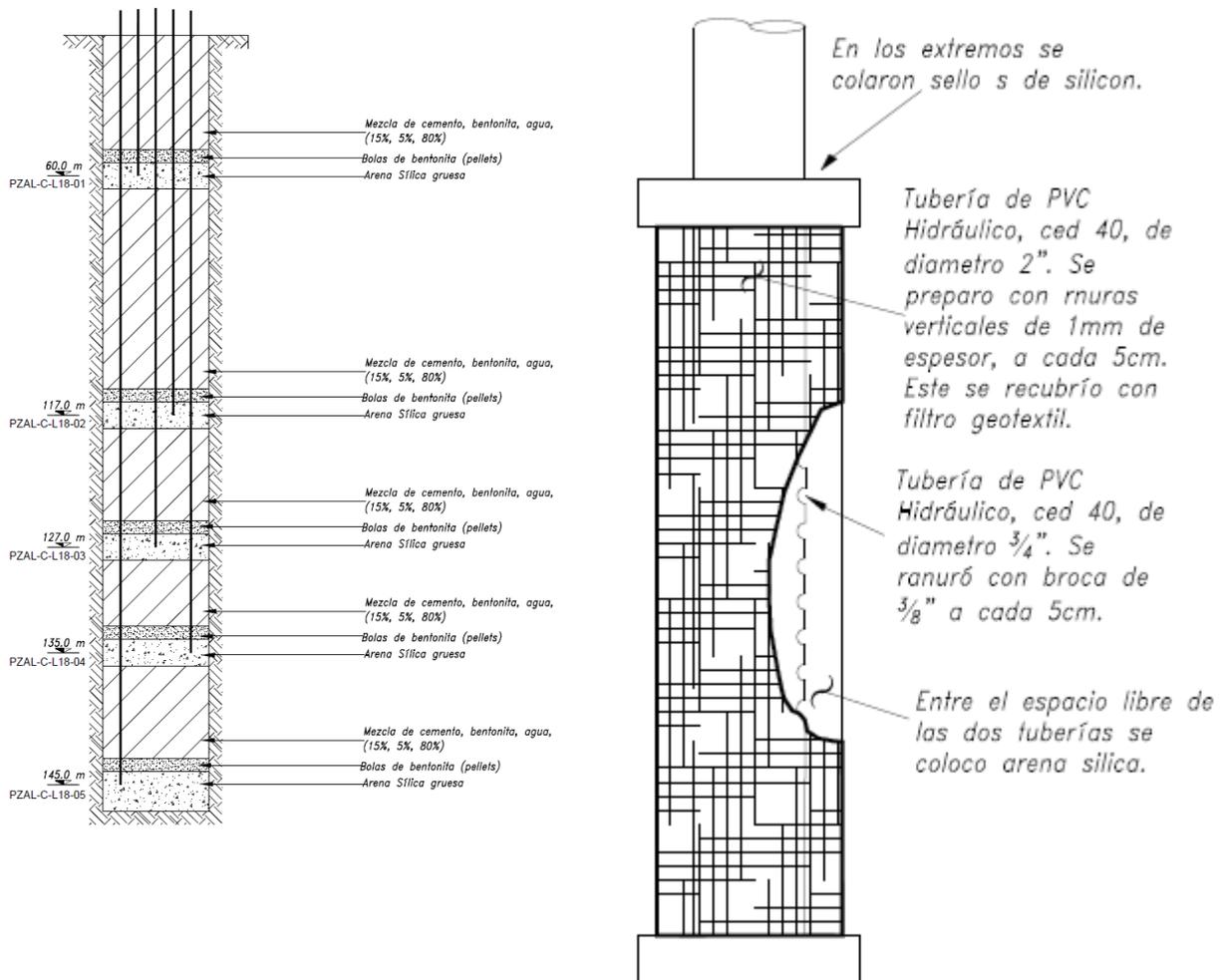


Fig. 4_4 Croquis de construcción de piezómetros de cuerda vibrante

4.2 Inclínómetros

Los inclinómetros son aparatos de medición geotécnica que registran los desplazamientos horizontales de la masa de suelo, a través de una sonda inclinométrica la cual se introduce dentro del tubo guía para esta, y registra los datos en un dispositivo electrónico.

La tubería está hecha de tubo ABS, con cuatro ranuras o guías longitudinales interiores para el paso de la sonda inclinométrica, ubicadas en dos planos ortogonales; estas ranuras afectan la repetibilidad de la sonda por lo cual están maquinadas al ancho de las ruedas de la sonda y con el filete necesario para optimizar su funcionamiento, así como para minimizar los errores de recorrido y controlar la torsión de las ranuras a través del tubo.

La tubería es de pared gruesa y en sus extremos tiene sellos (o-ring) para soportar presiones hasta de 12.4 Kg/cm². El material plástico ABS ofrece la flexibilidad necesaria para soportar movimientos de la estructura sin fracturarse.



Fig. 4_5 Toma de lecturas en inclinómetros

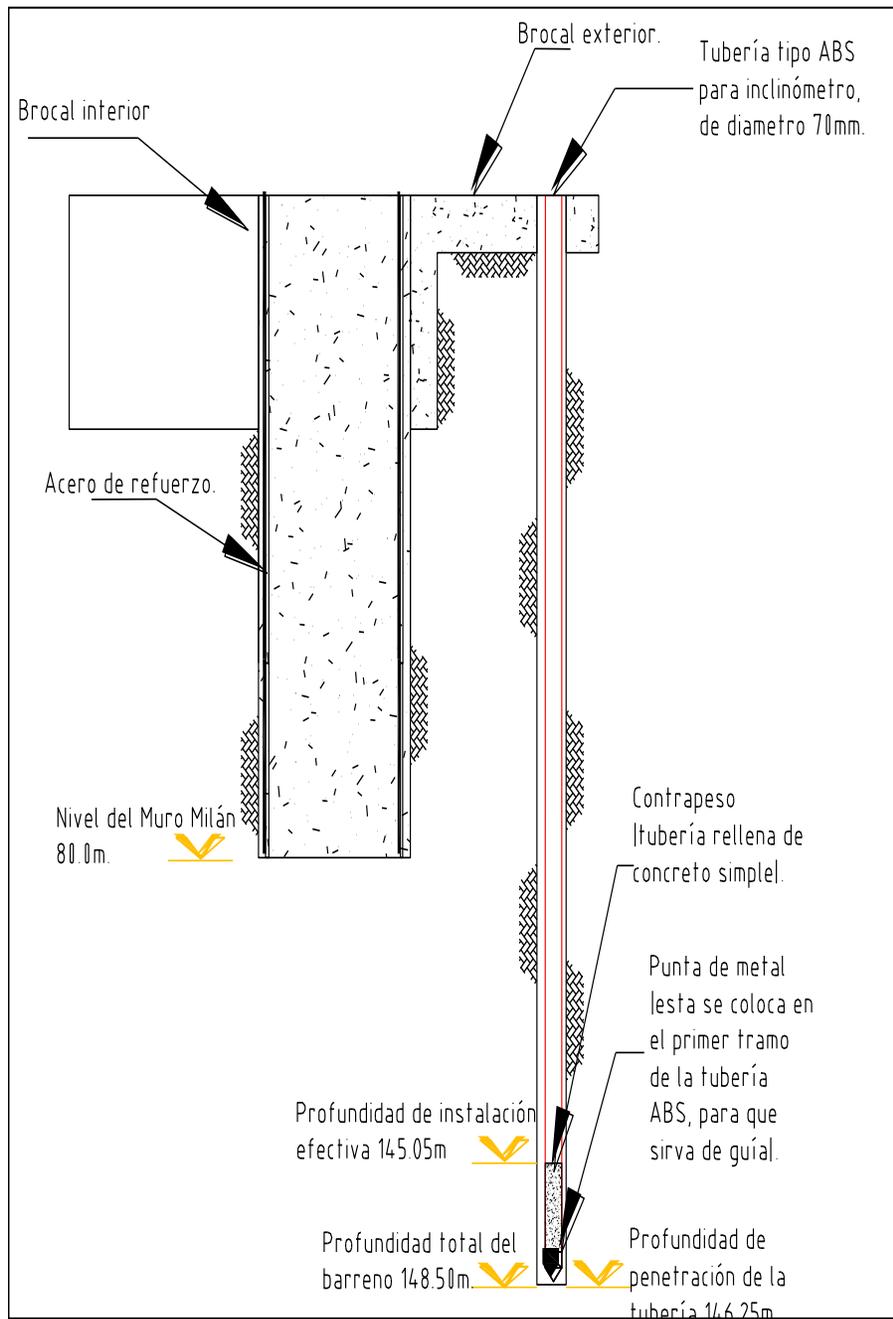


Fig. 4_6 Croquis de construcción de inclinómetro.

El cable de señales permite introducir la sonda y controlar las profundidades de medición. Este debe tener alma de acero o de un material poco deformable y con aislante de agua. También debe tener marcas en el exterior que indiquen la profundidad en la que se encuentra la sonda.

CONCLUSIONES

Para la mayoría de los habitantes de la Ciudad de México, es conocido el problema de las inundaciones durante la temporada de lluvias. Si bien esto es un problema que ha existido desde la fundación de la Gran Tenochtitlán y se han tomado las medidas correctivas en su tiempo, éste se agrava año con año. El hundimiento de la ciudad a causa de la sobreexplotación del agua del subsuelo y el crecimiento de la mancha urbana, aunado a la falta de mantenimiento de las obras de desagüe ha ocasionado que la infraestructura de drenaje en la ciudad ya sea insuficiente.

Sin embargo, este problema no es exclusivo de la ciudad. Algunos de los municipios del Estado de México como son Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chalco comparten esta problemática.

En los últimos dos periodos de gobierno, se han invertido gran cantidad de recursos para la construcción del Túnel Emisor Oriente. Basados en los estudios del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se decidió construir un túnel que captara las descargas de agua de la ciudad y las condujera de forma segura hasta el río Hidalgo, en donde después de un tratamiento, se aprovecharán estas aguas en el riego y otros usos de ese estado.

La variedad de tipos de suelo que existen en el territorio mexicano, y por los cuales fue trazado el túnel, hacen a este un gran reto para la ingeniería. En capítulos anteriores mencione que para acelerar los trabajos de construcción, se ha dividido el trazo en seis tramos, de los cuales la Lumbreira 18 se localiza en el tramo V.

Este tramo es uno de los más complejos en cuanto a proceso constructivo se refiere, ya que la abundante cantidad de agua en el subsuelo hace que la continuidad de los trabajos se vea afectada e incluso detenida.

El uso de nuevas tecnologías, como es la hidrofresa BC40 la cual se usó por primera vez en América en la Construcción de la Lumbreira 20, luego en la lumbreira 19 y posteriormente en la lumbreira 18, junto con los métodos tradicionales, y el ingenio del equipo de construcción en campo, lograron que esta parte del proyecto fuera una realidad. El túnel emisor oriente, por su magnitud e importancia para las personas que habitan en el Valle de México ha sido reconocido internacionalmente, y es el proyecto de ingeniería hidráulica quizás más importantes de la ingeniería Mexicana.

Como se habrán podido dar cuenta, en el desarrollo de esta tesis se describe paso por paso la construcción de esta lumbreira, y aunque en apariencia son procesos sencillos, no todo es lo que parece, cada uno de los procesos fue detalladamente planeado, programado y ejecutado para lograr la optimización de todos y cada uno de los recursos; sin embargo, la obra no estuvo exenta de sorpresas. Alguna vez escuche decir a uno de los ingenieros con más experiencia en el campo de la construcción de lumbreiras y túneles, lo siguiente: “Una obra que no presenta problemas durante su

construcción, no es una obra de ingeniería que se respete”. Algunos podrán decir, que esos problemas no se debieron haber presentado si se hubiesen realizado las actividades con una mejor planeación y estudios, sin embargo, tarde o temprano te darás cuenta de que la naturaleza no sabe nada acerca de planeación ni mucho menos programación. A la frase anteriormente mencionada yo podría agregar, que el ingeniero que no esté preparado para recibir, afrontar y solucionar cada una de estas sorpresas cuando se presenten, debería reconsiderar su profesión. Puede sonar presuntuoso, y con esto no trato de ofender a nadie, sin embargo, una vez que estas en campo se deben tomar acciones inmediatas y eficientes cada vez que se presente un evento no planeado.

El área de la construcción dentro de la ingeniería civil, trabaja hombro con hombro con las otras ramas de la ingeniería, ya sea topografía, maquinaria, geotécnica, estructuras, seguridad y medio ambiente, siendo estas últimas unas de las más importantes. El ingeniero civil en campo, debe conocer algo de cada una de estas ramas para poder hablar un mismo lenguaje con los responsables de éstas áreas; de esta forma la ejecución de los trabajos se realizará de una manera más ordenada y eficiente, reduciendo a un mínimo los riesgos y posibles atrasos en la obra.

De acuerdo a los programas de obra, la máquina tuneladora que realizará la excavación del túnel en el tramo V, iniciará sus trabajos en la lumbrera 20, y concluirá en la lumbrera 17. Considerando esto, se ha dado prioridad a la construcción de las lumbreras 20 y 19, dejando en un plano secundario a la Lumbrera 18. Esto no quiere decir que sea menos importante, o que no deben ejecutarse los trabajos con la misma rapidez o eficiencia, solamente quiere decir, que los recursos se gestionaran un poco más lento que en otros frentes de trabajo.

Al momento de la conclusión de los trabajos en la Lumbrera 18, habrán pasado ya casi tres años desde el inicio de estos. Si consideráramos únicamente los tiempos efectivos de trabajo, descartando los momentos en los que el personal fue requerido en otros frentes de trabajo, los recursos que fueron desviados, y el tiempo en que obligadamente esperamos la maquinaria que estaba en uso en otras lumbreras, el tiempo de construcción de la lumbrera 18, el tiempo se habrá reducido a tan solo 1 año nueve meses. Yo no veo esto como una desventaja, más bien fue la oportunidad de aprender de la experiencia de otros ingenieros en otros frentes de trabajos, y regresar a la lumbrera 18, y ejecutar los trabajos de una forma más rápida y eficiente.

Para un ingeniero civil, la capacidad de administrar los recursos, la capacidad de realizar un buen programa de obra, la capacidad de tomar decisiones rápidas, firmes y efectivas, el conocimiento de los procesos constructivos, la sencillez para aceptar las lecciones de otros ingenieros y del personal de obra, la habilidad de manejar la información, el conocimiento y el trabajo en equipo con otras áreas de la ingeniería, la serenidad para afrontar los problemas, el carácter, la paciencia y sobre todo el esfuerzo y el amor que ponga en su trabajo son algunas de las cosas más importantes que

deberá tener siempre presentes cuando quiera ejecutar una obra de una manera rápida, efectiva y con la mayor calidad.

En la mayoría de los procesos constructivos descritos en este trabajo de tesis, se ha dado mucha importancia al aspecto de seguridad e impacto ambiental en la obra. Si bien realizamos trabajos que modifican el medio ambiente, los efectos adversos hacia este deberán ser los mínimos posibles, la concientización del personal y el manejo adecuado de los materiales de construcción son uno de los temas más importantes que intervienen en la ejecución de los trabajos. Anteriormente se dijo que la lumbrera 18 se ubica en lo que fue un terreno de siembra de alfalfa y avena, las personas que trabajan en los predios vecinos aún se dedican a realizar estos trabajos, por lo cual el manejo de las arenas, gravas, cementos, y los residuos de los materiales de construcción, se deben realizar tomando las medidas pertinentes que eviten posibles daños a las siembras y conflictos sociales que deriven en la suspensión temporal o definitiva de los trabajos.

Para mí, fue un verdadero placer participar en cada uno de los procesos de construcción de esta lumbrera, desde el mejoramiento de suelo hasta la colocación del último centímetro cúbico de concreto en el revestimiento definitivo de la lumbrera. Como ya dije este es uno de los tramos más complejos; la lumbrera tiene 128.5 m de profundidad y es una de las más profundas en todo el Túnel Emisor Oriente. Fue un orgullo demostrar que los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, junto con la experiencia obtenida en el campo, me llevaron a quedar como el ingeniero responsable de la construcción de esta lumbrera desde mi primer año de trabajo.

REFERENCIAS

- Ref. 1.- **Manual de tecnología del concreto Sección 2 “Concreto fresco y en curso de endurecimiento”**
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Ed. Limusa Noriega Editores
México 1994
- Ref. 2.- **Geología aplicada a la ingeniería civil.**
Mariano Ruíz Vázquez y Silvia González Huesca.
Ed. Limusa Noriega Editores
México 2000
- Ref. 3.- **¿Guerra por el agua? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México.**
Manuel Perlo Cohín, Arsenio Ernesto González Reynoso.
Ed. UNAM. Coordinación de humanidades.
México 2005