



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD APLICADO EN
LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ALINA DE JESÚS DE NOVA

HÉCTOR LUNA MILLÁN

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. SERGIO MACUIL ROBLES



MÉXICO D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/153/2013

Señores
HÉCTOR LUNA MILLÁN
ALINA DE JESÚS DE NOVA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. SERGIO MACLIL ROBLES que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I, "titulación mediante tesis o tesis y examen profesional", para obtener su título en INGENIERÍA CIVIL.

"SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE"

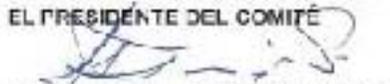
INTRODUCCIÓN

- I. DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE**
- II. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE UN EMISOR**
- III. DIFERENTES ESTRUCTURAS QUE INTEGRAN UN EMISOR**
- IV. SISTEMA DE CALIDAD APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TEO**
- V. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 20 de Enero de 2014
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ
EL PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por fortalecernos en todo momento durante nuestro trayecto como estudiantes, y siempre. Por permitirnos continuar y tener logros.

A nuestros Padres por ser los seres que nos motivaron a seguir, nos apoyaron incondicionalmente cada día y quienes han sabido formarnos con buenos valores y sentimientos haciendo que busquemos siempre el mejor camino.

A nuestros Amigos por estar ahí siempre y haber compartido con nosotros tantas experiencias, hasta el día de hoy.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser nuestra casa de estudios y proporcionarnos los elementos profesionales y personales, para convertirnos en las personas que somos. Esperando poder retribuir todo lo que nos ha dado y poner en alto el nombre de nuestra Universidad.

A la Facultad de Ingeniería y a los profesores que nos impartieron clase y nos compartieron sus conocimientos para nuestra formación profesional.

A nuestro Director M.I. Sergio Macuil Robles y Sinodales por su ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.

Al proyecto COMISSA, CICM y CONAGUA por el apoyo e información para la realización de este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO.....	7
ALCANCES.....	7
HIPÓTESIS.....	8
ANTECEDENTES	9
TÚNELES EN MÉXICO PARA EL DESALOJO DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES.....	10
EL GRAN CANAL DE DESAGÜE.....	10
SISTEMA DE PRESAS DEL PONIENTE Y LA CONSTRUCCIÓN DEL INTERCEPTOR DEL PONIENTE.....	12
SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO Y EL EMISOR CENTRAL.....	12
I.- DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE	15
1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	16
1.1.1.- OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	18
1.2.- ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN.....	18
1.3.- TIPO DE CONTRATO.....	19
1.3.1.- OBJETIVO DEL CONTRATO.....	20
1.4.- INTEGRACIÓN DEL CONSORCIO.....	22
II.- CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE UN EMISOR	24
2.1.- GEOLÓGICAS.....	25
2.1.1.- GEOLOGÍA GENERAL.....	26
2.1.2.- GEOHIDROLOGÍA.....	28
2.2.- TOPOGRÁFICAS.....	29
2.2.1.- DATOS TOPOGRÁFICOS DE LAS LUMBRERAS.....	29
2.2.1.1.- TRAMO I.....	30
2.2.1.2.- TRAMO II.....	30
2.2.1.3.- TRAMO III.....	31
2.2.1.4.- TRAMO IV.....	31
2.2.1.5.- TRAMO V.....	32
2.2.1.6.- TRAMO VI.....	32
2.3.- GEOTÉCNICAS.....	33
2.3.1.- ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	35
2.4.- ESTRUCTURALES.....	35
2.4.1.- ANÁLISIS DEL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL.....	35
2.4.2.- DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS GEOESTÁTICOS.....	36
2.4.3.- TABLESTACADO.....	37
III.- DIFERENTES ESTRUCTURAS QUE INTEGRAN UN EMISOR	38
3.1.- PORTAL DE ENTRADA/ SALIDA.....	38
3.2.- LUMBRERAS.....	39
3.2.1.- CRITERIO DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE LUMBRERAS.....	41
3.2.2.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....	41
3.2.2.1.- MURO MILÁN.....	42
3.2.2.2.- EXCAVACIÓN CONVENCIONAL.....	43
3.2.2.3.- MURO MILÁN Y EXCAVACIÓN CONVENCIONAL.....	43
3.2.3.- EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERAS.....	45

3.3.- DOVELAS (REVESTIMIENTO PRIMARIO)	46
3.3.1.-CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL REVESTIMIENTO PRIMARIO	47
3.3.2.- FABRICACIÓN DE DOVELAS.....	47
3.3.3.- ALMACENAMIENTO.....	50
3.3.3.1.- ALMACENAMIENTO EN PLANTA DE DOVELAS	50
3.3.3.2.- ALMACENAMIENTO EN LAS INSTALACIONES DEL TÚNEL	51
3.3.4.- TRANSPORTE DE DOVELAS AL SITIO DE COLOCACIÓN	51
3.3.5.- COLOCACIÓN DE DOVELAS	53
3.3.5.1.- ANILLO ERECTOR (COLOCADOR DE DOVELAS)	53
3.3.5.2.- FORMACIÓN DE ANILLOS.....	55
3.3.6.- RESANES Y /O REPARACIONES DE DOVELAS.....	56
3.3.6.1.- REPARACIONES PARA OQUEDADES, DESPRENDIMIENTOS, DESPORTILLAMIENTOS	57
3.3.6.1.1- REPARACIÓN A BASE DE CONCRETO	58
3.3.6.1.2.-REPARACIÓN DE FISURAS.....	58
3.3.7.- JUNTAS DE UNIÓN	59
3.3.7.1.- JUNTAS DE SELLADO PARA SEGMENTOS DEL TÚNEL	60
3.4.- TÚNEL	61
3.4.1.- EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL	62
3.4.1.1.-COMPONENTES DEL ESCUDO EPB.....	63
3.4.1.2.- PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN	64
3.5.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....	67
3.5.1.-DESCRIPCIÓN DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO	67
3.5.2.-ARMADO DE ACERO DE REFUERZO	67
3.5.3.-CIMBRA DESLIZANTE	68
3.5.4.- COLADO DE CONCRETO.....	70
3.5.5.- ACABADO FINAL DEL TÚNEL	70
3.6.- CARCAMOS DE BOMBEO.....	71
IV.- SISTEMA DE CALIDAD APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TEO	73
4.1.- DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE CALIDAD	74
4.1.1.- NORMAS APLICABLES.....	76
4.1.2.- PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD.....	77
4.2.- SEGURIDAD E HIGIENE	77
4.2.1.-PLAN DE GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS.....	86
4.3.- CONTROL AMBIENTAL.....	87
4.3.1.- IMPACTO AMBIENTAL.....	87
4.3.2.- MEDICIÓN DE RUIDO.....	89
4.3.3.- GENERACIÓN, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS.....	89
4.4.- SISTEMA DE CALIDAD EN LUMBRERAS	92
4.5.- SISTEMA DE CALIDAD EN EL REVESTIMIENTO PRIMARIO.....	93
4.5.1.-NORMAS Y MANUALES	94
4.6.- SISTEMA DE CALIDAD EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO	100
4.6.1.-INFORMES DE CALIDAD DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....	102
4.7.- SISTEMA DE CALIDAD EN EL PORTAL DE SALIDA.....	103
V.- CONCLUSIONES:.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ÍNDICE DE TABLAS:.....	109

INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se mencionará con frecuencia el término emisor, por lo que se definirá como el conducto que recibe las aguas de un colector o de un interceptor. No recibe ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la caja de entrada de la planta de tratamiento. También se le denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la caja de salida de la planta de tratamiento al sitio de descarga.

El tratamiento al que es referido es la remoción en las aguas residuales, por métodos físicos, químicos y biológicos de materias en suspensión, coloidal y disuelta.

Un sistema de alcantarillado sanitario está integrado por todos o algunos de los siguientes elementos: atarjeas, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descarga final y obras accesorias.

Diseñar surge de la necesidad de resolver problemas y de diseñar surge la calidad con que se hace la obra.

En el control de calidad como se muestra en la Imagen A, se presentan diferentes condiciones, en donde por falta de una buena planeación, se cometen errores.



Imagen A Control de Calidad

Con objeto de evitar cambios bruscos y mejorar gradualmente el entorno, inicialmente se aplican normas y disposiciones en cuanto a:

- Control de calidad de materiales.
- Empresas constructoras o contratistas.

- Empresas de supervisión.
- Áreas afines a la Dirección de Supervisión de Obras.

La gestión es un proceso como lo muestra Imagen B, mediante el cual se obtiene, despliega o utiliza una variedad de recursos básicos para apoyar los objetivos de la organización y así, satisfacer necesidades establecidas mediante estándares determinados con los que se garantiza los trabajos realizados.



Imagen B Modelo de Sistema de Gestión de Calidad basado en procesos (tomado de la Norma ISO 9000: 2000)

Por lo tanto, para involucrar todos los aspectos (directivos, personal, métodos estadísticos, procesos, departamentos y recursos) de manera eficiente y eficaz es mediante el desarrollo e implementación de un sistema de gestión de calidad.

La práctica en México de ideas de calidad es muy nueva y es necesario, hacer teóricos que entiendan los aspectos políticos y culturales en los que la cultura de la calidad influencia.

OBJETIVO

El Objetivo del presente trabajo es obtener información que describa la situación actual del sistema de gestión de calidad en el procedimiento de construcción de la obra Túnel Emisor Oriente, y éste cumpla con la normativa vigente.

ALCANCES

La finalidad del trabajo es presentar los principales conceptos y trabajos de construcción que se llevan a cabo del Túnel Emisor Oriente.

Enunciamos la normatividad aplicada, pruebas de control de calidad, y especificaciones para garantizar los trabajos que se realizan.

HIPÓTESIS

Como parte del proyecto de Sustentabilidad Hídrica y Saneamiento del Valle de México, con el objeto de contribuir en la solución a la problemática del desalojo de las aguas de la Ciudad de México y su área Metropolitana, la Comisión Nacional del Agua determinó realizar la Construcción del Túnel Emisor Oriente, con la cual se incrementará la capacidad de desalojo de las aguas pluviales y residuales de la cuenca del Valle de México, y se contará con una salida alterna al Emisor Central y al Gran Canal de Desagüe, evitando así el riesgo latente de inundaciones en la Ciudad de México y Zona Conurbana que en cada temporada de lluvias se presenta.

La alternativa seleccionada para el proyecto del Túnel Emisor Oriente y de acuerdo con los estudios de factibilidad e ingeniería básica realizados y tomando en cuenta el programa general de ejecuciones, se obtuvo como resultado la construcción de un túnel de siete metros de diámetro interior terminado y 62 kilómetros de longitud aproximadamente, seccionado en 6 tramos y utilizando para la excavación seis tuneladoras de tipo TBM con 19 lumbreras intermedias de 12 metros de diámetro para movimientos de maquinaria menor, materiales y personal durante el proceso de construcción en sus diferentes etapas y mantenimiento durante la operación del túnel y 5 lumbreras de 16 metros de diámetro para la bajada, ensamble y extracción de las maquinas tuneladoras, con profundidades que vendrían del orden de 23 hasta 153 metros.

La Gestión de Calidad tiene como finalidad principal, satisfacer necesidades establecidas mediante estándares determinados con los que se garantiza los trabajos realizados.

ANTECEDENTES

La Ciudad de México, fundada en una zona lacustre, se ha enfrentado a retos importantes a lo largo de su historia con referencia al manejo del agua, uno de los retos es la conformación misma de la Cuenca del Valle donde se asienta y por otra parte el enorme crecimiento de la población, se ha incrementado consistentemente la demanda del líquido, así como los caudales de aguas residuales y pluviales a desalojar por los sistemas de drenaje.

La superficie lacustre en el siglo XVI, era de 2000 km², en la actualidad el área urbana es de 1,894km².

La Cuenca de México como la mostramos en la Imagen C, la integran porciones territoriales de cuatro entidades federativas; el Distrito Federal, el Estado de México, el estado de Hidalgo y en menor proporción el estado de Tlaxcala. La Cuenca de México está delimitada por cadenas montañosas con 11 sierras en los cuatro puntos cardinales; interiormente cruzan la cuenca otras 5 sierras.



Imagen C Cuenca de México

En la primera mitad del siglo XX, al aumentar la demanda de agua, se inició la perforación de pozos profundos con el consecuente incremento en el problema de hundimientos del suelo. Como resultado, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para depositar las aguas en el lago de Texcoco y para elevarlas hasta el nivel del Gran Canal.

TÚNELES EN MÉXICO PARA EL DESALOJO DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES

La construcción del Sistema de Presas del Poniente y la Construcción del Interceptor del Poniente, junto con el Gran Canal y el Emisor Central, constituyen las tres salidas artificiales de la Cuenca de México.

Estos sistemas fueron diseñados originalmente para trabajar por gravedad durante la temporada de lluvias.

Durante la operación de estos drenajes se ha tomado en cuenta el hundimiento regional de la ciudad lo cual ocasionó que el sistema de drenaje profundo entrara en operación durante un periodo constante, desalojando además de las aguas de lluvia, aguas residuales por la reducción de la capacidad de desalojo de aguas negras a través de las salidas artificiales de la cuenca. Esta situación provocó la dificultad en el mantenimiento anual del Emisor Central, provocando su deterioro y reduciendo su capacidad de conducción, provoca que el Túnel Emisor Central se vuelva vulnerable y en consecuencia existe un factor de riesgo.

EL GRAN CANAL DE DESAGÜE

El proyecto Gran Canal de Desagüe fue presentado por el Ingeniero Francisco de Garay en el año 1856, la obra de construcción comprendía un tajo, un túnel y un canal, de la misma manera se construirán tres canales secundarios (Sur, Oriente y Occidente). Este proyecto nace de un concurso para solucionar los problemas de desagüe, ya que las inundaciones eran cada vez mayores.

En el año 1865, el Ingeniero Francisco Garay fue nombrado Director General del Desagüe del Valle de México. En el año 1900 se pone en operación el Gran Canal de Desagüe conformada por un Canal de Sección trapecial y por dos túneles para el desalojo de los escurrimientos de agua fuera de la Cuenca del Valle de México.

Se ubica desde San Lázaro en el Distrito Federal y termina en la población de Tequixquiac en el Estado de México.

Las características del Gran Canal son:

- Canal de Sección Trapecial a cielo abierto.
- El Gran Canal de Desagüe cuenta con una longitud total de 47 kilómetros.
- Se cuenta con dos túneles, el primero empieza a funcionar en 1900 y el segundo en 1950.

Actualmente, el Gran Canal de Desagüe cuenta con plantas de Bombeo para su operación.

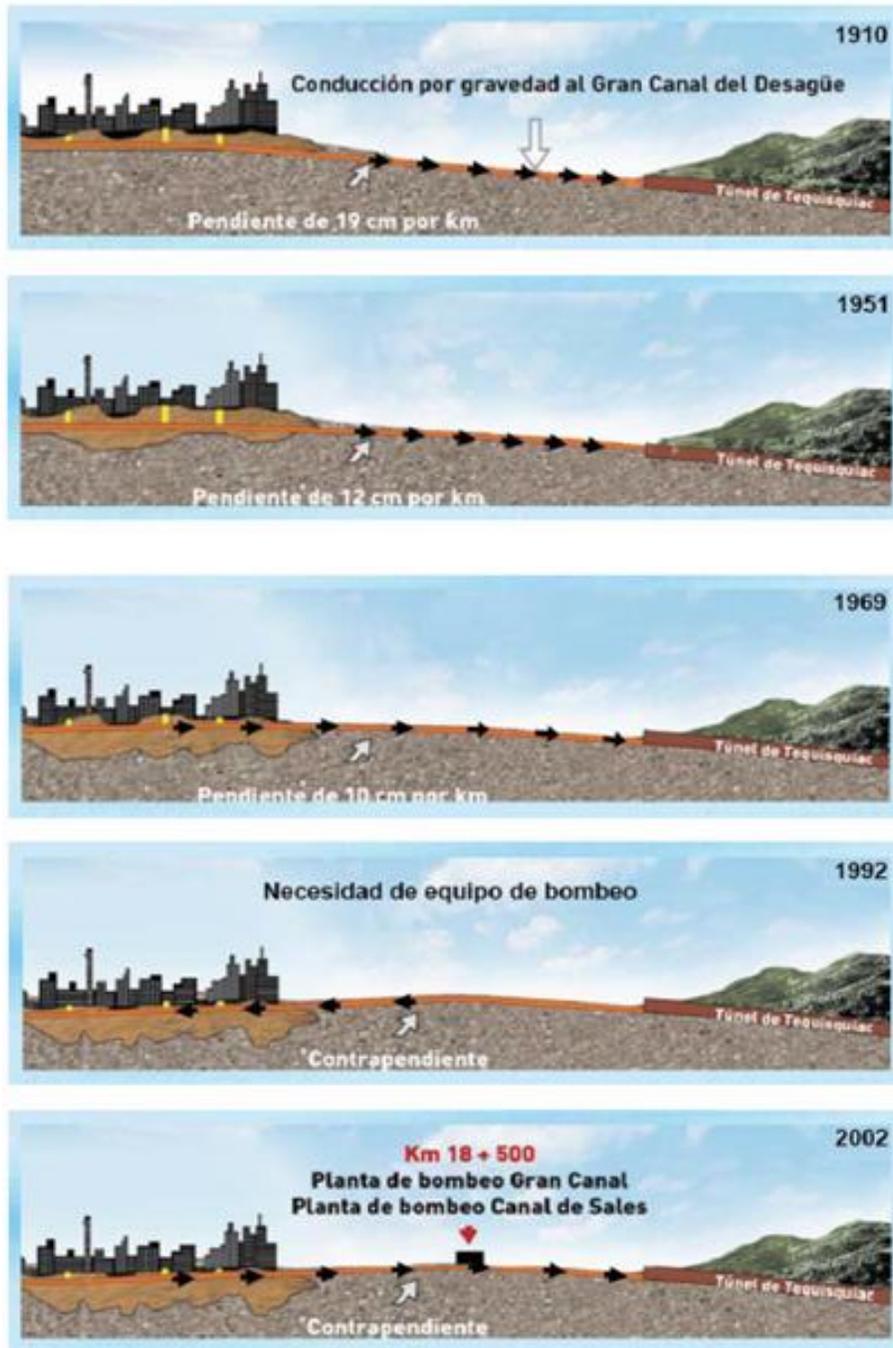


Imagen D Secuencia de hundimientos del Gran Canal de Desagüe

La Planta de Bombeo Gran Canal, es una construcción que se encuentra sobre el cauce del Gran Canal cuenta con una capacidad de $21 \text{ m}^3/\text{seg}$, incrementa la capacidad de desalojo, la cual fue disminuida por hundimientos (véase Imagen D) que inclusive invirtieron la pendiente del Gran Canal. Al trabajar el Gran Canal en conjunto con la Planta de Bombeo Gran Canal, el sistema desaloja hasta $40\text{m}^3/\text{seg}$.

La Planta de bombeo Canal de Sales, permite bombear hasta 10 m³/seg del dren general del Valle hacia el Gran Canal de Desagüe, a través de los canales de desfogue y de sales.

SISTEMA DE PRESAS DEL PONIENTE Y LA CONSTRUCCIÓN DEL INTERCEPTOR DEL PONIENTE.

El Interceptor recibe los escurrimientos de las barrancas ubicadas en el sur poniente del Valle de México, previamente regulados en el Sistema de Presas del Poniente que cuenta con 36 presas reguladoras, de las cuales 18 están ubicadas en el Distrito Federal y 18 están ubicadas en el Estado de México, la función de la presas es controlar los ríos del Poniente evitando los escurrimientos hacia el Valle de México y que se descarguen directamente al Lago de Texcoco.

El Interceptor Poniente, es un túnel de 4 metros de diámetro y 16.5 kilómetros de longitud, se ubica en el Distrito Federal y se inicia en Ciudad Universitaria, descarga en la Planta de Bombeo Río Hondo y desemboca en el Emisor Poniente.

El Emisor Poniente recibe aguas negras del Río Tlalnepantla, San Javier, Cuautitlán, Tepotzotlán y ríos un poco menos caudalosos hasta llegar a la derivadora Santo Tomas, posteriormente se descargan sus aguas al Río Tula y a la Presa Endhó para su distribución de riego.

SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO Y EL EMISOR CENTRAL

El Sistema de Drenaje profundo (véase Imagen E) constituye la principal estructura para desalojar los caudales generados en la temporada de lluvias. El Túnel Emisor Central se termina en al año 1975, es parte de la construcción de la primer etapa, cuenta con un diámetro terminado de 6.50 metros, con una longitud de 50 km, cuenta con lumbreras que van desde 48 m hasta 217 m de profundidad.

El sistema de drenaje profundo drena diversas zonas de la Ciudad, la lumbrera 00 del Túnel Emisor Central es el punto de confluencia para conducir el agua a través del emisor y verterla en el Río salto el cual se ubica en la parte alta de la cuenca del Río Panuco.

En la Tabla B entre el año 1975 y 2007 se puede ver la reducción de capacidad de las salidas artificiales de la cuenca.

Año	1975	2007
	Capacidad m ³ /s	Capacidad m ³ /s
Gran Canal	80	15
Emisor Poniente	30	30
Emisor Central	170	120
Total	280	165

Tabla B Comparativa de capacidad de las salidas artificiales (1975-2007)

El número de habitantes para el año 1975 fue aproximadamente de 10 millones, y para el año 2007 fue aproximadamente de 19 millones.

En el año 2007 se requiere una capacidad de 315 m³/s, por lo cual se requiere hacer una obra de drenaje para poder cumplir con la capacidad requerida.

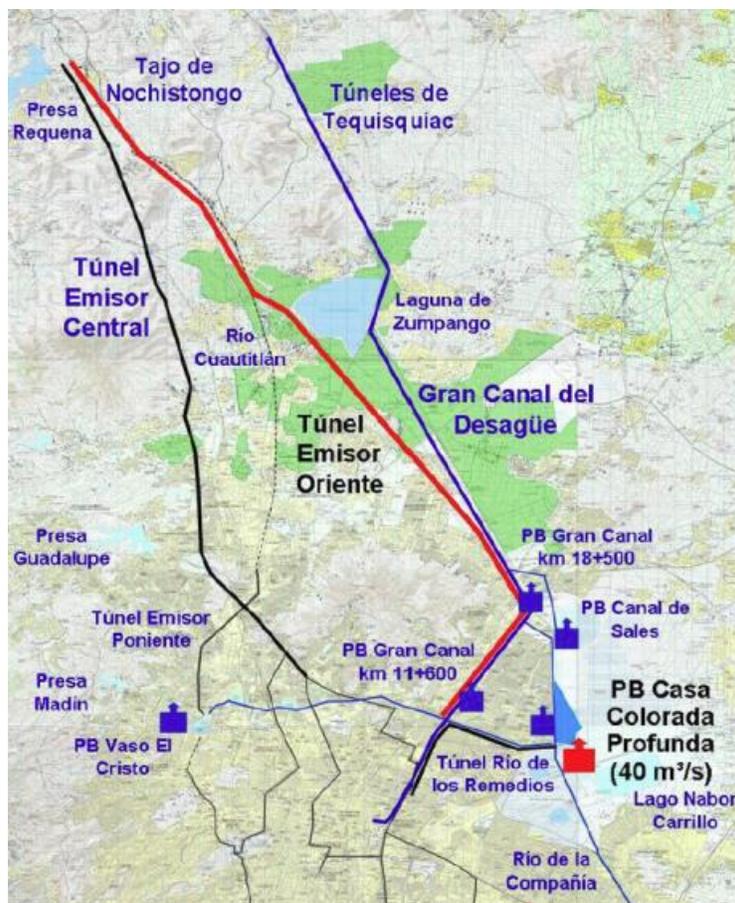


Imagen F Trazo de Túnel Emisor Oriente

I.- DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE

El sistema de drenaje profundo, tiene como principal función captar, conducir y desalojar en forma oportuna y segura, las aguas pluviales y residuales de la ciudad, a través de las redes de captaciones primarias, secundarias y colectores construidos en toda la ciudad, buscando su crecimiento acorde con el de las zonas urbanas.

Con el fin de reducir inundaciones, se consideró necesaria la construcción de un segundo drenaje profundo conocido como Túnel Emisor Oriente (TEO), con la construcción se dará apoyo al sistema de drenaje de la ciudad, principalmente durante las etapas de mantenimiento del Túnel Emisor Central (TEC).

El TEO es un proyecto emergente, que se originó por las deficiencias que se presentan en el desalojo de las aguas residuales del Valle de México por el riesgo latente de precipitaciones pluviales de gran intensidad y origine inundaciones que afectarían los factores de orden social, económica, servicios públicos, salubridad, seguridad y el ambiente del Valle de México y la Zona Conurbada.

El Trazo inicial del TEO (véase Imagen F) se definió por CONAGUA, en una trayectoria paralela al TEC.

El TEO iniciará en la segunda lumbrera del Túnel Río de los Remedios y desembocará en el Río el Salto, cerca de la salida del TEC en el estado de Hidalgo. Está ubicado en la delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal y los municipios de Coacalco, Ecatepec de Morelos, Huehuetoca, Tultepec, Tultitlán y Zumpango en el Estado de México y Tepeji del Río, Tula de Allende, en el estado de Hidalgo.

En este capítulo enunciaremos la descripción general del proyecto así mismo sus alcances, las etapas de construcción, el tipo de contrato y la integración del consorcio, con la finalidad de entender el proyecto ejecutivo y la construcción del TEO.

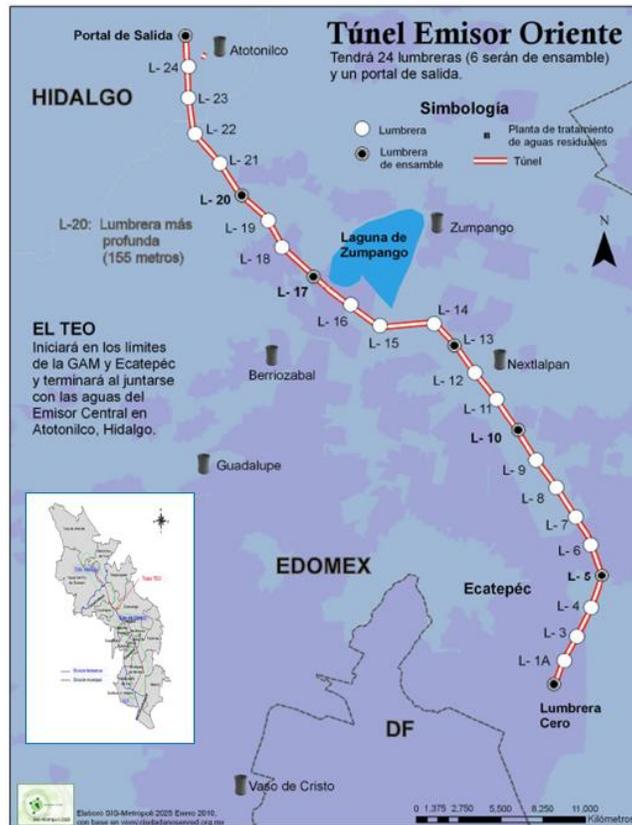


Imagen 1. 1 Trazo inicial de Túnel Emisor Oriente

1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El TEO se construye al Norte de la Ciudad de México y forma parte de un sistema de drenaje. Tendrá una longitud de 62.418 km y un diámetro interno de 7 m de diámetro; a lo largo de su recorrido se auxiliará, para su construcción y posterior operación de 24 lumbreras y un portal de salida (PS) (Véase Imagen 1.1). El túnel inicia en la intersección de las avenidas Gran Canal y Río de los Remedios; corre casi paralelo a la margen izquierda del Gran Canal con dirección Norte-Oriente unos 10 km; cambia su dirección hacia el Norte-Poniente, por la margen derecha del Gran Canal, y Cruza los municipios de Ecatepec, Coacalco y Tultepec, a lo largo de otros 20 km. A partir de aquí se separa del Gran Canal, pasa al poniente de la Laguna de Zumpango y cruza los municipios de Teoloyucan y Huehuetoca por 20 km más; después sigue por la margen derecha del Tajo de Nochistongo, atraviesa el municipio de Melchor Ocampo, y llega al portal de salida en el Ejido de Conejos, en el Estado de Hidalgo.

Las lumbreras se encontrarán a una distancia promedio de 2.5 km una de la otra, alcanzan profundidades desde los 23 metros hasta los 153 metros, se construye en sitios con diferentes características geotécnicas. De la lumbrera L-00 a la

lumbreira L-06 la pendiente del túnel será 0.19%; de la lumbreira L-06 al portal de salida la pendiente será 0.16%. El trazo del túnel será como se muestra en la Imagen 1.2.

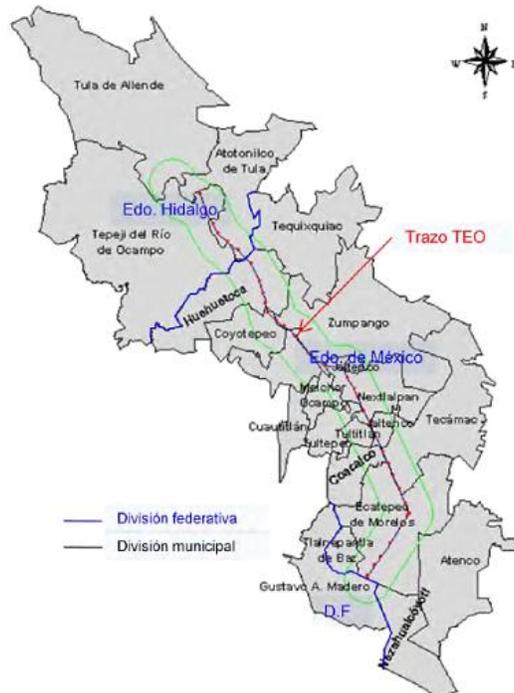


Imagen 1. 2 Trazo de Túnel Emisor Oriente

Principales retos a cumplir del TEO son:

En el tramo 1 y 2 a cargo de la constructora ICA con una longitud total de los tramos de 21,635.101 metros, el revestimiento definitivo se ve afectado por el hundimiento regional, derivado éste de la extracción de agua del subsuelo para consumo de la población.

El hundimiento regional representa una carga adicional que debe ser considerada en el diseño del revestimiento definitivo.

En los tramos 3 y 4 a cargo de la constructora CARSO con una longitud total de los tramos de 19,359.785 metros, se presentan problemas por la presencia de presiones de agua y en particular al tramo tres se cuenta con un problema de abrasividad de la roca de igual manera se encuentra basalto altamente permeable.

En el tramo 5 a cargo de la constructora COTRISA con una longitud de 8,769.085 metros, se tiene una posibilidad de encontrar altas presiones piezométricas, así como posibles entradas de agua continua en una sección de 2 kilómetros de vulcanitas fracturadas.

En el tramo 6 a cargo de las constructoras LOMBARDO y CESA con una longitud de 12,654.798 metros, se tiene la presencia de vulcanitas y boleos, los cuales representan una dificultad para el avance de las maquinas que excavan el túnel. En este tramo dado a nuevas exploraciones, se conoce que las condiciones geológicas detectadas son más difíciles que las proyectadas, se hizo necesario un cambio de trazo para evitar los suelos difíciles y aprovechar los materiales arcillosos de la formación taximay, que proponen ventajas considerables.

1.1.1.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se pretende que el TEO cumpla con los siguientes objetivos:

- Evitar inundaciones en el Valle de México.
- Disminuir el riesgo de fallas del sistema de drenaje.
- Implementar un procedimiento que permita inspeccionar el drenaje sin suspender su funcionamiento.
- Mejoramiento ambiental.

Para lograr y alcanzar los objetivos, es necesario cumplir con las especificaciones y normativas que durante nuestro trabajo describiremos.

1.2.- ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN

Las etapas de construcción del TEO, comprende la forma ordenada y planeada como se desarrolla la construcción.

Enunciaremos de manera breve el proceso constructivo de las lumbreras, este proceso varía de acuerdo con las condiciones estratigráficas, se cuenta con tres métodos para su construcción:

- Procedimiento de Muro Milán en toda la longitud de la lumbrera
- Procedimiento Mixto, en el que se emplea el Muro Milán desde la superficie hasta cierta profundidad, para posteriormente usar el proceso constructivo convencional en materiales más competentes y más profundos.
- Procedimiento de Muro convencional en toda la longitud de la lumbrera.

Al término de los trabajos de lumbreras, se inician los trabajos para la construcción de la galería de montaje y en enseguida se inicia con el montaje del equipo para excavación. La excavación del túnel se inicia en las lumbreras de montaje y se realiza con equipos TBM, posteriormente se coloca el revestimiento primario y se termina con el revestimiento definitivo.

El procedimiento para la excavación del túnel depende por el tipo de suelo, se puede encontrar suelo blando, duro y roca.

- En la zona de suelo blando, formado por arcillas y limos arcillosos se utiliza un escudo de tierra balanceada, su procedimiento es excavar con una cabeza cortadora y posterior bombear el material a la superficie.
- En la zona de suelo duro, formado por material aluvial con conglomerados, gravas y arenas interestratificadas con arcillas muy compactas, se utiliza un escudo mixto, el cual excava y posteriormente se bombea o se lleva al exterior con banda transportadora dependiendo las especificaciones del tramo a excavar.
- En la zona de roca formada por basaltos, tobas o arcillas muy compactadas, se utiliza un equipo con dientes de diamante, en este caso se utiliza banda transportadora.

El revestimiento del Túnel se forma en dos partes, la primera parte es el soporte inicial y se le nombra como revestimiento primario, es formada por anillos contruidos con dovelas prefabricadas de concreto armado. La segunda parte consiste en el recubrimiento secundario y se le nombra como revestimiento definitivo, se construye en sitio y es de concreto armado.

En las etapas de construcción se tiene muy en cuenta el diámetro exterior de la excavación del Túnel desde la lumbrera L-0 hasta la L-10 se tiene diámetro exterior en el Túnel de 8.4 m, con espesor del revestimiento primario y secundario de 0.35 m cada uno para tener un diámetro ya terminado de 7 m. Posteriormente de la lumbrera L-10 hasta el Portal de Salida, el diámetro exterior es de 8.6 m, con espesor de revestimiento tanto primario como secundario de 0.40 m cada uno para tener un diámetro ya terminado de 7 m.

En los capítulos siguientes, se describe cada etapa de construcción.

1.3.- TIPO DE CONTRATO

El contrato en el Túnel Emisor Oriente es un acuerdo de voluntades, y es una pieza fundamental, de manera que en el contrato de obra, se enuncian cada uno de los términos a cumplir con cláusulas para la buena elaboración del proyecto ejecutivo y la construcción del Túnel Emisor Oriente.

El contrato de obra pública mixto sobre la base de precios unitarios, precio alzado y tiempo determinado para la elaboración del proyecto ejecutivo y la construcción del Túnel Emisor Oriente.

Se celebra por una parte, el Ejecutivo Federal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, a

la que se denomina como “La Comisión” y por otra parte a la Constructora Mexicana de Infraestructura Subterránea, S.A. de C.V. se le denomina “La Contratista” (Véase Imagen 1.3), con la participación conjunta y solidaria de las personas morales denominadas: INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS S.A. DE C.V.; CARSO INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCION S.A. DE C.V.; CONSTRUCCIONES Y TRITURACIONES, S.A. DE C.V.; CONSTRUCTORA ESTRELLA, S.A. DE C.V.; y LOMBARDO CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V., cada uno “El Obligado Solidario” en lo sucesivo y en conjunto denominados “Los Obligados Solidarios” y cuando se refiere a “La Comisión”, “el Contratista” y “Los Obligados Solidarios” conjuntamente, serán reconocidos como “Las Partes” de conformidad con las declaraciones y clausulas propuestas.



Imagen 1. 3 Empresas participantes en la construcción del TEO

El contrato cuenta con cláusulas de suma importancia, en el enfoque de nuestro trabajo nos interesan algunas en particular, las que describiremos en los siguientes subcapítulos.

1.3.1.- OBJETIVO DEL CONTRATO

“La Comisión” encomienda a “El Contratista” la elaboración del proyecto ejecutivo y la construcción del TEO localizado en el Distrito Federal, Estado de México, dentro de la Cuenca del Valle de México y en el estado de Hidalgo.

“El Contratista” se obliga a realizar los trabajos hasta su total terminación, en términos de lo dispuesto en el presente contrato.

“La Comisión” encomienda a “El contratista” la realización de los trabajos a precio alzado consistentes en la elaboración del proyecto ejecutivo para la construcción del TEO y este se obliga a realizarlos hasta su total terminación acatando por ello lo establecido por los diversos ordenamientos, normas y anexos señalados en la declaración del contrato.

De Igual manera “La Comisión” encomienda a “El Contratista” la realización de los trabajos a base de precios unitarios consistentes en la construcción del TEO y éste se obliga a realizarlos hasta su total terminación, acatando para ello lo establecido por los diversos ordenamientos, normas y anexos señalados en la declaración del contrato.

Para la ejecución de los trabajos objeto del contrato “La Comisión” proporciona a “El Contratista” los equipos de excavación (Escudos) y bandas transportadoras (equipos de rezaga) de acuerdo a las especificaciones solicitadas expresamente por “El Contratista” y los “Obligados Solidarios”.

La operación, eficiencia, desempeño y cuidado, de dichos equipos, son responsabilidad de “El Contratista”.

Actividades a subcontratar

“Las Partes” convienen que toda subcontratación deberá estar previamente autorizada por “La Comisión” y estar de acuerdo con la normatividad vigente.

En ningún caso los montos podrán exceder del 30 % del monto total del presente contrato.

Los conceptos de obra que pueden ser objeto de subcontratación en los términos establecidos en el contrato son los siguientes:

- Construcción de caminos de acceso
- Construcción de oficinas y campamentos
- Instalación y operación de pozos de bombeo para abatimiento
- Instalación y monitoreo de instrumentación
- Topografía
- Construcción y montaje de la planta de dovelas, habilitado de armados para dovelas y fabricación de dovelas de concreto
- Construcción de pantallas de mortero en lumbreras y de lumbreras de servicio
- Retiro y disposición del material producto de excavaciones
- Exploración y mecánica de suelos complementaria
- Laboratorios de control de calidad

En caso de subcontratación, el responsable de la ejecución de los trabajos subcontratados lo será “El Contratista” y el subcontratista no quedara subrogado en ninguno de los derechos de “El Contratista” bajo el presente contrato.

Mediante el contrato "Supervisión Técnica-Administrativa y el Control de Calidad del Proyecto Ejecutivo y de la Construcción del Túnel Emisor Oriente, para ejecutarse en el Distrito Federal, en el Estado De México, dentro de la Cuenca del

Valle de México y en el estado de Hidalgo", la Comisión Nacional del Agua adjudicó a las empresas DIRAC, S.A. de C.V., Lumbreras y Túneles, S.A. de C.V. y Consultoría Integral en Ingeniería, S.A. de C.V., la prestación del servicio correspondiente a este contrato.

Las características técnicas del servicio de supervisión técnica- administrativa para el Proyecto Ejecutivo y Construcción del Túnel Emisor Oriente, descritas en la Planeación Integral de Trabajo y Metodología en términos generales consisten en:

- Coordinación General, se encargará de verificar la correcta ejecución de la obra, conforme al proyecto ejecutivo autorizado y a sus especificaciones
- Ingeniería básica
- Revisión del Proyecto Ejecutivo
- Seguimiento al resolutivo del Impacto Ambiental
- Revisión de Precios Unitarios
- Seguridad e Higiene en la Obra
- Control del Presupuesto, Programa y Documentación de las Obras
- Control de Calidad de los Materiales
- Supervisión de las Obras correspondientes a lumbreras, túnel y dovelas
- Control de los tiros de los materiales de desperdicio
- Expediente único del contrato

Disponibilidad de Dictámenes, Permiso, Licencias, Derechos de Bancos de Materiales y del Inmueble

"La Comisión", cuando sea el caso, con antelación al desarrollo de los trabajos, tramitará y obtendrá de las autoridades competentes los dictámenes, permisos, licencias, derechos de bancos de materiales, así como la propiedad o los derechos de propiedad, incluyendo la liberación de los derechos de vía y expropiación de inmuebles sobre los cuales se ejecutarán los trabajos, como corresponda, considerando la evaluación de impacto ambiental prevista por la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Medio Ambiente.

1.4.- INTEGRACIÓN DEL CONSORCIO

Para la ejecución de este proyecto en el tiempo establecido, CONAGUA formalizó un contrato con la Constructora Mexicana de Infraestructura Subterránea, S.A. de C.V. (COMISSA), integrada por cinco empresas especialistas en la construcción de túneles del drenaje profundo, dividiendo la longitud del proyecto en seis tramos, para realizar los trabajos que comprenden la construcción de las lumbreras, la excavación de los tramos de túnel correspondientes y el revestimiento definitivo al final de los trabajos, los cuales se muestran en la Imagen 1.4 se realizan actualmente por:

- Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V. para el tramo I y II, de L-0 a L-10.
- Carso Infraestructura y Construcción S.A. de C.V.; el tramo III y IV, de L-10 a L-17
- Construcciones y Trituraciones, S.A. de C.V.; el tramo V, de L-17 a L-20
- Lombardo Construcciones, S.A. de C.V. y Constructora Estrella, S.A. de C.V.; el tramo VI, de L-20 al Portal de Salida.

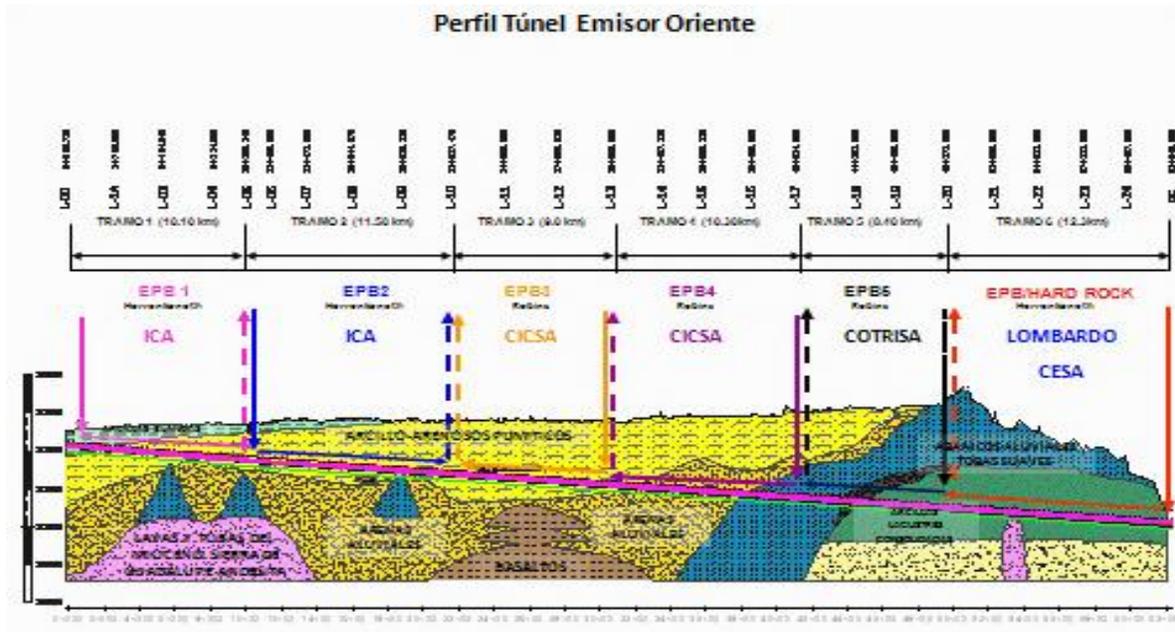


Imagen 1. 4 Perfil del Túnel Emisor Oriente, indicado en las empresas y sus tramos.

Para la ejecución de estos trabajos, cada una de las cinco empresas ha establecido su planeación, programa particular, aportación de recursos y tecnología propia de acuerdo con su esquema de trabajo, respetando los alcances, términos y fechas contractuales definidos con la CONAGUA, así como el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos aplicables a cada una de las actividades de construcción, incluida su responsabilidad particular en materia de medio ambiente y seguridad laboral.

II.- CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE UN EMISOR

Un emisor conduce las aguas hasta el punto de descarga o tratamiento. Una red puede tener más de un emisor dependiendo del tamaño de la localidad. Se le distingue de los colectores porque no recibe conexiones adicionales en su recorrido.

Los emisores pueden trabajar a gravedad sin presión o a presión dependiendo de las condiciones particulares del proyecto.

En este capítulo enunciaremos las consideraciones de diseño de un emisor (el caso de estudio es el Túnel Emisor Oriente), es importante saber que dada la longitud y la profundidad del TEO, cruzará una importante variedad de geomateriales, desde arcillas de plasticidad elevada sometidos a efectos de hundimientos regional y amplificación sísmica en la porción sur, suelos arenos-arcillosos de origen fluvial, aluvial y volcánicos con mayor resistencia y menor deformabilidad en la parte intermedia del tramo, y suelos arcillosos fuertemente consolidados con lentes de boleas empacados en arcillas y limo, así como coladas de roca basáltica al final.

Los principales retos de ingeniería que se han presentado en esta obra subterránea, dadas las condiciones geotécnicas encontradas, son dos principalmente: los efectos de la subsidencia regional y la amplificación dinámica de los suelos arcillosos muy blandos altamente deformables y con una resistencia al esfuerzo cortante muy baja, y las altas presiones de poro que se registran en algunas formaciones geológicas. Para solucionar los problemas y afrontarlos, respecto al diseño como de construcción, se desarrollan técnicas de análisis y procesos constructivos para un determinado fin.

Es importante tener en cuenta la exploración geológica y geotécnica, en un principio en la exploración se usaron alrededor de 250 barrenos, con una longitud total de 25 mil metros.

Los métodos de exploración usados fueron:

- Barrenos: penetración estándar (SPT) y cono eléctrico (CPT)
- Muestreadores de suelos; tubos Shelby y Denison, muestreadores integral y swivel triple.
- Mediciones de campo; piezómetros, permeámetros, presiómetros, dilatómetros y phicómetros.
- Métodos geofísicos: Cross-hole y SPAC para la determinación de los perfiles de ondas P y S.

- Pruebas de laboratorio: índices y mecánicas.

Muchas dificultades se encontraron en profundidades mayores a los 100 m, particularmente en el muestreo inalterado de arenas limosas como gravas, limos arcillosos con arenas y tobas volcánicas, por lo que se tuvieron que realizar pruebas mecánicas en el lugar. Más adelante del capítulo nos enfocaremos en la geología general, en las condiciones geológicas e hidráulicas, en la caracterización geotécnica, topográfica y estructural.

2.1.- GEOLÓGICAS

El trazo del TEO a lo largo de sus primeros 40 km cruza por depósitos cuaternarios poco consolidados del norte de la cuenca de México, lo faltante 22km aproximadamente corta las tolvas terciarias consolidadas de Nochistongo.

La Geología del TEO, está ligada con la formación de la cuenca del Valle de México y de la cuenca del Río Tula.

La Cuenca del Valle de México, en las partes centrales y sur occidentales ocupa la zona urbana de la Ciudad de México a la altitud promedio de 2240 msnm, se ubica en el borde meridional de la mesa central del sur. La Cuenca tiene una longitud de 100 km y tiene un ancho de 300 km, es delimitada al Norte por la Sierra de Pachuca, al Oriente por la Sierra de Río Frío y por la Sierra Nevada, al Sur por la Sierra de Chichinautzin y al Poniente el Volcán Ajusco y la Sierra Cruces.

La Cuenca de México es una cuenca endorreica de desagüe artificial, se formó al cerrarse el antiguo Valle de México como resultado de la obstrucción por la actividad andesítico- basáltica al sur de la ciudad.

Las rocas más antiguas detectadas por sondeos en el subsuelo de la cuenca de México, afloran en regiones colindantes, son anhídritas que subyacen a calizas marinas de cretácico inferior que están cubiertas por calizas, lutitas y areniscas del cretácico superior, se estima su espesor máximo entre 1400 y 2200 m. Las rocas terciarias cubren las rocas cretácicas, la unidad basal de esta secuencia está formada por depósitos clásticos continentales de color principalmente rojizo, con la presencia local de yeso y de rocas volcánicas, la acumulación de estos depósitos se efectuó durante el paleoceno- eoceno en condiciones de drenaje obstruidos por fallas en bloques, que también influyó en la distribución lateral de estos y en variaciones a su espesor, alcanzan un espesor máximo de 600 m. Las rocas volcánicas predominantemente andesíticas adacíticas sobreyacen discordantemente a los depósitos continentales y a rocas más antiguas, tienen un espesor promedio de 600 m a 700 m, se originaron durante el oligoceno tardío- mioceno temprano.

Las manifestaciones volcánicas más trascendentales para el entorno geológico actual de la cuenca consisten en unos 220 conos volcánicos monogenéticos de andesita basáltica, cuentan con una veintena de conos en la parte meridional del vaso de la cuenca. Esta actividad volcánica fue la que convirtió al antiguo Valle en la cuenca actual.

Cuenca del Río Tula, se localiza en una zona sujeta a intensa actividad tectónica y volcánica, formada por parte de la Sierra Volcánica Transversal, se han originado fracturamientos y fallas. Las rocas sedimentarias pertenecen al cretácico medio, representadas por una importante acumulación de aluvión, arcillas que contienen caliza, pizarras arcillosas, calizas, arcilla, conglomerados, brechas, cenizas volcánicas, diatomeas, aluviones y areniscas.

2.1.1.- GEOLOGÍA GENERAL

En la Geología General se tiene que partiendo de sur a norte, los primeros 2.5 km del túnel se excavan en depósitos lacustres cuaternarios de la cuenca de México, posteriormente al cruzar la sierra de Nochistongo al norte, se encuentra con las vulcanitas pliocénicas en Huehuetoca, posteriormente con los depósitos lacustres de la formación taximay, se encuentran lavas basálticas próximas al portal de salida como lo muestra la Imagen 2.1.

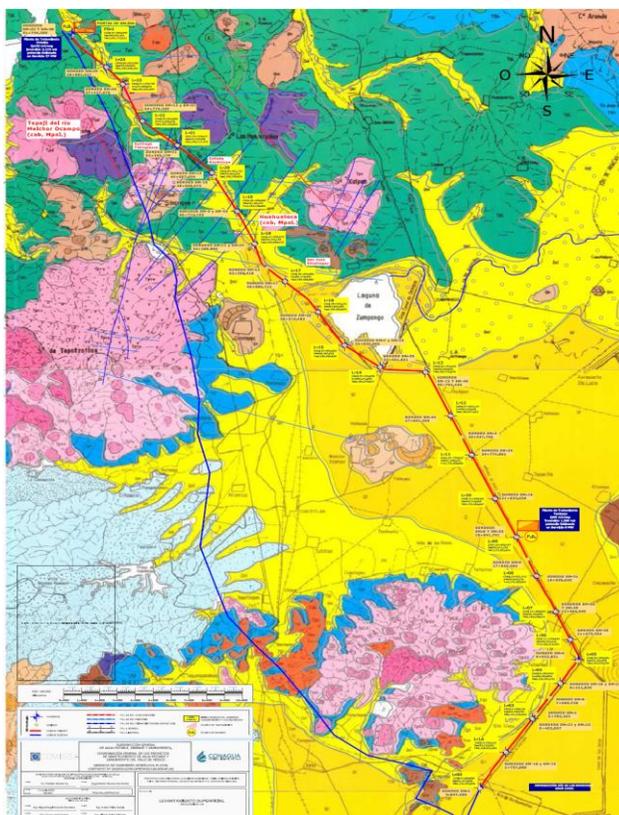


Imagen 2. 1 Esquema de la Geología general del área

En total, el túnel atraviesa seis formaciones geológicas estas son:

- Formación lacustre del cuaternario superior de la cuenca de México (del kilómetro 0 al 21.140).
- Formación de basaltos: lavas, cenizas basálticas del cuaternario de la cuenca de México y lavas del flanco norte de la sierra de Nochistongo (kilómetro 21.140 a 30.300).
- Formación de suelos sublacustres (kilómetros 30.300 a 38.00).
- Formación de abanicos aluviales del pliocuaternario de la sierra de Nochistongo (kilómetro 38.00 al 40.350).
- Formación vulcanitas Huehuetoca del plioceno superior (Kilometro 40.350 a 46.00).
- Formación Taximay del plioceno medio (kilómetro 46.00 al Portal de Salida).

Las exploraciones realizadas permitieron diferenciar a la formación taximay en dos:

Formación taximay superior; está conformada por arcillas y limos consolidados de color blanco, verde claro o de algún otro tono, así como porciones de suelos rojizos y escasos horizontes de gravas.

Formación taximay inferior; está conformada por una secuencia uniforme de arcillas y limos lacustres fuertemente consolidados de color verde oscuro.

Las formaciones mencionadas, pueden describirse en un perfil geológico como el mostrado en la Imagen 2.2.

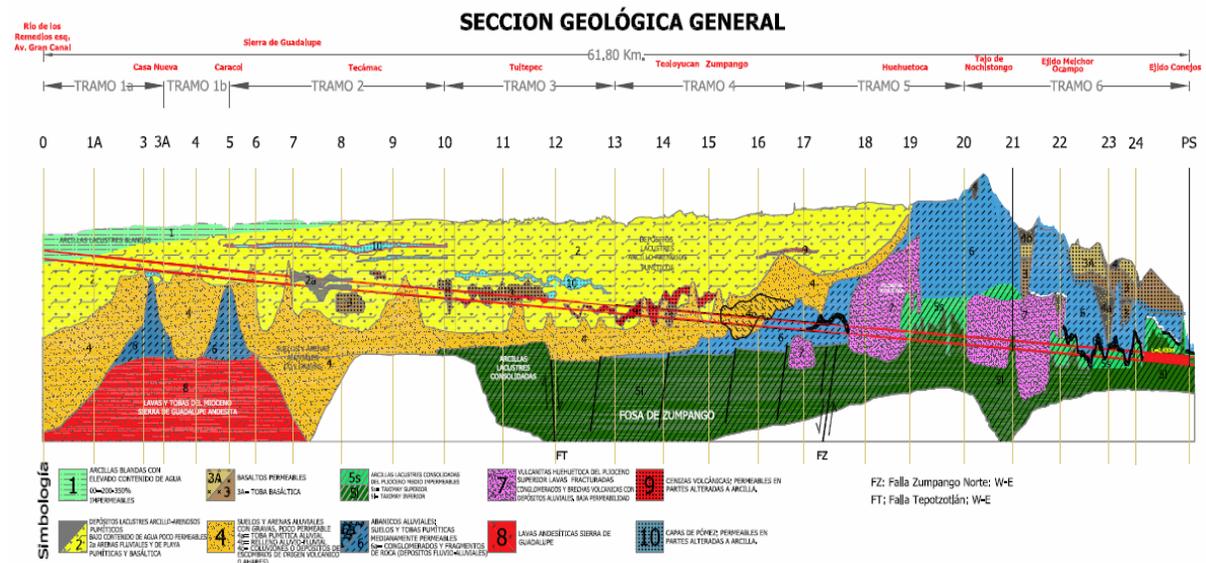


Imagen 2. 2 Modelo geológico de Túnel Emisor Oriente

El contraste de los colores de los depósitos de taximay, se debe a que la primera acumuló tobas pumíticas que se fueron transformando en arcillas lacustres con colores claros, y la segunda acumuló cenizas basálticas que se fueron transformando en arcillas lacustres de color verde-oscuro.

2.1.2.- GEOHIDROLOGÍA

La región hidrológica a la que pertenece el TEO es la del Panuco, las subregiones son el Río Tula y la del Valle de México, los principales cuerpos hidrológicos superficiales ubicados conforme el trazo del túnel son:

- Ríos: El Río Tula, Río Salado, Río el Salto, Río Alfajayucan, Río Cuautitlán, Río Tlalnepantla, Río de los Remedios y Río San Javier.
- Canales Primarios: Endhó, Juandhó, Tlaxcoapan, Dendhó, Requena, Lagunillas, Santo Tomas y Castera.
- Canales Secundarios: Apaxco, Lateral Alto Requena, Alto Tepatepec, Lateral Xochistlán y el Salto.

En la Imagen 2.3 se muestra la hidrología subterránea que se caracteriza por mantos acuíferos, el TEO intercepta tres acuíferos del subsuelo:

- El acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- El acuífero Cuautitlán-Pachuca, que se ubica en el Estado de México.
- El acuífero Valle del Mezquital, localizado en Hidalgo y que será interceptado en el extremo final del túnel.

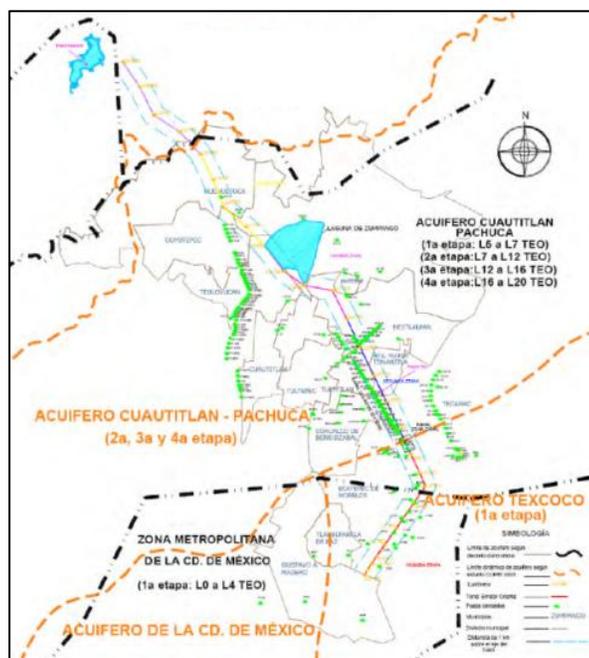


Imagen 2.3 Acuíferos localizados durante el trazo del TEO

Los acuíferos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de Cuautitlán-Pachuca se caracterizan por manifestar un alto ritmo de abatimiento del nivel estático, provocado por la sobreexplotación a que han estado sometidos, ya que contribuyen sustantivamente al abastecimiento de agua potable para la Ciudad de México y área conurbada del Estado de México.

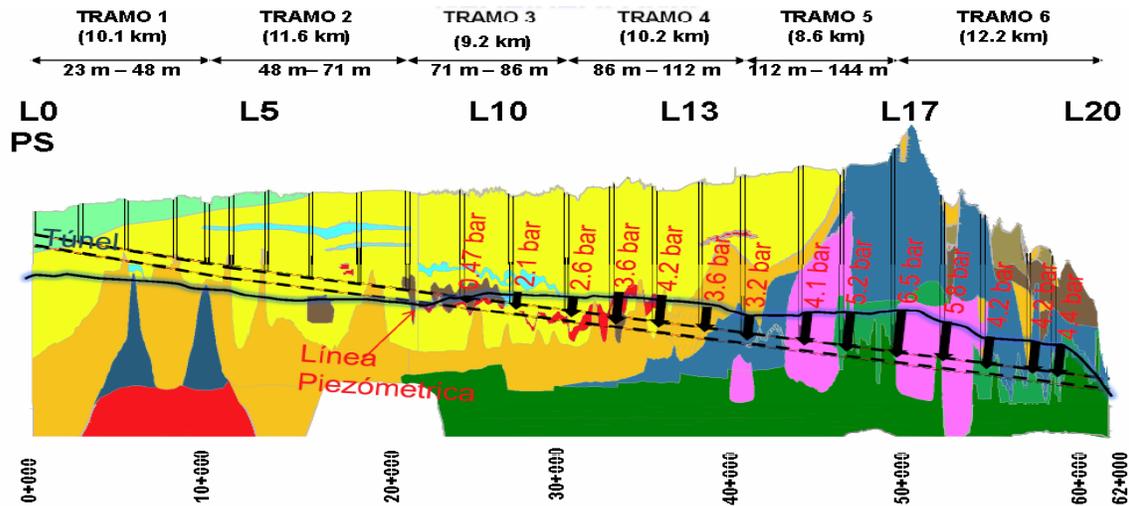


Imagen 2. 4 Geohidrología del túnel

2.2.- TOPOGRÁFICAS

La topografía en el TEO, mediante la aplicación y uso de métodos topográficos y sus equipos, donde se realizó la nivelación para referenciar el trazo del túnel con bancos auxiliares de nivel. Se llevó a cabo mediante levantamientos de los elementos dispersos, que causan una interferencia con el trazo del túnel como son; predios diversos, calles y obstrucciones existentes en todo el trayecto del eje de trazo.

Como resultado de los levantamientos topográficos se obtuvo la ubicación del proyecto del trazo del túnel, el trazo contempló el tener el espacio necesario para las maniobras en las zonas de lumbreras propuestas, así como el no interferir estructuras ni zonas habitacionales, etc.

El siguiente subcapítulo nos hablará de la topografía en las lumbreras, y donde se ubica cada lumbrera, con el fin de conocer el trazo del proyecto.

2.2.1.- DATOS TOPOGRÁFICOS DE LAS LUMBRERAS

La topografía, utiliza un sistema de coordenadas tridimensionales, siendo x, y la planimetría y la z la altimetría, pero este subcapítulo utilizamos para la referencia de las lumbreras solo las coordenadas x, y.

2.2.1.1.- TRAMO I

El Tramo I va de la lumbrera 2 del Túnel Interceptor Río de los Remedios que se ubica en ese sitio, de la lumbrera L-00 a la lumbrera L-5 del TEO como se muestra en la Imagen 2.5. La lumbrera L-00 se localiza en Anillo Periférico Norte y Avenida Gran Canal, en la delegación Gustavo A. Madero, D.F., la L-00 es una lumbrera de montaje y desmontaje de equipos, con 16 m de diámetro, este tramo cuenta con una longitud de excavación de 10.053 km, del cadenamamiento 0+00 al 10+053.59. Las lumbreras intermedias tienen un diámetro de 12 m.



Imagen 2. 5 Acceso a cada una de las lumbreras del tramo I

2.2.1.2.- TRAMO II

En la Imagen 2.6 se muestra el tramo II que inicia en la lumbrera L-05 y termina en la L-10, la L-05 se localiza en la intersección del Gran Canal, entre General del Valle y Av. Carlos Hank González, en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. La L-05 es una lumbrera de Montaje y desmontaje de equipos, con 16 m de diámetro, la longitud de excavación del tramo II es de 11.581 km, del cadenamamiento 10+053 al 21+635. Las lumbreras intermedias tienen un diámetro de 12m.



Imagen 2. 6 Acceso a cada una de las lumbreras del tramo II

2.2.1.3.- TRAMO III

En la Imagen 2.7 se muestra el tramo III que inicia en la lumbrera L-10 y termina en la lumbrera L-13, la L-10 es una lumbrera de montaje y desmontaje de equipos, con 16 m de diámetro, la longitud de excavación del tramo III es de 9.158 km, del cadenamiento 21+635 al 30+793. Las lumbreras intermedias tienen un diámetro de 12 m.



Imagen 2. 7 Acceso a cada una de las lumbreras del tramo III

2.2.1.4.- TRAMO IV

El Tramo IV se muestra en la Imagen 2.8 e inicia en la lumbrera L-13 y termina en la L-17. La L-13 es una lumbrera de montaje y desmontaje de equipos, con 16 m de diámetro, la longitud de excavación del tramo IV es de 10.201 km, del cadenamiento 30+793 al 40+994. Las lumbreras intermedias son de 12 m de diámetro.



Imagen 2. 8 Acceso a cada una de las lumbreras del tramo IV

2.2.1.5.- TRAMO V

El Tramo V como se muestra en la Imagen 2.9, inicia en la L-17 y termina en la L-20. La L-17 es una lumbrera de montaje y desmontaje de equipos, con 16m de diámetro, la longitud de excavación del tramo V es de 8.769km, del cadenamiento 40+994 al 49+763. Las Lumbreras intermedias son de 12 m de diámetro.



Imagen 2. 9 Acceso a cada una de las lumbreras del tramo V

2.2.1.6.- TRAMO VI

El Tramo VI y último mostrado en la Imagen 2.10, inicia en la L-20 y termina en el portal de salida. El portal de salida se ubica en el municipio de Atotonilco de Tula, cerca del actual portal de salida del Túnel Emisor Central. La L-20 es una lumbrera de montaje y desmontaje de equipos, con un diámetro de 16 m, la longitud del tramo VI es de 12.654 km, del cadenamiento 49+763 al 62+418. Las Lumbreras intermedias tendrán un diámetro de 12m.



Imagen 2. 10 Acceso a cada una de las lumbreras del tramo VI

La tabla 3 muestra la topografía de las lumbreras y sus aspectos importantes.

LUMBRERA	COORDENADAS		DIAMETRO (m)	CADENAMIENTO	DIST. AL INICIO DEL TEO	DIST. ENTRE LUMBRERA	ELEV. DE TERRENO	PENDIENTE	ELEV. DE PLANTILLA	PROF. DE LA LUMBRERA	DESNIVEL RESPECTO AL
	X	Y									
L-00	491,877.600	2,156,503.668	16.00	0+000.000	0.000	0.000	2,227.290	0.19%	2,203.997	23.293	0.000
L1-A	493,316.631	2,158,837.259	12.00	2+753.213	2,753.213	2,753.213	2,231.392	0.19%	2,198.766	37.000	-5.231
L-03	494,795.725	2,161,029.950	12.00	5+398.135	5,398.135	2,644.922	2,234.976	0.19%	2,193.741	45.140	-10.256
L-03A	495,403.802	2,161,934.143	16.00	6+487.963	6,487.963	1,089.828	2,233.305	0.19%	2,185.301	45.630	-18.696
L-04	496,363.652	2,163,361.410	12.00	8+207.963	8,207.963	1,720.000	2,234.207	0.19%	2,188.402	48.800	-15.595
L-05	497,351.965	2,164,910.750	16.00	10+053.591	10,053.591	1,845.628	2,233.613	0.19%	2,184.895	53.020	-19.102
L-06	496,924.515	2,166,212.265	12.00	11+475.642	11,475.642	1,422.051	2,237.419	0.19%	2,182.193	58.980	-21.804
L-07	496,104.980	2,168,048.522	12.00	13+486.633	13,486.633	2,010.991	2,239.835	0.1514%	2,179.149	65.000	-24.848
L-08	495,043.720	2,170,358.541	12.00	16+031.712	16,031.712	1,545.079	2,240.605	0.1514%	2,175.296	69.610	-28.701
L-09	493,911.722	2,172,932.676	12.00	18+843.767	18,843.767	2,812.055	2,240.283	0.1514%	2,171.039	73.640	-32.958
L-10	492,716.069	2,175,454.947	16.00	21+635.101	21,635.101	2,791.334	2,238.490	0.1514%	2,166.813	76.520	-37.184
L-11	491,400.522	2,178,308.083	12.00	24+776.927	24,776.927	3,141.826	2,241.476	0.1514%	2,162.057	81.710	-41.940
L-12	490,224.165	2,180,877.815	12.00	27+603.115	27,603.115	2,826.188	2,236.790	0.1514%	2,157.778	84.870	-46.219
L-13	488,820.982	2,183,722.678	16.00	30+793.443	30,793.443	3,190.328	2,239.886	0.1514%	2,152.948	94.480	-51.049
L-14	486,271.905	2,184,070.472	12.00	33+416.090	33,416.090	2,622.647	2,243.247	0.1514%	2,148.977	100.620	-55.020
L-15	484,287.533	2,185,486.468	12.00	35+865.083	35,865.083	2,448.993	2,244.271	0.1514%	2,145.269	106.120	-58.728
L-16	482,805.485	2,187,661.070	12.00	38+533.131	38,533.131	2,668.048	2,246.673	0.1514%	2,141.230	112.790	-62.767
L-17	481,176.940	2,189,483.980	16.00	40+994.886	40,994.886	2,461.755	2,249.772	0.1514%	2,137.503	119.950	-66.494
L-18	479,275.135	2,192,066.179	12.00	44+303.970	44,303.970	3,309.064	2,256.042	0.1514%	2,132.493	128.450	-71.504
L-19	478,100.279	2,194,146.990	12.00	46+696.890	46,696.890	2,394.920	2,256.691	0.1514%	2,128.867	133.520	-75.130
L-20	476,861.310	2,196,795.830	16.00	49+763.971	49,763.971	3,065.081	2,269.385	0.1514%	2,124.427	152.360	-79.570
L-21	473,634.659	1,198,966.820	12.00	53+780.414	53,780.414	4,016.443	2,218.546	0.1514%	2,117.295	120.300	-86.702
L-22	472,959.248	2,200,195.852	12.00	55+214.717	55,214.717	1,434.303	2,214.823	0.1514%	2,115.124	111.960	-88.873
L-23	470,735.025	2,201,744.565	12.00	58+012.350	58,012.350	2,797.633	2,198.488	0.1514%	2,110.907	91.690	-93.090
L-24	470,140.877	2,203,153.542	12.00	59+541.514	59,541.514	1,529.164	2,178.601	0.1514%	2,108.574	90.120	-95.423
PS	469,051.717	2,205,779.325		62+418.769	62,418.769	2,877.255	2,121.284	0.1514%	2,104.218	21.828	-99.779

Tabla 2. 1 Características topográficas de las lumbreras

2.3.- GEOTÉCNICAS

En el inicio del túnel entre las lumbreras L-0 y L-10, se sitúa en arcillas saturadas muy comprensibles las cuales tienen una resistencia al cortante muy baja, amplifican las ondas sísmicas y se encuentran en proceso de consolidación.

Entre las lumbreras L-10 y L-14 el túnel se encuentra con un frente de excavación mixto, formado en su parte superior por una colada de basalto del cerro Tultepec, y se apoya sobre ceniza volcánica cementada, la cual se apoya sobre tobas.

Entre las lumbreras L-14 y L-16 el túnel se encuentra en suelos aluviales pre-lacustres compuestos principalmente de limos arenosos con lentes de arenas y en algunos puntos gravas fluviales. En la distancia de estas lumbreras se nota que en la parte inferior de la sección del túnel, se encuentra un estrato deformable, con baja resistencia al esfuerzo cortante.

Entre las lumbreras L-16 y L-19 el túnel atraviesa suelos de origen aluvial, como arenas o gravas limosas intercaladas con limos arenosos, en algunas ocasiones se presentan estratos delgados de boleas empacados en limos débilmente cementados y con carga de agua.

En las lumbreras L-19 y posteriormente hasta el portal de salida el túnel se ubica en la formación taximay, es una formación compuesta de arcillas muy

consolidadas, poco deformables y con alta resistencia al esfuerzo cortante, al final del túnel se perciben los abanicos aluviales, donde se encuentra un estrato de gravas y boleos empacados en limo con presiones de poro elevadas. Debido a esto último se generan problemas de excavación, de control de aguas y estabilidad de soporte al momento de la excavación.

La zonificación geológica-geotécnica mostrada en Imagen 2.11, es un panorama simplificado de los ambientes geológicos-geotécnicos que cruzará el TEO, se dividen en tres zonas con base a lo antes descrito.

Zona 1: El área que comprende es de la lumbrera L-00 a la L-10.

Zona 2: El área que comprende es de la lumbrera L-10 a la L-17.

Zona 3: El área que comprende es de la lumbrera L-17 al PS.

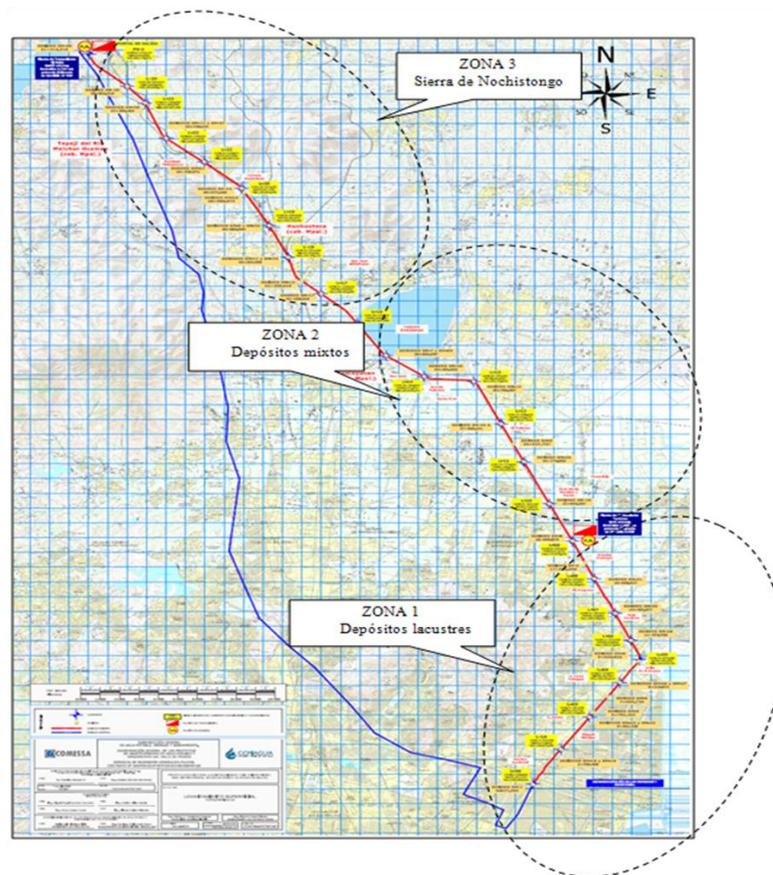


Imagen 2. 11 Zonificación geológica-geotécnica

2.3.1.- ESTUDIO GEOTÉCNICO

En los estudios de mecánica de suelos realizados durante la etapa de Ingeniería básica, que incluyeron pruebas de permeabilidad a lo largo del trazo del túnel y de transmisibilidad en las zonas cercanas a la laguna de Zumpango o cuando el túnel se encuentra por debajo de los cauces superficiales, se pudieron determinar los materiales mencionados en la Tabla 4.

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

Tabla 2. 2 Tipos de materiales encontrados a lo largo del túnel

2.4.- ESTRUCTURALES

En este subcapítulo hablaremos de las especificaciones de diseño y de seguridad estructural, debido a la complejidad que involucra el diseño y la elaboración de la ingeniería para las estructuras que componen el TEO, por las características propias del proyecto (longitud del túnel, la profundidad del mismo, las características particulares del subsuelo, la sismicidad de la Ciudad de México, etc.), como la importancia que reviste la propia Ciudad de México y su Área Metropolitana, el diseño y la seguridad del revestimiento primario a base de dovelas representa el factor principal de estabilidad del túnel durante el proceso de construcción.

La revisión a detalle del comportamiento del suelo es fundamental para conocer las propiedades mecánicas e índice de los suelos, las condiciones hidrológicas a lo largo del trazo del túnel, esto permite obtener los diseños de dovelas optimizados, definiendo los elementos mecánicos a los que estará sometido el anillo.

2.4.1.- ANÁLISIS DEL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL

El soporte del túnel se construye en dos etapas: la primera consiste en la colocación de anillos de concreto compuesto de dovelas, inmediatamente después de excavar el túnel y la segunda etapa se construye un soporte de concreto colado en el sitio, con el empleo de cimbra deslizante.

Para la representación del proceso constructivo, así como para representar los cambios que provoca en las condiciones de trabajo de los revestimientos, se emplean modelos de elementos finitos evolutivos para el análisis estructural del revestimiento primario, se utiliza el método de rigideces.

Las etapas principales del análisis del proceso constructivo del túnel son las siguientes:

1. Determinación de los esfuerzos geoestáticos.
2. Construcción del revestimiento primario. Evaluación de los cambios en el estado de esfuerzos y deformaciones en el subsuelo, soporte del túnel durante su excavación y la colocación del revestimiento primario, incluyendo las variaciones de la presión de poro inducida durante el tuneleo, la disipación y determinación de las acciones mecánicas en el revestimiento.
3. Comportamiento durante la vida útil del revestimiento primario. Evaluación de los cambios en el estado de esfuerzos y deformaciones en el subsuelo, así como del soporte durante su vida útil.

Los cambios en los esfuerzos del subsuelo pueden deberse a tres factores:

- Los decrementos de la presión de poro que ocasionan la subsidencia regional o las variaciones de la presión de poro por suspensión de bombeo.
- La sobrecarga en superficie.
- Las descargas en superficie.

El diseño de las dovelas, implica el modelado del anillo de las dovelas como un anillo flexible, en las juntas longitudinales no se contempla algún elemento mecánico que impida el giro de la dovela.

Al diseñar un anillo flexible se considera que las juntas longitudinales actúen como articulaciones como una rigidez al giro, permiten un cierto giro de la junta, y transmiten momento flector debido a la excentricidad. A medida que el anillo se deforma y las juntas longitudinales giran, se introduce una excentricidad mayor en la transmisión de la fuerza axial en el anillo.

2.4.2.- DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS GEOESTÁTICOS

Los esfuerzos iniciales en el subsuelo se determinan con base al peso volumétrico del suelo, las mediciones de las presiones de poro en campo mediante piezómetros abiertos y electrónicos, estos casos para la condición más desfavorable. La Formula 1 muestra la expresión de cómo se puede evaluar el valor del coeficiente de reposo.

$$k_0 = \begin{cases} \frac{\nu^3}{1 - \nu^3} \\ (1 - \sin\phi^3) OCR \end{cases}$$

Formula 2.1: Teoría del medio continuo

Donde ν^3 es la relación de Poisson efectiva y ϕ^3 el ángulo de fricción interna efectivo.

En los estratos arcillosos lacustres, el valor de la relación de poisson fue de $\nu^3 = 0.5$ mientras que en los estratos arenosos (tobas), aglomerados y rocas se consideró que $0.3 < \nu^3 < 0.4$.

2.4.3.-TABLESTACADO

Debido a la Geometría propia de las lumbreras, su profundidad y propiedades del suelo en donde predominan valores de resistencia al esfuerzo cortante, se diseñaron obras de protección a los taludes del Gran Canal a base de tablestacas metálicas para cada lumbrera, con el fin de contrarrestar el riesgo de una falla en los taludes del cauce del Gran Canal.

Las condiciones geológicas y geotécnicas encontradas a partir de las exploraciones complementarias obligaron a que los trabajos de protección del Gran Canal fueran prioritarios y requisito indispensable para el inicio de la excavación de las lumbreras.

III.- DIFERENTES ESTRUCTURAS QUE INTEGRAN UN EMISOR

En este capítulo enunciaremos las estructuras indispensables que integran un emisor (caso de estudio Túnel Emisor Oriente), el TEO requiere estructuras muy importantes por tratarse de un proyecto que producirá grandes beneficios sociales. Esta construcción desalojará los caudales excedentes generados en épocas de lluvia y aguas residuales.

Mencionamos en el capítulo anterior, una descripción de emisor, el TEO tendrá su escurrimiento por gravedad, excepto en donde requiere de bombeo.

Los emisores por gravedad generalmente se conducen por ductos cerrados o por estructuras diseñadas especialmente cuando las condiciones del proyecto lo ameritan.

Al inicio de nuestro trabajo, mencionamos las estructuras principales del TEO que son: lumbreras, dovelas, túnel y portal de salida, pero en este capítulo enunciaremos su proceso constructivo en forma general y sus funciones principales.

El túnel se inicia en la segunda lumbrera del túnel Río de los Remedios, cuenta con una lumbrera 00 y no con un portal de entrada, sin embargo su portal de salida desembocará en el Río el Salto, cerca de la salida del TEC en estado de Hidalgo.

3.1.- PORTAL DE ENTRADA/ SALIDA

Como parte de los trabajos del TEO se realiza un portal de salida, se considera durante la construcción como estructura de montaje, para entrada y salida de equipo y materiales, se localiza en kilómetro 62, aproximadamente a 100 metros del portal de salida del TEC.

Las estructuras que integran el portal de salida son:

- Empotramiento
- Canal de descarga
- Plataforma de montaje

La función de cada una de las estructuras es:

Empotramiento: el emportalamiento refuerza la salida del túnel para evitar agrietamientos e inestabilidad local al inicio de la excavación con la máquina tuneladora (TBM).

Canal de descarga: el canal de descarga servirá para realizar el montaje de la TBM, para la instalación del tren de rezaga del material y para encauzar el efluente del TEO.

La plataforma de montaje sirve para soportar la grúa que ensambla la TBM, una vez armada se acerca la máquina hasta el emportalamiento.

Por el tipo de materiales que forman el subsuelo del sitio, el procedimiento constructivo del PS como se muestra en la Imagen 3.1, se planteó mediante excavación a cielo abierto con equipos mecánicos realizándose por etapas perfilando las paredes y conforme se realizó la excavación se cubrió con concreto lanzado con inclusión de fibras metálicas.



Imagen 3. 1 TBM en el portal de salida

Se consideraron la colocación de drenes cortos para controlar y evitar la generación de presión de poro entre las paredes de la excavación y la losa de concreto lanzado, la implementación de un sistema de bombeo para desalojar el agua de lluvia o producto de posibles filtraciones.

3.2.- LUMBRERAS

Las lumbreras son elementos estructurales auxiliares en la construcción de túneles, su construcción en el TEO son verticales, de forma circular y se construyen de arriba hacia abajo, su construcción varía por el tipo de características del suelo.

La construcción de las lumbreras varía de las características del suelo y de su tipo, los suelos se clasifican en general como blandos, duros y mixtos, según su tipo es su construcción, y según el tipo de suelo es el tipo de equipos a utilizar.

La construcción de lumbreras en roca, se pueden realizar de diferentes técnicas con ayuda de explosivos, por medios mecánicos o por combinación de explosivos y medios mecánicos. En el TEO no se utilizaron explosivos.

Se consideran lumbreras a las excavaciones con un diámetro mayor o igual de 6 metros, para una lumbrera con el diámetro menor requerido se utilizan máquinas llamadas contrapoceras, se pueden hacer de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba, una manera eficiente es la construcción de lumbreras con barrenado de arriba hacia abajo del Túnel.

Cuando se construyen lumbreras con diámetros mayores a 6 metros, se utilizan diferentes métodos convencionales, estos métodos se pueden combinar para facilitar la construcción.

Los revestimientos en la construcción de lumbreras dependen de diferentes factores estos son:

- Calidad del suelo
- Uso de lumbreras
- Nivel freático

Respecto al uso de lumbrera, los conductos a presión, pueden requerir concreto hidráulico, anclas y camisa de acero.

Para el revestimiento de lumbreras en suelos blandos se pueden utilizar los métodos:

- Excavación convencional combinada con colocación de anclas
- Concreto lanzado
- Concreto lanzado con drenes de alivio
- Combinación de los anteriores con explosivos

Para el revestimiento de lumbreras en suelos mixtos que están conformados por suelos blandos y duros se pueden utilizar los métodos:

- Pilas secantes
- Excavación convencional

Se pueden presentar dos tipos de falla en suelos blandos. La primera falla se llama de fondo, se presenta en levantamientos de fondo y la segunda falla es llamada por extrusión, las paredes de la lumbrera fluyen colapsando de esta manera la estructura.

3.2.1.- CRITERIO DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE LUMBRERAS

Para el proyecto geotécnico de lumbreras se debe considerar las propiedades índices y las propiedades mecánicas de los materiales en el lugar donde se construirá cada una de ellas.

En el diseño geotécnico de las lumbreras se debe determinar los siguientes conceptos:

- Diagrama de esfuerzos y empujes
- Análisis de la falla de fondo por cortante
- Revisión de flotación final de las lumbreras
- Revisión de la estabilidad de la zanja para el muro milán
- Análisis geotécnico de lumbrera utilizando métodos de los elementos finitos
- Análisis de estabilidad de talud, cercano a la lumbrera
- Procedimiento constructivo

3.2.2.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Los procesos constructivos de las lumbreras, se realiza con base a los diseños geotécnicos y al tipo de falla que se pueda presentar como se muestra en la Imagen 3.2.

La falla de fondo, se presenta en estructuras que están cerca de sobrepasar los 10 metros de profundidad y esto presenta levantamientos de fondo.

La falla de extrusión, se presenta cuando las paredes de las lumbreras fluyen colapsos (desplazamientos de talud), se presentan cuando la profundidad es mayor a 15 metros. Existen diferentes procesos constructivos para resolver la falla.

En los suelos blandos los procedimientos más comunes son: lumbrera flotada, muro milán y por anillos. Sin embargo en el caso de estudio del TEO los procedimientos de construcción de lumbreras se dividieron en tres grupos:

- MURO MILÁN EN TODA LA LONGITUD DE LA LUMBRERA. Lumbreras: L1A, L03 y L04
- PROCEDIMIENTO MIXTO: Muro Milán y muro convencional. Lumbreras: L05-L15, L18-21
- MURO CONVENCIONAL EN TODA LA LONGITUD. Lumbreras: L16, L17, L22-L24

Las etapas comúnmente utilizadas en la construcción de lumbreras son:

- Construcción de brocales

- Pantalla perimetral
- Brocales
- Excavación de núcleo
- Muro perimetral

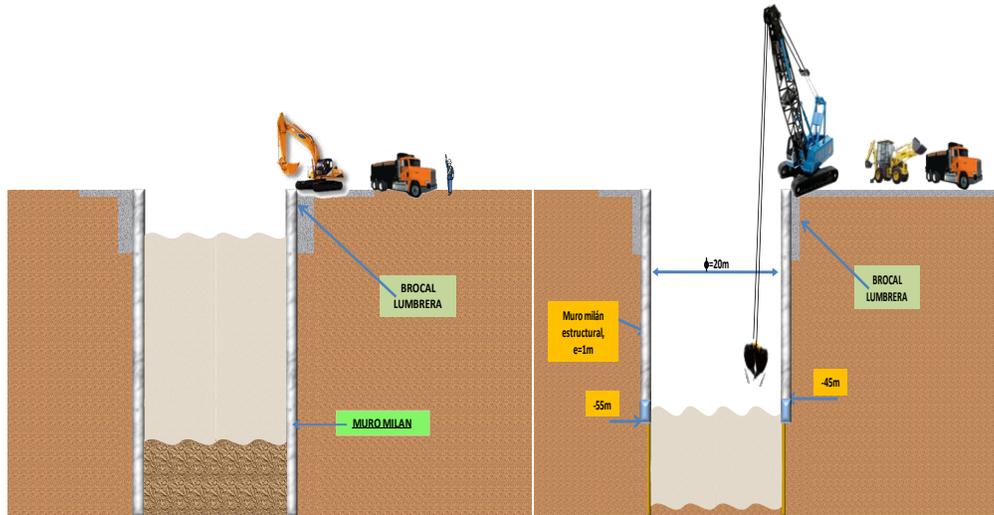


Imagen 3. 2 Procesos constructivos de lumbreras

3.2.2.1.- MURO MILÁN

La construcción de lumbreras con el método de muro milán como se muestra en la Imagen 3.3, se lleva a base de una pantalla perimetral que es construida con concreto reforzado, en cuanto se inicia con el excavado, se puede notar que se forma un muro en la lumbraera, posteriormente se liga con un brocal exterior definitivo.

Las pantallas perimetrales son conocidas como muro pantalla, consisten en el excavado con almeja y equipo guiado entre los brocales, se coloca un lodo bentonítico, esto ayuda a estabilizar las paredes de la excavación de la construcción de lumbreras.

En diferentes lumbreras en el TEO, se colocaron anillos de acero.

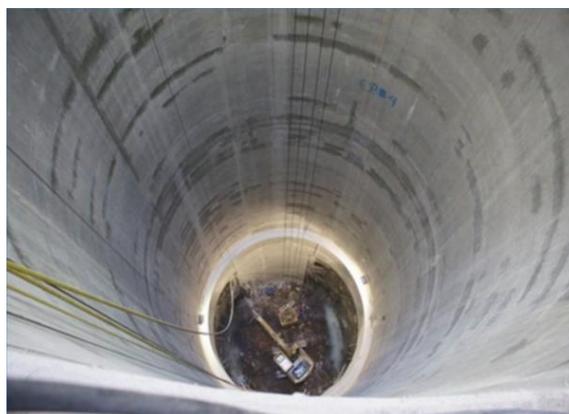


Imagen 3. 3 Construcción de lumbrera (Muro Milán)

3.2.2.2.- EXCAVACIÓN CONVENCIONAL

El procedimiento de construcción de lumbreras por excavación convencional como se muestra en la Imagen 3.4, se realiza excavando el núcleo y estabilizando con lodo bentonítico, se coloca el tanque de flotación, sobre el cual se construye la losa de fondo, conforme se sumerge el tanque, el lodo bentonítico se va extrayendo, posteriormente en etapas se realiza el colado del muro de la lumbrera hasta alcanzar la profundidad diseñada.



Imagen 3. 4 Construcción de lumbrera (Excavación Convencional)

3.2.2.3.- MURO MILÁN Y EXCAVACIÓN CONVENCIONAL

El procedimiento constructivo para lumbreras (veáse Imagen 3.5) por el método de muro milán y excavación convencional, sus procedimientos constructivos son

como anteriormente se describieron. El factor que interviene para construir de esta manera, es el tipo de suelo que existe en la zona donde se realiza el proyecto.



Imagen 3. 5 Construcción de lumbrera (Muro Milán y Excavación Convencional)

El procedimiento general que se emplea para la construcción de los tableros de muro milán es:

- Se realiza la excavación con equipo hidrofresa o hidroexcavadora de los tableros secundarios, hasta una profundidad requerida, se verifica esta excavación con sonda.
- Se realiza el desarenado del tablero con la hidrofresa, quiere decir que se cambia el lodo pesado con el que se trabaja principalmente y se coloca un lodo ligero, todo con la finalidad de obtener la densidad adecuada.
- Se debe verificar la verticalidad del tablero con un equipo especializado.
- Se coloca la inmersión del acero de refuerzo dentro del tablero lleno de lodo bentonítico ligero.
- Se inicia con la excavación del tablero secundario, el cual debe estar distante del tablero en donde se está realizando la maniobra de inmersión del acero de refuerzo.
- Ya terminado el colocado del acero de refuerzo dentro de la excavación, se inicia con el colocado de tubería.
- Se realiza el colado del tablero.
- Se realizan posteriormente en cada tipo de tablero hasta terminar la construcción.

Las lumbreras de montaje y desmontaje de equipos, cuentan con un diámetro mayor que el de las lumbreras de operación y mantenimiento, como desde el principio de nuestro trabajo lo hemos repetido las lumbreras de montaje cuentan con un diámetro de 16 metros, y las lumbreras de operación y mantenimiento tienen un diámetro de 12 metros. Las lumbreras son estructuras que ayudan a

mantener ventilado el túnel durante y después de la construcción, pueden funcionar como respiraderos al concluir la construcción de la obra.

3.2.3.- EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERAS

La hidrofresa es una máquina pesada de excavación continua, su operación es muy similar a una perforadora de circulación inversa, sus partes están montadas en una estructura en forma de armadura. En la parte inferior se localizan los cuatro grandes discos verticales de corte montados en dos ejes horizontales paralelos, los de un lado giran en sentido directo y los del lado contrario giran en sentido inverso.

Dentro de este equipo se localiza una bomba centrífuga, es la que succiona el lodo de la parte inferior de la zanja y el material cortado.

La hidrofresa es una máquina que corta todo tipo de suelos, blandos, duros, y roca, se alcanzan hasta 120 metros de profundidad.

La Imagen 3.6 muestra una hidrofresa, equipo particularmente útil para la construcción de Muros Milán a grandes profundidades, en el TEO para algunas lumbreras como L-18, L-19 y L-20.

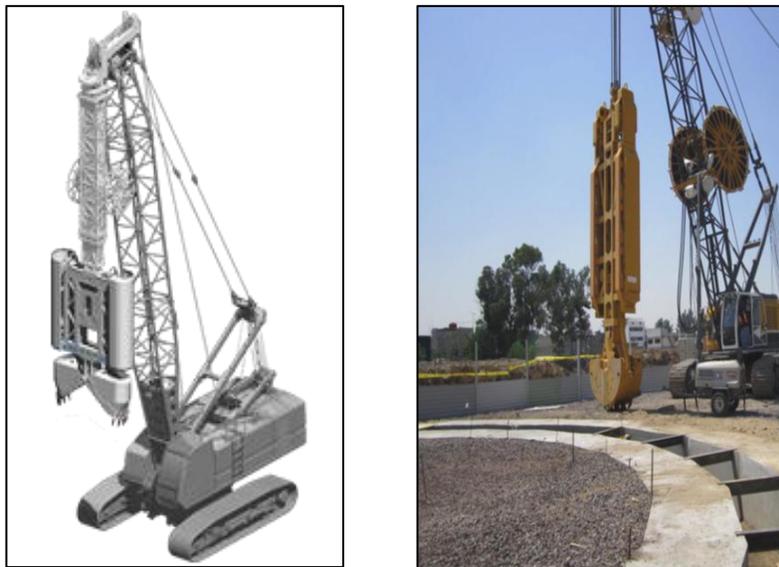


Imagen 3. 6 Hidrofresa

El fabricante de la hidrofresa (BAUER) especifica la ficha técnica del equipo, cuenta con un desviación máxima permisible de 0.3%, es un valor teórico y se ajusta a las condiciones reales del terreno, se debe cumplir la normativa y reglamentos aplicables al proyecto.

3.3.- DOVELAS (REVESTIMIENTO PRIMARIO)

El túnel se conformará por dos capas de revestimiento, la primera “Revestimiento Primario”, formada por dovelas de concreto, y la segunda “Revestimiento Definitivo” en este subcapítulo hablaremos sobre el proceso constructivo de las dovelas de concreto.

El TEO está abastecida por tres plantas productoras, las cuales se encargan de la fabricación de dovelas, las plantas productoras son: Ecatepec, Zumpango y Huehuetoca ubicadas en el Estado de México.

Una dovela (véase Imagen 3.7) tiene un peso total de 5 toneladas, su producción se lleva entre 6 y 8 horas y por lo regular se cuenta con un acabado casi perfecto, son pocas las dovelas que en su término tienen imperfecciones o se golpean en su manejo (si es el caso de que una dovela se encuentre desportillada, se le hacen los resanes necesarios) ya terminadas las dovelas se hacen 4 pruebas de resistencia que se realizan al momento que salen de la cámara de curado, a los tres días, a los siete días y a los 28 días, por lo regular a los 3 días las dovelas alcanzan una resistencia máxima de 350 kg/cm^2 .



Imagen 3. 7 Revestimiento primario (Dovela)

Debido a las diferentes condiciones geotécnicas e hidráulicas que se presentan en el sitio, se planteó tener dos tipos de geometrías de revestimiento primario a lo largo del trazo TEO.

Para los tramos I y II: anillo dividido en seis dovelas más una dovela de cierre en total son 7 piezas

Para los tramos III a IV: anillo dividido en siete dovelas más una dovela de cierre en total son 8 piezas.

Ambos anillos mostrados en la Imagen 3.8.

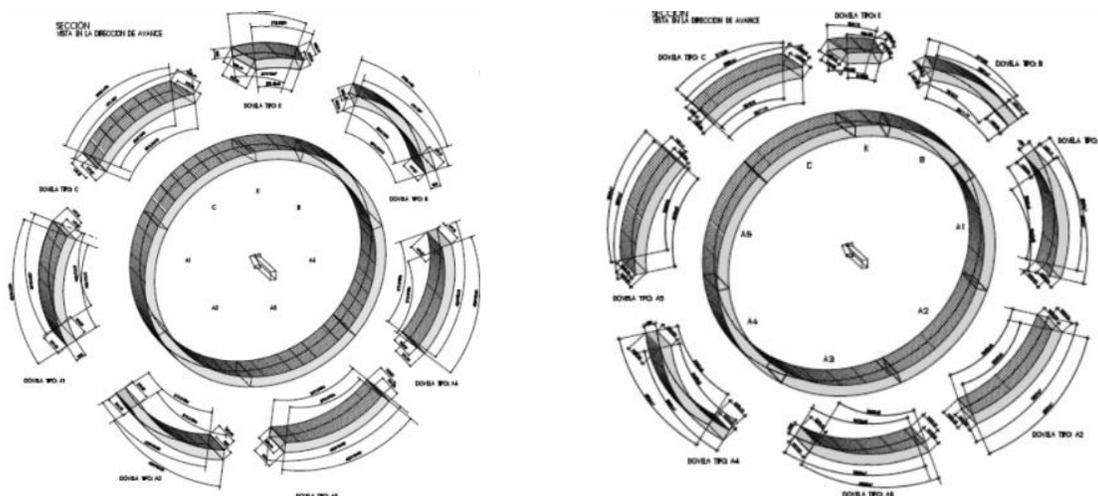


Imagen 3. 8 Anillo de 7 dovelas, anillo de 8 dovelas

3.3.1.-CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL REVESTIMIENTO PRIMARIO

Los criterios en el revestimiento primario del TEO, buscan la combinación óptima de flexibilidad y rigidez, dado por que en la construcción del túnel se producen abatimientos del nivel freático por el incremento de los esfuerzos efectivos en la masa de suelo y esto provoca asentamientos. El revestimiento primario debe soportar adicionalmente presiones hidrostáticas.

El soporte primario, debe garantizar la seguridad para el personal y de la misma manera estabilizar la cavidad. Debe ser integrado con elementos de refuerzo mecánicos o algún tipo de mejora como pueden ser pernos metálicos, vidrio, resinas, inyecciones, etc. se pueden ocupar diferentes métodos para que el revestimiento soporte las cargas diseñadas.

3.3.2.- FABRICACIÓN DE DOVELAS

El proceso de fabricación es uno de los procesos constructivos más importantes, ya que su calidad debe de ser la indicada para que la construcción del túnel pueda soportar los esfuerzos y presiones para las cuales se diseñaron las dovelas como se muestra en la Imagen 3.9.



Imagen 3. 9 Fabricación de dovelas

La fabricación de dovelas en cada planta corresponde a que se cuenta con 4 líneas de vías paralelas con capacidad de 6 juegos de moldes, con un total de 42 moldes para dovelas de 35 cm de espesor.

La cámara de curado cuenta con una capacidad de 30 moldes, 5 se encuentran fuera de la cámara de curado para el reposo y 7 en la línea de producción.

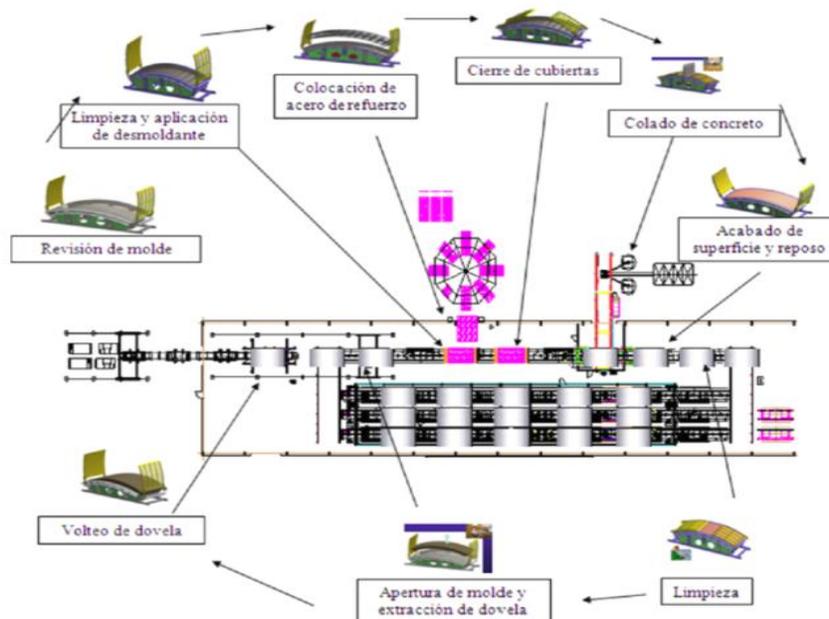


Imagen 3. 10 Procedimiento constructivo para la fabricación de dovelas

La Imagen 3.10 muestra las actividades que se realizan en la línea de producción, son:

- Limpieza y aplicación de desmoldante: el proceso de fabricación de cada una de las dovelas inicia con la limpieza y aplicación desmoldante al molde

metálico, esto con la finalidad de evitar la adherencia de concreto al molde, de igual forma para evitar imperfecciones en el acabado de la dovela. La limpieza del molde se ejecuta con espátulas, cardas, cepillos de alambre y a presión de aire. La aplicación del desmoldante es con un espesor a razón de 140 ml/m² de superficie de contacto.

- Colocación de parrilla de acero, accesorios e insertos: la parrilla de acero se coloca dentro del molde, se utiliza una parrilla de concreto de acero de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. La densidad del acero para las dovelas de espesor de 35 cm, es de 94.5 kg/m^3 empleando acero del número 3 y 4. La parrilla de acero se asegura mediante separadores de plástico, se colocan los insertos del diseñador.
- Bancos de materiales: para el concreto que utilizaremos, se debe definir los bancos de agregados de grava y arena a utilizar para el cumplimiento de las especificaciones de las dovelas. Se utilizan diferentes bancos de materiales.
- Colocación de concreto: el colado de concreto se realiza dentro del cuarto habilitado, se cuenta con controles para el suministro de concreto y su vaciado sobre el molde. El vibrado del concreto se realiza con el apoyo de vibradores de pared que vienen integrados al molde y funcionan a base de aire comprimido.

Para la elaboración de las dovelas se utiliza Cemento Portland Ordinario (CPO) de diferentes resistencias, el Cemento Portland Compuesto (CPC) cuenta con un buen cuidado del medio ambiente y un buen desempeño, es un tipo de cemento no recomendable en los elementos prefabricados, debido a las variaciones en el fraguado.

En el interior del cuarto de colado se cuenta con un tablero en el que aparecen las temperaturas, se realiza a través de válvulas termostáticas que permiten controlar el flujo de vapor.

- Acabado: al término del colado de concreto de la dovela, se le da un acabado a la pieza. Se engrasa el molde con el apoyo de lanas metálicas y de madera, posteriormente se realiza una limpieza antes de entrar a la cámara de curado.

Los tiempos del curado inicial son 70 minutos, el incremento de temperatura tiene un tiempo de 84 minutos, se sostiene la temperatura en 252 minutos, y se empieza a disminuir la temperatura 84 minutos, dándonos un tiempo total de 490 minutos.

- Desmolde y desalojo de dovelas: el desmolde se realiza mediante un sistema de succión, se realizan los trabajos después de que cada pieza alcanza una resistencia de 130 kg/cm^2 , se descansan las dovelas sobre la mesa de giro para finalmente enviarlas al patio de pre-almacén.

3.3.3.- ALMACENAMIENTO

Se requiere de un sitio adecuado para el almacenaje en obra de las dovelas prefabricadas, las cuales constituyen el revestimiento primario, el almacenaje se puede hacer en dos sitios principalmente, en el patio de planta de dovelas y en el patio de lumbrera correspondiente.

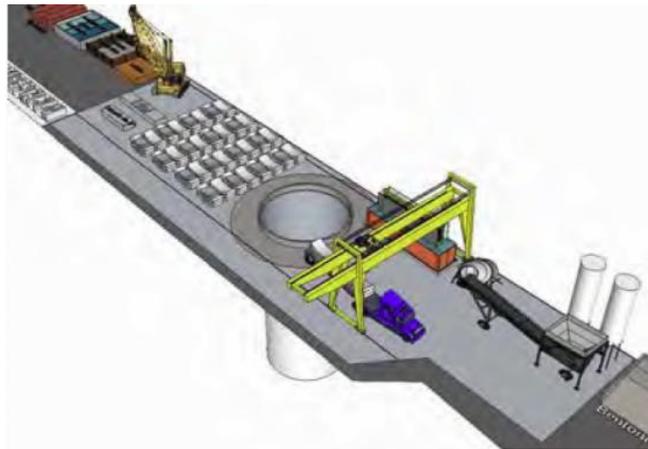


Imagen 3. 11 Instalaciones en superficie

El almacenaje de las dovelas se debe realizar de la forma que se puedan mover las dovelas o anillos eficientemente y que se cuente con un fácil acceso para la grúa del sistema de manto como lo muestra la Imagen 3.11.

3.3.3.1.- ALMACENAMIENTO EN PLANTA DE DOVELAS

Las dimensiones del patio de planta de dovelas, están regidas por el área disponible y por la planta correspondiente.

Las dovelas se colocan sobre polines anclados al firme del patio para que su peso no se concentre en un solo punto provocando asentamientos. Al estibar una dovela sobre otra deben colocarse polines intermedio, siguiendo las líneas de los inmediatos inferiores.

La Imagen 3.12 muestra el Manto que se realiza generalmente por una grúa pórtico.



Imagen 3. 12 Grúa Pórtico en operación en el patio de planta de dovelas.

3.3.3.2.- ALMACENAMIENTO EN LAS INSTALACIONES DEL TÚNEL

El almacenamiento en las instalaciones de las lumbreras, es similar a donde se almacenan en el patio de planta de dovelas, solo con la diferencia que en la lumbrera correspondiente donde se almacenan, se utiliza una grúa pórtico para descender por la lumbrera hasta el interior del túnel las piezas que conformarán un anillo.

3.3.4.- TRANSPORTE DE DOVELAS AL SITIO DE COLOCACIÓN

El transporte de las dovelas, se realiza del sitio de fabricación (planta de dovelas) y se lleva hasta la lumbrera que requiere los prefabricados (dovelas) para la construcción del túnel. Se requiere de camiones para realizar el transporte como es mostrado en Imagen 3.13.



Imagen 3. 13 Transporte de dovelas

Se utiliza una grúa pórtico para suministrar las dovelas al túnel, de igual forma la grúa baja todos los materiales indispensables para la excavación, como rieles, tubos y el equipo que se requiera en el interior del túnel.

La grúa pórtico en la Imagen 3.14, se puede sustituir por una motogrúa, que podrá realizar las funciones y se encargará de la rezaga de los cárcamos.

El tipo de grúa que se utilice para realizar el transporte de las dovelas a su sitio de colocación, se debe contar con la capacidad suficiente para manejar los materiales o equipos de mayor peso que deban suministrarse durante la excavación del túnel.



Imagen 3. 14 Grúa Pórtico, con las piezas correspondientes a un anillo

Las locomotoras (Imagen 3.15), dentro del túnel son parte fundamental para que las dovelas lleguen al sitio de colocación. Son las encargadas de transportar los materiales como el equipo que será utilizado en el frente excavación. Pueden ser eléctricas o que utilicen diésel con capacidad de tracción mayor a 25 toneladas.



Imagen 3. 15 Locomotora utilizada para llevar al sitio de colocación las dovelas correspondientes a un anillo

Es importante cumplir con la capacitación y los requerimientos necesarios para transportar las dovelas al sitio requerido, ya que cada dovela cuenta con un peso de 5 toneladas, y las dovelas de cierre cuentan con un peso de 2 toneladas. Se tiene prohibido el paso al personal de trabajo y personas ajenas por debajo de las maniobras de cualquier tipo de grúa para evitar un accidente.

3.3.5.- COLOCACIÓN DE DOVELAS

La colocación de dovelas se realiza por medio de la tuneladora, la cual dispone de un sistema erector de dovelas con el fin de poder construir los anillos de revestimiento bajo la protección del escudo como se muestra en Imagen 3.16.



Imagen 3. 16 Gatos hidráulicos empujando la cabeza de la tuneladora, apoyados en el último anillo de dovelas

Posterior del colocado de las dovelas, formando los anillos para darle soporte al túnel, la tuneladora está equipada de un sistema de inyección, integrado en la estructura del escudo, permite rellenar con mortero el espacio existente entre las dovelas y el terreno.

3.3.5.1.- ANILLO ERECTOR (COLOCADOR DE DOVELAS)

Para el ensamble de los anillos de dovelas que forman el túnel, el equipo cuenta con un mecanismo hidráulico denominado anillo erector (véase Imagen 3.17) o colocador de dovela, con el cual se forman los anillos del revestimiento primario, este sistema realiza tres movimientos para el proceso de endovelado de los anillos los cuales son:

- Recorrido: el anillo erector se puede desplazar sobre el eje del túnel una longitud de 2000 mm, para recorrer las dovelas de la plataforma de suministro y llevarlas a la zona de su colocación el sistema de agarre es a base de vacío.

- Rotación: se puede realizar el movimiento de giro los 360 grados en ambos sentidos para colocación de las dovelas en su posición y la velocidad de rotación es de 0 a 2 giros por minuto.
- Radial: con este movimiento se pueden ensamblar las dovelas en su posición definitiva.



Imagen 3. 17 Colocación de dovelas con el anillo erector

Sistema de rezaga: el desalojo del material producto de la excavación del interior del túnel hasta la superficie es a base de bombeo y el sistema de rezaga está compuesto por los siguientes elementos:

- Tolva receptora: se localiza al final y abajo del tornillo sin fin y recibe el material del tornillo y se encuentra conectada a las bombas de pistones.
- Bomba de pistones: se cuenta con dos bombas de pistones de 8" de diámetro las cuales reciben el material de la tolva receptora y lo bombean hacia la superficie a través de la tubería de rezaga.
- Tubería de rezaga: conforme se avanza en la excavación del túnel se instala una línea de tubería de acero de 10" de diámetro, por lo cual se transporta el material producto de la excavación hasta la superficie, esta tubería es colocada a lo largo del túnel en segmentos de 6.10 metros de longitud de acuerdo al avance de excavación.

Equipo complementario: está compuesto de 5 remolques o carros en la parte posterior del equipo EPB y con 85 metros de longitud, en los cuales se encuentran instalados tableros de control, equipos eléctricos (como son bombas, transformadores, tableros eléctricos etc.), instalaciones hidráulicas y la cabina de control, desde donde se manejan y controlan los sistemas operativos del equipo,

así mismo, se localizan todos los sistemas de almacenamiento de información (Software), registros de los datos de operación y control requerido para el correcto funcionamiento de la TBM como se muestra en Imagen 3.18.



Imagen 3. 18 Interior del equipo

3.3.5.2.- FORMACIÓN DE ANILLOS

Los anillos de dovelas son elementos estructurales formados geoméricamente, en su conjunto forman el anillo circular requerido en el proyecto ejecutivo.

Cada anillo como se muestra en Imagen 3.19, tiene un ancho de 1.50, y está formado por 7 u 8 dovelas, depende el tramo de construcción.

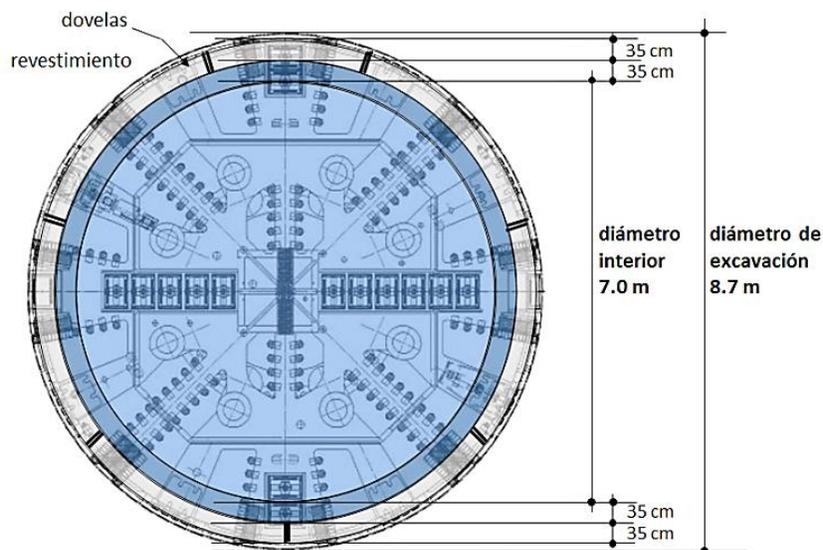


Imagen 3. 19 Dimensiones del revestimiento primario

Se va colocando dovela por dovela hasta formar un anillo y así sucesivamente formando los anillos.

La inyección del espacio que queda entre las dovelas y el terreno tiene como objeto controlar la subsidencia producida por la descomposición del terreno, durante la excavación se busca prevenir la subsidencia adicional que pueda producirse por sobre excavaciones o por diferentes situaciones. La inyección busca garantizar la impermeabilización del túnel.

3.3.6.- RESANES Y /O REPARACIONES DE DOVELAS PREFABRICADAS CON CURADO A VAPOR O NORMAL

El objetivo de las reparaciones correspondientes a las dovelas prefabricadas es que se asegure que se cumpla con los requisitos técnicos y de calidad de acuerdo a lo establecido en las especificaciones correspondientes del túnel.

Estos requerimientos son necesarios, debido a que tiene un alcance aplicado a la reparación de elementos prefabricados (Dovelas), provocadas durante el proceso de construcción y atribuibles a los efectos del desmolde, maniobras de transporte, almacenaje de estas mismas, presencia de fisuras, anomalías en el área de accesorios y/o por perforaciones ocasionadas por extracción de núcleos.

El término de reparación es importante para saber de qué estamos hablando en este subcapítulo, por lo cual la definición de reparación en la construcción es: acción de reemplazar o corregir material, componentes o elementos deteriorados como se muestra en Imagen 3.20, dañados o fallados de una estructura de concreto endurecidos, para cumplir con los requisitos técnicos y de calidad indicados en las especificaciones de construcción del proyecto.



Imagen 3. 20 Personal reparando el revestimiento

Es importante la descripción del procedimiento para tener una buena calidad. Para los trabajos a realizar, el personal debe estar capacitado en la aplicación de los procedimientos a seguir.

3.3.6.1.- REPARACIONES PARA OQUEDADES, DESPRENDIMIENTOS, DESPORTILLAMIENTOS, FUGAS DE LECHADAS O MORTERO Y APANALAMIENTOS.

En las zonas por reparar, es necesario preparar la superficie defectuosa mediante equipos manuales como marro y cinceles, y/o equipos mecánicos como martillos eléctricos o neumáticos menores, retirando todo el concreto suelto hasta encontrar concreto firme dejando los bordes rectos y perpendiculares al paño interior de la pieza, formando de esta manera una caja.

Si existe acero en el área a reparar, es imposible realizar la remoción del concreto adherido al acero de refuerzo dejando libre aproximadamente como mínimo una vez y media, el diámetro de la varilla y como máximo 5 cm. Según sea el caso, esto para garantizar la adherencia en dicha zona.

Una vez realizada la caja para la reparación, se llevará a cabo la limpieza, esta se podrá con los siguientes métodos: sopleteando con aire a presión, chorro a presión de agua o con cepillo de alambre, independiente del método utilizado, se deberá asegurar la eliminación de cualquier material suelto y/o polvo.

Se deberá de pre humedecer el área a reparar con agua hasta obtener una superficie seca saturada. No dejar agua estancada en la superficie. La preparación y la limpieza es extremadamente importante para mejorar la adherencia de las dovelas.

Una vez pre humedecida la zona, se procederá a la colocación de un grout (en la construcción y en el túnel se le denomina como producto cementicio y se puede utilizar en diferentes consistencias, desde líquida hasta semiseca), la cual se fabrica in situ, con la consistencia adecuada la cual pueda ser manejable y de fácil colocación de acuerdo a su ficha técnica correspondiente.

Para los huecos dejados por núcleos extraídos, se debe retirar todo el material suelto y posterior a aplicar un adhesivo para unir el concreto endurecido con el concreto fresco, rellenando el vacío.

Se realiza la terminación con el acabado equivalente en la dovela.

3.3.6.1.1- REPARACIÓN A BASE DE CONCRETO

Para la aplicación de este método se pueden utilizar, los mismos materiales y diseños de mezclas del concreto original o diseños con resistencia mayor.

En algunos caso y solo si es requerido se debe utilizar cimbras herméticas en sus perímetros y juntas. La colocación del concreto fresco se puede realizar por medio de vibrado o del modo de varillado (generando penetraciones con la ayuda de una varilla).

Para minimizar las contracciones por secado se utilizará una membrana de curado la cual se aplica de acuerdo a las indicaciones del proveedor. Es importante para la calidad que el curado empiece inmediatamente después del fraguado inicial para evitar la pérdida de humedad, situación fácilmente detectable porque la superficie pierde brillo.

Es importante saber que en oquedades o desportillamientos menores de 1 cm no amerita reparación.

Para recuperar la ubicación de la preparación del inserto se utiliza una plantilla universal con la preparación de la entrada que contiene la ubicación del accesorio de acuerdo a la posición del molde. Con base a la plantilla, después de hacer la demolición en forma de cono invertido, posteriormente se realiza limpieza y pre humedecimiento de la zona y se aplica el grout.

Para recuperar la ubicación del área del perno, se utiliza una plantilla universal como guía para la perforación del mismo por medio de herramienta manual o herramienta mecánica o en forma conjunta que permite el paso del tornillo de ensamble.

3.3.6.1.2.-REPARACIÓN DE FISURAS

Es importante saber que las fisuras se categorizan mediante el levantamiento de los anchos de fisuras. Las fisuras que se pueden inyectar, son aquellas con un ancho mayor a 0.41mm. Las fisuras menores no requieren reparación.

Para cualquier reparación como se mencionó al principio del tema la superficie debe estar sana y limpia. Se prepara la superficie limpiándola con ayuda de un cepillo o con un chorro de agua a presión.

Cuando se determina que es necesario el inyectar una fisura, se prepara una resina epóxica de baja viscosidad, con alta fluidez, penetración y además con una alta resistencia. Se colocan boquillas, la cual se sellan en su contorno con un adhesivo en capas de 2 a 3 mm de espesor y un ancho de 3 a 4 cm sobre la

fisura, todos estos requerimientos se realizan para asegurar que no existan poros en toda la longitud de la fisura.

En las partes horizontales el relleno de grietas es por gravedad ranurando sobre el contorno de la grieta en forma de V y se vierte lentamente la resina sobre la grieta hasta rellenar completamente, o según la ficha técnica de la dovela. Se puede verificar en el primer anillo inyectando la penetración del producto mediante extracción de núcleos.

Cuando se determina que es necesario inyectar en estructuras verticales o inclinadas, la inyección de fisuras debe ser efectuada a presión, se realiza instalando boquillas a cada 30 cm.

La inyección se inicia desde la parte más baja, continuando con la siguiente boquilla hasta concluir la actividad en la parte más alta e ir tapando inmediatamente las boquillas que se van inyectando una vez que ha salido la resina por estas otras. Se puede inyectar la resina hasta saturar la fisura o que la resina aparezca en la siguiente boquilla.

Al término del endurecimiento de la resina, se debe retirar los dispositivos que se utilizan para la inyección.

Se describen los procedimientos necesarios de los tipos de resanes porque es una de las partes más importantes el revestimiento primario, en situaciones, se llegan a golpear o dañar las dovelas ya colocadas, y es muy complicado cumplir con los estándares de calidad si no se pueden cambiar totalmente, por esa situación con un resane adecuado se puede alcanzar la calidad requerida, siempre y cuando no se utilicen materiales de menor resistencia que los que se utilizaron en la construcción del prefabricado.

3.3.7.- JUNTAS DE UNIÓN

Las juntas longitudinales como se muestra en Imagen 3.21, actúan como articulaciones con una rigidez al giro, es decir permiten un cierto giro de la junta, pero también transmiten momento flector debido a la excentricidad. A medida que el anillo se deforma y las juntas longitudinales giran, se introduce una excentricidad mayor en la transmisión de la fuerza axial (N) en el anillo. De esta manera con el aumento del giro, o lo que es lo mismo, con el aumento de la excentricidad, se aumenta el momento transmitido, pero se reduce la superficie de contacto para la transmisión de la fuerza axial.

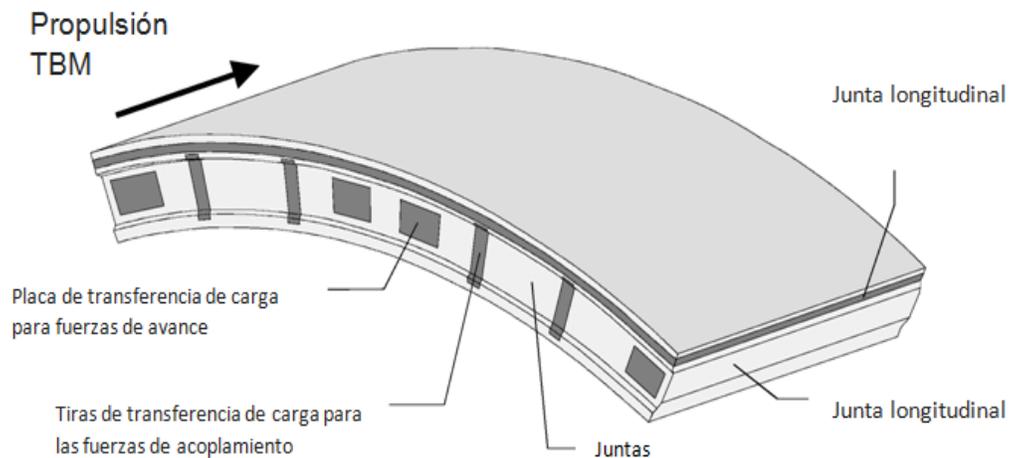


Imagen 3. 21 Juntas ubicadas en las dovelas

El giro y el momento flector que transmite la junta es función de la geometría de la junta, de la rigidez del concreto y también de los elementos mecánicos actuantes

3.3.7.1.- JUNTAS DE SELLADO PARA SEGMENTOS DEL TÚNEL

Junta DV 6

Las juntas son ensayadas, sometidas a presión de agua, para comprobar el grado de sellado de las mismas.

Se realizan pruebas con diferentes medidas de desviación para determinar su efectividad.

Para cada medida de desviación se realizan la prueba de estanqueidad teniendo en cuenta las diferentes medidas de gap.

Para cada fase de ensayo (desviación y gap) las juntas son sometidas a presión de agua en fases hasta que se produzca la fuga o se alcance la presión máxima.

La Imagen 3.22 muestra las dovelas con sus respectivas juntas, estas se encuentran en el sitio de almacenamiento.



Imagen 3. 22 Dovelas colocadas en el sitio de almacenamiento

3.4.- TÚNEL

Para la construcción del Túnel Emisor Oriente, definimos los trabajos preliminares a la excavación del túnel en zona de lumbrera.

Previo al inicio de la excavación del túnel, se realiza la instalación de equipamientos como son, fosas, cisternas, trincheras e instalación de planta, tubería, cableado eléctrico, suministro, colocación e instalación de anillos de atraque y equipo de manteo, pruebas de funcionamiento del escudo, demolición del muro para la salida del escudo, suministro e instalación de elevador de personal, suministro, habilitado y colocación de barandal para lumbrera, construcción de línea de agua potable.

Para la elaboración del túnel es necesario que se realice la construcción de una galería de montaje, para que se realice el armado de las maquinas tuneladoras, debido a la propia geometría de las maquinas así como la profundidad de las lumbreras.

El escudo avanza hacia el frente de excavación mediante el empuje de cilindros hidráulicos (gatos hidráulicos) acoplados a una base. La dovela es tomada por el brazo erector procediendo con la colocación de la dovela en el sitio correspondiente. Se repite la misma secuencia descrita hasta colocar las dovelas tipo "A" en la cubeta del escudo, las dovelas tangenciales y la cuña en la clave del escudo.

Para el producto de rezaga del material excavado, se emplean en el túnel los métodos tanto de bombeo a través de tuberías, como por medio de bandas transportadoras, de acuerdo a una distribución que es la siguiente:

Para el tramo de la lumbrera L-00 a la L-3A: se utiliza el método por bombeo a través de tuberías, debido al tipo de material (arcilloso) que puede manejarse como un fluido viscoso.

Para el tramo de la lumbrera L-3A a la L-05; se utiliza el método de Banda Horizontal y Bombeo vertical.

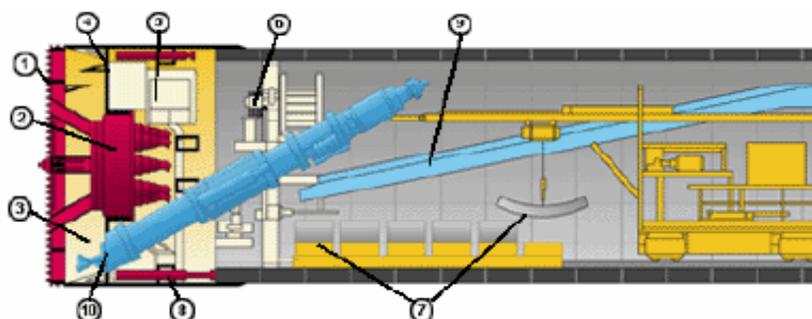
Para el tramo de la lumbrera L-05 a la L-10; se utiliza el método de Bombeo.

Para el resto del trazo de la lumbrera L-10 al portal de salida; se utiliza el método de Bandas transportadoras, como son las horizontales como verticales.

3.4.1.- EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL

EL Túnel Emisor Oriente dispone de una ingeniería básica, con información de los estudios realizados se fabrican las TBM, simultáneamente se complementa la exploración y se realiza el proyecto ejecutivo.

Para la excavación del Túnel Emisor Oriente se utilizan 6 tuneladoras del tipo EPB (Earth Pressure Balanced), estratégicamente instaladas en seis frentes de trabajos. Tres máquinas son de la firma Alemana (Herrenknecht) y tres máquinas son de la firma Japonessa-Estadounidense (Robbins-Mitsubishi).



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

Imagen 3. 23 Esquema básico de un escudo EPB, obtenida por el informe de la jornada técnica de túneles en México presentada por COMISSA

Los tramos 1, 2 y 6 son excavados con tuneladoras marca Herrenknecht con un diámetro de excavación de 8.74 metros.

Los tramos 3, 4 y 5 son excavados con tuneladoras marca Robbins con un diámetro de excavación de 8.93 metros.

La descripción del equipo excavador es importante en este capítulo y se muestra en la Imagen 3.23, debido a que es uno de los factores principales para la construcción del túnel, sin este equipo no sería posible realizar este tipo de construcción, en el tiempo señalado.

3.4.1.1.-COMPONENTES DEL ESCUDO EPB

La excavación del túnel se realiza utilizando un equipo excavador TBM de frente presurizado del tipo de tierra balanceada (EPB) de 8.74 metros de diámetro exterior y 9.0 metros de longitud, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

Coraza: se puede describir como un cilindro metálico de 9 metros de longitud, 8.74 metros de diámetro y 15 cm de espesor dentro de la cual se encuentran todos los componentes principales del equipo que a continuación se describen:

a).- Transmisión principal; está compuesta por un sistema hidráulico y mecánico que al activarse con los motores eléctricos (10 motores de 160kw cada uno), acciona una serie de engranes, cremalleras y la flecha y ejerce el toque suficiente para hacer girar la cabeza de corte localizada en el frente del equipo, con movimiento de giro de ambas direcciones a una velocidad de 0 a 3 revoluciones por minuto.

b).-Cabeza cortadora: se localiza en frente de la maquina tuneladora, está formada por un disco metálico o cabeza de 8.74 m de diámetro, con movimiento de giro en ambas direcciones a una velocidad de 0 a 3 revoluciones por minuto, está equipada en el frente con herramientas para el corte del material y cuenta con una serie de ventanas por donde se introduce el material producto del corte a la cámara de presurización.

c).- Cámara de presurización; se localiza entre la cabeza de corte y la mampara metálica, en esta cámara se mantiene la presión necesaria equilibrada con la del terreno, esta presión es monitoreada y ajustada continuamente de manera automática por una serie de sensores instalados en el equipo.

d).- Tornillo sinfín; la extracción del material excavado se realiza mediante un tornillo de Arquímedes o tornillo sinfín para conservar sin variaciones la presión en el frente de excavación de la maquina el cual se localiza desde la cámara hasta la tolva receptora y las bombas de pistones.

e).- Motores eléctricos; el equipo excavador cuenta con 10 motores eléctricos con una potencia de 160 kW cada uno, los que producen la fuerza suficiente para el accionamiento de la transmisión principal que hacen girar la cabeza de corte y el tornillo sinfín.

f).- Sistema de gatos de empuje: el equipo cuenta con un sistema de empuje constituido por 13 pares de gatos hidráulicos de una capacidad de 280 toneladas cada uno y una potencia nominal de 7300 toneladas, para realizar el avance del equipo de la coraza con una longitud de carrera de 2300mm, los cuales empujan la maquina tuneladora hacia adelante apoyados en los anillos de dovelas colocados con anterioridad.

3.4.1.2.- PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

El procedimiento de ensamble de la TBM (Escudo), cuenta con una serie de procedimientos a seguir los cuales son:

- Trabajos de soldadura:
 - Previo al montaje del faldón de cola se debe realizar la instalación eléctrica y de equipos de soldadura entre otros, solicitados por el fabricante.
 - Posterior se realiza el montaje de las 3 piezas que conforman el faldón de la cola, se montan sobre la base previamente construida para las maniobras.
 - Es necesaria la nivelación del faldón de la cola mediante topografía.
 - Una vez realizada la nivelación, se colocan puntales de 2” y 4 “a la parte interna del faldón de cola, para evitar desplazamientos al momento de aplicar la soldadura.
 - Se construyen andamios a base de varillas en la superficie exterior e interior de las 3 uniones principales.
 - Se fija el suelo por medio de anclajes posterior de colocar la lona de alta calidad.
 - Seguido de los trabajos de soldadura se limpian las superficies de la rueda de corte por medio de un equipo.
- Ensamble de Carros:
 - Con ayuda de una grúa se acomodan en el área de trabajo las cuatro secciones del primer carro, se apoyan en durmientes.
 - Se ensamblan las dos primeras partes y posterior se colocan los dos segmentos restantes para su ensamble, uniéndolos con tornillería designada para estos trabajos.
 - Ensamblada totalmente la estructura del primer carro, se levanta con la grúa para habilitar una estructura en el frente y otra en la parte trasera sobre la que se apoyaran las ruedas del último carro.

- Colocadas las ruedas se pone sobre las vías previamente instaladas en el área de ensamble y se tira del carro 1 hasta dejar espacio para ensamblar el carro 2.
- Se aprieta toda la tornillería mediante una llave dinamométrica dando el torque especificado en planos.
- Se realizan las mismas actividades con los carros restantes
- Montaje del escudo como se muestra en Imagen 3.24.
 - Como primer paso, sobre la cuna se colocara el segmento inferior por medio de la grúa estructural, revisando que se encuentre nivelado y apoyado de forma correcta sobre las secciones cuadradas montadas previamente en los perfiles embebidos en la cuna de concreto.
 - Se procede a la colocación de los segmentos izquierda y derecha, de la forma independiente, sobre el segmento inferior.
 - Para realizar el acoplamiento mecánico de los segmentos previamente montados se utiliza la tornillería respectiva provista por el fabricante, la cual es apretada a con pistola de aire y no con la llave dinamométrica, ya que esto se hará hasta tener los cuatro segmentos del escudo totalmente conformados y ensamblados

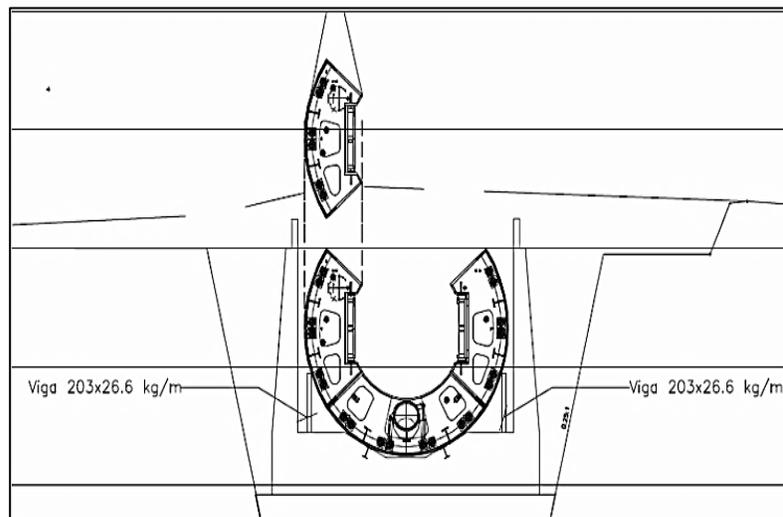


Imagen 3. 24 Montaje del escudo en el sitio del portal de salida

- Se colocan las juntas de accionamiento principal al frente del escudo.
- Se coloca el acondicionamiento principal y se monta en los segmentos del escudo previamente ensamblados.
- Se monta el accionamiento principal como se muestra en la Imagen 3.25, sobre las bases de arrastre ubicadas en el segmento inferior que sirven para el empuje y ensamble del mismo cuerpo del escudo.

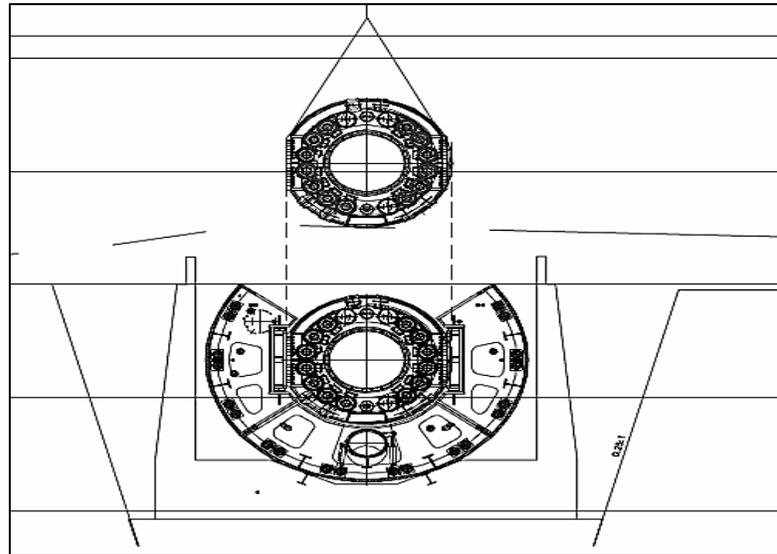


Imagen 3. 25 Montaje accionamiento principal

- Se coloca la rueda de corte y se realizan las maniobras de izaje.
- Se baja la rueda de corte como en Imagen 3.26, al cajón de conducción y se inicia con la colocación y apriete de los tornillos, mediante pistola neumática.
- Con la rueda de corte en su lugar, se inicia a montar el tornillo sin fin y se procede al empuje del escudo.

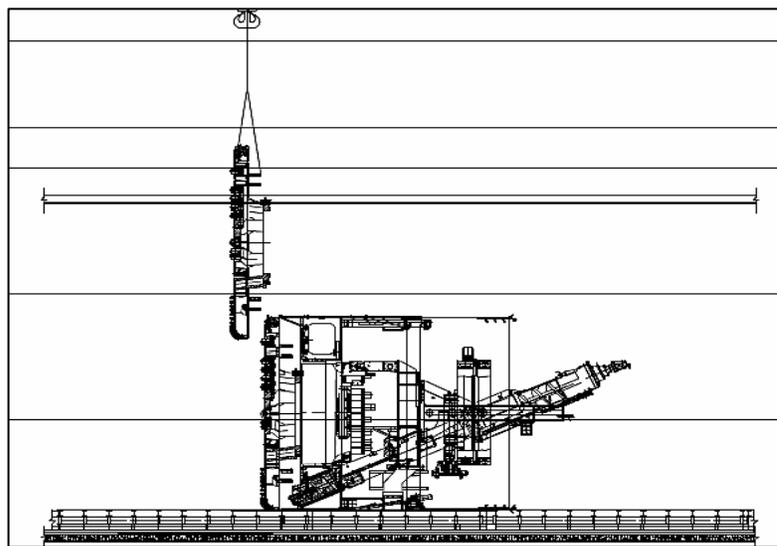


Imagen 3. 26 Bajada de la rueda de corte

Se unen los carros al montaje del escudo y se termina con el proceso de ensamble de la TBM y se pueden iniciar con la excavación.

Este procedimiento es el que se utilizó en el portal de salida y en las lumbreras es del tipo parecido solo que se inicia con los trabajos en la parte superior y después se unen en la parte de la lumbrera de montaje.

3.5.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El Túnel Emisor Oriente tiene dos etapas de revestimiento, la primera es conformada con un anillo de dovelas de concreto armado prefabricadas, colados por el equipo de excavación. La segunda etapa consiste en un recubrimiento de 35 cm de espesor de concreto armado y colado en sitio, para esto se utiliza una cimbra modular de 45 metros de longitud.

En este subcapítulo abarcaremos el tema del revestimiento definitivo en la construcción del Túnel Emisor Oriente.

3.5.1.-DESCRIPCIÓN DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento definitivo en el Túnel Emisor Oriente, consiste en la colocación de un concreto armado en la pared interior, este revestimiento definitivo obtiene un acabado hermético del túnel. Dentro del revestimiento definitivo se coloca una capa de protección, con el propósito de disminuir los efectos que generen los ácidos y gases corrosivos que emanan de las aguas residuales.

El revestimiento definitivo cuenta con una resistencia de $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con concreto CRO30 y /o 40R-RS resistente a los sulfatos.

El volumen de concreto requerido para el revestimiento definitivo del TEO es del orden de $250\,000 \text{ m}^3$.

3.5.2.-ARMADO DE ACERO DE REFUERZO

La colocación del armado del refuerzo se realiza mediante silletas de acero las cuales se muestran en Imagen 3.27, las que aseguran que el armado se mantenga en su lugar durante todo el proceso de colado y fraguado del concreto.



Imagen 3. 27 Armado de acero para el revestimiento definitivo

3.5.3.-CIMBRA DESLIZANTE

La obra falsa debe tener resistencia y estabilidad necesaria para soportar las cargas debidas al peso del concreto y las sobrecargas ocasionadas durante la construcción.

Fabricación del Molde

La fabricación del molde para la Cimbra deslizante para el TEO es de duela machihembrada de 1 ½" x 2 ½" con una altura de 1.20 metros, reforzado con cargadores de tablón de 1 ½" x 6" de acuerdo a la sección de cada lumbrera.

Estructura de Rigidez

La armadura principal de la cimbra es a base de ángulo colocada estratégicamente para dar una mayor rigidez al molde, esta armadura es capaz de soportar su propio peso, la plataforma de trabajo, así como también el personal encargado de realizar las actividades de colado, deslizado y las herramientas de trabajo necesarias.

Equipo Hidráulico

El equipo de elevación del sistema deslizante está construido por elementos motrices de accionamientos hidráulicos, controlados a través de un sistema central.

Los elementos motrices o gatos hidráulicos serán capaces de cumplir con las siguientes condiciones;

- Contrarrestar fricción entre el concreto recién fraguado y la cimbra.

- Vencer las cargas que gravitan sobre el sistema deslizante, incluyendo su propio peso.
- Estar capacitado a responder instantáneamente a las medidas de control de trayectoria.

Montaje del sistema deslizante

La colocación del molde de cimbra deslizante se hace sobre una plantilla tal como se muestra en Imagen 3.28, se realiza esto con la finalidad de evitar al máximo los errores.

Las principales actividades a realizar para el montaje del sistema deslizante son;

- Se colocan cabezales metálicos en la parte superior de la lumbrera para que sirvan de apoyo a los gatos que tensionarán las barras metálicas.
- Se trazan los muros en el piso de arranque y se presenta la cimbra engrasada perfectamente con anterioridad.
- Se ensamblan todos los elementos dejando un desplome en todos los costados para facilitar el deslizamiento.
- Se realiza la nivelación durante el montaje de todos los elementos de la cimbra deslizante.

Posteriormente se lleva a cabo el montaje del equipo elevador de la cimbra y se coloca la plataforma de trabajo.

Una vez terminado cada uno de los puntos anteriores se debe examinar todas las medidas y desplomes, efectuando una estricta renivelación del conjunto y asegurándose de la correcta sujeción de todas las partes, así mismo se revisa y se prueba el equipo de elevación de la cimbra, por último se realiza la limpieza para dar inicio con el deslizado y se preparan los andamios colgantes para realizar su colocación en cuanto la altura de la cimbra deslizante lo permita.



Imagen 3. 28 Cimbra deslizante, aspectos de trabajo

3.5.4.- COLADO DE CONCRETO

La colocación del concreto, se realiza en tramos de 9 m, el concreto para el colado del revestimiento definitivo, primero se descarga hasta llenar las ventanas laterales con las que cuenta la cimbra, se descarga utilizando una manguera flexible. Posteriormente se cierran las ventanas y se descarga el concreto por las boquillas que cuenta la cimbra como se muestra en Imagen 3.29.

La colocación del concreto se apoya con la utilización de vibradores neumáticos de pared, son vibradores trasladables y la base quede permanentemente colada en la cimbra y es únicamente el vibrador la pieza móvil de fijación rápida.

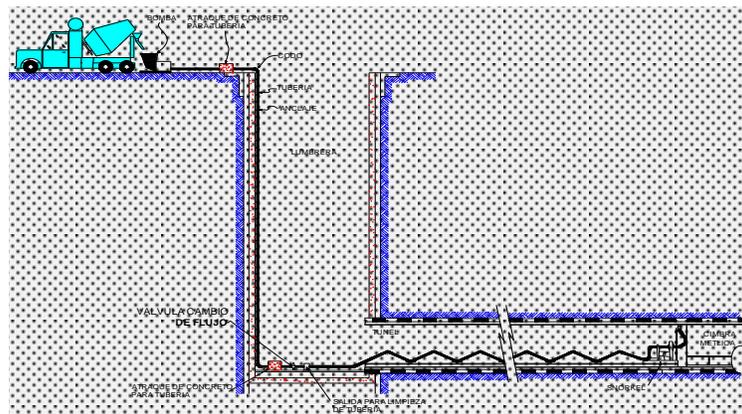


Imagen 3. 29 Colado del concreto por medio de una bomba

3.5.5.- ACABADO FINAL DEL TÚNEL

Dentro del acabado final como lo muestra la Imagen 3.30, es importante conocer el curado del concreto, se utiliza una membrana a base de polímeros acrílicos especiales y disolventes, que cuenta con una evaporación rápida para permitir un curado y sellado eficaz del concreto recién colado.



Imagen 3. 30 Acabado definitivo del Túnel Emisor Oriente

El curado del concreto se realiza la más pronto posible e inmediatamente después del descimbrado.

3.6.- CARCAMOS DE BOMBEO

Los cárcamos de bombeo son una estructura en donde descarga el colector, interceptor o emisor de aguas residuales crudas o tratadas y donde se instalan los equipos electromecánicos para elevar el agua al nivel deseado.

Los cárcamos de bombeo se requieren cuando se dan las condiciones de:

- Elevar las aguas residuales de un conducto profundo a otro más superficial, cuando constructivamente no es económico continuar con las profundidades resultantes.
- Conducir las aguas residuales de una cuenca a otra
- Entregar las aguas residuales a una planta de tratamiento o a una estructura determinada de acuerdo a condiciones específicas que así lo requieran

Las partes constitutivas de los cárcamos de bombeo son las siguientes:

- Canal o tubo de llegada
- Transición de llegada
- Zona de control y cribado
- Pantalla
- Rejillas primarias
- Desarenados y bombas de lodos
- Rejillas secundarias
- Cámara de bombeo

Para poder poner en función el TEO en su primer tramo, se requirió de una obra de apoyo, para poder elevar las aguas residuales al Gran Canal de Desagüe, ubicado en la intersección con la lumbrera 5 del TEO. Las obras subterráneas de la planta el caracol (véase Imagen 3.31), constan de una lumbrera de rejillas y dos cárcamos de bombeo.

Las obras superficiales consisten en un muro de amortiguamiento, mamparas y tanques de carga y descarga, edificación de instalaciones complementarias y del sistema de control.



Imagen 3. 31 Construcción de la Planta de Bombeo el Caracol, para apoyar el tramo I en su función

Los dos cárcamos de bombeo cuentan con 20 bombas, la construcción de 20 sistemas de descarga, y con instalaciones de dos rejillas automáticas y 4 compuertas.

IV.- SISTEMA DE CALIDAD APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TEO

En este capítulo, se describirá el sistema de gestión de calidad aplicado en la construcción del TEO.

El sistema de gestión de calidad, sirve para guiar las acciones de trabajo, la maquinaria, equipos y todo lo relacionado con la construcción o elaboración de una obra, con la finalidad de que se asegure la satisfacción del cliente y bajos costos para la calidad.

Un sistema gestión de calidad es un conjunto de actividades coordinadas que se cumplen, para lograr la calidad de los productos o servicios, en nuestro caso de estudio será el análisis de la calidad de la construcción del TEO. Los puntos principales que se tomarán en cuenta son las especificaciones de calidad en los materiales, equipo y mano de obra quedando reflejados en la satisfacción de las necesidades.

Para lograr los objetivos planteados, se debe tomar en cuenta la siguiente estructura:

- **Estrategias:** Se deben definir políticas, objetivos y lineamientos, con la finalidad de lograr la calidad y la satisfacción del cliente. Las políticas y objetivos deben de satisfacer las necesidades para cumplir con los resultados que la organización desea obtener.
- **Procesos:** Se deben determinar, analizar e implementar los procesos, actividades y procedimientos para la realización del tipo de construcción, producto o servicio que se va a realizar, con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados. De igual forma se deben definir las actividades de seguimientos y control para la operación eficaz de los procesos.
- **Recursos:** Se debe definir asignaciones del personal, equipo y maquinaria necesaria para la producción, elaboración, construcción o prestación de un servicio, se requiere de un ambiente de trabajo y el recurso financiero necesario para apoyar las actividades de la calidad.
- **Estructura Organizacional:** se deben de definir y establecer estructuras de responsabilidades, autoridades y de flujo de comunicación dentro de la organización.

- Documentos: se deben establecer los procedimientos de documentos, formularios, registros y cualquier documento para la operación eficaz y eficiente de los procesos.

Estas estructuras buscaremos describirlas en cada uno de nuestros subcapítulos para tener una descripción más clara, de cómo se aplican en la construcción del TEO.

4.1.- DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE CALIDAD

Los Sistemas de Calidad son un conjunto de características inherentes que cumplen un requisito, se conforma de toda la estructura organizativa, responsabilidades, procedimientos y recursos que se disponen para llevar a cabo la gestión de calidad.

Los objetivos del sistema de calidad son realizar los trabajos en todas las etapas cumpliendo con normas y estándares propuestos, reducir costos, prevenir errores, responder a los usuarios internos y externos.

La gestión de calidad tiene como finalidad principal satisfacer necesidades establecidas mediante estándares determinados con los que se garantiza los trabajos realizados.

Existen diferentes tipos de calidad los cuales son: diseño, conformidad, disponibilidad y servicio postventa.

El factor más importante en el proyecto es el cliente, se puede decir que existen dos tipos de clientes, el cliente externo y el cliente interno. Las necesidades de los clientes es un punto muy importante ya que se deben de cumplir las necesidades explícitas y las necesidades implícitas.

Las necesidades explícitas nos hablan sobre precio, color, tamaño, forma, datos técnicos, garantía, etc. En el caso de estudio del TEO podemos observar todos estos puntos en el diseño del túnel como es el diseño del trazo del túnel, la construcción de cada una de las lumbreras, el diseño del portal de salida, el diseño de la dimensión y longitud de cada tramo del túnel, etc. Cada punto a diseñar cuenta con especificaciones y requerimientos particulares, por lo que se debe generar una memoria de cálculo, manuales de construcción, planos, memorias técnicas, y proyecciones a base de programas de cómputo.

Las necesidades implícitas nos hablan sobre los materiales, resistencia, componentes, cumplimiento de normas y leyes, etc. En el TEO podemos observar todos estos puntos en cada uno de los procesos de construcción.

Principios de Calidad

Existen ocho principios básicos de la gestión de calidad sobre los cuales se basan las normas de sistemas de gestión de calidad, estos ocho principios nos ayudan a describir el sentido que tienen las normas y los objetivos al cumplirlas.

Los principios básicos mostrados en Imagen 4.1, son:

- **Enfoque al cliente:** las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto se deben comprender sus necesidades actuales y futuras, satisfacer sus requisitos y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes
- **Liderazgo:** los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deben crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.
- **Participación del personal:** el personal a todos los niveles, es la esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización.
- **Enfoque basado en procesos:** un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.
- **Enfoque de sistema para la gestión:** identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.
- **Mejora continua:** la mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de esta.
- **Enfoque basado en los hechos para la toma de decisión:** las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.
- **Una organización y sus proveedores son independientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor.**



Imagen 4. 1 Principios básicos de Gestión de Calidad

Con la definición de los principios básicos y la estructura que debe tener una organización ya se puede comenzar hablar de normas aplicables a la construcción del TEO.

4.1.1.- NORMAS APLICABLES

Las Normatividad que se utiliza en la construcción del TEO, es el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y Sus Respectivas Normas Técnicas Complementarias, versión 2004. En los casos que no sean cubiertos por estas normativas, se pueden considerar en común acuerdo con la Comisión, los reglamentos, códigos y manuales de las siguientes instituciones:

ONNCCE	Organismo Nacional de Normalización y Certificado de la Construcción y Edificación
D.G.N.	Dirección General de Normas
S.C.T.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
I.M.C.Y.C.	Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
PEMEX	Petróleos Mexicanos
A.C.I.	American Concrete Institute
A.S.T.M.	American Society for Testing Materials
A.W.S.	American Welding Society

Las normas que se utilizan en la construcción del túnel las enunciaremos dentro de los subcapítulos, en los cuales se tiene que cumplir con diferentes requisitos para poder tener una buena calidad.

4.1.2.- PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

Las pruebas de control de calidad, se hacen mediante diferentes laboratorios, como son los laboratorios de la planta de dovelas correspondiente, laboratorio IMCYC, por el proveedor, etc. Es necesario contar con un laboratorio de control de calidad acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), en el sitio de trabajo y asumir toda la responsabilidad de la obra en cuanto al control de calidad de la producción de las dovelas.

4.2.- SEGURIDAD E HIGIENE

La seguridad y la higiene en una obra de construcción, tienen por objeto la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

La seguridad y la higiene constituyen dos actividades íntimamente relacionadas, orientadas a garantizar condiciones personales y materiales de trabajo capaces de mantener el nivel de salud de los empleados.

Para un producto, servicio, o cualquier tipo de construcción se implican variaciones, revisiones y evaluación de los factores de calidad que intervienen en las especificaciones, producciones, inspecciones y usos de los servicios o productos.

Es de suma importancia la seguridad, y va altamente relacionada con la calidad de cualquier tipo de actividad que se realice, el personal es una de las partes más importantes en una construcción por lo cual se observa la calidad de vida. La higiene en los sitios de construcción promueve el orden y el aseo.

En cierta forma puede decirse que la mano de obra constituye el único recurso vivo de una construcción, la fijación del nivel de calidad está comprendida en las actividades de seguridad en la calidad.

Los niveles de observación del bienestar son: actividad y producción, bienestar económico, calidad de vida, objetivos civiles, participación, libertad y bienestar total.

Los servicios de seguridad e higiene deben ser prestados por profesionales habilitados, siendo responsables de los respectivos servicios. A su vez, estos servicios se deben complementar con acciones técnicas y educativas.

En la construcción del TEO los responsables de la seguridad e higiene del proyecto están capacitados adecuadamente como lo requiere la dirección y el sistema de calidad, las responsabilidades del personal son:

- Conocer las políticas de seguridad y medio ambiente de la CONAGUA.
- Realizar recorridos constantes a los diferentes frentes de la obra, para detectar oportunamente situaciones de riesgo.
- Validar con ingeniería las canastillas del personal, los elementos de izaje y suspensión de armados de muro milán, revisión de plataformas de trabajo y limpieza de la obra.
- Hacer la información de riesgos al personal que incorpore la obra, según normas establecidas.
- Controlar las normas de seguridad dadas al resto de los oficios que intervienen en la obra para velar por el cumplimiento de las mismas. El personal capacitado es el responsable directo del cumplimiento de las normas de seguridad por parte del personal.
- Pedir, si no los hay, los manuales de mantenimiento de las distintas máquinas y supervisar que se realizan las operaciones de mantenimiento según especifica el manual.
- Vigilar la limpieza de las instalaciones de bienestar y que cada trabajador dispone de una superficie adecuada de vestuario y el mobiliario necesario (taquillas, perchas, taburetes, etc.).
- Facilitar a todos los operarios los medios de protección individual acordes al trabajo a desarrollar.
- En cada actividad debe haber personal estrictamente necesario. Evitar aglomeraciones.
- Revisión de amarres de cables, cadenas, mordazas, mástil, etc. Al menos una vez por semana
- Tapar, balizar o señalizar los huecos existentes en obras para evitar caídas, aunque sean pequeñas.
- Evitar la instalación de conducciones en zonas de paso por riesgo de tropiezo y caída. Vigilar el orden y limpieza en las zonas de trabajo y eliminar el material innecesario.
- Supervisar la revisión de las medidas de seguridad de los cuadros eléctricos y el humedecido de las picas de toma de tierra
- Facilitar un alumbrado correcto para trabajos nocturnos en la zona de trabajo y en especial de las zonas de paso hacia las casetas de obra. Si no hay alumbrado suficiente se deben facilitar linternas individuales.
- No permitir la existencia de animales en la zona de trabajo.
- En caso de incumplimiento reiterado por parte de algún trabajador de las normas dadas será motivo suficiente para expulsar al operario de la obra. Poner este extremo en conocimiento de la dirección de obra.
- Existen reglas básicas para garantizar la seguridad e higiene dentro y fuera de la construcción del Túnel Emisor Oriente.
- No dejar obstáculos en zona de paso. Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio
- No permanecer nunca bajo cargas suspendidas
- Uso obligatorio de arnés de seguridad para trabajos a más de 2 metros de altura o con riesgo de caída a más de 2 metros de profundidad.

- Uso correcto de protecciones personales. Se pedirá su reposición inmediata por deterioro
- Evitar el empleo de ropa de trabajo suelta, cadena, anillos, etc. Todo esto para evitar atrapamientos.
- No estar o transitar por zonas no autorizadas o poco iluminadas, esto con la función de evitar riesgos innecesarios.
- Velar por el buen estado de las protecciones colectivas. Reparar o poner en conocimiento del encargado lo que se observe en mal estado.
- Comunicar inmediatamente cualquier incidente en la obra al inmediato superior.
- Respetar en todo momento la señalización y las normas internas de obra.
- Mantener un alto grado de orden y limpieza en las zonas de trabajo y de tránsito.
- Prohibido subir o viajar en los pescantes de palas, grúas, camiones, etc.
- Uso obligatorio de protección auditiva en zonas con intensidad sonora elevada (>85 dBA).

La difusión y publicidad de las recomendaciones y técnicas de prevención son un punto muy importantes para que la seguridad en todos los sitios se pueda alcanzar.

Dentro de la obra de construcción se encuentran señalamientos como se muestra en Imagen 4.2, por partes de las empresas subcontratadas para que los trabajadores cuenten con una mejor conciencia y se limiten a hacer sus trabajos en tiempo y orden establecido.



Imagen 4. 2 Señalamiento y cumplimiento por parte de los trabajadores

Lo que se quiere evitar es que dentro de la construcción del TEO, se provoquen accidentes de trabajos, se considera accidente de trabajo a todo acontecimiento súbito y violento ocurrido por el hecho o en ocasión del trabajo, o en el trayecto

entre el domicilio del trabajador y el lugar de trabajo, siempre y cuando el damnificado no hubiere interrumpido o alterado dicho trayecto por causas ajenas al trabajo.

SEGURIDAD: (equipo de protección personal)

El equipo de protección personal básico en una construcción, deberá seleccionarse de acuerdo con la clasificación de la NOM-031-STPS-2011, y el puesto de trabajo y, en su caso, el específico conforme a los trabajos peligrosos por ejecutar. Las siguientes tablas especifican el EB.- Equipo de Protección Personal Básico y el EE.- Equipo De Protección Personal Específico, con respecto al puesto de trabajo y a las partes del cuerpo.

No.	PUESTO DE TRABAJO	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL																			
		1 (CABEZA)		2 (OJOS Y CARA)		3 (OIDOS)		4 (APARATO RESPIRATORIO)		5 (EXTREMIDADES SUPERIORES)											
		A) CASCO CONTRA IMPACTO	B) CASCO DIELECTRICO	C) CAPUCHAS O MÓNIAS	A) ANTEOJOS DE PROTECCION	B) GOGGLE	C) PANTALLA FACIAL	D) CARETA PARA SOLDADOR	E) GAFAS PARA SOLDAR	A) TAPONES AUDITIVOS	B) CONCHAS ACÚSTICAS	A) RESPIRADOR CONTRA PARTÍCULAS	B) RESPIRADOR CONTRA GASES Y VAPORES	C) MÁSCARILLA DESECHABLE	D) TUBO DE RESPIRACION AUTÓNOMO	A) GUANTES CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS	B) GUANTE DIELECTRICO	C) GUANTE CONTRA TEMPERATURAS EXTREMAS	D) GUANTES	E) MANGAS	
1	ALBAÑIL	EE	EE		EB								EE	EE	EE	EE			EE		
2	ALMACENISTA	EB																		EB	
3	BARNIZADOR	EB			EB							EB		EE	EB						
4	CARPINTERO	EB		EB						EB										EB	
5	COLOCADOR DE ACABADOS EN PISOS Y PAREDES	EB		EB							EB										
6	COLOCADOR DE MATERIAL AISLANTE	EB											EE							EB	
7	COLOCADOR DE MOSAICOS Y AZULEJOS	EB		EB						EB										EE	
8	COLOCADOR DE VIDRIOS Y CRISTALES	EB		EB																EB	
9	COLOCADOR DE PRODUCTOS PREFABRICADOS	EB	EE	EB		EE				EB				EE						EE	EB
10	CONDUCTOR DE CAMION DE CARGA	EB																			
11	CONDUCTOR DE EQUIPO PESADO	EB																			

Tabla 4. 1 Equipo de protección personal NOM-031-STPS-2011

No.	PUESTO DE TRABAJO	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL																				
		6 (TRONCO)			7 (EXTREMIDADES INFERIORES)			8 (OTROS)														
		A) MANGIL CONTRA ALTAS TEMPERATURAS	B) MANGIL CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS	C) BATA	D) ROPA CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS	A) CALZADO CONTRA IMPACTOS	B) CALZADO DIELECTRICO	C) CALZADO CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS	D) PÓLIAMAS	E) BOTAS IMPERMEABLES	A) EQUIPO DE PROTECCION CONTRA CAIDAS DE ALTURA	B) CHALECO REFLEJANTE	C) Cinturon PARA HERRAMIENTAS	D) ESCAFANDRA								
1	ALBAÑIL									EE	EE			EE	EE	EE						
2	ALMACENISTA																					
3	BARNIZADOR					EB															EE	EE
4	CARPINTERO									EE	EB										EE	EB
5	COLOCADOR DE ACABADOS EN PISOS Y PAREDES														EB							
6	COLOCADOR DE MATERIAL AISLANTE																				EE	EB
7	COLOCADOR DE MOSAICOS Y AZULEJOS														EB							
8	COLOCADOR DE VIDRIOS Y CRISTALES														EB						EE	EE
9	COLOCADOR DE PRODUCTOS PREFABRICADOS														EB	EE					EE	EE
10	CONDUCTOR DE CAMION DE CARGA														EB							
11	CONDUCTOR OPERADOR DE EQUIPO PESADO														EB							EB
12	CONDUCTOR OPERADOR DE EQUIPOS ESPECIALIZADOS														EB							EB

No.	PUESTO DE TRABAJO	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL																				
		1 (CABEZA)		2 (OJOS Y CARA)		3 (OIDOS)		4 (APARATO RESPIRATORIO)		5 (EXTREMIDADES SUPERIORES)												
		A) CASCO CONTRA IMPACTO	B) CASCO DIELECTRICO	C) CAPUCHAS O MÓNIAS	A) ANTEOJOS DE PROTECCION	B) GOGGLE	C) PANTALLA FACIAL	D) CARETA PARA SOLDADOR	E) GAFAS PARA SOLDAR	A) TAPONES AUDITIVOS	B) CONCHAS ACÚSTICAS	A) RESPIRADOR CONTRA PARTÍCULAS	B) RESPIRADOR CONTRA GASES Y VAPORES	C) MÁSCARILLA DESECHABLE	D) EQUIPO DE RESPIRACION AUTÓNOMO	A) GUANTES CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS	B) GUANTE DIELECTRICO	C) GUANTE CONTRA TEMPERATURAS EXTREMAS	D) GUANTES	E) MANGAS		
12	CONDUCTOR OPERADOR DE EQUIPOS ESPECIALIZADOS	EB																				
13	CONDUCTOR OPERADOR DE VEHICULOS CON CARGA	EB	EE																			EE
14	ELECTRICISTA E INSTALADOR DE LINEAS ELECTRICAS	EB	EB	EB										EE							EE	EB
15	FIERRERO	EB	EE	EB				EB													EE	EB
16	HERRERO-FORJADOR	EB		EB				EB														EB
17	INSTALADOR DE LINEAS DE TELECOMUNICACION	EB	EE	EB										EE							EE	EB
18	MECANICO DE EQUIPO PESADO	EB		EB											EE						EE	EB
19	MECANICO DE INSTRUMENTOS INDUSTRIALES	EB	EE	EB										EE							EE	EB
20	INSTALADOR DE ELEVADORES Y ESCALERAS ELECTRICAS	EB	EE	EB										EE							EE	EB
21	MECANICO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL	EB	EE	EB										EE							EE	EB
22	MECANICO DE ESTRUCTURAS METALICAS	EB	EE	EB										EE							EE	EB
23	OPERADOR DE EQUIPO DE GRANALLADO (BRANBLATTE)	EB		EB										EE							EE	EB

Tabla 4. 2 Equipo de protección personal NOM-031-STPS-2011

Equipo de protección personal	Cantidad		Características
	Lumbreras	Portal de Salida	
Cascos de seguridad	50 piezas	50 piezas	Cascos color blanco
Chalecos de seguridad	50 piezas	50 piezas	Chalecos de malla de color anaranjado
Zapatos de seguridad	21 pares	21 pares	Tallas 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29. Tres Pares de cada número. Botas de hule con casquillo.
Lentes de seguridad	50 piezas	50 piezas	Color gris
Guantes de seguridad	50 piezas	50 piezas	Guantes de carnaza cortos

Tabla 4. 4 Seguridad (personal externo de la construcción)

SEGURIDAD DENTRO DE LA TBM.

Dado a la importancia de la TBM es muy importante tener un buen manejo del equipo, operación, mantenimiento y una buena seguridad para evitar daños, tanto personales como al equipo.

Es importante conocer que existe una estructura para los manuales del equipo respecto a las instrucciones de seguridad, como se muestra en la Tabla 4.5:

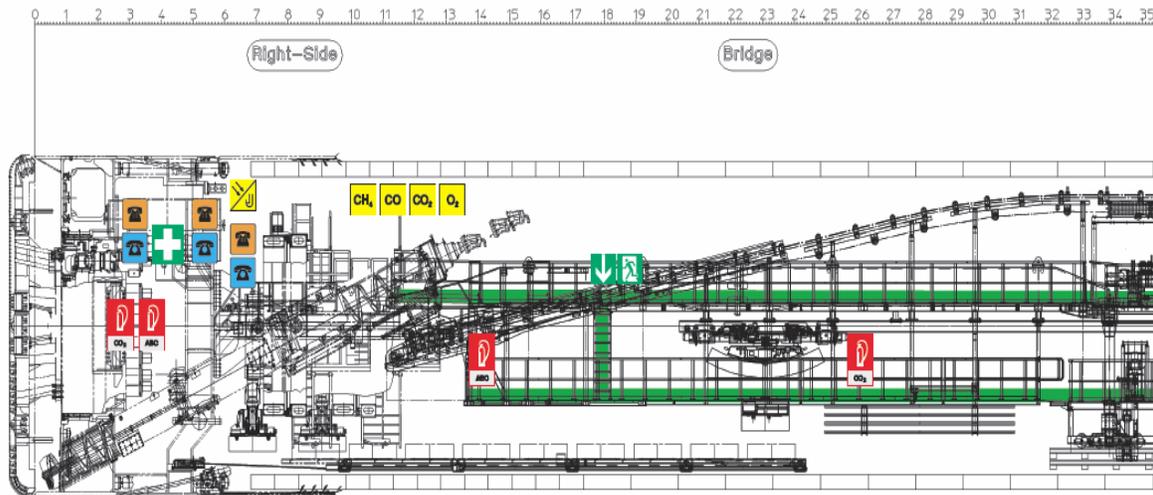
Estructura	Contenido
Fuente	Descripción del frente de peligro
Consecuencia	Posibles consecuencias al producirse una situación de peligro
Medidas preventivas	Medidas para la prevención de situaciones de emergencia
Situación de emergencia	Medidas necesarias en casos de emergencia

Tabla 4. 5 Estructura para los manuales del equipo (seguridad)

Las tres categorías de riesgos, son:

- Peligro: peligro inminente para el personal. Puede causar daños personales y hasta la muerte. El mal seguimiento de las instrucciones puede causar daños graves, graves lesiones corporales y hasta la muerte.
- Precaución: posible peligro para el personal. Puede causar daños personales y hasta la muerte. El mal seguimiento de las instrucciones puede causar daños graves y lesiones corporales.
- Atención: situación potencialmente peligrosa. El mal seguimiento de las indicaciones puede causar lesiones corporales de menor importancia y/o daños materiales.

Antes de realizar las tareas en la tuneladora, el personal operario se debe familiarizar con los dispositivos de seguridad que se muestran en la Imagen 4.3.



Legende							
	Señales caminos de emergencia		Parada de emergencia		Sensor de gas O ₂		Primeros auxilios
			Extintor ABC		Sensor de gas CO		Teléfono obra
			Extintor CO ₂		Sensor de gas CO ₂		Teléfono de emergencia
	Caminos de emergencia		Detector de humo / calor		Sensor de gas CH ₄		
	Cofina de agua						

Imagen 4.3 Dispositivos de seguridad dentro de la TBM, de cero a treinta y cinco metros

Es de gran importancia el que conozca el personal operario todos los dispositivos de seguridad, debido a que la seguridad general de cada una de las TBM, habla que todas las tareas de mantenimiento únicamente deben ser realizadas por personal calificado y autorizado. El personal encargado debe estar familiarizado con el manual de instrucciones de su respectivo equipo de trabajo y así mismo llevar la operación y mantenimiento, para minimizar el peligro de daños y asegurar el funcionamiento de la máquina.

Existen diferentes tipos de señalamientos para prevenir daños de cualquier tipo, a continuación tenemos los más representativos dentro de las tuneladoras.

Señales de prohibición;	
	Se encuentra prohibido el uso de teléfonos móviles.
	Se prohíbe fumar
	Está prohibida la entrada a personas no autorizadas.

Tabla 4. 6 Señales de prohibición dentro de la TBM

Señales de obligación	
	Es necesaria la protección obligatoria de la vista
	Es necesaria la protección obligatoria de las vías respiratorias
	Es necesaria la protección obligatoria de las manos, uso de guantes.
	Es necesaria la protección obligatoria de los oídos.
	Es necesaria la protección individual obligatoria contra caídas (arnés).

Tabla 4. 7 Señales de obligación dentro de la TBM

Señales de peligro			
	Zona de peligro		Peligro de aplastamiento
	Sustancias causticas		Peligro de resbalamiento
	Material inflamable		Peligro de caída a distinto nivel

	Sustancias radioactivas		Superficies calientes
	Cargas suspendidas		Tensión eléctrica
	Peligro de lesiones en las manos		Radiaciones laser
	Peligro de tropezar		Área de ruido peligroso
	Movimiento de rodillos		Componentes giratorios

Tabla 4. 8 Señales de peligro dentro de la TBM

Dentro de las TBM, se puede considerar Zona de peligro a varias secciones, existen peligros específicos en estas zonas:

- Grúas y medios de elevación
- Cambio de herramientas en la cabeza
- Cambio de herramientas en la rueda de corte
- Montaje de protecciones del túnel
- Perforaciones de sondeos
- Perforaciones de inyección
- Colocación de anillos
- Inyección de gravilla
- Inyección de mortero
- Prolongación de vías de túnel
- Traspaso de materiales en el tren de remolque

Existen diferentes peligros en cada una de las áreas, por eso la importancia de que el personal conozca los señalamientos y utilicen el equipo correspondiente para cada actividad, todo con el fin de mantener todo bajo control.

En caso de algún incidente, con el fin de asegurar una evacuación segura del personal, se encuentran extintores en todos los puntos de relevancia, están ubicados a lo largo de la ruta de evacuación.

En cada una de las tuneladoras se cuenta con dos tipos de extintores: extintor tipo ABC y Extintor CO₂, con la finalidad solucionar los problemas sobre incendios de equipos electrónicos o incendios de líquidos.

Los extintores ABC, cuentan con la simbología en la parte inferior, se utiliza en caso de incendios sólidos, líquidos y de gases.

Los extintores CO₂, cuentan de igual forma con su simbología en la parte inferior, se utilizan en caso de incendio de líquidos e incendios eléctricos. En las zonas eléctricas, generadores, etc. Se deben utilizar siempre extintores de este tipo para prevenir daños a los equipos.

Las consideraciones de diseño del emisor se inician con el buen funcionamiento de cada una de las tuneladoras, por eso la importancia de mantener la seguridad dentro y fuera de las tuneladoras.

4.2.1.-PLAN DE GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgos es un enfoque estructurado para mejorar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen la evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación de riesgos utilizando recursos gerenciales.

El manejo de riesgos se centra en la contención de riesgo por causas físicas o legales, como pueden ser los desastres naturales, incendios, accidentes, muertes o demandas.

Las estrategias pueden incluir transferir el riesgo a otra parte, evadir el riesgo, reducir los efectos negativos de riesgo y aceptar algunas o todas las consecuencias de un riesgo particular.

El objetivo de la gestión de riesgos es reducir diferentes riesgos relativos a un ámbito preseleccionado a un nivel aceptado por la sociedad.

En la construcción del Teo la gestión de riesgos y la administración de riesgos se manejan por medio de documentos la cual se conforma de la siguiente manera:

Gestión de Riesgos: incluye, alcances, metodología, responsables de cumplimiento del seguimiento e implementación de las medidas de mitigación, metodologías y formatos de control. Se debe entregar un informe final con anexos metodológicos.

Administración de riesgos: consta de dos puntos importantes del informe mensual el cual incluye cartas de alerta oportuna, bitácora de seguimiento de acciones y

recomendaciones puntuales, identificando urgencia, importancia y responsabilidad y el segundo punto es el informe final.

4.3.- CONTROL AMBIENTAL

El control ambiental trata de identificar, evaluar y controlar los agentes nocivos y factores de riesgos, presentes en el medio ambiente laboral y que bajo ciertas circunstancias, son capaces de alterar la integridad física del ser humano.

El responsable de la obra, garantiza que los productos de desechos se disponen a sitios autorizados, también revisa que los equipos de construcción no emanen gases contaminantes al ambiente.

El control ambiental se encarga de supervisar si en el sector de trabajo se localiza un área donde exista vegetación (árboles, arbustos, troncos, etc.), se eliminará la flora necesaria que pueda impedir la ejecución de obras, teniendo en cuenta que previo a esto deberá realizarse un inventario forestal y presentarlo a la autoridad ambiental encargada para que esta autorice el inicio de las obras y evalúe las posibles compensaciones forestales.

4.3.1.- IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental dentro de la construcción del TEO se considera conforme la normativa de los aspectos ambientales que se refiere, es importante el apego de las leyes y el cumplimiento de las normativas vigentes.

En la construcción del TEO se tiene como normativas vigentes en materia de impacto ambiental a las siguientes leyes:

- Ley General de Equilibrio Ecológico y su Reglamento
- Ley Forestal en los Ámbitos Municipal, Estatal y Federal

Existen especificaciones que indica la Comisión y estas se deben cumplir.

De acuerdo al sistema ambiental del área de estudio y dada la naturaleza del proyecto, existen algunos elementos sobre los cuales existe una influencia directa como resultado de las actividades de desarrollo de construcción del TEO las cuales muestran la Tabla 4.9:

Elemento de Medio	Indicador del Impacto
Atmosfera	Calidad del Aire por Partículas. Calidad del aire por gases. Ruido
Suelo	Características topográficas erosión
Agua	Aguas Residuales
Flora	Vegetación Existente
Fauna	Fauna Existente
Paisaje	Apariencia Visual
Residuos	Residuos Peligrosos, Residuos No Peligrosos
Factores socioeconómicos	Social: bienestar social, Económico: Empleo.

Tabla 4. 9 Elementos con indicador de impacto

El impacto ambiental, se dará en las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento.

En la etapa de preparación del sitio, en la actividad de despalme, los impactos identificados son: afectación a la calidad de partículas (generación de polvos), afectación del confort sonoro por emisión de ruido por la maquinaria, desplazamiento de la fauna nociva, contaminación del suelo por disposición inadecuada de residuos del despalme, afectación de la calidad del aire por dispersión y/o caída de material, emisiones de partículas fugitivas al trasladar el material producto del despalme al banco de tiro autorizado, y generación de empleo al contratar mano de obra local.

En la etapa de construcción, en las actividades mejoramiento del terreno en zona de lumbreras, brocales temporales, pantallas perimetrales, excavación del núcleo, construcción de lumbreras, construcción del brocal definitivo, excavación del túnel y en el revestimiento definitivo, los impactos identificados son: afectación a la calidad del aire por la demolición de los brocales temporales, contaminación del suelo por disposición inadecuada del material producto de demolición, afectación a la calidad del aire por la emisión de gases contaminantes provenientes de vehículos automotores, contaminación del suelo por disposición temporal inadecuada del material producto de la excavación del túnel, contaminación del suelo en el sitio por posibles derrames de aceites, contaminación del suelo en el sitio por posibles derrames de grasas provenientes de vehículos y/o maquinaria, contaminación del suelo por disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales, contaminación del suelo por disposición inadecuada de residuos peligrosos (grasas, aceites, pinturas, envases y papeles impregnados con grasas y aceites), contaminación del suelo por disposición inadecuada de residuos de manejo especial (pedazos de varilla de acero, trozos de madera, clavos y alambres, etc.), contaminación del suelo por disposición inadecuada del material producto de la excavación del túnel en banco de tiro y beneficios económicos con la generación de empleos.

En la etapa de operación, en las actividades de oficinas administrativas en la lumbrera, los impactos identificados son: contaminación del suelo por disposición inadecuada de los residuos sólidos provenientes de la oficina, beneficio económico con la generación de empleo y beneficio a la sociedad por la conducción de aguas residuales mediante un sistema de drenaje profundo.

4.3.2.- MEDICIÓN DE RUIDO

El ruido en las obras de construcción puede ocasionar daños a las personas cercanas, por lo que es necesario que se lleve a cabo un cumplimiento con el medio ambiente, de acuerdo a la norma NOM-080-SEMARNAT-1994 que establece los límites máximos permisibles de emisiones de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, y su método de medición, con un campo de aplicación a los vehículos automotores de acuerdo a su peso bruto vehicular, y motocicletas y triciclos motorizados que circulan por las vías de comunicación terrestre, exceptuando los tractores para su uso agrícola, trascabos, aplanadoras y maquinaria pesada para la construcción y los que transitan por el riel.

Considerando lo anterior y considerando que los vehículos y transportes utilizados en los frentes de trabajo del TEO, son de modelos recientes y están prácticamente estacionados la mayor parte del tiempo que permanecen en el área, así como del cumplimiento sistemático de las condicionantes indicadas en la Manifestación de Impacto Ambiental, que señala que se deberá contar con un programa de mantenimiento de maquinaria y su realización efectiva, el cual también garantiza la disminución de las emisiones de gases contaminantes y de humo, de acuerdo con lo establecido en la NOM-041-SEMARNAT-2006, y NOM-045-SEMARNAT-2006, así como el mantener el nivel de ruido de sus motores dentro de los rangos adecuados. No obstante, las acciones de prevención y control están enfocadas a garantizar la no afectación del personal que labora en el área, a quien se le proporciona el equipo de protección personal necesario.

4.3.3.- GENERACIÓN, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y EMISIONES A LA ATMÓSFERA.

El material producto de excavación se dispone en bancos de tiro debidamente autorizados, a través de camiones tipo rabón cubiertos con lona. La basura orgánica e inorgánica, los aceites, grasas y combustibles se manejan en lugares especiales que cuentan con una losa con pretil perimetral para evitar el derrame al subsuelo.

En el interior del túnel, durante la etapa de construcción se instala un sistema de ventilación que evita la concentración de gases, para liberarlos a la atmosfera.

Los equipos que se utilizan son de última tecnología, los cuales no rebasan los límites máximos permitidos de emisiones contaminantes a la atmosfera.

Los residuos serán caracterizados y manejados conforme a lo previsto por la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos y la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, así como sus asociadas NOM-053-SEMARNAT-1993 y NOM-054-SEMARNAT-1993, se da cumplimiento a lo citado en la ley en cuanto al manejo de los materiales derivados de la excavación del túnel y las lumbreras, así como los residuos generados en oficinas y áreas de trabajo.

LEYES Y REGLAMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL

La gestión ambiental es la estrategia mediante la cual se organizan las actividades antrópicas que afectan al medio ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales.

Las leyes utilizadas dentro de la construcción y sus evidencias a generar por mencionar algunas son:

- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente: Busca garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos: Busca determinar el tipo de generador, valorizar y minimizar residuos y elaborar en su caso plan de manejo.
- Ley Ambiental del Distrito Federal: Ayuda a tramitar cambio de uso del suelo donde aplique.
- Ley de Aguas Nacionales: Su aplicación es generar la solicitud de la concesión de aguas nacionales.
- Ley Federal de Derechos: Ayuda a determinar y pagar en tiempo y forma derechos correspondientes a trámites ambientales.
- Ley de protección al ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México: busca el control de la contaminación y manejo sustentable de recursos naturales
- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua: Determinar y pagar en tiempo y forma derechos correspondientes por uso y aprovechamiento de aguas nacionales cuando aplique.
- Ley del Agua del Estado de México: Ayuda a Tramitar el uso y aprovechamiento de aguas estatales.
- Ley de Aguas del Distrito Federal: Ayuda a Tramitar el uso y aprovechamiento de aguas estatales.

La gestión ambiental responde al "cómo hay que hacer" para conseguir lo planteado por el desarrollo sostenible.

Los reglamentos a utilizar en la construcción en cuestión ambiental son:

- Reglamento de la LEGEEPA en materia de impacto ambiental
- Reglamento en Materia de Prevención y Control de Contaminación de la Atmósfera
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
- Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- Reglamento de la Ley de Obra Pública
- Reglamento de la Ley de Armas de Fuego y Explosivos
- Reglamentos de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para la Prevención y Control de la Contaminación Generada por Vehículos Automotores que circulan por el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada
- Reglamento de la Ley del Agua del Estado de México
- Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal
- Reglamento para la Protección del Ambiente en Contra de la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido, del Distrito Federal.
- Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
- Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal

NORMAS OBLIGATORIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Las normas ambientales son disposiciones legales que establecen, por acuerdo entre los distintos sectores de la sociedad, las cuáles serán los niveles de sustancias contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud del ser humano y del medio ambiente.

Las siguientes normas, se utilizan en la construcción del TEO:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001 –SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales: se enfoca al monitoreo, información y control de descargas de aguas residuales a cuerpos de aguas nacionales, en caso de que aplique.
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de

los residuos peligrosos: Determinación de los residuos peligrosos generados por la organización.

- NOM-EM-138-ECOL-2002 Norma Oficial Mexicana de Emergencia, que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración: Estudios y remediación de suelos en caso de contaminación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados con arsénicos, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
- Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994
- Norma Oficial Mexicana NOM-080- SEMARNAT-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT- 1996, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel o mezclas que incluyan diesel como combustible.
- Norma Oficial Mexicana NOM-041- SEMARNAT-2006, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustibles.
- Norma oficial mexicana NOM-003-SCT/2000, características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

4.4.- SISTEMA DE CALIDAD EN LUMBRERAS

Los municipios, en donde se construyen lumbreras comparten la característica de mantener como criterio de política ambiental el aprovechamiento, con una fragilidad ambiental mínima y con un uso predominante agrícola. En el municipio de Ecatepec se cuenta con una unidad con política de restauración, con uso predominante forestal y con una fragilidad ambiental baja. En el municipio de Huehuetoca se tiene en dos de sus unidades con políticas de conservación y un uso predominante agrícola y una fragilidad ambiental.

La ingeniería básica de diseño de las estructuras tomo en cuenta los lineamientos establecidos en el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto vigentes, considerando el criterio de estado límite de falla o de factores de carga y resistencia.

Dentro de la calidad en las lumbreras, se propone una instrumentación, está pensada como un sistema de auscultación que permite monitorear el impacto por la excavación del túnel en las estructuras próximas y del mismo túnel.

4.5.- SISTEMA DE CALIDAD EN EL REVESTIMIENTO PRIMARIO

En la construcción de los prefabricados se realizan pruebas de control de calidad, realizadas en el frente de fabricación de anillos 0.35 m de espesor.

Se pide relación de informes de resistencias a la compresión a edad de desmolde, informe de resistencias a la compresión a edad de 7 días, informe de resistencia a la compresión a edad de 28 días

Pruebas de varilla corrugada de acero de 1/2" para refuerzo y certificados de calidad.

Prueba de varillas corrugada de acero de 3/8" para refuerzo de concreto y certificados de calidad.

Pruebas de control de calidad, realizadas en el frente de fabricación de anillos de dovelas 0.40 m de espesor.

- Prueba de varillas corrugada de ½ de pulgada para refuerzo de concreto y certificados de calidad

Análisis físico –químico del Cemento

- Cemento CPO 30 R RS fino

En la fabricación de los concretos, se emplea cemento tipo CPC para contribuir al medio ambiente, clase resistente 30 o 40, que cumplen con los requisitos de la norma NMX c-414 ONNCCE.

El CPC en contribución al cuidado del medio ambiente y cuenta con un desempeño en condiciones normales; sin embargo se puede tener uso del CPO para los prefabricados de dovelas para el revestimiento primario por las ventajas que se representan.

El CPC y CPO presentan características de uso similares en condiciones normales, la ficha técnica de cada uno de los cementos.

- CPO.- Cemento Portland Ordinario, el cual puede tener hasta el 5 % de adición de materiales tales como escoria, puzolanas, humo de sílice o caliza.
- CPC.- Cemento Portland Compuesto, se compone de Clinker, yeso y dos o más adiciones. Las adiciones se pueden componer del 6% al 35 % de escoria, del 6 al 35% de material puzolanico, de 1 a 10 % de humo de sílice y del 6% al 35 %

de caliza. Independiente del tipo de material adicionado, la cantidad de cliker y yeso debe ser del 50% al 94%.

Debido a las variaciones en la composición que tiene el cemento CPC, puede afectar la producción de los elementos prefabricados por las variaciones en los tiempos de fraguado del concreto, mientras que los tiempos de fraguado son más constantes cuando se emplea el cemento CPO en la elaboración de prefabricados curados a vapor.

Por lo cual, para lograr la calidad del concreto solicitado de los prefabricados, se utiliza cemento tipo CPO, ya que como dato, las fabricas lo tienen disponible precisamente para usarlo comúnmente en prefabricados.

Haciendo referencia a la normativa aplicable para la evaluación y aceptación del concreto endurecido la NMX-C-155 nos dice:

NMX-C-155: el resultado de una prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes compañeros. Excepto que si algunos de ellos se observó una deficiencia de muestreo, elaboración, manejo, curado o prueba, no se toman en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes deben ser consideradas como el resultado de la prueba. No es motivo para rechazar el espécimen el que se obtenga una resistencia inferior a la especificada.

Para la calidad del revestimiento primario el concreto debe alcanzar la resistencia especificada a la compresión ($f'c$) a la edad de 28 días u otra convenida y cumplir con lo siguiente:

a) Se acepta que no más del 10 % del número de pruebas de resistencia a compresión tengan valores inferiores a la resistencia especificada $f'c$.

Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) Se permite no más de 1 % de los promedios de 3 pruebas de resistencia a compresión consecutivas, pueden ser inferior a la resistencia especificada.

Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

4.5.1.-NORMAS Y MANUALES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA FABRICACIÓN, ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y RESANES APLICADOS EN EL REVESTIMIENTO PRIMARIO

En el revestimiento primario (prefabricados), en las siguientes tablas muestra que se cuenta con un plan de inspección y pruebas para la fabricación de dovelas del TEO, incluye, los materiales a inspeccionar o ensayar, los documentos aplicables, norma o especificaciones de prueba o ensaye, frecuencia de inspección o prueba, registro a generar y responsable de la inspección y prueba.

CONCRETO						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Diseño de mezcla de concreto hidráulico	RCDF-2006	ACI -318 ACI-211.1 ACI-305 ASTM-C-192	Una por tipo de cemento-resistencia-agregados-características especial	Informe de pruebas	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
2	Determinación del revenimiento en concreto fresco	RCDF-2006 NMX-C-430	NMX-C-156	Al inicio del colado y a cada 40 m ³ hasta 500 anillos y posteriormente cada 100 m ³	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
3	Determinación de la masa unitaria en concreto fresco	RCDF-2006 NMX-C-403	NMX-C-162	Una prueba por día de colado	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
4	Determinación de la resistencia compresión en cilindros de concreto	RCDF-2006	NMX-C-83	Una muestra de 8 cilindros por cada 40 m ³ hasta 500 anillos y posteriormente cada 100 m ³	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
5	Determinación del módulo de elasticidad estático	Proyecto RCDF-2006	NMX-C-128	Una muestra de 3 cilindros mensualmente	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente

Tabla 4. 10 Plan de inspección y pruebas para la fabricación de dovelas de concreto del TEO

CONCRETO						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Análisis Físico-Químico	RCDF-2006	NMX-C-414 ASTM-C-150	Mensual (físico)	Informe de Calidad	Proveedor de cemento
				Trimestral (químico)	Informe de Calidad	Laboratorio IMCYC

Tabla 4. 11 Análisis Físico químico para el concreto

AGUA						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Análisis Físico-Químico	RCDF-2006	NMX-C-122	Una prueba al inicio de obra y posteriormente cada mes	Informe de Calidad	Laboratorio IMCYC

Tabla 4. 12 Plan de inspección y pruebas para la fabricación de dovelas del TEO del agua

GRAVA						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Partículas más finas que la criba F 0.075	RCDF-2006	NMX-C-84	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
2	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable	RCDF-2006	NMX-C-71	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
3	Determinación de partículas ligeras	RCDF-2006	NMX-C-72	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
4	Peso volumétrico suelto y compacto	RCDF-2006	NMX-C-73	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
5	Análisis Granulométrico	RCDF-2006	NMX-C-77	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
6	Determinación de la masa específica y absorción de agua	RCDF-2006	NMX-C-164	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
7	Reactividad potencial (método químico)	RCDF-2006	NMX-C-271	Al inicio de obra y/o cambio de banco	Informe de resultados	Proveedor y/o Laboratorio IMCYC

8	Partículas planas y alargadas	RCDF-2006	ASTM-D791	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
9	Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso	RCDF-2006	NMX-C-196	Al inicio de obra y/o cambio de banco	Informe de resultados	Proveedor y/o Laboratorio IMCYC

Tabla 4. 13 Plan de inspección y pruebas de la grava para la fabricación de dovelas del TEO

ARENA						
Nº	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Partículas más finas que la criba F 0.075 por medio de lavado	RCDF-2006	NMX-C-84	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
2	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales	RCDF-2006	NMX-C-71	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
3	Determinación de partículas ligeras	RCDF-2006	NMX-C-72	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
4	Peso volumétrico suelto y compacto	RCDF-2006	NMX-C-73	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Proveedor
5	Análisis granulométrico	RCDF-2006	NMX-C-77	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
6	Determinación de la masa específica y absorción de agua	RCDF-2006	NMX-C-165	Una prueba por mes	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente
7	Determinación de impurezas orgánicas	RCDF-2006	NMX-C-088	Al inicio de la obra y mensualmente	Reporte de prueba	Laboratorio de la planta de dovelas

						correspondiente
8	Reactividad potencial(método o químico)	RCDF-2006	NMX-C-271	Al inicio de la obra y/o cambio de banco	Informe de resultados	Proveedor y/o Laboratorio IMCYC

Tabla 4. 14 Plan de inspección y pruebas de la arena para la fabricación de dovelas del TEO

ADITIVO						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Calidad de aditivo	RCDF-2006	ASTM-C-494	por lote suministrado	Informe de calidad del fabricante	Proveedor

Tabla 4. 15 Plan de inspección y pruebas de los aditivos para la fabricación de dovelas del TEO

ACERO DE REFUERZO						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Pruebas físicas-químicas	RCDF-2006	NMX-407	Una prueba por cada suministro de 50 ton	Informe de calidad del fabricante	Proveedor
	Pruebas físicas			Una prueba mensual y por diámetro de acero	Informe de resultados	Laboratorios especializado

Tabla 4. 16 Plan de inspección y pruebas del acero de refuerzo para la fabricación de dovelas

SOLDADURA						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Calificación del personal soldador	RCDF-2006	ASME	Al inicio de los trabajos y posteriormente para mantener su vigencia	Registro aprobado	Proveedor especializado, ensayos no destructivos

Tabla 4. 17 Plan de inspección y pruebas de la soldadura para la fabricación de dovelas del TEO

ACERO ESTRUCTURAL						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Pruebas físicas a las placas de acero al carbón	RCDF-2006	ANSI-ASTM A-370	Por cada suministro de 30 ton	Informe de calidad del fabricante	Proveedor
CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE BÁSCULAS						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Calibración de las básculas de la planta de concreto	ACI-318	ASTM-C-94	Al inicio de los trabajos y posteriormente cada año	Informe de resultados	Proveedor especializado
	Verificación de las básculas de la planta de concreto			Mensualmente	Reporte de verificación	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente

Tabla 4. 18 Plan de inspección y pruebas del acero estructural, calibración y verificación de básculas para la fabricación de dovelas

PRUEBA DE UNIFORMIDAD DEL MEZCLADOR						
N°	Materiales a inspeccionar o a ensayar	Documentos Aplicables	Norma o especificaciones de prueba o ensaye	Frecuencia de inspección o prueba	Registro a generar	Responsable de inspección y prueba
1	Prueba de uniformidad del mezclador de la planta de concreto	ACI-318	ASTM-C-94	Cada seis meses	Informe de Resultados	Laboratorio de la planta de dovelas correspondiente

Tabla 4. 19 Plan de inspección y pruebas de uniformidad del mezclador para la fabricación de dovelas del TEO

Se utilizan ocho cilindros como muestras, seis de ellos se someten al mismo curado de los elementos (dovelas), de los cuales dos de ellos se prueban para verificar la resistencia al desmolde, dos para verificar la resistencia final a 28 días y los dos restantes se dejan para casos de duda. Los dos cilindros restantes tendrán curado estándar y se probarán a 28 días de edad.

TRANSPORTE DE DOVELAS AL SITIO DE COLOCACIÓN

Los vehículos que se utilizan son evaluados conforme a los parámetros establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-041-SEMARNAT-2006 y NOM-045-SEMARNAT-2006 y el programa de verificación que establecen las autoridades locales.

4.6.- SISTEMA DE CALIDAD EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

En el revestimiento definitivo para cumplir con la calidad especificada, se requiere el uso de la cimbra deslizante o cimbra metálica, y el uso de los materiales especificados y los tiempos exactos para que el concreto alcance su resistencia prevista.

La Tabla 4.20 y la Tabla 4.21, muestran los ciclos de trabajo a cumplir para el revestimiento definitivo.

CICLO DE TRABAJO DE REVESTIMIENTO DEFINITIVO (Ø EXTERIOR= 7.80 MTS. Ø INTERIOR= 7.00 MTS.)	
COLOCACIÓN DE CONCRETO	
Vaciado de concreto =	21 m ³ /hr.
FRAGUADO DEL CONCRETO	
Tiempo de fraguado:	8 hrs.
DESPEJE Y TRASLADO DE CIMBRA (6 MÓDULOS DE 4 MTS. C/U)	
POSICIONAMIENTO DE TRANSPORTADOR =	5 mins.
COLOCACIÓN DE BRAZOS HIDRÁULICOS =	10 mins.
DESPEJE DE MÓDULO =	10 mins.
TRASLADO A SIGUIENTE POSICIÓN =	5 mins.
COLOCACIÓN =	10 mins.
	40 mins.
	40 mins. X 6 módulos = 240 mins = 4 hrs.
NIVELACIÓN DE MOLDES	
Longitud de cimbra: 24 mts. (6 moldes de 4mts. cada uno)	
Tiempo de nivelación por molde =	0.33 hrs.
TAPÓN	
Tiempo de colocación de tapón =	4.00 hrs.
LLENADO DE TUBERÍA	
LONGITUD DE TUBERÍA =	1000 mts
PUNTO DE EQUILIBRIO =	500 mts.
TIEMPO DE LLENADO =	23.38 mins.
SUMATORIA DE TIEMPOS	
TIEMPO DE VACIADO DE CONCRETO =	10.63 hrs
FRAGUADO =	8.00 hrs
DESPEJE Y TRASLADO DE CIMBRA =	4.00 hrs
NIVELACIÓN =	1.98 hrs
TAPÓN =	4.00 hrs
LLENADO DE TUBERÍA =	0.39 hrs
TOTAL =	29.00 hrs

Tabla 4. 20 Ciclo de trabajo del revestimiento definitivo 0.40m

CICLO DE TRABAJO DE REVESTIMIENTO DEFINITIVO (Ø EXTERIOR= 7.70 MTS. Ø INTERIOR= 7.00 MTS.)	
COLOCACIÓN DE CONCRETO	
Vaciado de concreto =	21 m ³ /hr.
FRAGUADO DEL CONCRETO	
Tiempo de fraguado =	8 hrs.
DESPEJE Y TRASLADO DEL MOLDE	
POSICIONAMIENTO DE TRANSPORTADOR =	5 mins.
COLOCACIÓN DE BRAZOS HIDRÁULICOS =	10 mins.
DESPEJE DE MÓDULO =	10 mins.
TRASLADO A SIGUIENTE POSICIÓN =	5 mins.
COLOCACIÓN =	10 mins.
	40 mins.
	40 mins. X 6 módulos = 240mins = 4 hrs.
NIVELACIÓN DE MOLDES	
Longitud de cimbra: 24 mts. (6 moldes de 4mts. cada uno)	
Tiempo de nivelación por molde =	0.33 hrs.
TAPÓN	
Tiempo de colocación de tapón =	4.00 hrs.
LLENADO DE TUBERÍA	
LONGITUD DE TUBERÍA =	1000 mts.
PUNTO DE EQUILIBRIO =	500 mts.
TIEMPO DE LLENADO =	23.38 mins.
SUMATORIA DE TIEMPOS	
TIEMPO DE VACIADO DE CONCRETO =	9.24 hrs
FRAGUADO =	8.00 hrs
DESPEJE Y TRASLADO DE CIMBRA =	4.00 hrs
NIVELACIÓN =	2.50 hrs
TAPÓN =	4.00 hrs.
LLENADO DE TUBERÍA =	0.39 hrs.
TOTAL =	28.13 hrs

Tabla 4. 21 Ciclo de trabajo del revestimiento definitivo 0.35m

CIMBRA DESLIZANTE

Para cumplir con la calidad en el revestimiento definitivo y cumplir con los objetivos planteados, se requiere de la supervisión y verificación de las actividades de los trabajos a realizar con la cimbra deslizante, antes de iniciar el deslizado se deberá contar con los siguientes elementos:

- Acero y concreto en cantidad y oportunidad requerida por el sistema.
- Escalera de acceso a plataforma en toda la altura.
- Medios para elevación de concreto y acero de refuerzo.
- Corriente eléctrica trifásica 220 volts, 7 kw, para conexión de equipo hidráulico.
- Iluminación y protección perimetral en la cimbra deslizante.
- La plataforma de trabajo para el desarrollo de todas las actividades concurrentes al deslizado.
- Vibrador para concreto.
- Placas, vanos, instalaciones dentro de los muros a deslizar y todos los elementos necesarios para no detener el proceso de deslizado.

Para la remoción de cimbras se hará de acuerdo con lo fijado en las especificaciones o lo ordenado por la supervisión. La determinación del tiempo a partir del cual pueden iniciarse la remoción de los moldes y la obra falsa, depende del tipo de la estructura, de las condiciones climáticas y de otros factores que puedan influir en el endurecimiento del concreto.

Al efectuarse el descimbrado se debe retirar todo el material de su propiedad, a sus almacenes o a los sitios que mejor convengan a sus intereses, siempre y cuando no interfieran con el desarrollo de la norma de los trabajos.



Imagen 4. 4 Acabado final con un diámetro de 7 metros

Es importante mencionar que cada proceso constructivo se debe efectuar con las indicaciones requeridas, esto garantiza nuestra calidad en la elaboración del proyecto como se muestra en Imagen 4.4.

4.6.1.-INFORMES DE CALIDAD DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

En la construcción de los materiales para la construcción del revestimiento definitivo, se realizan pruebas de control de calidad para que estas cumplan con las dimensiones como se muestra en Imagen 4.5, estas pruebas son:

- Certificados de calidad e informes técnicos de pruebas físicas y químicas (IMCYC) de cemento CPO 30 R RS Fino, por el proveedor.
- Informes de análisis fisicoquímico de agua, por IMCYC (uso fabricación de mortero para inyección).
- Informes de análisis físico de arena de origen de mina.
- Certificados de calidad e informe de resultados: aditivo Plastiment liquid.
- Informe de resultados aditivo: Viscoflow 10 mx.

- Certificados de calidad: aditivo ViscoFlow 10 mx.
- Informes de verificación de básculas de la planta dosificadora de concreto.

Respecto a los materiales el cemento utilizado debe cumplir con normas de calidad como son:

Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2010 Industria De La Construcción-Cementantes Hidráulicos-Especificaciones Y Métodos De Ensayo”

Todos deben estar certificados ante la ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.).

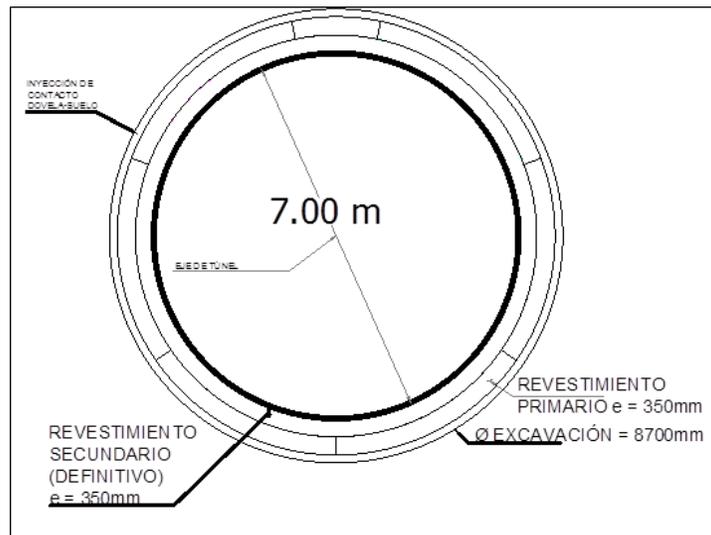


Imagen 4. 5 Dimensiones del revestimiento definitivo

4.7.- SISTEMA DE CALIDAD EN EL PORTAL DE SALIDA

Para la construcción del diseño geotécnico y estructural del portal de salida se emplea el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF), referencia 3, y las Normas Técnicas Complementarias (NTC) en su versión 2004.

En los casos no cubiertos por el RCDF, se consideran de ser necesario y en acuerdo con la CONAGUA, el uso de los siguientes reglamentos, códigos, manuales y referencias, todos en su última versión:

- American Concrete Institute, ACI; los comités aplicables.
- American Institute of Construction, INC, AISC.
- American Society for Testing and Material, ASTM.
- American Welding Society, AWS.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO.

- Manual de construcción de acero, instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C., IMCA.
- Manual para diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C., ONNCE.
- Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, Diario Oficial de la Federación.

Para el cumplimiento de la calidad es necesario hacer los análisis de equilibrio límite para condiciones estáticas y sísmicas revisando de forma individual los taludes: izquierdo y derecho de la excavación y el talud de la margen izquierda del río El Salto.

Los análisis se realizan con los siguientes parámetros: se obtiene en pruebas de compresión triaxial no consolidada, no drenada y obtenidos en pruebas de compresión simple.

En todos los casos los factores de seguridad (FS) calculados en condiciones de humedad natural, resultan mayores con respecto a condiciones saturadas. Dado que los valores de las propiedades mecánicas de los materiales en condiciones de humedad natural son superiores a los obtenidos en condiciones saturadas.

V.- CONCLUSIONES:

Crear un producto, construir o dar un servicio bajo un sistema de gestión, reduce el tiempo de entrega, y ahorra los costos comparado con uno que no esté bajo un sistema.

Para llevar a cabo una obra y tener un control de los procesos con precisión en esta, solo se puede realizar con un sistema de control total, por esto las empresas deben crear sus sistemas de control propios.

Para hacer las cosas se deben hacer desde un principio bien y al existir una gestión de control de procesos, baja la cantidad de errores en la ejecución de la obra comparado con una sin gestión de control.

Para poder implementar un Sistema de Gestión de Calidad es necesario basarlo en reglamentos y procedimientos estandarizados según normas internacionales de aceptación mundial y en este caso las locales.

En este caso lo que se busca es solventar una necesidad o servicio social el cual es el de mejorar el drenaje de la Ciudad de México y en el cual se debe demostrar la eficiencia en cada una de las etapas de construcción para posteriormente el de su operación.

Debemos considerar que si se lleva a cabo un control de calidad ayuda a evitar que en la construcción haya elementos defectuosos las cuales generarían pérdidas y que hasta para deshacerse de ellos sería necesario un gasto adicional.

La menor intención del control de la calidad es detener los avances en el proceso, por el contrario es el de corregir y eliminar causas de calidad indeseable perdida en él.

La construcción del Túnel Emisor Oriente es una obra difícil de realizar, en nuestro país es la primera en realizarse con las dimensiones y longitud descritas en nuestro trabajo, es importante tener una buena calidad en cada uno de los procesos constructivos para que en un futuro no se cuente con daños ocasionados por no ser supervisados adecuadamente.

El Túnel Emisor Oriente en nuestro punto de vista es lo que se busca para disminuir las inundaciones en el Distrito federal, Estado de México, Cuenca del Valle de México y estado de Hidalgo, de igual forma se podrá dar el mantenimiento al Túnel Emisor Central y se podrá tratar el agua que llegue al portal de salida con la Planta de Tratamiento de Atotonilco.

En México se necesitan más obras similares, y es de suma importancia el drenaje para las aguas residuales y pluviales, así mismo la generación de empleos crece, creemos que es importante hacer más difusión de las obras para que las personas conozcan y tengan en cuenta lo que se hace en nuestro país para beneficiarnos.

BIBLIOGRAFÍA

Contrato No.- SGAPDS-GHIP-DFMEXHGO-08-008-RF-AD; Contrato de Obra Pública Mixto sobre la base de Precios Unitarios, Precio Alzado y Tiempo Determinado para la elaboración del proyecto ejecutivo y la construcción del Túnel Emisor Oriente. 14 de Noviembre de 2008

Contrato No.- SGAPDS-GIHP-DFMEXHGO-08-011-RF-AD "Supervisión Técnica-Administrativa y El Control De Calidad Del Proyecto Ejecutivo y De La Construcción Del Túnel Emisor Oriente.

Título: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario, Autor: Comisión Nacional del Agua. Diciembre 2009

Artículo: Información LFTAIPG (Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental). Autor: Alberto U. Esteban Marina

Presentación: Coloquio Jurídico Internacional, Ciudades en Cuencas Sustentable, 6/octubre/2011.

Presentación: Procedimientos de Construcción del Túnel Emisor Oriente, México, D.f. Jornada Técnica: Túneles en México, 07/junio/2011.

Tesis: Procedimiento Constructivo del Revestimiento Definitivo en Túneles, caso de estudio: Túnel para el Desalojo de Aguas Residuales en el valle de México, Ubicado en Chalco Estado de México; Autor José Luis Martínez Espinosa. UNAM, Agosto 2011.

Tesis: Procedimiento Constructivo del Portal de Salida del proyecto Túnel Emisor Oriente: Autor, Miguel Ángel Hernández Soto. UNAM, México D.F. 2012.

Tesis: Procedimiento de Excavación con escudo para la construcción del Túnel Emisor Oriente en el Valle de México: Autor Antonio Ríos Manrique. UNAM, 2009.

Tercer Simposio Internacional sobre Túneles y Lumbreras en suelos y Roca, Noviembre 2013, CICM.

Revista Geotecnia; artículo Túnel Emisor Oriente: Análisis, Diseño y Comportamiento, Marzo-Mayo 2012. Autor: Mario Arturo Aguilar Téllez.

NMX-CC-9000-IMNC-2008.-sistema de gestión de la calidad-fundamentos y vocabulario.

NMX-CC-9001-IMNC-2008- sistema de gestión de calidad; requisitos.

Manual para procedimiento para resanes y/o reparación de dovelas prefabricadas con curado a vapor o normal

Cimbra deslizante.- Información de la lumbrera 5 y lumbrera 6

Análisis de los movimientos del terreno producidos por la excavación mecánica del túnel de la L9, En la zona de Santa Coloma de Gramenet. Centro de información ambiental de la Ciudad de México

Constructora Mexicana de Infraestructura Subterránea S.A. de C.V. (COMISSA) 2010. Proyecto Ejecutivo Portal de Salida. Revisión a 18 de enero de 2010. México.

Video Anual 2013- 2013, COMISSA, 27 Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Noviembre 2013. CICM.

Sitios Web;

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-29.pdf>

http://www.atl.org.mx/coloquio/images/3ercoloquio/presentaciones/adrian_lombardo.pdf

<https://www.etcg.upc.edu/docencia/aula-paymacotas/tunels-a-mexic/ponencias/lombardo.pdf>

<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/estudios/2008/15EM2008H0009.pdf>

<http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/TunelEmisorOriente>

<http://www.smig.org.mx/revistas/223.pdf>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/454/A5.pdf>

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3270/6/52146-6.pdf>

<http://andradeivan.com/wp-content/uploads/2012/04/Principios-de-Gesti%C3%B3n-de-la-Calidad.pdf>

<http://www.tierradeideas.com>

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla A Características del Sistema Principal de Drenaje	13
Tabla B Comparativa de capacidad de las salidas artificiales (1975-2007).....	14
Tabla 2. 1 Características topográficas de las lumbreras	33
Tabla 2. 2 Tipos de materiales encontrados a lo largo del túnel	35
Tabla 4. 1 Equipo de protección personal NOM-031-STPS-2011	80
Tabla 4. 2 Equipo de protección personal NOM-031-STPS-2011	80
Tabla 4. 3 Equipo de protección personal NOM-031-STPS-2011	81
Tabla 4. 4 Seguridad (personal externo de la construcción)	82
Tabla 4. 5 Estructura para los manuales del equipo (seguridad)	82
Tabla 4. 6 Señales de prohibición dentro de la TBM	84
Tabla 4. 7 Señales de obligación dentro de la TBM	84
Tabla 4. 8 Señales de peligro dentro de la TBM	85
Tabla 4. 9 Elementos con indicador de impacto	88
Tabla 4. 10 Plan de inspección y pruebas para la fabricación de dovelas de concreto del TEO	95
Tabla 4. 11 Análisis Físico químico para el concreto	95
Tabla 4. 12 Plan de inspección y pruebas para la fabricación de dovelas del TEO del agua	96
Tabla 4. 13 Plan de inspección y pruebas de la grava para la fabricación de dovelas del TEO.....	97
Tabla 4. 14 Plan de inspección y pruebas de la arena para la fabricación de dovelas del TEO.....	98
Tabla 4. 15 Plan de inspección y pruebas de los aditivos para la fabricación de dovelas del TEO.....	98

Tabla 4. 16 Plan de inspección y pruebas del acero de refuerzo para la fabricación de dovelas.....	98
Tabla 4. 17 Plan de inspección y pruebas de la soldadura para la fabricación de dovelas del TEO.....	98
Tabla 4. 18 Plan de inspección y pruebas del acero estructural, calibración y verificación de básculas para la fabricación de dovelas.....	99
Tabla 4. 19 Plan de inspección y pruebas de uniformidad del mezclador para la fabricación de dovelas del TEO	99
Tabla 4. 20 Ciclo de trabajo del revestimiento definitivo 0.40m.....	100
Tabla 4. 21 Ciclo de trabajo del revestimiento definitivo 0.35m.....	101