



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“PROCEDIMIENTO DE
CONSTRUCCIÓN DE LAS DOVELAS
PARA EL TÚNEL EMISOR ORIENTE”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

HUGO FERNANDO JUÁREZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO



MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



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
AVÁNAMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/118/11

Señor
HUGO FERNANDO JUÁREZ GARCÍA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DOVELAS PARA EL TÚNEL EMISOR ORIENTE"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES
- III. DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE
- IV. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DOVELAS
- IV. CONCLUSIONES

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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 6 de Diciembre del 2011.
EL PRESIDENTE


M. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JTS/MTH*gar.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo incondicional.

A todos mis familiares, amigos, profesores y compañeros por permitirme compartir con ellos los malos y buenos momentos.

A mi Director de Tesis, Ing. Carlos Manuel Chavarri Maldonado y al M.I. Sergio Macuil Robles por el apoyo brindado.

A la UNAM, especialmente a la Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	2
I.1 LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO	2
I.2 HISTORIA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO	3
Albarradón de Nezahualcóyotl.....	3
Tajo de Nochistongo	4
Gran Canal de Desagüe	5
Túnel Emisor Poniente	6
Emisor Central.....	6
<i>Sistema principal de drenaje del valle de México</i>	7
I.3 PROBLEMÁTICA CRÍTICA ACTUAL	8
Riesgo de inundación	11
II. DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE	15
II.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO	15
II.2 INVERSIÓN	15
II.3 NATURALEZA DEL PROYECTO	15
Tramos y localización de lumbreras del TEO.....	17
<i>Los seis tramos del TEO</i>	21
II.4 MODO DE CONTRATACIÓN Y DEPENDENCIAS INVOLUCRADAS	24
II.5 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERAS	25
II.6 EXCAVACIÓN DE TRAMOS	30
II.7 GEOLOGÍA DEL TRAZO	31
II.8 TUNELADORAS	33
Máquina de tierra balanceada (TBM-EPB).....	33
Rezaga	37
II.9 REVESTIMIENTO DEL TÚNEL	38
Aspectos generales	38
Revestimiento primario	39
Revestimiento definitivo	42

III. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DOVELAS.....	44
III.1 INTRODUCCIÓN	44
III.2 DEFINICIÓN	44
III.3 PLANTA DE DOVELAS DE ECATEPEC	45
Ubicación.....	45
Características	46
III.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ANILLOS.....	47
III. 5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS DOVELAS.....	48
III.6 DESCRIPCIÓN DEL CICLO OPERATIVO.....	51
Limpieza de moldes.....	54
Colocación de desmoldante.....	54
Colocación del armado.....	56
Cámara de colado.....	58
Enrasado y pulido.....	63
Lavado exterior	64
Curado a vapor.....	64
Desmolde de la pieza por succión.....	69
Girado de las piezas.	70
Resanes y reparación de dovelas	71
Pre-almacenaje de dovelas	71
Almacenaje definitivo de dovelas	72
III.7 HABILITADO DE ACERO	74
Armado de parrillas.....	74
Ensamble final	78
III.8 PRUEBAS DE LABORATORIO	79
Prueba de revenimiento.....	80
Prueba de compresión	81
III.9 TRANSPORTE DE DOVELAS.....	83
III.10 MAQUINARIA USADA EN PLANTA DE DOVELAS	84
IV. CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
PAGINAS WEB.....	97

INTRODUCCIÓN

Actualmente el Valle de México presenta riesgos de grandes inundaciones en el centro de la Ciudad de México y la disminución de la capacidad del sistema de drenaje.

Colateralmente, se registra el deterioro de las condiciones ambientales y de salud de los habitantes de Hidalgo, quienes reciben aguas residuales del Valle de México.

El registro de inundaciones se remonta a lo que hoy es la Ciudad de México. Para evitarlas se construyeron históricamente salidas artificiales de agua. Una de ellas es el Túnel Emisor Central, que originalmente fue diseñado para desalojar las aguas de lluvia y que más tarde fue utilizado para transportar también aguas residuales.

Este cambio obligo a operar sin interrupciones para mantenimiento, por lo que el túnel presento graves daños en su estructura, además de que ya ha sido superado en capacidad.

Por ello, en noviembre de 2007, el Gobierno Federal lanza el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, convocando a los gobiernos del Distrito Federal, Estado de México e Hidalgo a sumarse.

Como parte de dicho proyecto, se plantea la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO), que permitirá aumentar la capacidad del sistema de drenaje profundo y evitará graves inundaciones en la zona metropolitana del Valle de México.

Se trata de un sistema alternativo de conducción de aguas residuales, que tendrá una longitud de 62 kilómetros y un diámetro de 7 metros.

En temporada de lluvias funcionara de manera simultánea al drenaje profundo actual, y en época de sequía, operara de forma alternada para permitir su mantenimiento.

La construcción del túnel se realiza con máquinas tuneladoras denominadas de tierra balanceada, que son tecnología de una nueva generación que ofrecen un sistema automatizado de construcción de túneles.

Las tuneladoras del TEO, durante la excavación, van instalando piezas de concreto armado en forma de arcos, conocidas como dovelas.

Las dovelas son piezas prefabricadas de concreto armado, que se atornillan entre si para formar anillos. Para su construcción se cuenta con tres plantas ubicadas en los municipios de Ecatepec, Zumpango y Huehuetoca, con las que se elaboraran un total de 42 mil anillos.

I. ANTECEDENTES

I.1 LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO

La cuenca del Valle de México, que mide 8,000 kilómetros cuadrados fue una cuenca cerrada (endorreica) formada por cinco grandes lagos: Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco. En época de lluvias estos lagos se convertían en uno solo de dos mil kilómetros cuadrados de superficie, equivalentes al lago de Chapala el cual es el más grande del país actualmente.

De los extensos lagos que originalmente la formaban y los catorce grandes ríos que los alimentaban, que hoy se conocen como Almaca, La Piedad, Churubusco, Magdalena, Los Remedios, Santo desierto, Mixcoac, San Juan de Dios, San Bernardino, San Gregorio, San Lucas, El salto, La Compañía y Moctezuma, en la actualidad quedan apenas vestigios. La cuenca fue drenada casi en su totalidad para construir en ella lo que hoy es una de las ciudades más pobladas del planeta: La ciudad de México (Distrito Federal) y su área conurbada con alrededor de 20 millones de habitantes.

Estas condiciones explican las periódicas inundaciones que desde la fundación de Tenochtitlán (año 1325) han enfrentado sus habitantes, así como la necesidad de construir importantes obras de drenaje para el control y desalojo de las aguas pluviales y residuales del valle.



Cuenca del Valle de México

I.2 HISTORIA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO

A lo largo de la historia del Valle de México, los habitantes han tenido que lidiar con la temporada de lluvias para consolidar los asentamientos humanos, generando un inmenso trabajo para desviar artificialmente los ríos y aprovechar el recurso del agua.

Entre los proyectos históricos de drenaje encontramos:

- En 1450, se construye el Albarradón de Nezahualcóyotl.
- En los siglos XVII y XVIII, se construyó el tajo de Nochistongo.
- En 1900, se inauguró el Gran Canal del Desagüe con el primer túnel de Tequixquiac.
- En 1962 inició operaciones el Emisor Poniente.
- En 1975 se inauguró el Emisor Central que mide 50 kilómetros, componente principal del actual drenaje profundo.

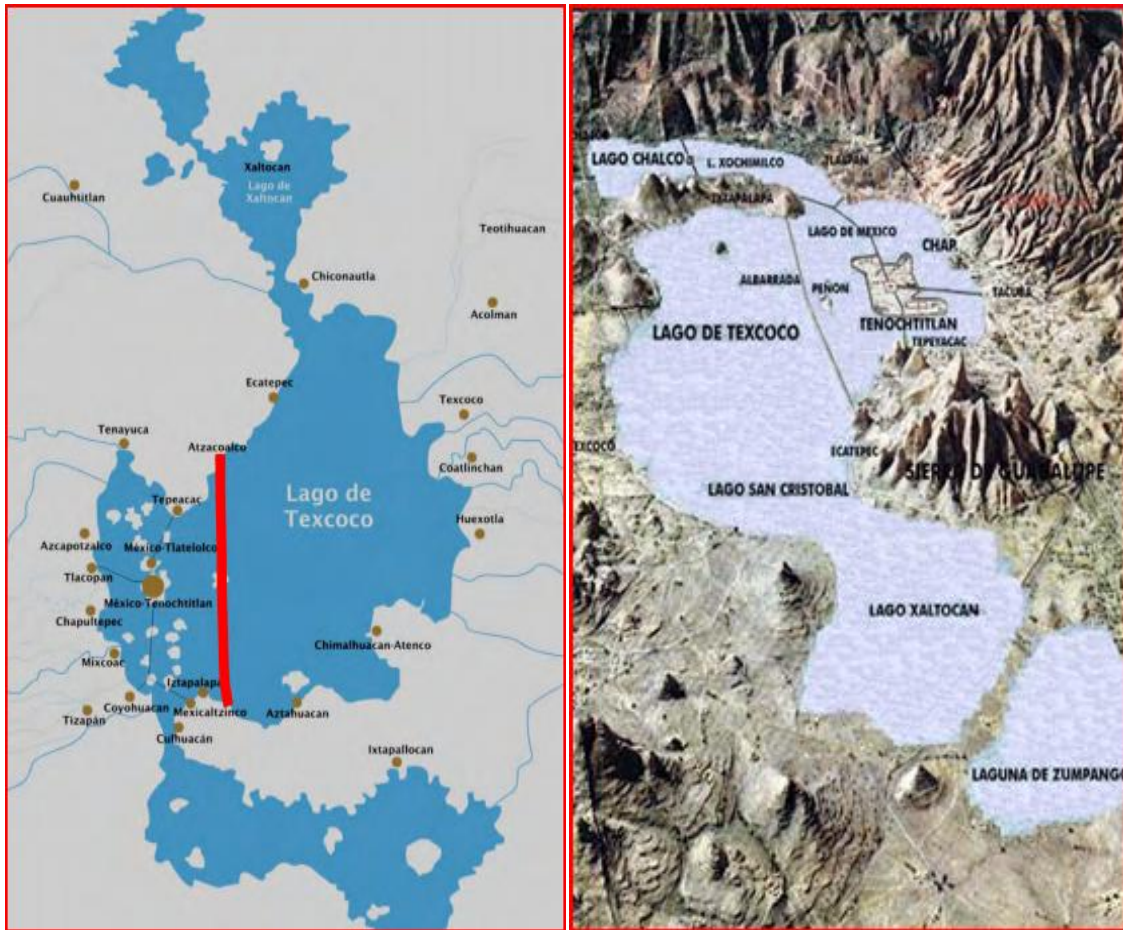
El Gran Canal del Desagüe, el Emisor Poniente y el Emisor Central, son las obras hidráulicas más importantes que se realizaron para prevenir inundaciones en el Valle de México.

Albarradón de Nezahualcóyotl

A la llegada de los españoles, a principios del siglo XVI, se calcula que vivían en la cuenca cerca de un millón de personas, cuyas ciudades tenían, pirámides, templos, casas, edificios, acueductos, calzadas, puentes, diques, acequias, canales y chinampas. Tenían ya un buen manejo del agua; los lagos tenían diferentes alturas uno con respecto a otros y en época de inundaciones había que controlar las avenidas.

Alrededor de 1450, el emperador Nezahualcóyotl mando construir un dique de 22 kilómetros, cuatro metros de alto y 6.7 metros de ancho que sirviera para controlar el nivel de las aguas del lago de Texcoco. Este fue construido con miles de horas-hombre, proporcionadas por los habitantes de los pueblos sometidos.

El dique fue construido entre Atzacolco en el norte del lago e Iztapalapa al sur. Dividía la laguna en dos partes. Al oriente, quedaban las aguas salobres de Texcoco, y al poniente, el vaso se llenó con aguas dulces provenientes de los lagos de Xochimilco y Chalco. La división fue posible en la medida que los lagos de Xochimilco y Chalco se encuentran a una mayor altitud que el vaso oriental de Texcoco. El dique poseía esclusas que permitían vaciar la laguna de México cuando el nivel de las aguas fuera peligroso.



Albarradón de Nezahualcóyotl

Tajo de Nochistongo

La gran inundación que se registró en 1555 motivó a que se tomara la decisión de implementar un sistema de drenaje para el lago de Texcoco. El virrey Luis de Velasco convocó a la construcción de un nuevo sistema de desagüe que evitaría inundaciones en la cuenca. En 1607 se inició la primera salida artificial del Valle de México: el tajo de Nochistongo. El propósito de dicha obra era evitar que las aguas del río Cuauhtitlán afectaran el lago de Texcoco.

El proyecto realizado por Enrico Martínez consistió en la construcción de un túnel y una abertura entre los cerros de Nochistongo. Sin embargo, la falta de revestimiento en la galería del túnel ocasionó varios derrumbes que lo dejaron inservible por muchos años. En 1789, 181 años después del inicio de las obras, se inauguró el tajo a cielo abierto.



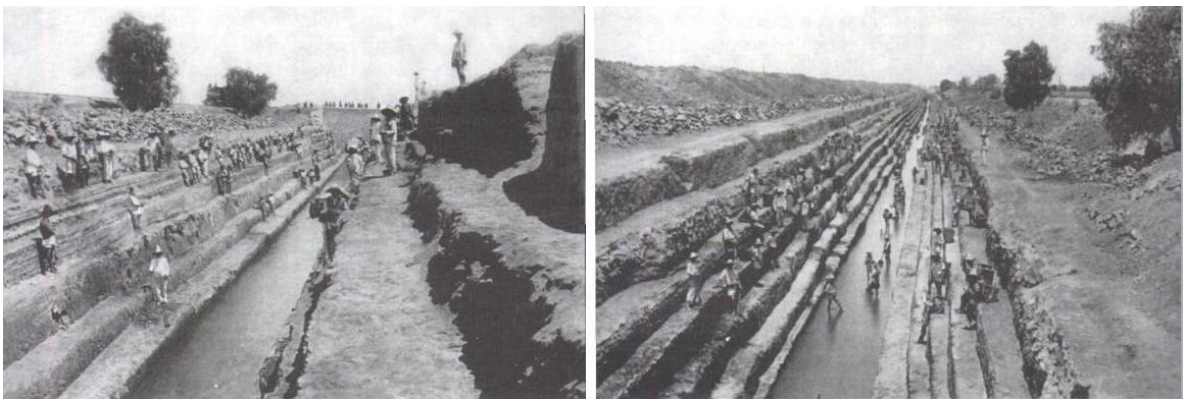
Tajo de Nochistongo

Gran Canal de Desagüe

Durante la presidencia de Porfirio Díaz se concretó este proyecto completo y definitivo del desagüe del Valle. El proyecto consta de un canal, un túnel y un tajo de salida.

El canal comienza al oriente de la ciudad, en la Garita de San Lázaro, atraviesa los lagos de Texcoco, San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango y concluye en la entrada del túnel, en las cercanías del pueblo de Zumpango; su longitud total fue de 47.527 kilómetros. El túnel cuenta con una longitud de 10.21 kilómetros y 24 lumbreras de dos metros de ancho; su sección transversal es de forma oval, y fue calculado para recibir un gasto de 16 metros cúbicos por segundo. A la salida del túnel se encuentra el tajo de desemboque de 2, 500 metros de longitud, que se une con el río Tequixquiac.

Las obras comenzaron en 1885, cuando se nombró al ingeniero Luis Espinosa como titular de la Junta Directiva del Desagüe. En 1894 quedó concluido el túnel, y a principios de 1900 se inauguró el Canal de Desagüe.



Construcción del Gran Canal De Desagüe

Túnel Emisor Poniente

En 1962 se inauguró el Túnel Emisor Poniente, con el cual se evitaría la sobrecarga del Gran Canal de Desagüe. El interceptor poniente conducía un caudal de 25 metros cúbicos por segundo a través de túneles de 15 kilómetros de longitud y de un canal revestido a cielo abierto.

Entre 1963 y 1964 el interceptor se amplió a 32.3 kilómetros y aumentó su capacidad a 80 metros cúbicos por segundo, llevando las aguas pluviales hacia el río Cuautitlán, la Laguna de Zumpango y el Tajo de Nochistongo. El trazo del interceptor va de Naucalpan a Tepetzotlán en el estado de México; recibe las descargas de los ríos Tlalnepantla, San Javier, Cuautitlán y Hondo de Tepetzotlán, los cuales son regulados previamente por las presas Madín, San Juan, las Ruinas, Guadalupe y La Concepción, en el estado de México.

Con la operación del túnel se evitó que las aguas del poniente de la ciudad descargaran en la ciudad sin ningún control.

Emisor Central

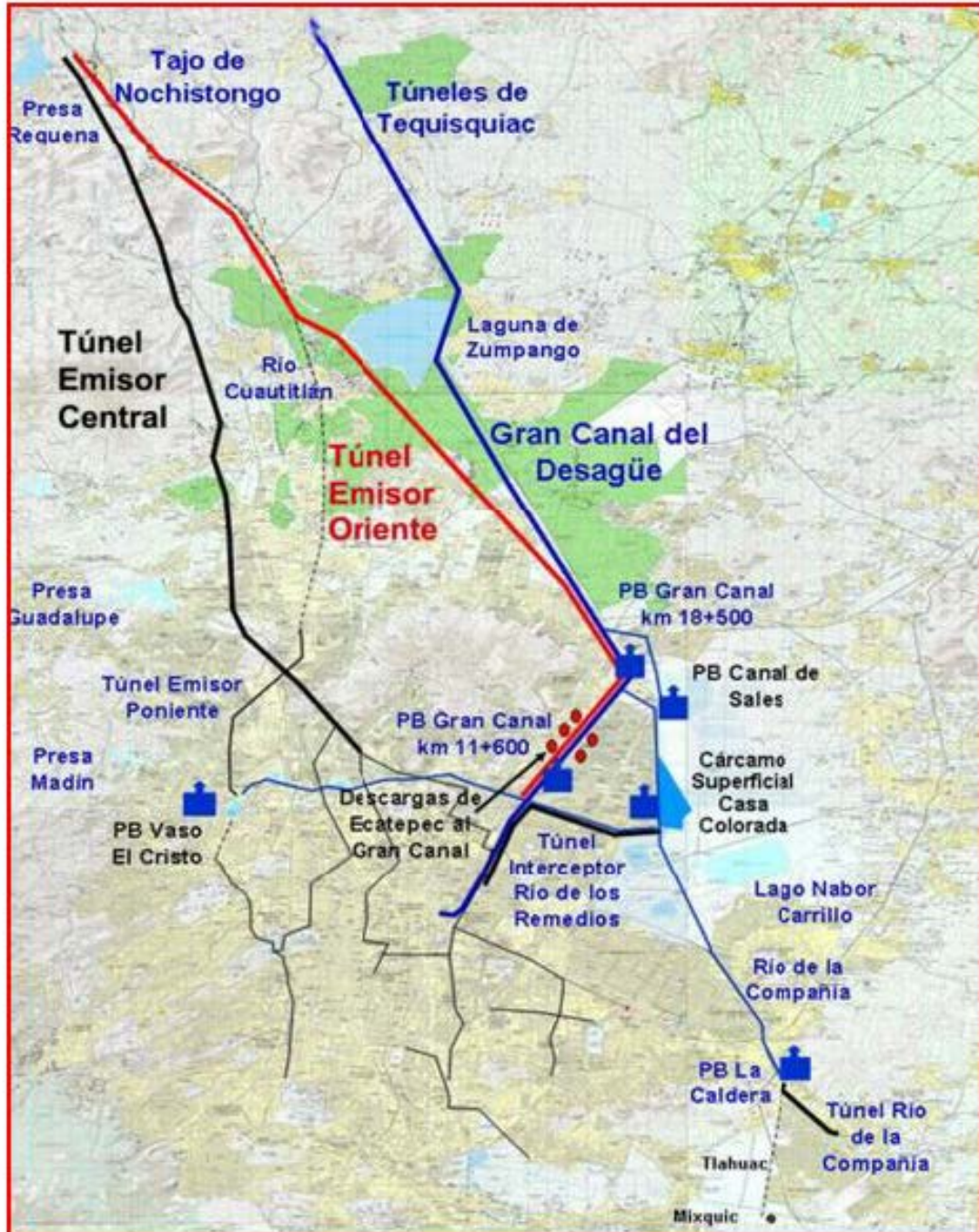
En 1967 comenzó la construcción del Drenaje Profundo integrado actualmente por un Emisor Central y nueve Interceptores, con una longitud total de 153.3 kilómetros. Fue en 1975 cuando concluyó la obra del Emisor Central, componente principal del actual drenaje profundo. El Emisor Central tiene una longitud de 50 kilómetros y 6.5 metros de diámetro. Su trazo inicia en Cuauhtpec, en la delegación Gustavo A. Madero y concluye en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo.

El túnel descarga en el río El Salto, afluente del Tula, y continúa hasta el Distrito de Riego 03, del Valle del Mezquital. Tiene una capacidad máxima de 200 metros cúbicos por segundo, su profundidad mínima es de 50 metros y su máxima es de 237. En una segunda etapa se construyeron los interceptores oriente y central, túneles que confluyen en el Emisor Central.

El interceptor oriente, con una longitud de 10 kilómetros, se construyó para aliviar al Gran Canal, y el interceptor central de 8 kilómetros de largo aliviaría la parte central y norte de la ciudad.

La operación del Drenaje Profundo permite el desagüe por gravedad a través de túneles, desde la Ciudad de México hasta el desagüe del sistema, en el río del Salto, cercano a la presa Requena, en Hidalgo. Desde su concepción, el drenaje maneja aguas pluviales; sin embargo, a partir de 1992, como resultado de la pérdida de nivel del Gran Canal, se conducen aguas negras que recibe del interceptor oriente y del central. Actualmente, el Sistema de Drenaje Profundo cuenta con el Emisor Central, Interceptor Central, Interceptor Centro-Centro, Interceptor Oriente, Interceptor Centro-Oriente, Interceptor del Poniente,

Interceptor Iztapalapa, Interceptor Obrero Mundial, Interceptor Oriente Sur, Canal Nacional-Canal Chalco.



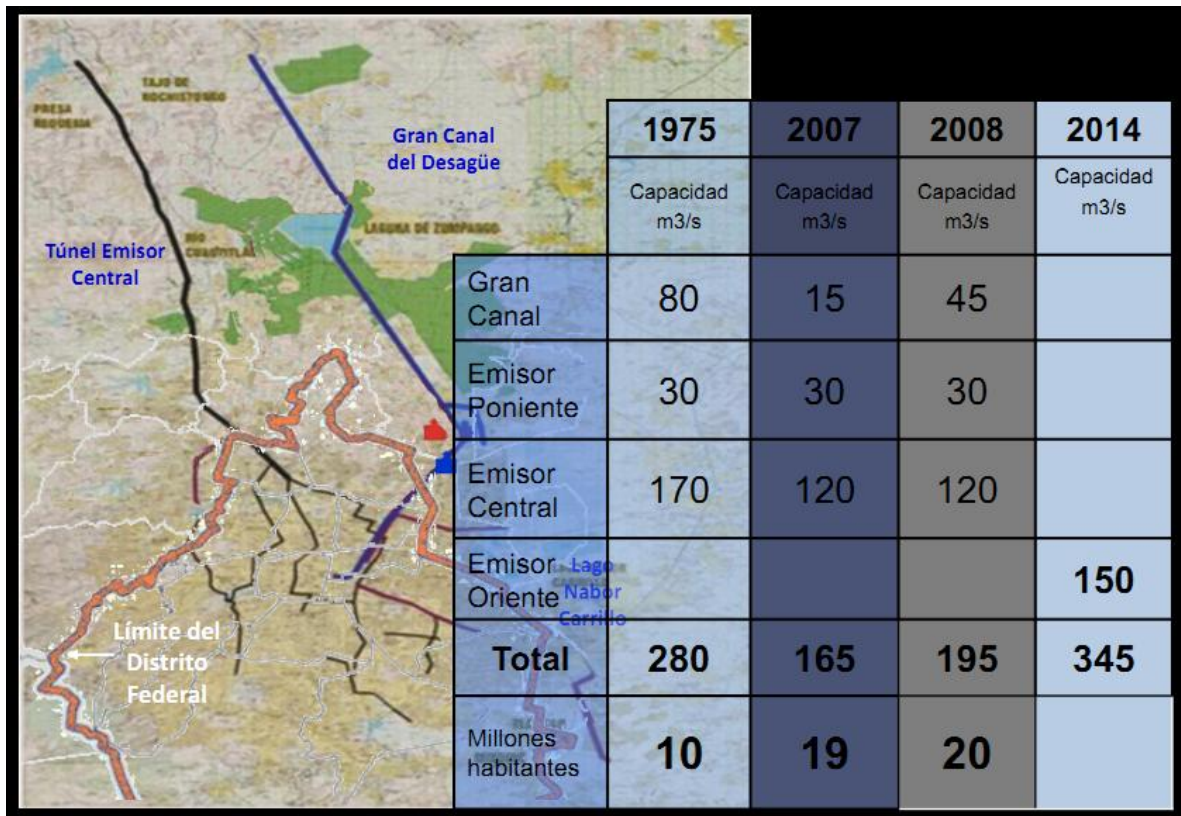
Sistema principal de drenaje del valle de México

I.3 PROBLEMÁTICA CRÍTICA ACTUAL

Hoy la capacidad del sistema de drenaje de la zona Metropolitana es insuficiente y presenta serios problemas. Basta comparar la capacidad que tenía en 1975 con la que tiene en la actualidad, que es 30% menor con casi el doble de población. Esta disminución se debe principalmente al constante hundimiento de la Ciudad de México, originado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Valle de México.

A pesar de que el Emisor Central es el ducto del cual depende la seguridad del desalojo de las aguas residuales y pluviales del valle, es necesario cerrarlo durante los meses de estiaje para su reparación y mantenimiento. Esto plantea la urgente necesidad de disponer de un emisor alternativo que permita mantener la capacidad de operación del sistema durante todo el año.

Además, como se aprecia en la siguiente cuadro, el actual sistema de drenaje profundo es insuficiente para las necesidad actual del Valle de México que es de 315 m³/s.



Comparación de la capacidad de drenaje.

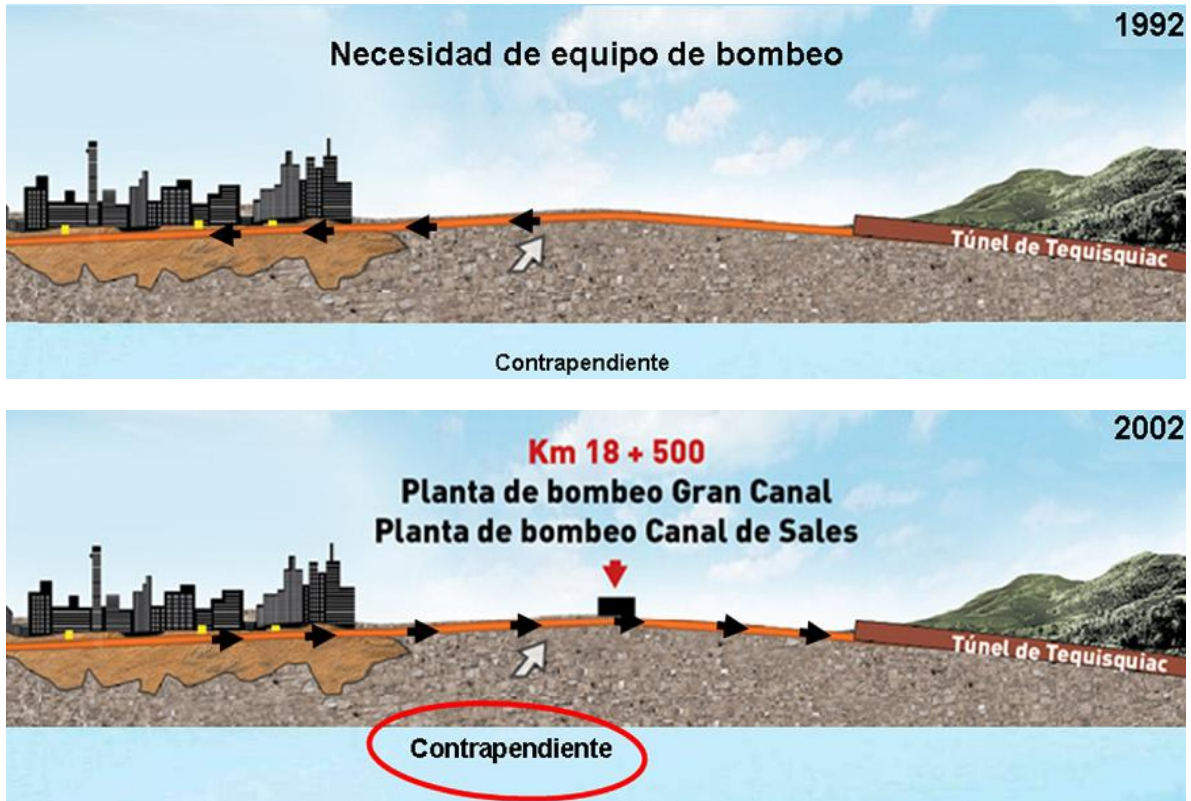
CAPACIDAD DE DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES DEL VALLE DE MÉXICO



Ante una situación de inundación, la Federación y los gobiernos del Distrito Federal y el Estado de México realizaron durante la segunda mitad de 2007, obras de emergencia, como la construcción de cuatro grandes plantas de bombeo para desalojar, por el Gran Canal y el Emisor Poniente, hasta 30 metros cúbicos por segundo. Esta parcial recuperación de la capacidad de conducción del Gran Canal del Desagüe permitió inspeccionar el interior del Emisor Central y realizar reparaciones urgentes.

Es necesario desalojar 315 metros cúbicos por segundo de aguas de lluvia y residuales, de los cuales 45 metros cúbicos por segundo son desalojados por el gran canal, 30 metros cúbicos por segundo por el túnel emisor poniente y 120 metros cúbicos por segundo por el túnel emisor central, lo que provoca un déficit de desalojo de agua y por lo tanto un alto riesgo de inundación.





La capacidad de desalojo del Gran Canal del Desagüe se redujo de 80 metros cúbicos por segundo a sólo 15.

Riesgo de inundación

El Distrito Federal y el Estado de México aportan en conjunto el 32.3% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, por lo que es innegable que una eventual inundación repercutiría en el crecimiento económico del país.

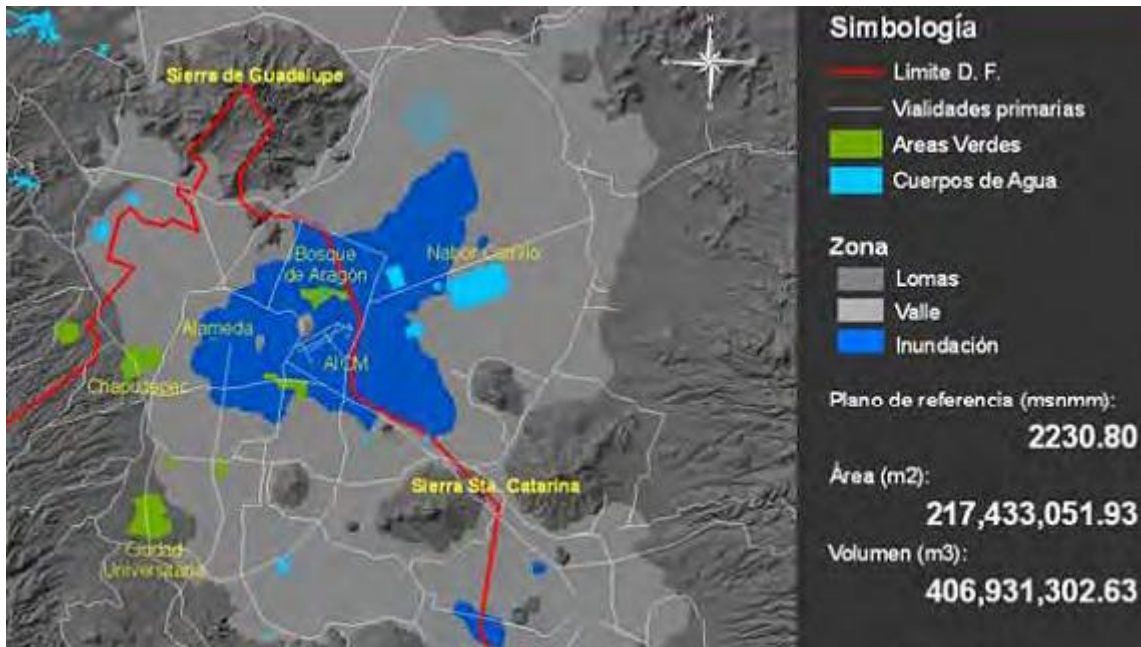
El Emisor Central, diseñado para conducir agua de lluvia en los picos de tormenta, ha operado durante 15 años fuera de sus variables de diseño al utilizarse de manera continua y sin mantenimiento; además de estar conduciendo aguas residuales o “negras”, situación que ha provocado un desgaste acelerado. Como resultado de una inspección que permitió detectar diversos daños al recubrimiento de concreto y al acero de refuerzo que denotan un deterioro progresivo y cuya reparación requerirá de varios años, así como un programa periódico de mantenimiento.



Deterioro del Emisor Central

La eventual falla del Emisor Central provocaría inundaciones de consecuencias sociales, económicas y políticas inconmensurables





El TEO es una monumental obra de ingeniería permitirá contar con una salida complementaria alterna al Emisor Central, que abatirá el riesgo de inundaciones en la Ciudad de México y su zona conurbada y dará seguridad a 20 millones de habitantes. En temporada de lluvias, funcionará de manera simultánea con el actual drenaje profundo y, en época de secas, lo hará alternadamente para facilitar su mantenimiento.



Columna de la Independencia. En 1910 la Columna se encontraba a la altura de la acera y hoy se requiere una estructura de escaleras para acceder al monumento.

II. DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE

II.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El Túnel Emisor Oriente se inicia con la lumbrera L-0 en el km 0+000 en la esquina sur-este del cruce formado por la Av. Gran Canal y Anillo Periférico, Col. 25 de Julio, Delegación Gustavo A. Madero, D. F., a partir de ahí el trazo se desarrollará por la margen izquierda del Gran Canal, cruza al municipio Ecatepec de Morelos, continúa sobre los límites de los municipios de Coacalco y Tecámac, posteriormente pasa por los municipios de Tonanitla, Nextlalpan, Jaltenco, Zumpango, Teoloyucan, Huehuetoca, Tepeji del Río y finalmente concluirá en el municipio de Atotonilco de Tula.

II.2 INVERSIÓN

El TEO tendrá una inversión de poco mas de 19 500 millones de pesos, de los cuales 13 millones aproximadamente son recursos federales, y el resto del Fideicomiso 1928 constituido por los gobiernos del Distrito Federal y el Estado de México.

II.3 NATURALEZA DEL PROYECTO

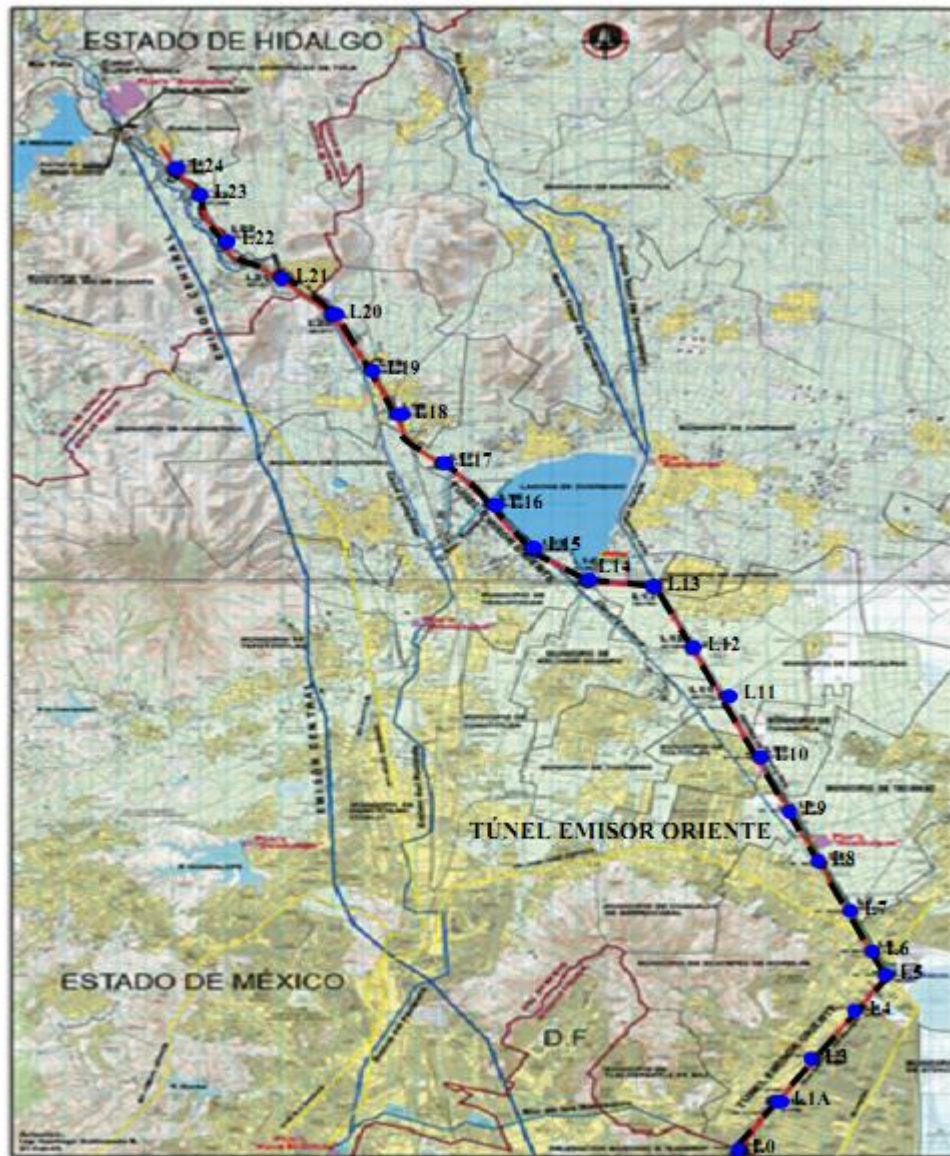
El Túnel Emisor Oriente (TEO) es una obra hidráulica subterránea para desalojar las aguas residuales y pluviales del valle de México que se construirá a profundidades que van de 60 a 200 metros bajo la superficie.

El Túnel Emisor Oriente recibirá las aguas residuales y pluviales provenientes de los túneles Interceptor Oriente y Río de los Remedios, cuyos caudales confluirán en la lumbrera L-2 del Túnel Río de los Remedios. A partir de ahí el agua se conducirá por gravedad por el Emisor Oriente hasta el sitio denominado El Salto, en el Estado de Hidalgo.

El TEO cuenta con una longitud de 61,716.177 metros, dividido en 6 tramos, con una pendiente promedio de 0.16% y un diámetro terminado de 7 metros que permitirá el desalojo de un gasto máximo de 150 metros cúbicos por segundo. El túnel comienza en los límites del Estado de México y el Distrito Federal, terminando en el municipio de Atotonilco de Tula, Estado de Hidalgo. Contará con 24 lumbreras de 12 y 16 metros de diámetro a profundidades que van desde 26 metros hasta 150 metros, y también contará con un portal de salida en Atotonilco, en donde se construye una planta de tratamiento que tendrá capacidad para tratar 23 metros cúbicos de agua por segundo durante el estiaje (mediante proceso convencional) y un modulo adicional (mediante proceso físico-químico) para aumentar 12 metros cúbicos por segundo en época de lluvias.

El trazo del túnel irá en sus primeros 10 km por la margen izquierda del Gran Canal en dirección noreste, después pasará por abajo del Gran Canal y deflexionará ligeramente hacia el noroeste, de ahí continuará prácticamente paralelo a la margen derecha del Gran Canal hasta el km 38+500 aproximadamente, ahí deflexionará completamente al noroeste, cruzará a la margen izquierda y llegará cerca de la parte sur de la laguna de Zumpango, continuará en esa dirección hasta interceptar con el Canal de Castera y seguirá paralelo a este Canal, pasará por el costado izquierdo de la laguna de Zumpango, cruzará el Canal Santo Tomas hasta el Canal Cuautitlán y continuará prácticamente paralelo y en la margen derecha de este cuerpo hasta su Portal de Salida en El Salto.

El número de lumbreras se ha estimado en el orden de 24, y su localización se muestra a continuación:



En temporada de lluvia funcionara de manera simultánea al drenaje profundo actual, y en época de estiaje, operara de forma alternada para permitir su mantenimiento.

Las lumbreras son respiraderos que sirven para darle mantenimiento a la obra e ingresar los equipos de excavación. Seis de los respiradores son de ensamble, donde descenderá maquinaria para la construcción de cada tramo y en su momento, maquinaria para darle mantenimiento. Las lumbreras de ensamble son la 0, 5, 10, 13, 17 y 20.

Los objetivos del Túnel Emisor Oriente son: evitar inundaciones en el valle de México, disminuir el riesgo de fallas del sistema de drenaje, implementar un procedimiento que permita inspeccionar y dar mantenimiento al drenaje sin suspender su funcionamiento y mejoramiento ambiental.

Tramos y localización de lumbreras del TEO

Características del TEO y sus lumbreras	
Longitud	62 km
Diámetro del túnel	7.0 m
Capacidad máxima	150 m ³ /s
Numero de Lumbreras	24
Diámetro de Lumbreras	12 m y 16 m
Profundidad de las lumbreras	De 40 a 180 m
Lugar de inicio	En el límite del distrito Federal con el Municipio de Ecatepec
Lugar de termino	A 150 m del portal de salida del túnel Emisor central, en Atotonilco de Tula

A continuación se muestran las tablas del diámetro, cadenamientos y profundidades de las lumbreras, de cada uno de los cinco tramos que conforman el TEO.

La primera etapa consta de 10, 053 m

<i>PRIMER TRAMO TEO</i>			
NOMBRE LUMBRERA	DIÁMETRO (m)	CADENAMIENTOS TEO	PROFUNDIDAD DE LA LUMBRERA (m)
L0TEO	16	0 + 000	23.29
L1ATEO	12	2 + 753	32.63
L3TEO	12	5+398	41.24
L4TEO	12	8 + 207	45.81
L5TEO	16	10 + 0.53	48.72

La segunda etapa consta de 11582 m

<i>SEGUNDO TRAMO TEO</i>			
NOMBRE LUMBRERA	DIÁMETRO (m)	CADENAMIENTOS TEO	PROFUNDIDAD DE LA LUMBRERA (m)
L5TEO	16	10 + 0.53	48.72
L6TEO	12	11 + 475	55.22
L7TEO	12	13 + 486	60.85
L8TEO	12	16 + 031	65.74
L9TEO	12	18 + 843	69.87
L10TEO	16	21 + 635	72.54

La tercera etapa consta de 9, 158 m

<i>TERCER TRAMO TEO</i>			
NOMBRE LUMBRERA	DIÁMETRO (m)	CADENAMIENTOS TEO	PROFUNDIDAD DE LA LUMBRERA (m)
L10TEO	16	21 + 635	72.54
L11TEO	12	24 + 766	80.55
L12TEO	12	27 + 603	80.39
L13TEO	16	30 + 793	88.59

La cuarta etapa consta de 10,201 m

<i>CUARTO TRAMO TEO</i>			
NOMBRE LUMBRERA	DIÁMETRO (m)	CADENAMIENTOS TEO	PROFUNDIDAD DE LA LUMBRERA (m)
L13TEO	16	30 + 793	88.59
L14TEO	12	33 + 416	96.13
L15TEO	12	35 + 865	101.04
L16TEO	12	38 + 533	107.67
L17TEO	16	40 + 994	115.18

La quinta etapa consta de 8,637 m

<i>QUINTO TRAMO TEO</i>			
NOMBRE LUMBRERA	DIÁMETRO (m)	CADENAMIENTOS TEO	PROFUNDIDAD DE LA LUMBRERA (m)
L17TEO	16	40 + 994	115.18
L18TEO	12	44 + 303	126.42
L19TEO	12	46 + 689	130.83
L20TEO	16	49 + 631	148.154

La sexta etapa consta de 12,171 m

<i>SEXTO TRAMO TEO</i>			
NOMBRE LUMBRERA	DIÁMETRO (m)	CADENAMIENTOS TEO	PROFUNDIDAD DE LA LUMBRERA (m)
L20TEO	16	49 + 631	148.154
L21TEO	12	52 + 518	122.83
L22TEO	12	54 + 822	110.22
L23TEO	12	57 + 478	86.67
L24TEO	12	58 + 933	85.397
P. S.		61 + 802	23.191



Los seis tramos del TEO

Tramo 1

Este tramo va de la lumbrera 2 del Túnel interceptor Río de los Remedios (TIRR), a la lumbrera L-5 del TEO. La lumbrera 2 del TIRR se le denomina lumbrera L-0 del TEO, y está localizada en Anillo Periférico Norte y Av. Gran Canal, Delegación Gustavo A. Madero, Distrito Federal. La lumbrera L-0 se utilizara para el ensamble de los equipos, incluyendo la máquina excavadora, esta máquina será utilizada para la excavación del primer tramo del túnel con longitud aproximada de 10.06 km. Las lumbreras intermedias tendrán 12 m de diámetro.

Tramo 2

El tramo inicia en la lumbrera L-5 y termina en la L-10, localizada en la intersección del Gran Canal, Dren General del Valle y Av. Carlos Hank González, en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. La lumbrera L-5 tendrá 16 m de diámetro interior. En esa lumbrera se bajara y ensamblara el equipo que será utilizado para la excavación del segundo tramo del túnel, con longitud aproximada de 11.6 km. Las lumbreras intermedias serán de 12 m de diámetro.

Tramo 3

Este tramo va de la lumbrera L-10 a la lumbrera L-13. La lumbrera L-10 será de 16 m de diámetro, y se utilizara para el montaje del equipo del tercer tramo de la excavación, el cual tendrá una longitud aproximada de 8.9 km, las lumbreras intermedias son de 12 m de diámetro.

Tramo 4

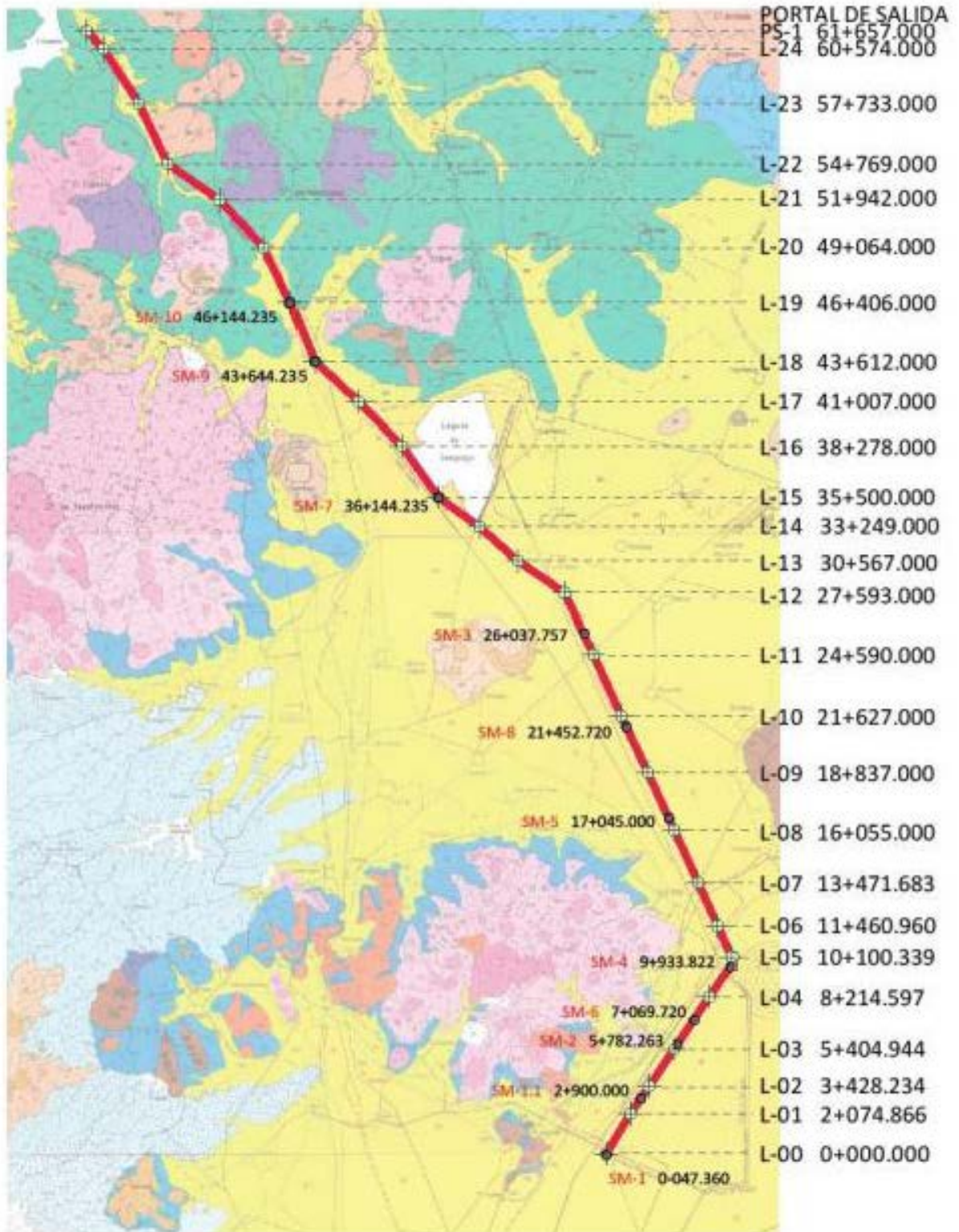
El tramo va de la lumbrera L-13 a la lumbrera L-17. La lumbrera L-13 será de 12 m de diámetro interior mínimo. El tramo tendrá aproximadamente 10.7 km, las lumbreras intermedias son de 12 m de diámetro.

Tramo 5

El tramo va de la lumbrera L-17 a la lumbrera L-20. La lumbrera L-17 será de 16 m de diámetro interior mínimo, la cual servirá para el montaje de la tuneladora. El tramo tendrá aproximadamente 8.4 km, las lumbreras intermedias son de 12 m de diámetro.

Tramo 6

El tramo va de la lumbrera 20 al portal de salida. La lumbrera L-20 será de 16 m de diámetro. El tramo tendrá aproximadamente 11.7 km. La excavación se realiza del portal de salida hacia la lumbrera 20 y se realizara la rezaga hacia el portal; las lumbreras intermedias son de 12 m de diámetro.



Lumbreras del TEO y sus cadenamientos

II.4 MODO DE CONTRATACIÓN Y DEPENDENCIAS INVOLUCRADAS

La ingeniería básica del TEO estuvo cargo de la empresa CFE. La gerencia externa de proyecto se encuentra bajo la supervisión de la empresa GICO, S.A.; el proyecto y la construcción son realizados por COMISSA (Constructora Mexicana de Infraestructura subterránea S.A DE C.V), el cual es un consorcio integrado por las siguientes empresas:

Carso Infraestructura y Construcciones S. A. B de CV (CICSA),
Ingenieros Civiles Asociados (ICA),
Construcciones y trituraciones (COTRISA),
Constructora Estrella
Lombardo Construcciones.

Dichas obras se realizan bajo el esquema de obra pública mixta sobre la base de precios unitarios, precio alzado y tiempo determinado.

El contrato tiene la modalidad de contrato mixto

- Proyecto ejecutivo del Túnel Emisor Oriente (Precio alzado)
- Construcción del Túnel Emisor Oriente (Precios unitarios)

Dependencias involucradas en esta obra

Gobierno Federal:

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).
Secretaría de la Función Pública (SFP).

Gobiernos estatales, municipales y delegacionales:

Gobierno del Estado de México.
Municipio de Ecatepec de Morelos.
Gobierno del Distrito Federal.
Delegación Gustavo A. Madero.
Gobierno del Estado de Hidalgo.

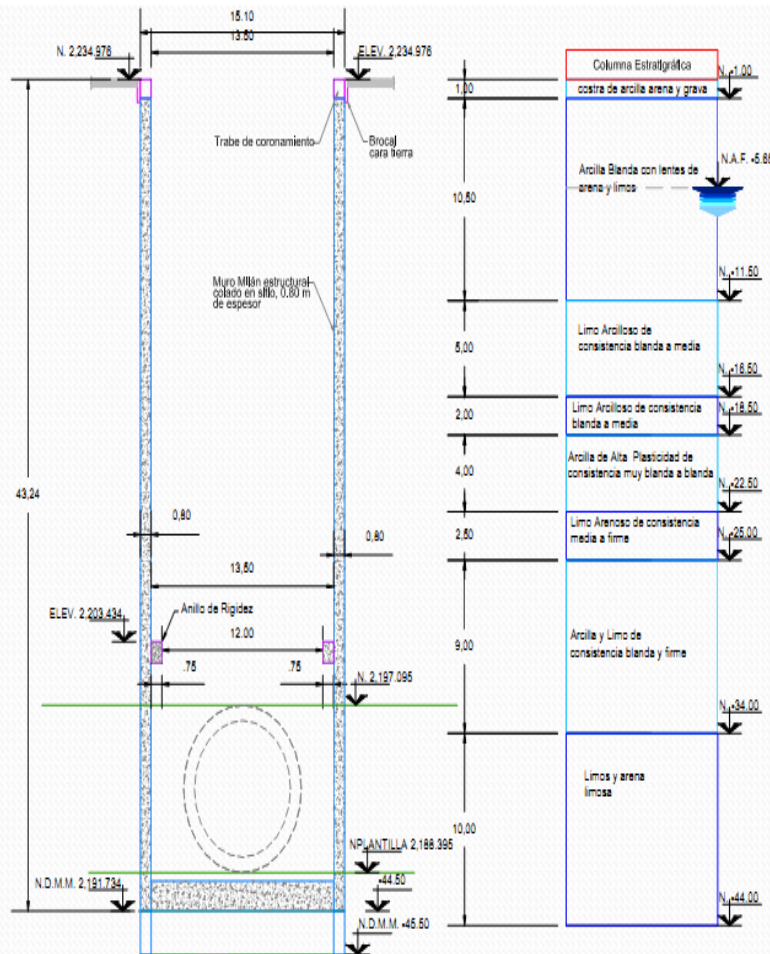
II.5 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERAS

Los procesos de construcción de lumbreras utilizados en el proyecto, son los siguientes:

- Muro Milán en toda la profundidad de la lumbrera
- Excavación convencional en toda la profundidad de la lumbrera
- Muro Milán en la primera parte de su profundidad y Excavación convencional.

Las lumbreras 1A, 3, 4 y 21 se construyen con el método *in situ* o muro Milán; los respiraderos 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19 y 20 se erigen con el proceso mixto; mientras que con el método convencional se edifican las lumbreras 16, 17, y 22.

**Muro Milán en
toda la profundidad
de la lumbrera**



Por primera vez en México se emplea la técnica de la hidrofresa. Dicho método garantizará la seguridad y precisión en la construcción de las lumbreras más profundas. La CONAGUA adquirió por un monto aproximado de 120 millones de pesos, una hidrofresa fabricada por la empresa alemana Bauer, cuya elevada precisión permitirá perforar con rapidez cuatro de las 24 lumbreras del TEO. En las lumbreras 18, 19, 20 y 21, con profundidad de 115, 126, 130 y 150 metros, respectivamente, se utilizará dicha maquina.

El elemento perforador fue equipado especialmente con controles, motores, bombas y mangueras hidráulicas con la finalidad de lograr una profundidad de 125 metros, medida máxima a nivel mundial. La precisión del sistema de la hidrofresa, cuyo peso aproximado es de 25 toneladas, permite que se registre un avance total de excavación y de colado de 2. 28 metros por hora. El principio de la excavación radica en dos rodillos de corte que giran en sentido opuesto para triturar el material.

La operación de la hidrofresa es auxiliada con una planta de lodos bentoníticos, con la cual se extraen y se inyectan los lodos.

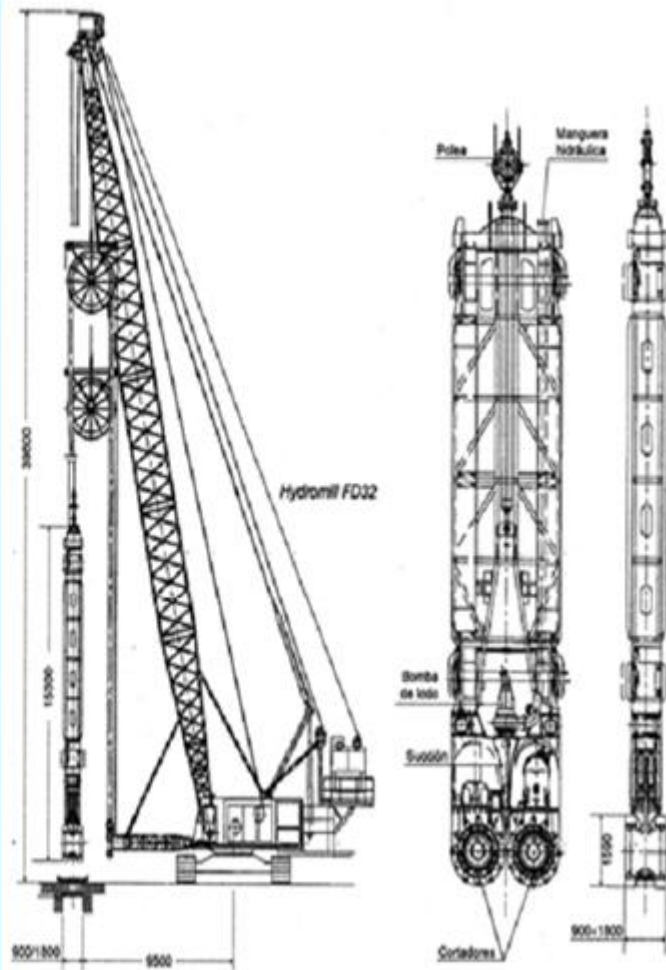
La inyección de los bentoníticos ayuda a facilitar la perforación, así como también da densidad a las paredes de excavación. Tras la recuperación de los lodos, se instalan los tableros que formarán la circunferencia, una vez que concluya la inyección del cemento y el proceso de colado.



La hidrofresa, en la excavación en la lumbrera 20 del Túnel Emisor Oriente. Su brazo es capaz de perforar de manera vertical hasta 125 m.

Hidrofresa

Equipo particularmente útil para la construcción de muros Milán a grandes profundidades, que se utilizó en el TEO para algunas lumbreras como las L-18, L-19, L-20. y L-21



Con la inyección de lodos bentoníticos se facilita la perforación de las lumbreras.

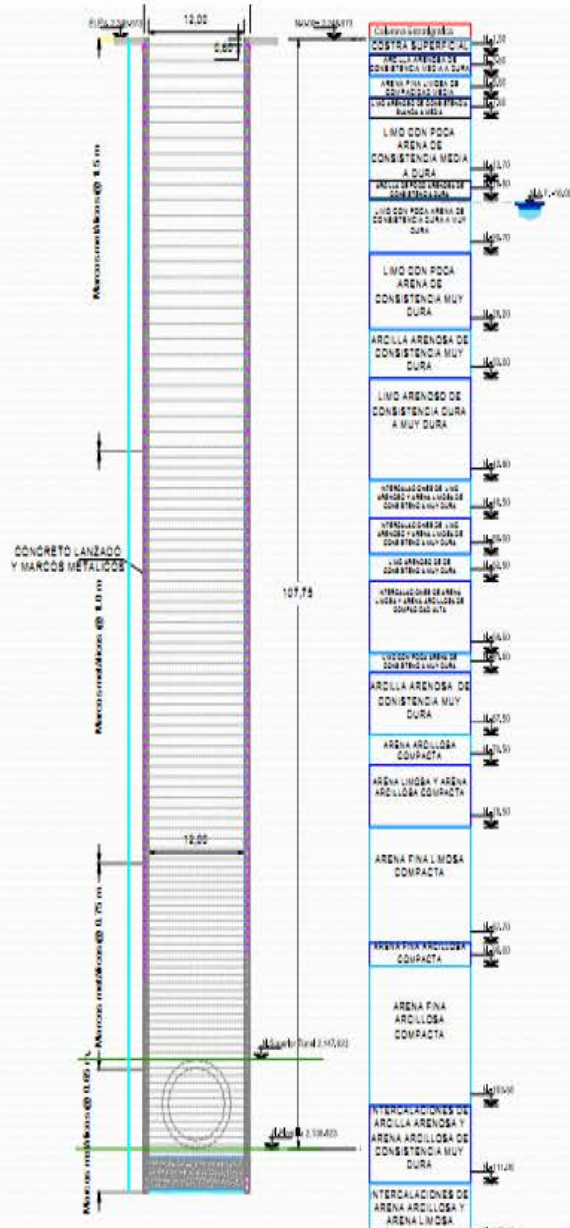


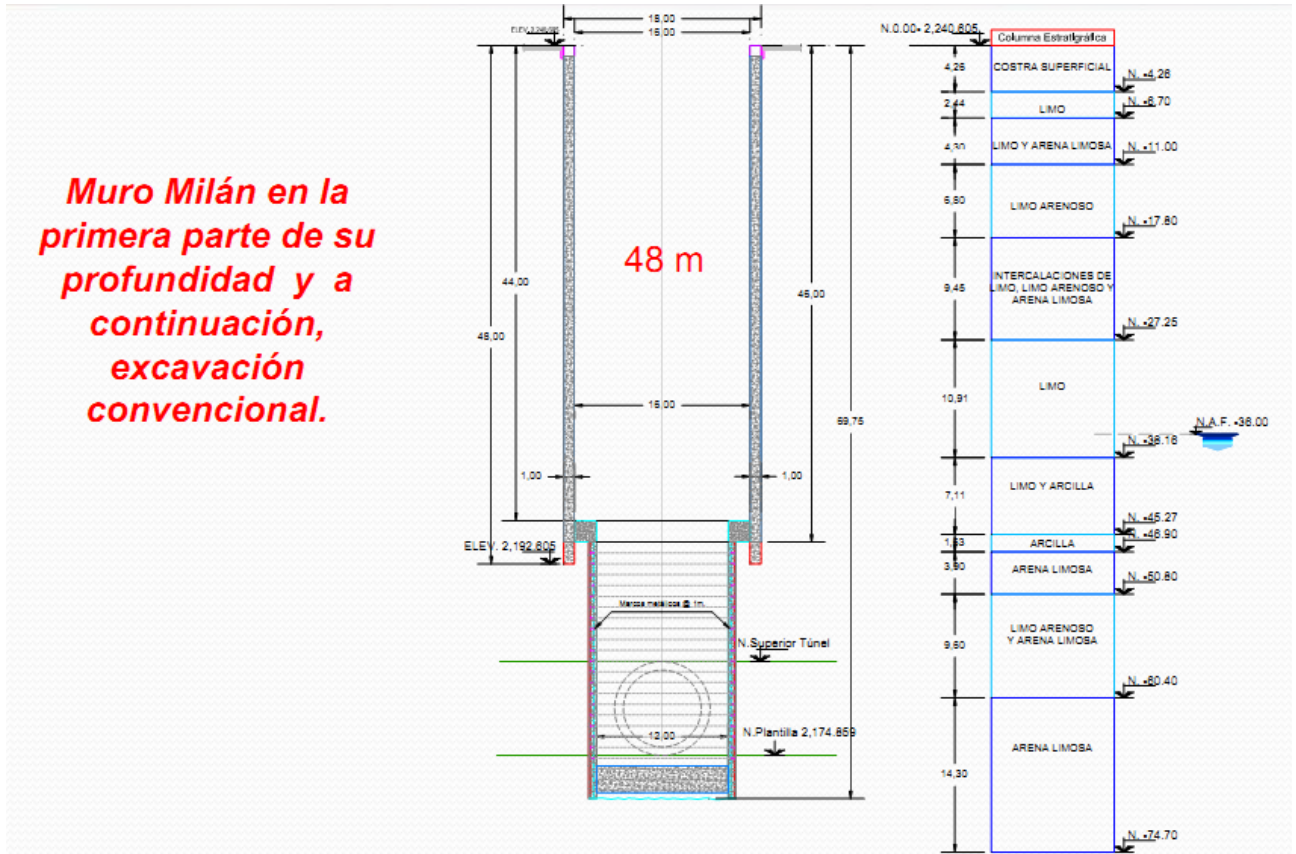
Contenedor de lodos bentoníticos en la lumbrera 20

Operación de planta de lodos en la lumbrera 20, útil para la construcción del Túnel Emisor Oriente.



**Excavación convencional
en toda la profundidad de
la lumbrera**





II.6 EXCAVACIÓN DE TRAMOS

Para la perforación de los 62 kilómetros que comprenderán el Túnel Emisor Oriente, la CONAGUA adquirió seis tuneladoras o escudos excavadores, una para cada tramo que en promedio son de 10 kilómetros. Tres excavadores fueron fabricados por la empresa alemana Herrenknecht, y el resto por la compañía norteamericana Robbins.

Las tuneladoras de fabricación alemana excavarán los tramos 1, 2 y 6 del túnel, lo que comprende las lumbreras 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 21, 22, 23, 24 y el Portal de Salida. Los escudos excavadores de origen estadounidense operarán en el tramo 3, 4 y 5, equivalente a las lumbreras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20. Los discos cortadores de los escudos alemanes tiene un diámetro de 8.60 metros, mientras que el norteamericano mide 8.89 metros. Los escudos excavadores, que tienen un peso total de 600 toneladas y una longitud máxima de 92 metros, son cuerpos metálicos cilíndricos de grandes dimensiones que se utilizan para la perforación de los túneles.

La máquina excavadora posee, en la parte frontal, una cabeza cortadora que se acciona con motores eléctricos, mientras que en la parte trasera cuenta con un tren de equipo. En los trenes se sitúa la cabina de operación y los sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos y electrónicos. Es así que de manera automatizada el escudo excavador va colocando los anillos de dovelas que servirán de revestimiento secundario al túnel. La velocidad máxima de perforación de las tuneladoras es de 10 metros por día, esto dependiendo el tipo de suelo a excavar.

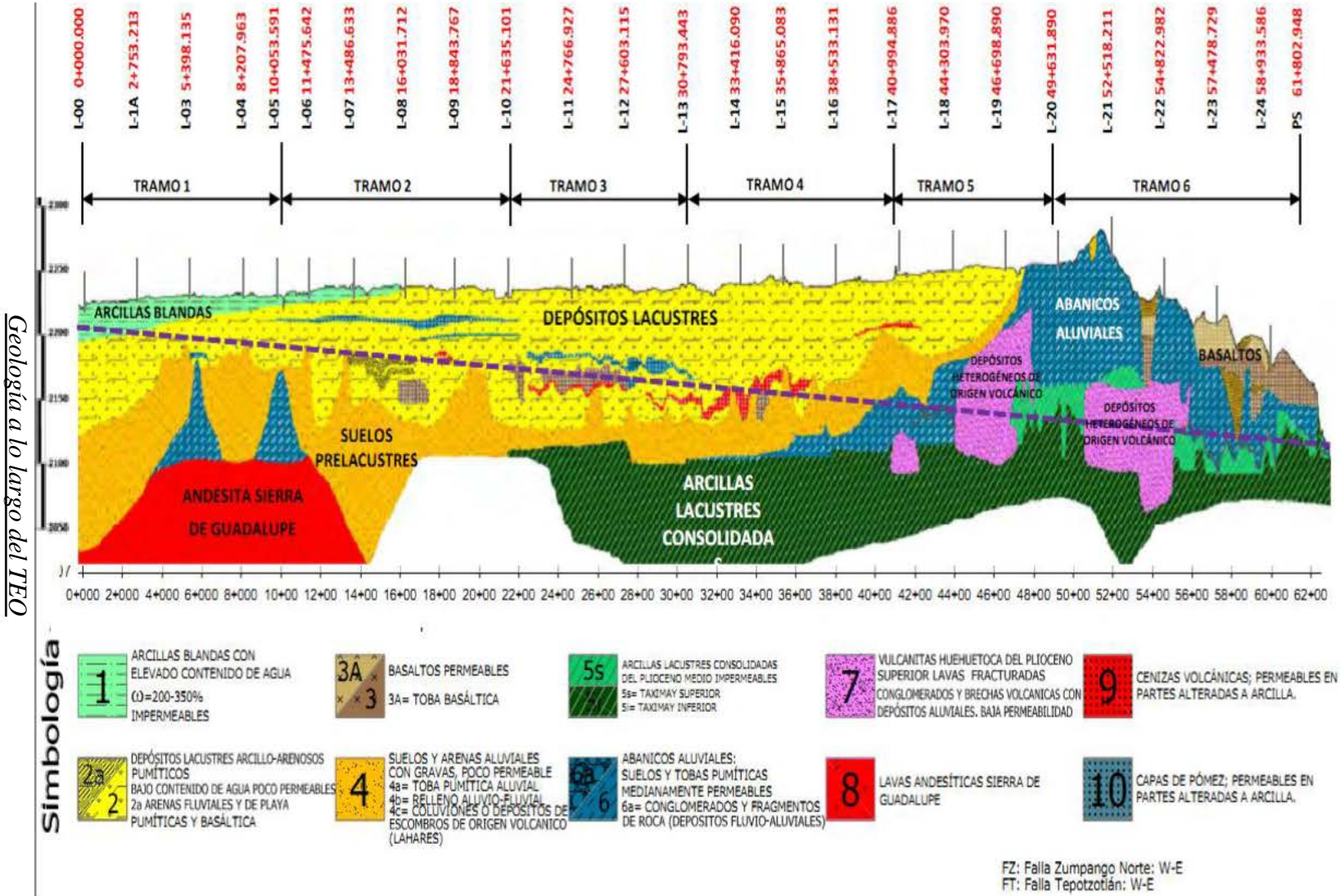
Las tuneladoras utilizan un sistema de excavación subterránea de vanguardia, que conlleva un mínimo de afectaciones en la superficie. Conforme avanza la tuneladora, se va extrayendo material y se van colocando los anillos de dovelas de concreto como revestimiento primario. En total se contempla colocar más de 41 mil anillos de dovelas de concreto, que conformaran los casi 62 kilómetros del túnel.

II.7 GEOLOGÍA DEL TRAZO

El túnel Emisor Oriente es una obra de alta complejidad técnica, con diferentes niveles de profundidad y tipos de suelos, desde arcillas blandas y limos arenosos, hasta tobas volcánicas de mayor consistencia.

En resumen, el túnel cruzará las siguientes seis formaciones principales:

TRAMO No.	LONGITUD (Km)	MATERIAL DE EXCAVACIÓN
1	10	ARCILLAS BLANDAS
2	11.5	LIMOS, ARENAS, Y ARCILLAS BLANDAS
3	9.1	ARENAS Y ROCA BASÁLTICA
4	10	ARCILLAS BLANDAS
5	9	LIMOS, ARENAS, Y ARCILLAS BLANDAS
6	12	ARENAS Y ROCA BASÁLTICA



II.8 TUNELADORAS

Máquina de tierra balanceada (TBM-EPB)

Las **tuneladoras, T.B.M.** (del inglés *Tunnel Boring Machine*) que se usan para construir el túnel, tienen capacidad y dimensiones similares, así como discos cortadores adecuados al tipo de suelo. Se establecieron seis frentes de trabajo simultáneos en razón de los diferentes tipos de suelos y también para lograr un mayor avance en la construcción del túnel. Esta es una obra de alta complejidad técnica, con profundidades del túnel diferentes, así como tipos de suelos, desde arcillas blandas y limos arenosos, hasta tobas volcánicas y coladas de basalto.

Los escudos de presión de tierras balanceadas EPB (Earth Pressure Balance, en sus siglas en inglés) se usan, donde es necesario aplicar una presión en el frente de excavación para mantener el equilibrio de la masa de suelo y evitar la falla o asentamientos importantes.

Estas máquinas están envueltas en un cilindro metálico, denominado escudo, que sostiene el terreno tras la excavación y permite colocar el revestimiento que en general consiste en anillos de dovelas. Este anillo es colocado por la tuneladora al mismo tiempo en que realiza la excavación, en la parte trasera del escudo.

El disco de corte del escudo EPB, que es accionado por motores hidráulicos, excava los materiales, los cuales son extraídos de la cámara a través de un tornillo de Arquímedes (tornillo sin fin). En la parte trasera del equipo excavador y de avance se sitúa el equipo de rezaga, conformado por una serie de plataformas arrastradas por la propia máquina. En esta área se localizan los equipos de ventilación, transformadores, depósitos de mortero y el sistema de evacuación del material excavado. El avance de la excavación del túnel se lleva a cabo por medio de gatos hidráulicos que agrupados por parejas desarrollan un empuje máximo de 10 mil toneladas sobre el revestimiento.

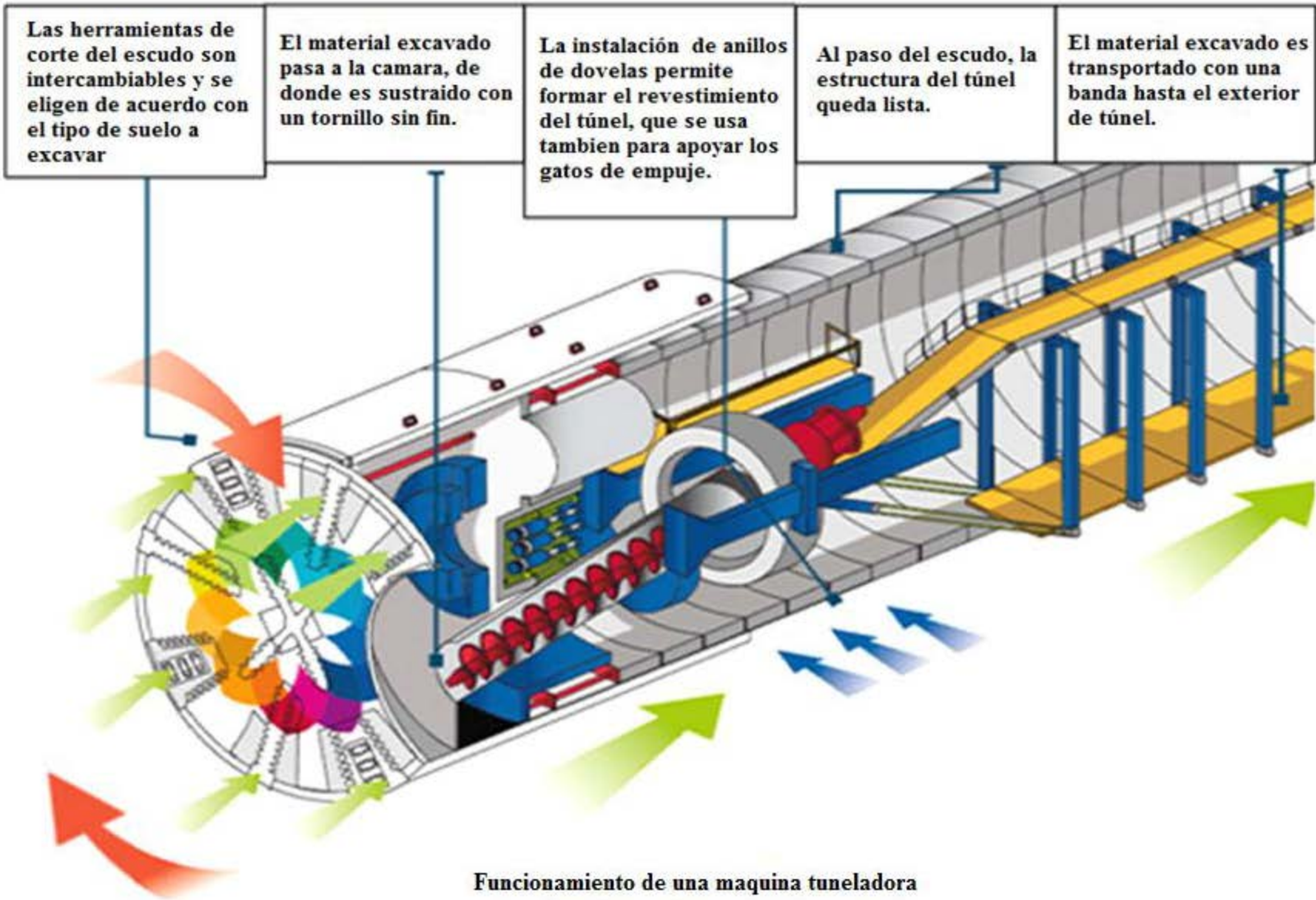
El sistema automático del escudo establece la posición más conveniente para la colocación de los anillos del revestimiento. Con todo ello las correcciones necesarias se realizan mediante la diferencia de presión en los gatos de empuje. A medida que avanza el escudo se realiza una inyección continua de mortero a fin de reforzar el revestimiento del túnel.

Las TBM-EPB utilizan el suelo excavado como medio de soporte del frente, el empuje de los cilindros de avance actúa sobre el suelo plastificado en la cámara de excavación, equilibra las fuerzas y evita derrumbes en el frente. El material excavado se extrae de la cámara de excavación con un tornillo sin fin y para sacarlo del túnel se deposita en una cinta transportadora, vehículos sobre rieles o se bombea por tuberías. En algunas ocasiones, en función de la facilidad del terreno a ser amasado, se añaden agentes espumantes, polímeros o suspensiones de arcillas. Si en el frente de excavación está presente un terreno que contiene un porcentaje mayor o igual a un 30% de finos podría ser necesario adicionar agua para obtener una mezcla de suelo excavado que sea suficientemente impermeable y viscosa y por tanto capaz de transmitir la presión al frente sin pérdidas por excesiva penetración en los estratos más permeables o por filtración de agua en presión hacia el tornillo sin fin de la salida.

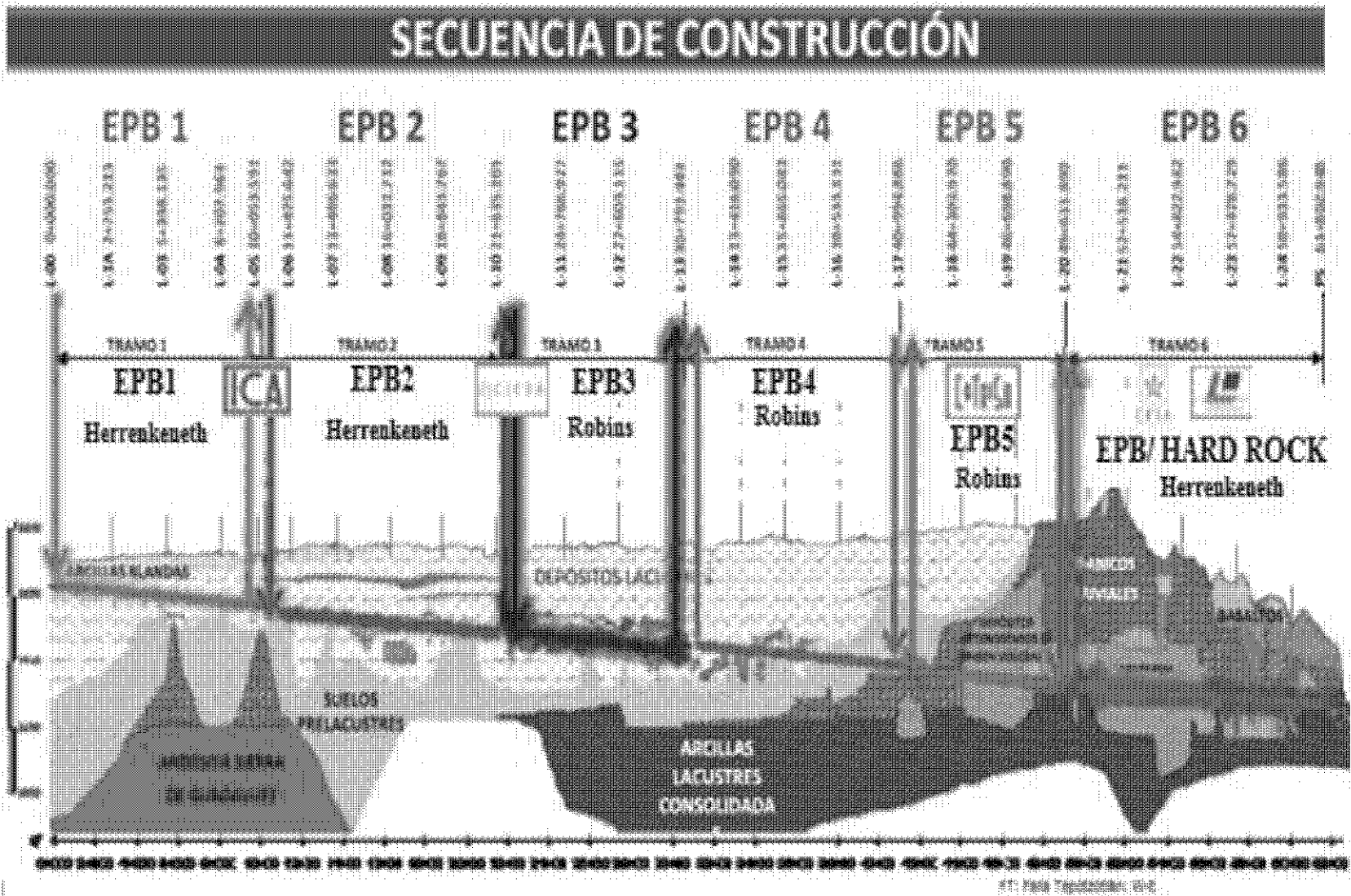
Suelen utilizarse aditivos para evitar los cambios en la humedad y mantener la consistencia del material excavado para a tales efectos, se utilizan espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial, mientras que, en los casos de frentes con alto contenido de arenas y/o gravas, se añaden polímeros para aumentar la viscosidad del agua intersticial y así disminuir la permeabilidad en el frente.

La presión en el frente de excavación se logra de dos formas: La primera es la presión que ejerce la rueda de corte sobre la masa de suelo, al empujarse la máquina mediante unos cilindros hidráulicos (gatos hidráulicos) que se apoyan en el revestimiento. La segunda es controlando la entrada y salida de material de la cámara de corte, mediante la regulación de la velocidad del tornillo sin fin.

Debido a que el escudo (cilindro exterior) tiene un diámetro superior al del anillo de dovelas, una vez que la máquina ha avanzado queda un hueco entre el suelo y el revestimiento, de unos centímetros, que debe ser rellenado rápidamente con mortero para evitar asentamientos en la superficie. Para limitar la entrada del mortero entre en la zona del escudo, se dispone en cola de las juntas de grasa y tres filas de cepillos de acero. La grasa debe inyectarse periódicamente entre juntas para asegurar estanqueidad.



Funcionamiento de una maquina tuneladora

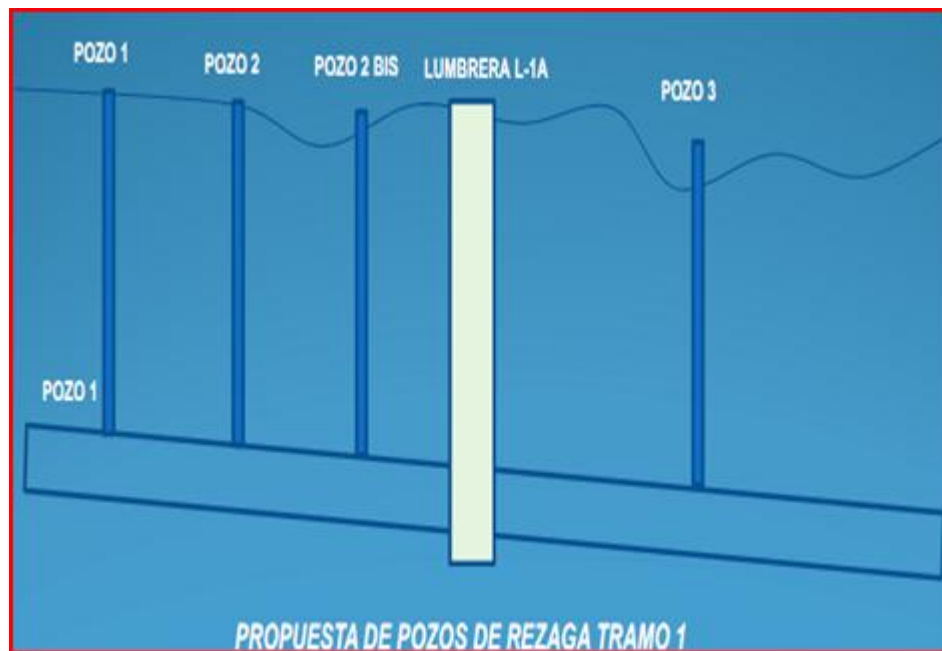


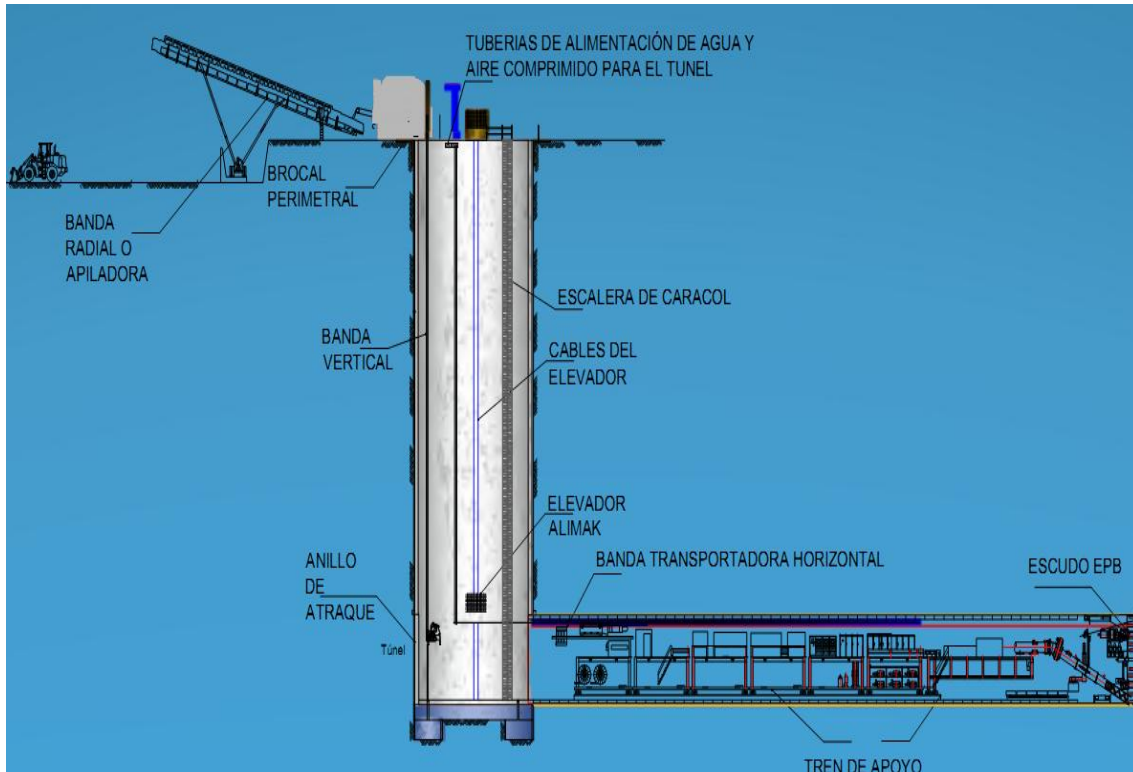
Rezaga

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

- Para el tramo de la lumbrera L-00 a la L-3A: 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: Banda horizontal y bombeo vertical.
- Para el tramo de la lumbrera L-05 a la L-10: Bombeo.
- Para el resto del trazo (de la lumbrera L-10 al Portal de Salida): Bandas transportadoras, tanto horizontales como verticales.

En el caso del tramo 1 (lumbreras L-00 a L-05) la rezaga se está optimizando mediante la construcción de pozos interlumbreras a fin de reducir la longitud de bombeo a través del túnel y con esto aliviar la presión de las bombas.





Extracción de rezaga del túnel

II.9 REVESTIMIENTO DEL TÚNEL

Aspectos generales

El revestimiento de un túnel se diseña para cumplir con los siguientes objetivos al menor costo posible:

- Soportar las presiones ejercidas por el suelo circundante a la cavidad, manteniendo un margen de seguridad aceptable, tanto en el suelo como en el material del revestimiento.
- Reducir al mínimo los asentamientos en la superficie.

En la práctica se acostumbra distinguir dos tipos de revestimiento, según su función:

Primario. Se utiliza para proveer un apoyo temporal que garantice la estabilidad del túnel durante su construcción y mantenga los asentamientos superficiales dentro de los límites tolerables.

Secundario. Asegura un comportamiento adecuado a largo plazo y proporciona la geometría final del túnel.

El Túnel Emisor Oriente se conformará por dos capas de revestimiento; la primera (“Revestimiento primario”), formada por dovelas de concreto, y la segunda (“Revestimiento definitivo”) formada por concreto armado colado “in situ”. En todos los casos, el diámetro terminado del túnel será de 7 m.

Revestimiento primario

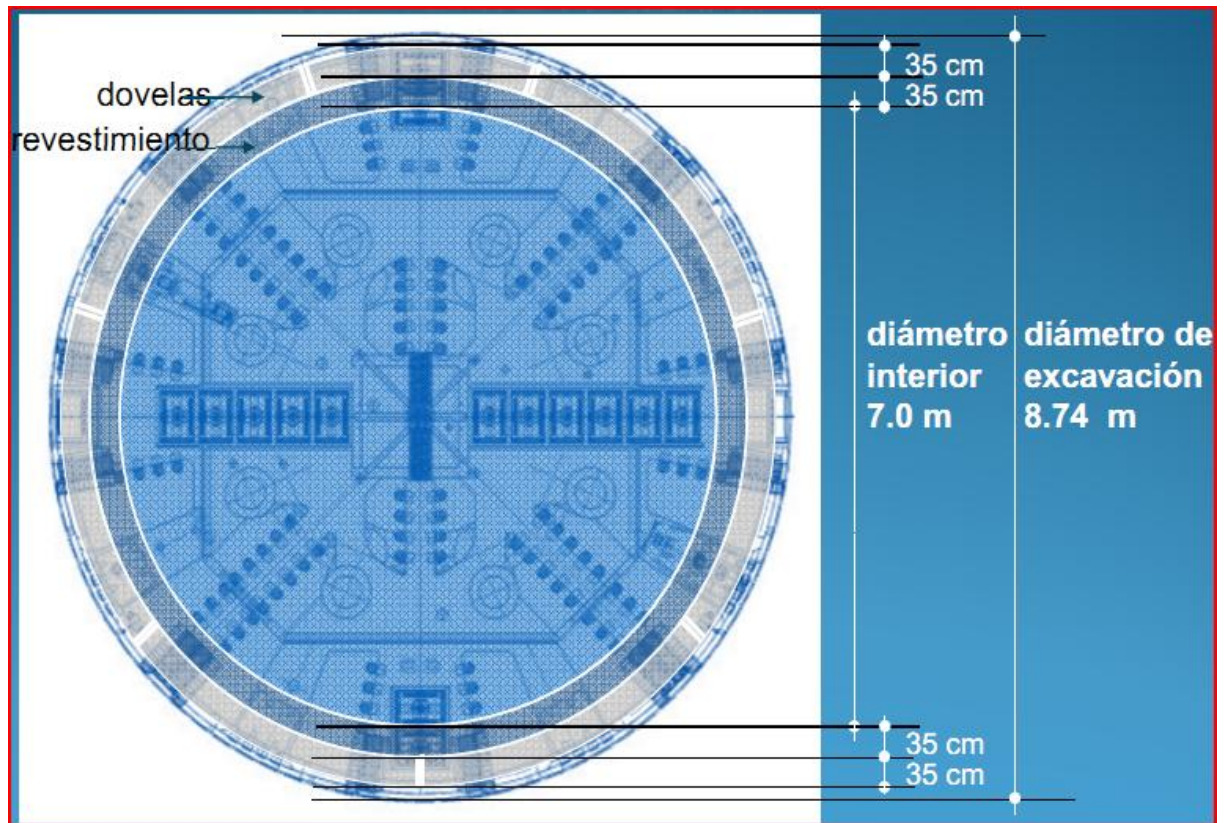
El revestimiento primario consiste en anillos de dovelas que se serán colocados en su posición final por la maquina tuneladora. Las dovelas son piezas prefabricadas, cuya producción se realizará en tres plantas con dos líneas de producción totalmente automatizada para producir 14 anillos completos por día en cada línea. Se producirán 567 piezas al día, lo que equivale a la capacidad que tienen las seis máquinas tuneladoras al operar conjuntamente.

Las dovelas son elementos de concreto armado que se atornillan entre sí para formar anillo troncocónico, que servirán para revestir el túnel. Cada anillo consta de siete dovelas, una de ellas es de menor tamaño, pues es la última pieza que se coloca. Para revestir los 62 kilómetros de Túnel Emisor Oriente se colocará un total de 42 mil anillos de concreto.

Las tres plantas operan en los municipios de Ecatepec, Zumpango y Huehuetoca, en el Estado de México. En cada planta se fabricarán 14 mil anillos de concreto. Por cada turno laboran 120 obreros quienes operan maquinaria francesa para fabricar las piezas de concreto, cuya elaboración requiere de 6 a 8 horas.

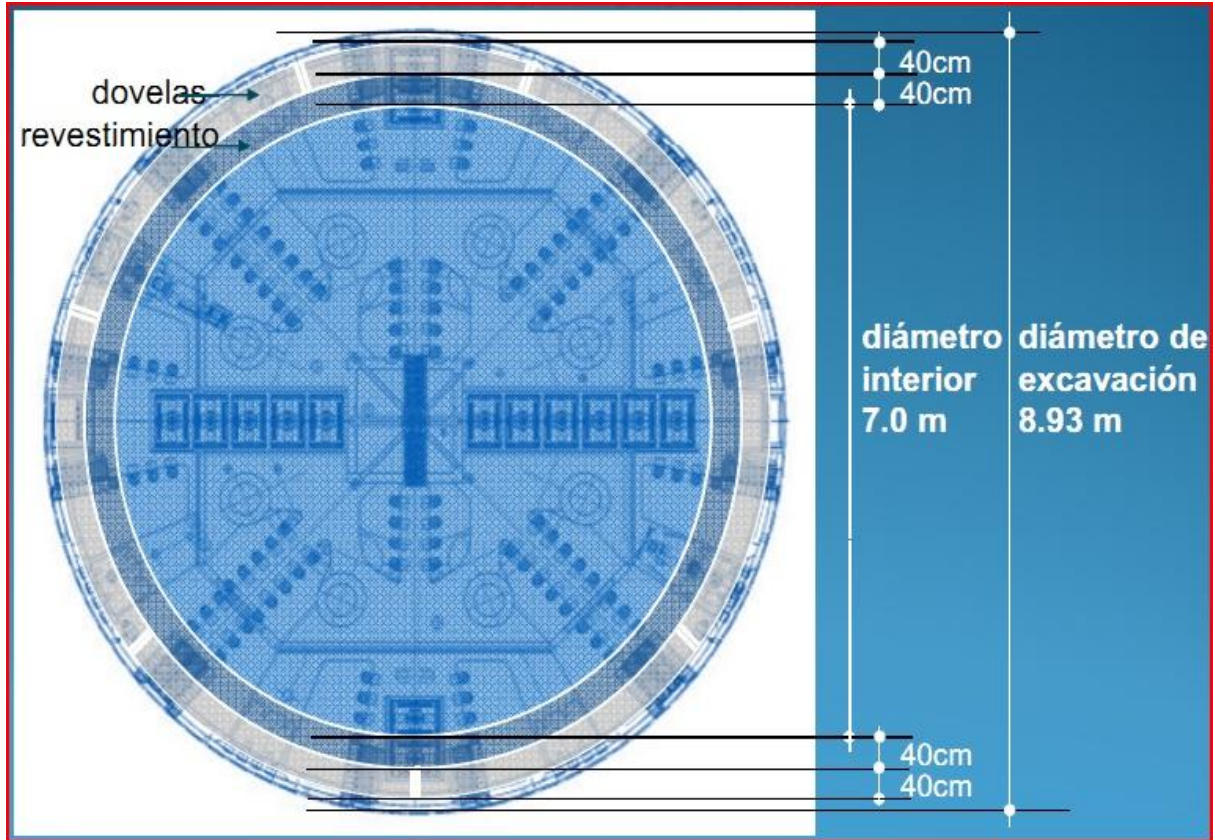
Debido a las diferentes condiciones geotécnicas e hidráulicas que se presentan en el sitio, se planteó tener dos tipos de geometrías de revestimiento primario a lo largo del trazo del TEO:

Para los tramos 1 y 2: anillo dividido en seis dovelas más una dovela de cierre (total: 7 piezas)



Sección tipo para el tramo 1 y 2 del TEO

Para los tramos 3 a 6: anillo dividido en siete dovelas más una dovela de cierre (total: 8 piezas)



Sección tipo para el tramo 1 y 2 del TEO

Tramos para la fabricación de dovelas y plantas encargadas:

FABRICACIÓN DE DOVELAS			
PLANTA #	CADENAMIENTO CORRESPONDIENTE		UBICACIÓN
	INICIO	FIN	
1	0+000	21 + 617	Ecatepec
2	21 + 617	49 + 573	Zumpango
3	49 + 573	62 + 049	Huehuetoca

Revestimiento definitivo

El revestimiento definitivo del túnel, será de concreto reforzado con un espesor mínimo de 35 cm con una resistencia f'c de 350 kg/cm² con cemento CPO30 y/o 40RS resistente a los sulfatos.

De manera general el procedimiento se inicia con la colocación del acero de refuerzo, para lo cual, se marcaran referencias topográficas a lo largo del túnel para garantizar que quede en la posición y nivel que indique el proyecto.

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

Para el colado del revestimiento se deben utilizar cimbras metálicas modulares de acabado aparente, de 7 m de diámetro terminado, en cantidad y longitud suficiente para garantizar el rendimiento necesario para cumplir el programa de construcción.

La movilización e instalación de la cimbra metálica así como el descimbrado, requieren de un transportador especialmente diseñado para realizar eficientemente estas maniobras.

La cara de la cimbra deberá tratarse con un agente desencofrante para evitar que el concreto se adhiera a las paredes de la cimbra, de manera que se facilite su descimbrado.

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

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

La colocación del concreto es de forma monolítica en tramos de 9 m, el concreto que va a ser colocado en el molde, primero se descarga hasta llenar las paredes laterales con las que cuenta la cimbra, utilizando una manguera flexible para su descarga. Enseguida se cierran las ventanas y se descarga el concreto por las boquillas que tiene la cimbra a lo largo de su clave; la colocación debe ser apoyada con la utilización de vibradores neumáticos de pared. Estos vibradores son trasladables y la base queda permanente colocada en la cimbra y es únicamente el vibrador la pieza móvil de fijación rápida.

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

Se realiza mediante el colado in situ de una capa de concreto reforzado de 40 cm de espesor mediante una cimbra telescópica,



Cimbra telescópica

III. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DOVELAS

III.1 INTRODUCCIÓN

Tras la excavación, para evitar que el suelo se desplome a su paso, las tuneladoras instalan piezas de acero y concreto en forma de cilindro conocidas como dovelas.

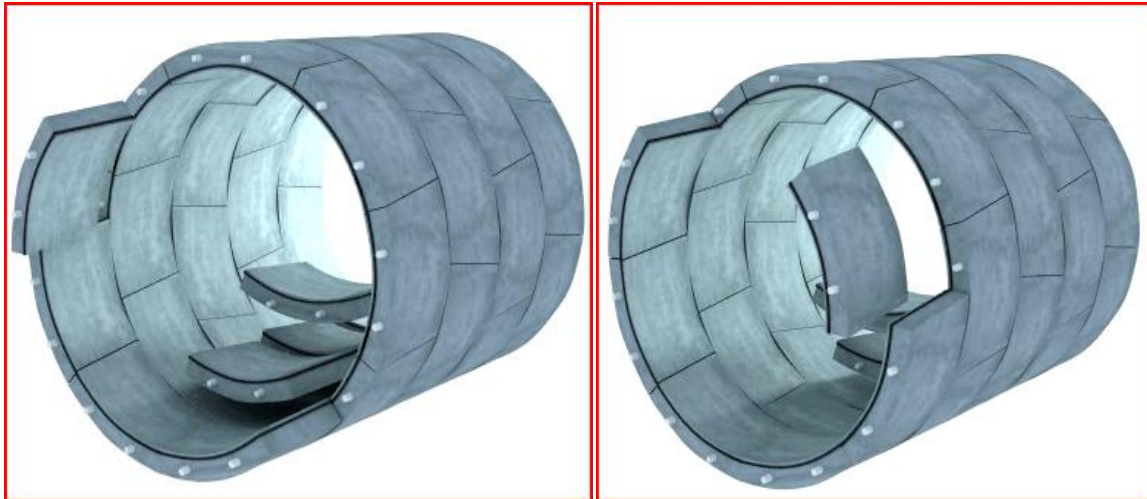
Con el objetivo de garantizar el suministro, se construyeron tres plantas de dovelas las cuales producirán 567 piezas al día, es decir, 81 anillos completos, lo que equivale a la capacidad que tienen las seis máquinas tuneladoras al operar conjuntamente.

En cada planta se fabricarán 14 mil anillos de concreto; en éstas diariamente se produce, en promedio, 18 anillos. Por cada turno laboran 120 obreros quienes operan maquinaria francesa para fabricar las piezas de concreto, cuya elaboración requiere de 6 a 8 horas.

III.2 DEFINICIÓN

Las dovelas son sistemas alternativos de revestimiento producidas en planta de prefabricados y utilizados cuando la excavación es realizada de forma automatizada a través de la utilización de maquinas conocidas como TBM's (tunnel boring machines). Se caracterizan por ser elementos prefabricados de hormigón armado, que se atornillan entre sí, formando un anillo troncocónico. La construcción del túnel con revestimiento por anillos prefabricados permite el trazado de curvas, tanto en planta como en alzado. Esto es debido a que los anillos son troncos de conos, y colocando las caras convergentes contiguas se consigue obtener una alineación curva.

El revestimiento realizado con dovelas prefabricadas tiene doble función: de revestimiento final y de apoyo para la TBM en la fase del avance de la excavación.



Conformación de anillos por medio de dovelas

III.3 PLANTA DE DOVELAS DE ECATEPEC

Ubicación

La planta se encuentra ubicada en la colonia Potrero, Ecatepec Estado de México, a solo 1000 metros de la lumbrera 5.





Vista satelital de la planta de dovelas de Ecatepec

Características

La planta de dovelas se compone de tres naves, dos de ellas prácticamente iguales en donde se realiza el proceso automatizado de fabricación de dovelas, mientras que la tercera nave (nave intermedia) es en donde se realiza el ensamble final del acero para las dovelas.

Cada nave tiene capacidad para producir de 16 a 18 anillos diarios (dos turnos por día) , sin embargo solo una nave entra en proceso de producción, debido a que se depende de la rapidez de excavación del TEO.

Se cuenta además con patios de almacenamiento, y áreas de oficinas, laboratorio, etc. En total se cuenta con una superficie total de 51 504 m² .

En cuanto a la mano de obra, se cuenta con 120 obreros quienes laboran en dos turnos de 12 horas cada uno.

III.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ANILLOS

En esta planta se fabricarán anillos de 0.35 m de espesor, 1.5 m de ancho, 8.40 m de diámetro exterior y 7.70 m de diámetro interior.

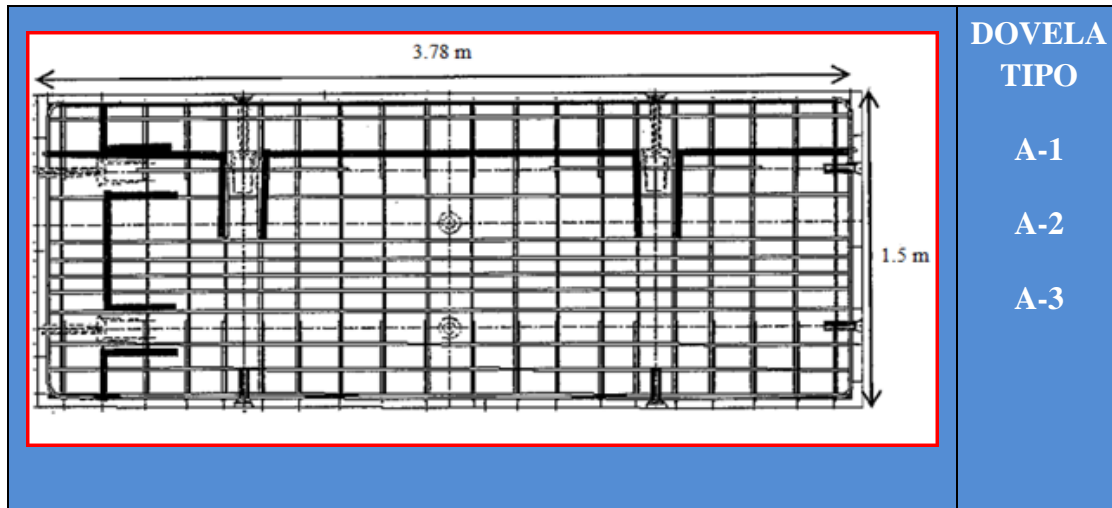
Cada juego de moldes está integrado por siete piezas; cuatro dovelas tipo “A”, una dovela tipo “B”, una dovela tipo “C” y una tipo “K” de cierre, con un espesor de 35 cm.



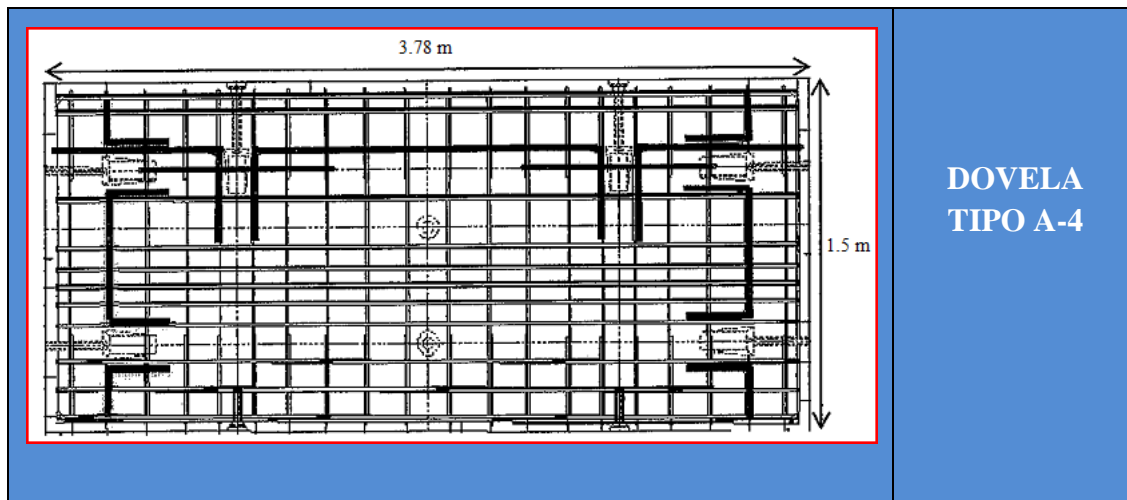
TRAMO I y II

- Anillos de dovelas : 6 +1
- Espesor : 35 cm
- Diámetro interior : 7.70 m
- Diámetro exterior : 8.40 m
- Anillos totales : 12, 045

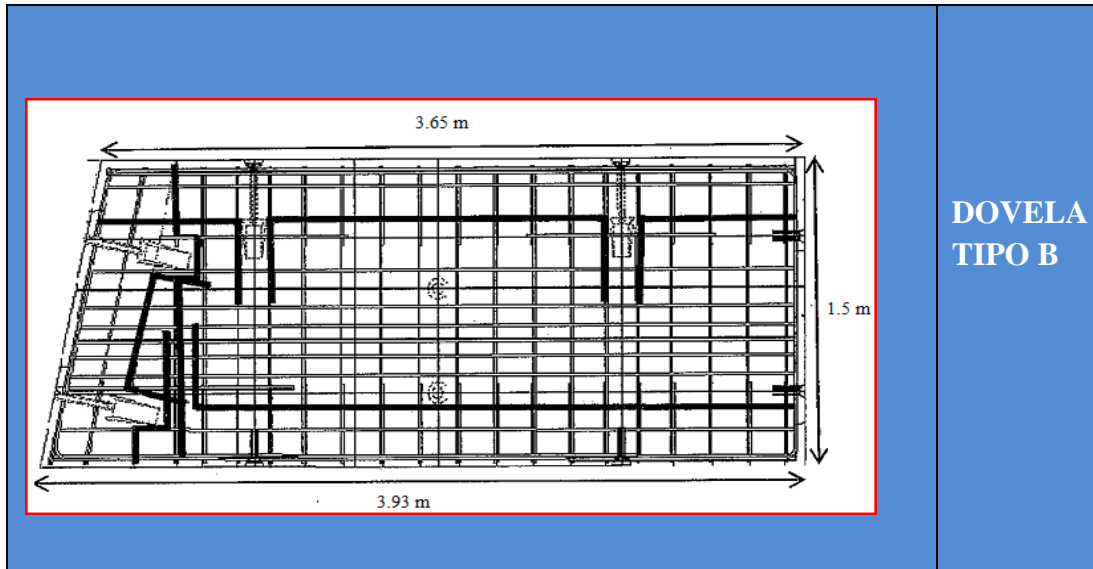
III. 5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS DOVELAS



Peso total de la armadura de refuerzo (kg)	250.15
Volumen total de concreto (m ³)	2.07
Porcentaje de la armadura de refuerzo (kg/m ³)	120.84

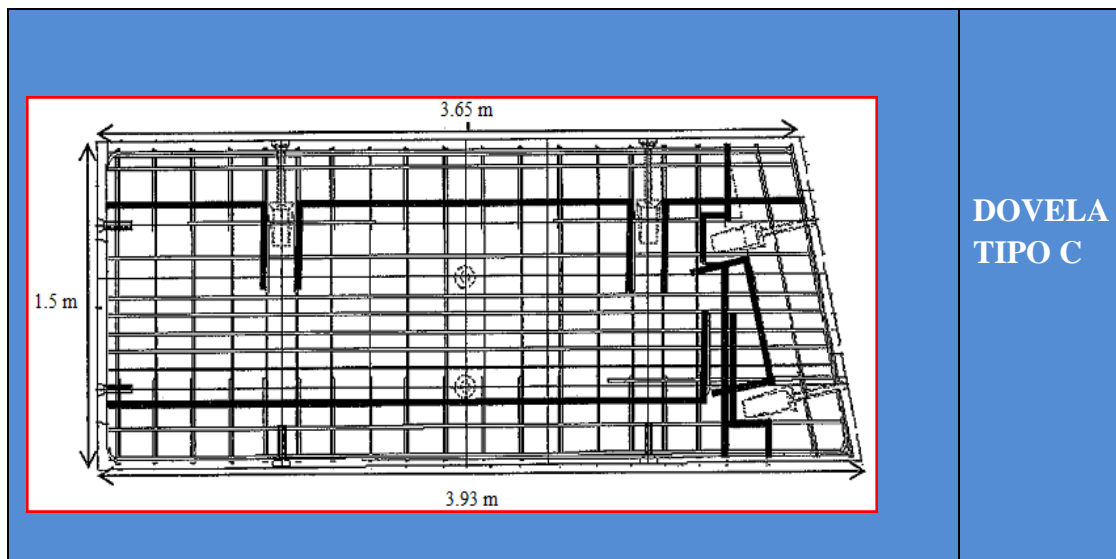


Peso total de la armadura de refuerzo (kg)	254.50
Volumen total de concreto (m ³)	2.07
Porcentaje de la armadura de refuerzo (kg/m ³)	122.94



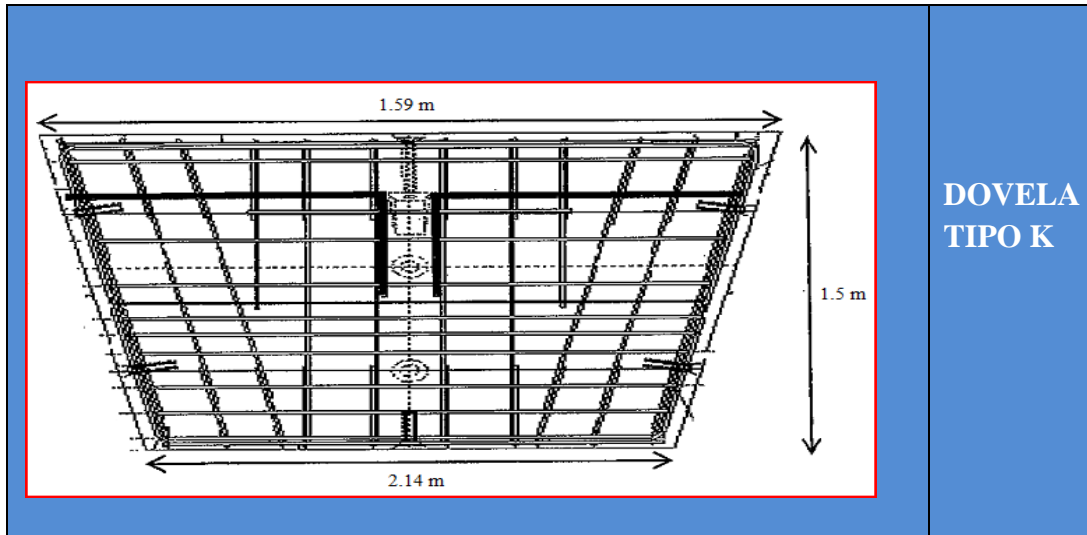
DOVELA TIPO B

Peso total de la armadura de refuerzo (kg)	251.55
Volumen total de concreto (m ³)	2.01
Porcentaje de la armadura de refuerzo (kg/m ³)	124.71



DOVELA TIPO C

Peso total de la armadura de refuerzo (kg)	251.55
Volumen total de concreto (m ³)	2.01
Porcentaje de la armadura de refuerzo (kg/m ³)	124.71



DOVELA
TIPO K

Peso total de la armadura de refuerzo (kg)	150.88
Volumen total de concreto (m ³)	1.01
Porcentaje de la armadura de refuerzo (kg/m ³)	149.39

III.6 DESCRIPCIÓN DEL CICLO OPERATIVO.

Se instalo una planta de dovelas automatizada tipo carrusel, la planta cuenta con un conjunto mecánico de moldes los cuales son desplazados sobre rieles de manera cíclica lo que permite la rotación de los moldes de prefabricación entre una línea de trabajo y tres líneas paralelas de curado a vapor . Esto permite una producción continua de dovelas.

Se cuenta con carros mecánicos a la entrada y salida del túnel de curado a vapor, y una línea de salida hacia los patios de pre-almacenamiento. El conjunto funciona eléctricamente, según un ciclo automático de operaciones, además de contar con un sistema de arranque señalado acústicamente con temporización de 6 segundos antes del mismo.

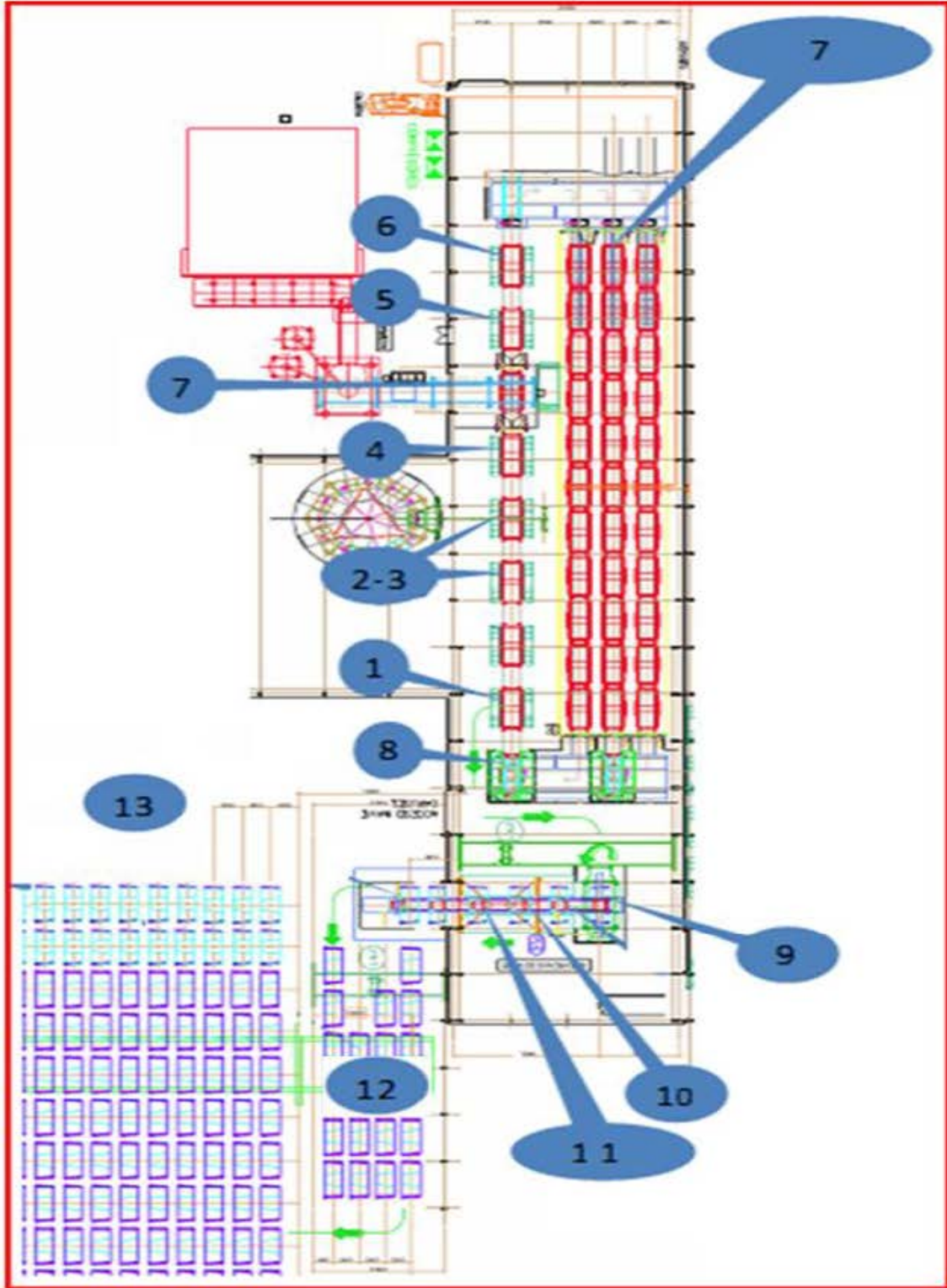
Se cuenta con un total 42 moldes (6 anillos completos). El ciclo total de un molde es de poco más de 8 horas, de las cuales permanece aproximadamente 6 horas en la cámara de curado a vapor.

Dentro de la línea de trabajo se destacan estaciones de trabajo con actividades diferentes en cada una de ellas, en donde a través de cadenas y trinquetes, los moldes se van moviendo en forma automática y pasan por cada una de las etapas del proceso. Este sistema consiste en las actividades siguientes:

1. Limpieza del molde.
2. Colocación del desmoldante.
3. Colocación de armado e insertos dentro del molde.
4. Colocación de concreto hidráulico.
5. Enrasado y pulido de la cara externa de las piezas.
6. Lavado exterior del molde.
7. Curado a vapor.
8. Desmolde de la pieza y retiro de la dovela.
9. Girado de la pieza para después ser entongadas en anillos.
10. Aparentado o reparación de piezas.
11. Colocación de número, tipo de pieza y fecha de producción.
12. Pre-almacenaje de la pieza en el patio de la planta.

13. Almacenaje final en patio central.

A continuación se muestra un esquema del funcionamiento de la planta y sus ciclos de trabajo.



Los moldes están marcados con su tipo de pieza y el numero de anillo correspondiente al que pertenecen.

La fase de curado se divide a su vez en 3 líneas paralelas entre sí, con lo que una vez terminado el proceso de trabajo de una pieza, esta pasa a tomar parte del carril correspondiente en la línea de curado (L1 , L2, o L3), Por lo tanto en cuanto por un lado entra un molde a la cámara de curado, del lado opuesto a la cámara sale un molde listo para ser desmoldado y que comience un nuevo ciclo de trabajo, el tiempo que dura un molde dentro de la cámara de curado es de 5 a 6 horas, mientras que en la línea de trabajo solo tarda de 90 a 120 minutos aproximadamente.

La planta cuenta con un sistema de avance de moldes accionado automáticamente cuando el total de los puntos de trabajo a finalizado y está listo para recibir otra pieza, esto ocurre a través de botones instalados en cada puesto, así una vez que terminaron se acciona manualmente para indicar que dicho puesto ha finalizado correctamente, el sistema avanza un vez todos los botones hayan sido activados.

Además de lo anterior, existen otros puestos de trabajo en donde se trabaja para habilitar el acero correspondiente a todo el armado necesario de cada dovela.

Limpieza de moldes

La fabricación de las dovelas comienza con la limpieza exterior e interior del molde con el objetivo de evitar imperfecciones debidas a excedentes de concreto adheridos al mismo.

La limpieza se realiza con la ayuda de espátulas, cepillos de alambre y aire comprimido.



Limpieza de moldes

Colocación de desmoldante

Realizado lo anterior se procede a la impregnación del desmoldante a todas las partes que estarán en contacto con el concreto durante el llenado del mismo, tomando las medidas preventivas en caso de algún derrame existente, con una cubierta de plástico y aserrín, en el lugar de la aplicación.

El tipo de desmoldante que se utiliza es RHEOFINISH 255 el cual forma una barrera química resistente al agua con los álcalis del concreto. La acción química de este no daña ni mancha el concreto, como resultado se obtiene una pieza con apariencia limpia, y sin residuos que se transferían a la superficie.

Características Rheofinish 255

Función principal:	Facilitar desencofrado
Densidad	0.86 kg/l
Color	Líquido ámbar semitransparente
Rendimiento m ² /l (pies ² /galón)	Encofrados de madera 17 - 22 (700 - 900) Encofrados metálicos 40 - 50 (1600 - 2000) Aglomerado normal 25 - 30 (1000 - 1200) Aglomerado plastificado 40 - 50 (1600 -2000)
Empaque	Bidón de 19 l (5 gal) y tambores de 208 l (55 gal)

Beneficios Rheofinish 255

- Facilita un desencofrado rápido y limpio
- Su acción química no daña el concreto
- Produce un concreto de apariencia limpia.
- Alarga la vida útil de los equipos.
- Fácil de aplicar
- No inflamable.
- El rápido secado permite la colocación inmediata del acero, sin riesgo que este recoja desmoldante en las corrugaciones



Desmoldante y rociador

Para la aplicación se hace huso de un rociador pistola a base aire comprimido, con lo cual se aplica una cantidad exacta y uniforme a todas las partes que entraran en contacto con el concreto.

Colocación del armado

Con ayuda de una grúa viajera tipo monopunte con capacidad para 5 toneladas de la marca HAWI se traslada el armado de la dovela de la mesa en que fue construida, hacia una mesa giratoria con siete divisiones (una para cada tipo de dovela) en donde se coloca de acuerdo a la clasificación correspondiente.



Mesa giratoria para armado de dovelas

Posteriormente con la ayuda una grúa de menor tamaño (capacidad para 1.5 toneladas), se toma el acero requerido de la mesa giratoria y se traslada y coloca dentro del molde correspondiente en la estación de trabajo. En esta etapa se procede a la colocación de los insertos y separadores necesarios para cumplir con los recubrimientos especificados en el proyecto.



En la parte inferior se utilizan separadores de concreto de 5 cm fabricados en la misma planta, mientras que los separadores que se utilizan para la cara superior y los lados, son de plástico con medidas de 5 y 3 cm respectivamente, de igual forma se utilizan insertos de plástico de 14 cm de largo. Todo lo anterior es proporcionado por la marca ANIXTER SOFRASAR de procedencia Francesa.



Separadores e insertos

Cámara de colado

Para el proceso de colado se cuenta con una cámara diseñada especialmente para este fin, sus dimensiones son de de 7 m x 5.6 m, cuenta con puertas automáticas, instalaciones de aire a presión, y aislamiento acústico entre la cámara y la cabina de mando.

En la cabina de mando se tiene el control sobre la dosificación de los agregados para la elaboración y vaciado del concreto también se encuentran los controles de la bacha y el sistema de vibrado, así como el tablero indicador de las temperaturas de la cámara de curado.

En la cabecera de la cámara se dispone de una planta móvil de concreto de la marca ODISA de procedencia Mexicana.

Al entrar a la cámara de colado se realiza una inspección para cerciorarse que no hizo falta algún inserto, apretar algún tornillo, y que el molde este cerrado completamente.

Con la ayuda de una bacha con capacidad para 3 m³ se transporta el concreto desde la planta de concreto hasta la cámara de colados donde se vacía dentro del molde correspondiente, cuando ya se tiene colocada la cuarta parte del volumen del concreto se inicia el vibrado utilizando los vibradores neumáticos fijos de alta frecuencia ubicados debajo de los moldes.

Para mejorar el vibrado se hace uso de un vibrador eléctrico de emersión para complementar los anteriores, sobre todo en la parte del trasdós y esquinas de la dovela.

El tiempo que tarda en colarse una pieza es de aproximadamente 5 a 7 minutos





Cámara de colado

Fabricación del concreto.

Previo al inicio de la jornada se hace el ajuste al diseño de la mezcla de concreto de acuerdo a las condiciones de humedad de los agregados.

Características del concreto utilizado:

Cemento: Se utiliza cemento portland compuesto resistente a los sulfatos con resistencia de 40 N/mm^2 (CPC 40 RS), de la marca CEMEX.

Ficha técnica:

Características físicas:

- Resistencia mínima a 28 días 40 N/mm^2 (408 kg/cm^2)
- Tiempo de fraguado:
Inicial: 45 minutos (mínimo)
Final : 600 minutos (máximo)
- Expansión por ataque de sulfatos (máximo %) a un año 0.10

A continuación se presenta la cantidad necesaria de materiales para generar un metro cubico de concreto para uso en dovelas con resistencia de 350 Kg/cm².

MATERIALES	PESOS Kg	%
CEMENTO	400	16.9
ARENA	607	25.7
GRAVA 3/4"	1197	50.7
AGUA	153	6.5
ADITIVO	3.6	0.2
Total	2360.6	100

Agregados:



Grava caliza de 3/4" procedente de los bancos Cerro Jardín y La Palma, ubicados en el Estado de México.



Arena de mina del banco de Santa María 3 ubicado en el Estado de México.



Agua del pozo Totolzingo del Estado de México

Características del aditivo.

Se utiliza en aditivo RHEOBUILD 1000 el cual es un aditivo reductor de agua de alto rango diseñado para producir concreto reoplástico, originando un concreto que fluye fácilmente manteniendo una alta plasticidad por tiempos más prolongados que el concreto superplastificado convencional.

Propiedades

Elevado poder fluidificante y reductor de agua.

Permite confeccionar concretos de consistencia fluida o líquida partiendo de consistencias secas sin la necesidad de añadir más agua de amasado y sin provocar retrasos de fraguado, ofreciendo elevadas resistencias iniciales sin pérdidas de resistencias finales.

Aumenta las resistencias mecánicas del hormigón y su durabilidad.

Dosificación

La dosificación habitual de RHEOBUILD 1000 EPS es del 0,8 - 2,5% sobre peso de cemento según incremento de consistencia y reducción de agua deseada.

Propiedades Rheobuild 1000	
Función principal:	Reductor de agua de alta actividad / superplastificante.
Función secundaria:	Acelerador de endurecimiento.
Efecto secundario por sobredosificación:	Riesgo de disgregación.
Aspecto físico:	Líquido marrón oscuro.
Densidad, 20°C:	1,200 ± 0,03 gr/cm ³
pH, 20° C:	4 ± 1
Contenido en cloruros:	< 0,1 %
Viscosidad , 20° C Brookfield Sp00/100rpm:	< 75 cps.

Características del vibrado

Los moldes cuentan con 4 vibradores neumáticos internos, a excepción del tipo “K” que por su tamaño solo cuenta con dos. Los vibradores se encuentran sujetos en la parte inferior del molde en la cara interna de la dovela,

La intensidad y duración de la vibración se controlan desde la cámara de colado, buscando siempre que el concreto fluya y envuelva totalmente el acero así como evitar contenidos de aire dentro del molde.

Para evitar pequeñas burbujas de aire en las esquinas superiores, se complementa el vibrado con un vibrador de emersión eléctrico.



Vibradores neumáticos fijos en el molde

Enrasado y pulido

En esta etapa se abren las tapas superiores, para dar el acabado a la pieza, con una regla metálica o de madera se da el enrase de la dovela y con el apoyo de una llana metálica se da el acabado pulido.



Lavado exterior

Se cierran las tapas y se procede a la limpieza exterior del molde antes de su ingreso al túnel de curado, utilizando agua a presión para retirar todo concreto existente en la parte exterior, así se evita que se endurezca y sea más difícil la limpieza una vez retirada la pieza.

Una vez limpio el molde, se procede a cubrir con polietileno para ayudar al fraguado de la pieza, posteriormente se cierran las tapas asegurándolas parcialmente.



Lavado de moldes

Curado a vapor

Características físicas de la cámara de curado

A la entrada y salida de la cámara se cuenta con carros de traslación, que se colocan de manera automática sobre una de las tres líneas de curado.

Las dimensiones de la cámara de curado son de 53 m x 10 m con capacidad para 30 moldes. Su funcionamiento es a través de un generador de vapor localizado en un espacio reservado fuera de la nave de dovelas, el cual a su vez cuenta con dos tanques de almacenamiento para diesel y agua, de 40,000 y 25,000 litros respectivamente.

Funcionamiento

Un sistema mecánico recoge el molde del carro de entrada y lo coloca camino al túnel, haciendo avanzar por empuje todos los moldes de esa línea, al mismo tiempo otro sistema mecánico carga el último de ellos sobre el carro de salida, el cual a su vez lo lleva hacia la línea de trabajo, para comenzar un nuevo ciclo.



Entrada y salida de moldes de la cámara de curado

Etapas en la cámara de curado

El curado de la pieza consta de las etapas de periodo de reposo inicial, elevación de temperatura, mantenimiento o permanencia de temperatura y disminución de la misma para su enfriado. Estas etapas de curado son en ambiente húmedo a través de vapor de agua

Periodo de curado inicial sin vapor.- Después de haber colado la pieza en su molde, se tiene un tiempo de 70 minutos con tolerancia de +/- 30 minutos que es el periodo de curado inicial a temperatura ambiente sin vapor.

- Túnel de curado sin vapor.- El túnel de curado consta de tres secciones: elevación, mantenimiento y disminución de las temperaturas de vapor.
- Elevación o Incremento de temperatura.- La primera sección del túnel nos permite tener un incremento gradual de temperatura en la cual pasamos de temperatura ambiente hasta un rango de 31 a 55°C en un tiempo de 84 minutos con tolerancia de +/- 36 minutos.
- Mantenimiento o Sostenimiento de temperatura.- El molde pasa a la segunda sección del túnel en la cual se tiene una temperatura que va de los 50 a 65°C y permanece en este ambiente húmedo por espacio de 252 minutos con tolerancia de +/- 108 minutos.

- Disminución de temperatura y enfriamiento.- La tercer y última sección del túnel nos permite tener una disminución de la temperatura en el rango de los 31 a 55°C y permanece por un lapso de 84 minutos con tolerancia de +/- 35 minutos.
- Posterior a la etapa de curado de la dovela, el enfriamiento de esta se dará en una etapa entre 8 y 28 minutos. Se considera que el elemento es aceptable, si no aparecen fisuras en la superficie del concreto. De acuerdo al ACI-224.R (control de la fisuración en estructuras de hormigón) se consideran de 0.41 mm como ancho máximo permisible, en caso de presentarse fisuras.



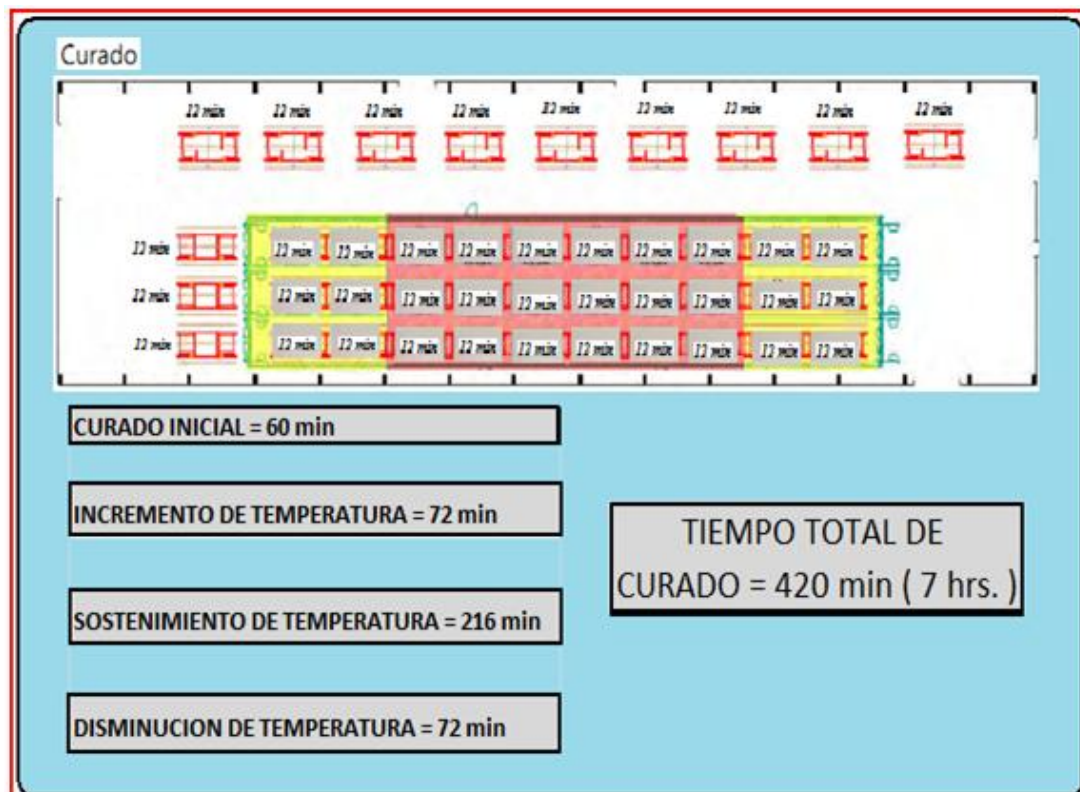
Cámara de curado y válvulas de control del vapor

Monitoreo de temperatura.

En el interior de la cámara de colado se cuenta con un tablero en donde se lleva un control de las temperaturas dentro del cuarto de curado. Esto se hace con la ayuda de válvulas termostáticas que permiten controlar el flujo de vapor y que a su vez son gobernadas por termopares y sensores que mandan una señal a las válvulas y al tablero digital.



Tablero para control de temperaturas en la cámara de curado





Cuarto de caldera



Caldera Marca Clayton

Desmolde de la pieza por succión.

Para el desmolde se procede a aflojar los tornillos longitudinales y transversales del molde observando que la dovela quede totalmente suelta.

Para poder retirar la dovela del molde se lleva a cabo el ensaye de los especímenes representativos del colado (una muestra según especificaciones) estos resultados deben acusar una resistencia mínima del 37% del $f'c$ del proyecto (130 kg/cm^2).

Con el apoyo de la grúa ventosa se procede a retirar la dovela del molde asegurándose que el equipo funcione correctamente y verificando que los brazos laterales de la ventosa abracen la dovela para prevenir la caída de ésta en caso de desprendimiento, posteriormente se envía al equipo volteador.



Grúa Ventosa

Para facilitar el desmolde, se vuelven a conectar los vibradores contenidos en el molde por un tiempo de 3 a 4 segundos, antes de que la ventosa retire la dovela.

Una vez que la dovela es retirada se procede al cierre de la paredes laterales, quedando listo para comenzar un nuevo ciclo de trabajo.

Girado de las piezas.

Después del desencofrado de la pieza, esta es transportada hacia un volteador de dovelas, el cual le da un giro de 180°, una vez girada se coloca en una línea de salida, la cual consta de una mesa elevadora que recibe la dovela y la transporta a los siguientes puntos de revisión.

Estando la dovela en el volteador, se revisa y en caso de tener imperfección se procede a su corrección, mientras tanto se almacena en el lugar asignado.



Volteador de dovelas

Resanes y reparación de dovelas

Debido a que en algunas ocasiones surgen desperfectos que son atribuibles a los efectos de desmolde, maniobras de transporte, almacenaje de estas mismas, así como a la presencia de fisuras, anomalías en áreas de accesorios (tacones, insertos, pernos, etc.). Se tienen que realizar las reparaciones correspondientes asegurando que se cumplan con los requisitos técnicos y de calidad de acuerdo a lo establecido en las especificaciones del proyecto.

En oquedades o despostillamientos menores a 1 cm no se necesita reparación.



Resane menor de dovelas

Pre-almacenaje de dovelas

Junto a la nave de fabricación se encuentra la zona de acopio de las piezas terminadas.

Una vez realizada la inspección visual del acabado de la dovela, se procede a identificarla con el número consecutivo de dovela, número de anillo y fecha de fabricación.



Marcaje de piezas

En primer lugar se realiza un pre-acopio de las dovelas fabricadas cada día, se entongan en 3 y 4 piezas, y es hasta el octavo día que se entongan en seis piezas y una cuña, mismas que forman un anillo completo.



Patio de pre-almacenamiento

Almacenaje definitivo de dovelas

Las maniobras de almacenaje definitivo se llevan a cabo con el apoyo de grúas pórtico con capacidad de 24 toneladas, la estiba se hace de tal manera que se permite el paso de personal, en caso de revisiones o de problemas que se pudieran presentar.



Almacenamiento en patio central.

Con el objetivo de verificar el correcto ensamble de las dovelas, cada 200 anillos fabricados se arma un anillo completo con sus correspondientes tornillos y accesorios.



III.7 HABILITADO DE ACERO

El acero utilizado en esta planta son varillas corrugadas con resistencia a la fluencia de 4200 kg/cm^2 , y medidas de $3/8''$ y $5/8''$, además de un modulo de elasticidad $E = 2, 039, 000 \text{ kg/cm}^2$.

El habilitado de acero corresponde a la fabricación de todos los estribos, bastones y grapas , así como el radio requerido en las barras longitudinales y transversales, según el tipo de pieza que se requiera, todo esto con la ayuda de cortadoras y dobladoras mecánicas adecuadas para no afectar la calidad de la varilla.



Habilitación de acero

Armado de parrillas

El ensamble se lleva a cabo en dos frentes de trabajo, el armado de parrillas y cadenas, y el ensamble final.

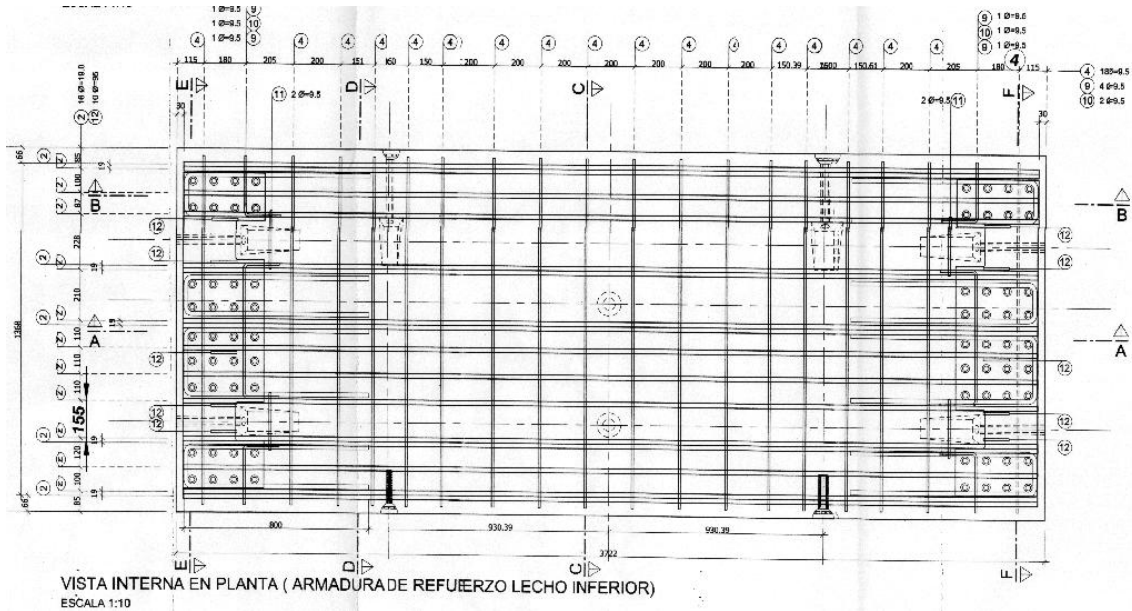
El armado de parilla y cadenas de acero de refuerzo para dovelas. Se localiza en una parte exterior de las naves de la planta, en este lugar se habilitan las parrillas y las cadenas que conformaran a cada tipo de dovela.

Una vez identificadas las piezas a utilizar de acuerdo al tipo de dovela a armar se procede a las tres fases de armado:

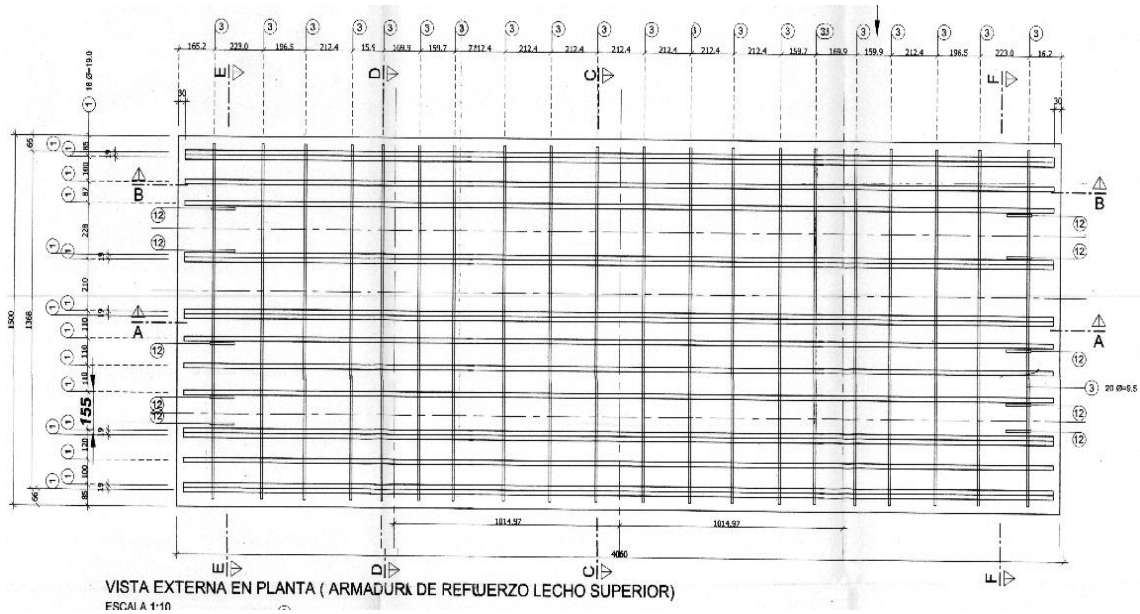
1.- Armado del lecho o parrilla inferior. Se conforma de varillas longitudinales y transversales que al ser unidas a través de soldadura forman la parrilla inferior de la dovela.

2.- Armado de lecho o parrilla superior. Se conforma de varillas longitudinales y transversales, además de contar con refuerzos para los tacones. Al ser unidas a través de soldadura forman la parrilla superior de la dovela.

3.- Armado de cadenas. Se conforma de varillas longitudinales curvas y estribos.



Armado de parrilla inferior



Armado de parrilla superior



Habilitado de parrillas y cadenas

Ensamble final

Es esta etapa se procede al ensamble de ambos lechos, para este fin se destino la nave intermedia de la planta.

El armado se lleva a cabo en mesas especiales de acero destinadas para cada tipo de pieza del anillo. Se coloca en la mesa la parrilla del lecho inferior, una vez en su posición se colocan las piezas habilitadas para traslape de ambos lechos, se colocan las cadenas para lograr la altura adecuada del armado y se procede a poner la parrilla del lecho superior. Para concluir el ensamble se colocan todos los estribos, grapas, refuerzos y accesorios que marca el proyecto



Ensamble de parrillas y cadenas para formar el alma de la dovela

Una vez ensamblada la parrilla, se verifica que cumplan con la cantidad de estribos y grapas que se indican en las especificaciones y que el armado este en su posición, debidamente fijado con puntos de soldadura de microalambre que impidan su deformación o movimiento durante la manipulación de la misma.

Se hace uso de soldadura de microalambre para unir los tramos de varilla, ya que además de garantizar que el acero queda debidamente fijado, se acelera la rapidez de los procesos de ensamble.

Las maquinas que se utilizan son soldadoras de microalambre modelo Deltaweld 452 de la marca Miller, con soldadura de 1 milímetro de la marca PYASA y de 1.14 mm de la marca Spoolarc 86.

La frecuencia con la que se verifica la cantidad de estribos en cada una de las parrillas es de un anillo por cada 50 anillos producidos.

A su vez las diferentes mesas de trabajo para el armado de las parrillas del acero habilitado son revisadas en cuanto a su dimensionamiento y número de elementos según el tipo de armado por dovela, de manera semestral.

III.8 PRUEBAS DE LABORATORIO

La planta de dovelas cuenta con un laboratorio acreditado por la EMA (entidad mexicana de acreditación) con el fin de asegurar que se cumpla con la calidad y las especificaciones planteadas en el proyecto.

Se realizan pruebas a la grava y arena, lo que incluye: granulometría, masa específica, absorción, masas volumétricas. Tambien ensayos al concreto en estado fresco y en estado endurecido.

Las normas que se aplican son las siguientes:

NMX-C-083-ONNCCE-2002

Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

NMX-C-109-ONNCCE-2004

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

NMX-C-111-ONNCCE-2004

Agregados para concreto hidráulico. Especificaciones y métodos de prueba

NMX-C-152-ONNCCE-2010

Método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.

NMX-C-156-1997-ONNCCE

Determinación del revenimiento en el concreto fresco.

NMX-C-159-ONNCCE-2004

Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.

NMX-C-160-ONNCCE-2004

Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.

NMX-C-161-1997-ONNCCE

Concreto fresco – Muestreo

NMX-C-162-1997-ONNCCE

Concreto fresco – Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.

Prueba de revenimiento

Una vez fabricado el concreto se procede a realizar la prueba de revenimiento (de acuerdo a la NMX-C-156-1997-ONNCCE) con el propósito de determinar la consistencia del concreto fresco y verificar la uniformidad de la mezcla, dicho valor debe ser de 5 cm +/- 2 cm según lo indica el proyecto, tomándose el registro correspondiente. La frecuencia con la que se realiza esta prueba es cada 5 m³.



Prueba de compresión

Una parte muy importante es la de realizar las respectivas pruebas de compresión para ello se toman 8 muestras cada 40 m³ y se prueban en los tiempos siguientes:

- 2 cilindros a desmolde.
- 2 cilindros a los 7 días
- 4 cilindros a los 28 días.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, $f'c$, del proyecto (350 kg/cm²).

La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos, se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga.

Las cilindros para pruebas de el laboratorio que se encuentran en la planta tienen un tamaño de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm).

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga los cilindros se cabecean con mortero de azufre. Una vez cabeceados, los cilindros se centran en la máquina de ensayo de compresión y se les aplica una carga dos hasta completar la ruptura.

La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta entre el área promedio de la sección. Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto y para estimar la resistencia del concreto a la salida de la cámara de colado de las dovelas, con el fin de verificar que alcanza una resistencia mínima de 130 kg/cm^2 para poder realizar el desmolde.



Preparación de cilindros

Pruebas al acero de refuerzo.

Debido a que no se cuenta con el equipo necesario para realizar las pruebas de resistencia al acero de refuerzo, se mandan a hacer dichas pruebas al IMCIC.

Del acero recibido de los proveedores, se envían muestras de 1.2 m cada 40 toneladas con el fin de que se realicen las pruebas de tensión, doblado y corrugaciones que servirán para verificar la calidad de las mismas y constatar el cumplimiento de las especificaciones de la obra.

III.9 TRANSPORTE DE DOVELAS.

El transporte de dovelas se realiza con la ayuda de las mismas grúas pórtico que se encuentran en el patio de almacenamiento. Son cargadas y transportadas en tráilers, hacia las diferentes lumbreras. Cada tráiler tiene capacidad para un anillo completo.

La zona de carga se localiza a lo largo de todo el perímetro de la zona de almacenamiento.



El destino de las piezas es el tramo I y II del túnel emisor oriente.

III.10 MAQUINARIA USADA EN PLANTA DE DOVELAS

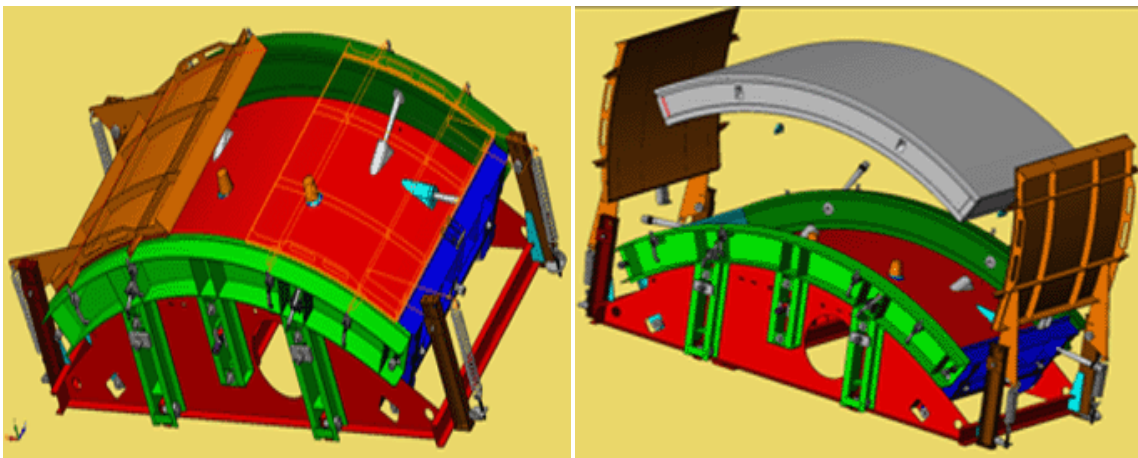
Planta tipo carrusel

La procedencia de los moldes así como de el carrusel de prefabricados es Francés por parte de la compañía cbe, una empresa de clase mundial con 25 años de respaldo.



Un molde se compone de una parte inferior, cuatro paredes laterales y dos cubiertas. La longitud del molde varía dependiendo del tamaño del anillo, lo que requiere una precisión de la escala de un milímetro de ajuste.

Se destaca en especial la precisión de los moldes algo que es difícil de lograr, dado que las paredes laterales son móviles para asegurar el desmolde del segmento. Para llevar a cabo miles de operaciones, el molde debe ser capaz de sostener un alto nivel de trabajo y mantener su integridad física precisa durante todo su ciclo de vida.





Este sistema permite un aumento del 30 al 40% en la productividad, comparado con plantas en el que el sistema de producción se basa en puestos de trabajos fijos.

Otra ventaja de esta técnica que puede ser subrayado, es la reducción del ruido de la vibración de concreto, ya que el hormigonado se realiza en un espacio cerrado (la cámara de colado).

Mesa giratoria para el acero de refuerzo.

El acero de refuerzo listo de cada dovela se deposita en una mesa giratoria en donde se apila de acuerdo a su tipo, este es el último paso antes de entrar al proceso automatizado de la planta. La mesa contiene 7 divisiones, una para cada tipo de armado (A1, A2, A3, A4, B, C, K) con el fin de de facilitar su transporte e instalación correspondiente en los moldes.



Grúas:



Grúa viajera con capacidad para 1.5 toneladas de la marca HAWI. Utilizada para colocar el acero de la dovela dentro de los moldes.



Grúa tipo monopuente de la marca HAWI, 10 toneladas de capacidad, pinza para 1 dovela Utilizada para patio de pre-almacenamiento.



Grúa tipo portal de 50 m de claro, 24 toneladas de capacidad, operada con cabina cerrada a lo largo de 250 m. Ubicada en el patio central de la planta, cuenta con pinza mecánica para tres dovelas



Grúa viajera tipo monopuente con capacidad para 5 toneladas de la marca HAWI. Utilizada para trasladar el acero de la dovela procedente de las mesas de habilitado, hacia la mesa giratoria



Grúa hidráulica Groove Modelo RT700E con capacidad para 60 toneladas, ubicada en patio de planta.



Carro de desalojo con capacidad para una dovela, ubicada en línea de salida de la planta tipo carrusel



Bacha para concreto con capacidad para 3 m³



Volteador de dovelas

PLANTA MÓVIL PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO

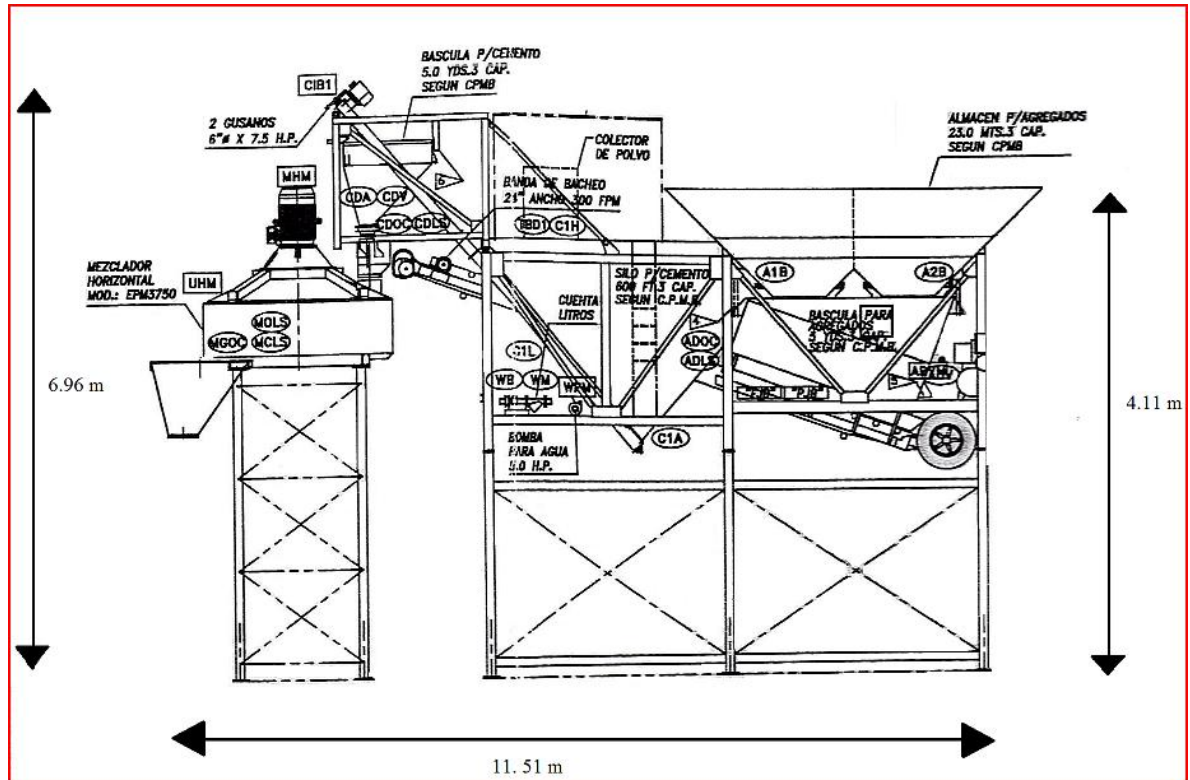
Para la generación de concreto en la planta se cuenta con dos plantas de concreto móviles de la marca ODISA de procedencia Mexicana.

La planta portátil ODISA 5LP, cuenta con silo de cemento de 20 TON, 12 m³ en agregados, y su producción de 75 m³/hr

La planta dosificadora está compuesta por tolvas de almacén de agregados, silo almacén de cemento, báscula para pesaje de agregados, báscula para pesaje de cemento, báscula para

pesaje de agua o contador de agua, banda transportadora, compresor de aire, tablero de fuerza y control, así como la estructura donde se localizan todos los componentes.

Se cuenta además con 2 silos para cemento con capacidad de 100 Toneladas cada uno, de la marca Hércules, fabricados en México.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ODISA 5LP

- Tolva de agregados 12 m^3 , 25 Toneladas, con cuatro compuertas de descarga en dos compartimentos
- Tolva pesaje agregados de 3.8 m^3 7500Kg capacidad,
- Silo de cemento con capacidad de 20 toneladas
- Tolva de pesaje de cemento 3.8 m^3 , 1.400 Kg capacidad
- Banda de descarga 24" de ancho por 9.0 metros de largo dos capas,
- Sistema de aire con compresor integrado con motor de 5.0 H.P. alta presión para compuertas y aereadores.
- Sistema de agua con cuenta litros Badger 2",
- Panel de control manual para: 3 agregados 1 cemento, 1 aereador,

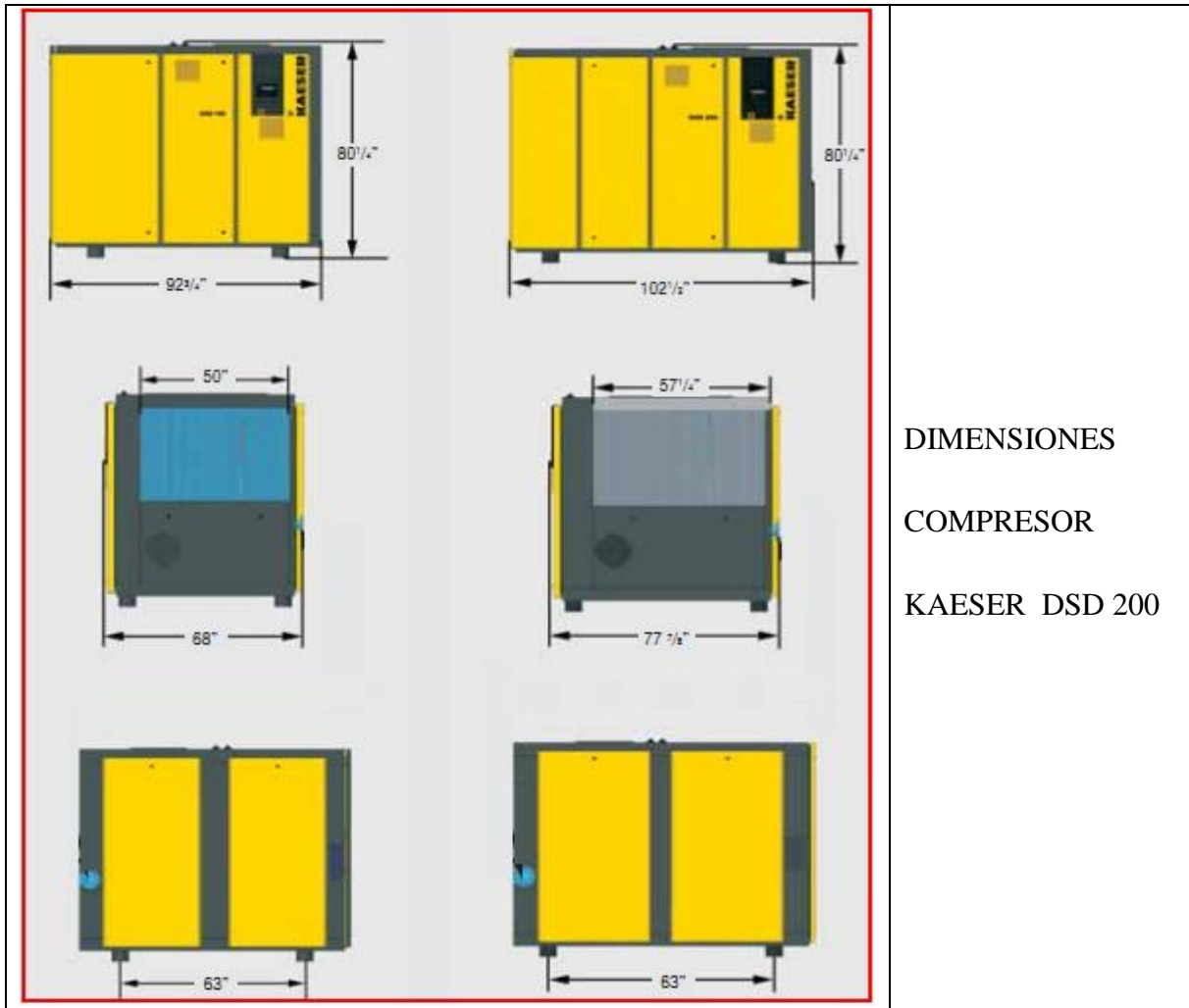


Planta móvil para la fabricación de concreto

Compresor de aire tipo tornillo

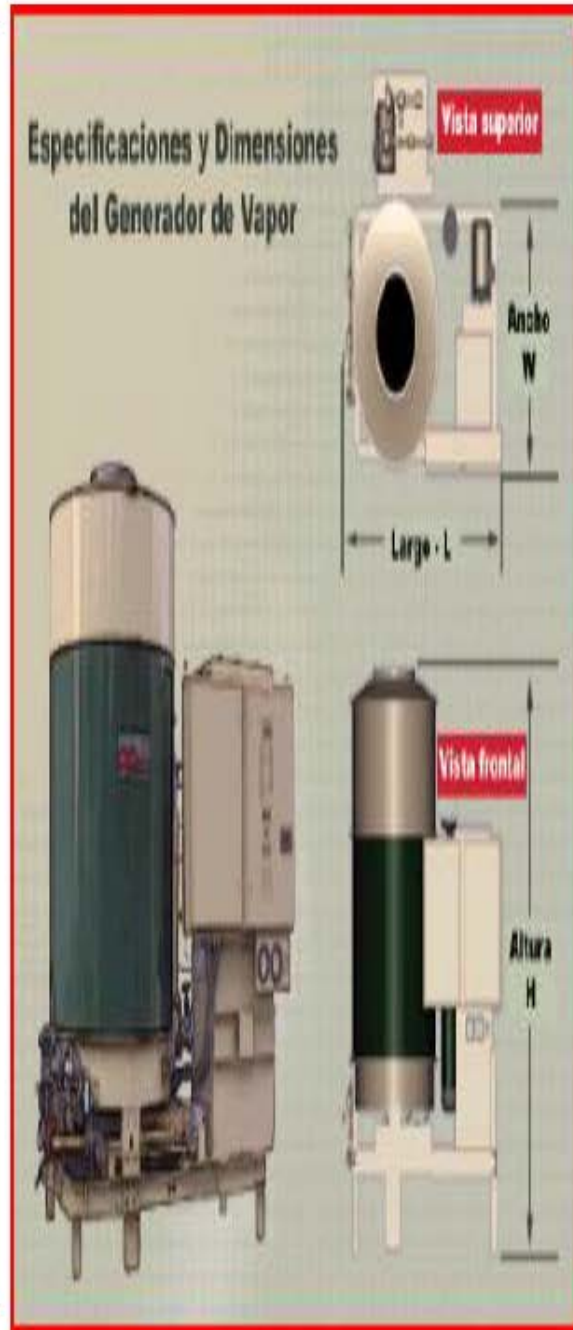
En el cuarto para caldera se encuentra con un espacio reservado para el compresor de aire, el cual suministra aire a la cabina de colado y a las diferentes estaciones en la línea de trabajo.

COMPRESOR DE AIRE MARCA KAESER TIPO TORNILLO								
Modelo	Peso lbs.	Tipo de enfriamiento	Potencia nominal del motor HP	Tensión nominal Volts	Flujo de aire nominal m^3/m (CFM)	Presión de operación kPa (psig)	Potencia Específica de Entrada Máxima kW / 100 cfm	Nivel sonoro dB
DSD 200	8047	Por aire con aceite inyectado	200	460.00	24.55 (867)	689.47 (100)	16.62	73.00



Generador de Vapor

Modelo	-	E100
Caballos Caldera	BHP	100
	kcal/h	843,560
Suministro Neto de Calor	BTU/h	3,347,500
	KW	980
Evaporación Equivalente*	Lbs/h	3,450
	Kg/h	1565
Presión de Diseño	PSIG	15 - 3000
	Kg/cm2	1 - 208
Dimensiones Aproximadas	-	-
Largo - L	pulg	84
	cm	213
Ancho - W	pulg	59
	cm	150
Altura - H sin Economizador	pulg	84
	cm	213
Altura - H con Economizador	pulg	99
	cm	251
Peso instalado sin Economizador	Lbs	4,150
	Kg	1,886
Peso instalado con Economizador	Lbs	4,785
	Kg	2,175



Subestacion electrica de la planta

Para la subestacion de energia electrica se cuenta con 3 transformadores, dos de ellos con capacidad de 1000 kva y voltaje de 240v y 440v , y uno mas de 500 kva con voltaje 220v y 110v.

Los transformadores de 1000 kva estan asignados a cada una de las naves de la planta, lo que incluye el funcionamiento de los generadores de vapor, plantas dosificadoras, plantas de soldar, carrusel de fabricacion de dovelas, compresores, gruas portico y viajeras. Mientras que el de 500 kva es destinado a la iluminacion de la planta y las oficinas, asi como para los servicios generales e iluminacion de los patios de almacenaje.

A su vez cada transformador cuenta con su respectivo tablero electrico para el control de cada una la maquinaria de las naves.



Transformadores y tablero electrico



Maquina de para soldar de la marca Miller, y alimentador de alambre de la misma marca

Características planta Deltaweld 452

Corriente nominal de salida	Rango de Voltaje de soldadura	Rango de soldadura recomendado	Voltaje máx. a circuito abierto	Entrada en Amp., 50/60 Hz, a la carga nominal de salida								Dimensiones	Peso neto	
				200 V	230 V	380 V	400 V	440 V	460 V	575 V	KVA			KW
300 Amp. a 32 VCD, ciclo de trabajo 100%	10-32 V	15-32 V	42 VCD	48	42	27	25	23	21	17	16.9	12.9	Altura: 30" (762 mm) incluye al ojal de izado Ancho: 23" (585 mm) Profundidad: 30-1/2" (775 mm) incluye al prensacable	323 libras (147 kg)

Pistolas neumáticas de 3 / 4''

Chicago Pneumatic CP772H								
Modelo	Peso[kg (lb)]	Medida (")	Longitud [mm (in.)]	Nivel de ruido (dB)	Impactos por minuto (IPM)	Trabajo Torque (libras-pie)	Consumo medio de aire (CFM)	Velocidad - sin carga (RPM)
CP772H	4.76 (10.5)	3/4.	245 (9.6)	96	900	150 - 700	6	4200



IV. CONCLUSIONES

La construcción de la Ciudad de México sobre lo que eran lagos, ocasiono dos problemas permanentes: la necesidad de desalajo de agua de lluvia para evitar inundaciones y el hundimiento por la sobre explotación de los mantos acuíferos.

Para resolver la problemática del sistema de drenaje es necesario construir un nuevo drenaje profundo que amplíe la capacidad actual: el Túnel Emisor Oriente, de 62 kilómetros, siete metros de diámetro y capacidad de desalajo para 150 metros cúbicos por segundo, siendo actualmente la obra de drenaje más grande que se construye actualmente en el mundo, con tecnología de punta, ingeniería mexicana y sistemas innovadores en su construcción.

El túnel Emisor oriente servirá para reforzar las estructuras existentes de desalajo de aguas negras y pluviales de la ciudad de México y área metropolitana y municipios conurbados del Estado de México. Con esta obra de más de 60 kilómetros se evitara el riesgo de inundaciones que afectarían a cerca de 20 millones de personas.

Se han implementado nuevas formas para la construcción de dovelas, como es el caso de las plantas automatizadas tipo carrusel, con este tipo de plantas se observan grandes beneficios en los tiempos de construcción como en la calidad de las mismas.

Los trabajos en la planta de dovelas se simplifican de manera significativa debido al proceso automatizado de la planta y a la maquinaria que se utiliza.

La producción de dovelas depende especialmente de la demanda que haya de los diferentes tramos del túnel, los que a su vez dependen de la rapidez de la excavación de las tuneladoras.

La mayoría de maquinaria y procesos de producción utilizados en la planta de dovelas es de procedencia extranjera. Es aquí en donde debemos cuestionarnos que está pasando con la ingeniería mexicana, si nos hemos quedado rezagados como país o si es simplemente la falta de oportunidades, sin embargo es incuestionable que en México se tiene la capacidad para desarrollar tales procesos de igual o mejor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

Proyecto Lago de Texcoco: rescate Hidroecológico / Comisión Nacional del Agua, 2005

Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Secretaria de Obras y Servicios del Departamento del Distrito Federal (1975).

México en el tiempo No. 30 mayo-junio 1999; Ma. Cristina Montoya Rivero

Ríos Manrique, Antonio .Procedimiento de excavación con escudo para la construcción del túnel emisor oriente en el Valle de México. UNAM

ESTEFANÍA, S. (1997) “Revestimiento con hormigón y dovelas”. Ed. C. López Jimeno.

PAGINAS WEB

<http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/TunelEmisorOriente.aspx?Pag=2>

http://www.presidencia.gob.mx/infografias/2009/junio/040609tunel_emisor_oriente/index.html

http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/df/content/materiales/docs/drenaje_ZMCM.pdf

http://www.atl.org.mx/aguadf/images/docs/Folleto_El_Tunel_Emisor_Oriente.pdf

http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=11169:estadisticas-del-agua-en-mexico-edicion-2010&catid=1128:estadisticas&Itemid=100062

http://www.cbe-tunnels.com/en/produits/moule_voussoir.asp

<http://www.clayton.com.mx/pages/especificacionesgv.htm>

http://www.odisa.com/esp/secciones/odisa_concrete_equipment_products_plantas.html

<http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/5/2492/4.pdf>

<http://www.cicm.org.mx>

<http://www.contralinea.com.mx>