



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REVESTIMIENTO  
DEFINITIVO EN TUNELES, CASO DE ESTUDIO: TÚNEL  
PARA EL DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES EN EL  
VALLE DE MÉXICO, UBICADO EN CHALCO ESTADO DE  
MÉXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA:  
JOSÉ LUIS MARTÍNEZ ESPINOSA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. LUIS FERNANDO ZARATE ROCHA**



MÉXICO, D.F.

2011



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

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCG/SEAC/UTIT/033/09

Señor  
JOSÉ LUIS MARTÍNEZ ESPINOSA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. LUIS FERNANDO ZÁRATE ROCHA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"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"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS DE UN TÚNEL, PARA EL DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES
- III. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES
- IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REVESTIMIENTO EN TÚNELES
- V. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- REPORTE FOTOGRÁFICO

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 11 de Mayo del 2009.  
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA  
GGZ/RSU/gar.

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

*Dedico este trabajo a mis padres, hermanos, hermanas y a las nuevas generaciones que llegan a la familia, por el cariño y ánimo que siempre me brindaron, a los amigos que me alentaron y aconsejaron, a los compañeros por los que fue posible la conclusión de este trabajo, a todos ellos por la promesa que finalmente cumplo.*

*A mis profesores que me dieron las armas para enfrentarme a los retos profesionales que se me han presentado.*

*Agradezco a mi asesor; el Ingeniero Luis Zarate, y al M.I Sergio Macuil por brindarme la oportunidad de practicar la ingeniería y por la experiencia ganada que esto implica.*

*Mi gratitud a la Universidad Nacional Autónoma de México y a su Facultad de Ingeniería por brindarme la oportunidad de formarme como parte de su comunidad a la cual pertenezco orgullosamente.*

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>I. ANTECEDENTES .</b>	
1.1 LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN MÉXICO PARA EL DESALOJO DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES.....	3
1.2 LA IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES.....	20
1.3 SISTEMAS ADICIONALES PARA EL DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES.....	25
<b>II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS DE UN TÚNEL PARA EL DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES .</b>	
2.1 LUMBRERAS.....	30
2.2 DOVELAS.....	39
2.3 EXCAVACIÓN.....	45
2.4 EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCION DE TÚNELES PARA DESALOJO DE AGUA RESIDUAL.....	58
2.5 EQUIPO UTILIZADO EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....	66
<b>III SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES .</b>	
3.1 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO.....	77
3.2 ESPECIFICACIONES Y PRUEBAS DE MATERIALES (CONCRETO Y ACERO).....	87
3.3 EQUIPO DE SEGURIDAD (PERSONAL Y EQUIPO).....	105

**IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL  
REVESTIMIENTO EN TÚNELES**

4.1	COLOCACIÓN DE DOVELAS (REVESTIMIENTO PRIMARIO).....	108
4.2	REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....	118
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	144
	<b>BIBLIGRAFÍA</b> .....	145



## INTRODUCCIÓN

La construcción de sistemas de drenaje eficientes que garanticen el desalojo de los excedentes de agua que se presentan en épocas de lluvia es de vital importancia para el Valle de México, ya que al situarse sobre una cuenca cerrada permite el almacenamiento de agua, presentándose el delicado problema de las inundaciones, afectando tanto en lo social como en lo económico.

Es por esta razón como surge la necesidad de construir obras que ayuden para el control de los excedentes de agua presentados en época de lluvias así como la conducción del agua residual generada por la población que se concentra en sus alrededores.

Por otro lado, la construcción de obras subterráneas es muy práctica, sobre todo para zonas urbanas en las que se dispone de un espacio reducido, como es el caso de este proyecto.

Con la construcción del túnel Río la Compañía se conducirá el excedente de agua que se presenta en temporada de lluvias, evitando con esto que circule agua en dichas temporadas por la denominada zona crítica, en donde las características del suelo en cuanto a resistencia son malas presentándose hundimientos consecuencia de la urbanización de las zonas aledañas al canal favoreciendo que el canal quede por encima de la zona habitacional, presentándose la posibilidad de ruptura de los bordos, y con ello los problemas de inundaciones en esta zona.

El proyecto túnel río la Compañía consiste en la construcción de 6 lumbreras; una de 16m (L-4), cuatro de 12m (L-1, L-2, L-3 y L-3A) y una más de 5m (L-1A), construidas aplicando el método de flotación y revestidas con concreto armado.



El túnel cuenta con una longitud de 6,700 m de longitud y un diámetro a proyecto terminado de 5m., el revestimiento primario es a base de dovelas de concreto armado de 25 cm de espesor y revestimiento definitivo de 30 cm de espesor, siguió una trayectoria por la margen izquierda del canal río la compañía

La excavación se realizó por medio de un escudo tipo EPB, rezagando el material por medio de bombas para lodo, el estabilizado del terreno fue por medio de anillos de dovelas de concreto reforzado, los cuales recibieron una inyección de mortero entre anillo y suelo al terminar de colocar cada anillo para evitar hundimientos de la superficie e impermeabilizar el túnel.

El revestimiento definitivo consistió en la colocación de concreto armado de  $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ , colado en sitio por medio de cimbra metálica telescópica o concreto lanzado en ambos casos de 30 cm de espesor.





## **I. ANTECEDENTES**

### **1.1 LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN EL VALLE DE MÉXICO PARA EL DESALOJO DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES.**

El primer antecedente en el Valle de México para la evacuación de agua producto de las lluvias fuera de la cuenca fue propuesto por Enrico Martínez en 1608, quien planteó 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, finalmente, en 1789, 181 años después del inicio de las obras, se inauguró el tajo a cielo abierto.

Durante la presidencia de Porfirio Díaz se concretó un proyecto completo y definitivo del desagüe del Valle: El Gran Canal de Desagüe, el proyecto consta de un canal, un túnel y un tajo de salida, el túnel cuenta con una longitud de 10.21 kms. y 24 lumbreras de dos metros de ancho; su sección transversal es de forma oval, calculado para recibir un gasto de 16 metros cúbicos por segundo.

En tiempos más recientes, durante los años 60's se registra otro intento por construir un túnel, se trataba de un colector en el subsuelo arcilloso de la ciudad de México, sin embargo esta experiencia resulto en fracaso al colapsar dicho túnel aún en construcción, razón por la cual se exploran nuevas tecnologías y procedimientos para la construcción de túneles en suelos blandos característicos del valle de México, la solución llega con el uso de los llamados escudos que permiten realizar la excavación con seguridad en esos difíciles suelos del Valle de México, en una sección transversal circular.



Poco tiempo después se inician los trabajos de una de las primeras obras modernas de gran importancia para desalojo de agua residual construidas en el valle de México por medio de túneles, consistió en la construcción del emisor central y dos interceptores profundos: el central y el oriente. La profundidad de desplante de estos túneles permitieron que el desagüe se realizara por gravedad y que no fuera afectado por los asentamientos del terreno, en 1967 se dio inicio a esta importante obra de la ingeniería mexicana del siglo XX.

La experiencia que dejó la construcción de los túneles del drenaje profundo en la Ciudad de México resultó de gran provecho para la construcción de obras posteriores realizadas por medio de túneles, ya que su trazo atravesó suelos de poca resistencia, encontrándose también zonas de roca sólida.

Los túneles que forman parte del Sistema de Drenaje Profundo alcanzaron 68 km de longitud y se revistieron tanto con concreto armado como con concreto simple, concluyéndose las obras en el año de 1975, solucionando por fin un ancestral problema de nuestra capital.

La construcción de túneles a grandes profundidades presenta grandes ventajas ya que no son afectados por los hundimientos regionales, además de que son resistentes a sismos y no requieren de la instalación de plantas de bombeo en su trayecto, sin embargo la capacidad de desalojo de aguas residuales y pluviales aún no es suficiente ya que la población sigue en crecimiento de ahí que se requiera seguir explotando los mantos acuíferos y que se continúe con los problemas de hundimientos, por otro lado se requiere dar mantenimiento y reparación a los sistemas de drenaje existentes, todos estos factores apuntan hacia la construcción de nuevas obras de drenaje que permitan el desalojo de agua fuera de la cuenca, razón por la cual se ejecutan proyectos de gran importancia como es el Túnel Emisor Oriente que permitirá contar con una salida complementaria y alterna al Emisor Central (principal salida de agua residual y pluvial), que abatirá el riesgo de inundaciones en la Ciudad de



México y su zona conurbada, 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.

## SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN EL VALLE MÉXICO

Durante mucho tiempo los habitantes del valle de México han padecido la terrible problemática que representan las inundaciones en esta zona, esta problemática se ha presentado desde hace varios siglos y se ha mantenido hasta nuestros días e incluso complicándose aún más debido al crecimiento incontrolable de la población teniendo como consecuencia la sobreexplotación de los mantos acuíferos y con esto la pérdida de pendiente de algunas obras importantes para el desalojo de aguas residuales y pluviales como es el caso del Gran Canal por mencionar un ejemplo, es así como la conjunción de situaciones han presentado retos a vencer en cuanto a la construcción de obras que permitan el desalojo del agua residual y pluvial fuera de la cuenca.

Desde el punto de vista geohidrológico, la cuenca del Valle de México es una gran olla cuyas paredes y fondo impermeable están constituidas por rocas volcánicas, rellena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos que van desde arenas gruesas hasta arcillas compresibles con altos contenidos de agua.

Es dentro de ese marco geológico e hidrológico cómo funciona el sistema de drenaje del Valle de México, el sistema de drenaje del valle de México es del tipo combinado por lo que circulan por el tanto agua residual como pluvial, es un sistema complejo, construido sobre una zona lacustre, característica que dificulta la expulsión del agua fuera de la cuenca, como se detallará más adelante.

Los habitantes del Valle de México se enfrentaron con la dificultad de habitar en una cuenca cerrada, lo que dificultaba la evacuación del agua, para lo que



se idea la construcción de los primeros drenes o salidas artificiales los cuales se diseñaron para trabajar por gravedad, sin embargo debido a las características del terreno donde se desplantaron presentaron grandes problemas como el hundimiento de dichas estructuras que impidieron el cumplimiento de su función, en la actualidad el crecimiento demográfico y urbano, tiene consecuencia la sobreexplotación de los mantos acuíferos mismos que ya no son recargados debido a la pavimentación de las calles y avenidas, aunado al peso de las estructuras que conforman la mancha urbana, provocándose de esta manera el problema de los hundimientos regionales y diferenciales que afectaron de manera muy significativa la capacidad de desalojo de agua volviéndose insuficientes para expulsar los volúmenes de agua residual generados fuera de la cuenca, por lo cual se tuvo la necesidad de construir plantas de bombeo para elevar el agua a los drenes del valle.

El desagüe fuera de la cuenca del valle de México, en general se realiza por cuatro salidas artificiales, conformadas por las estructuras hidráulicas que a continuación se enumeran:

1. Tajo de Nochistongo
2. Gran Canal del desagüe
3. Emisor del Poniente
4. Emisor Central y sistemas de interceptores (drenaje profundo).

	1975	2006
Obra	Capacidad m <sup>3</sup> /s	Capacidad m <sup>3</sup> /s
Gran Canal	80	15
Emisor del Poniente	30	30
Emisor Central	170	120
<b>Total</b>	<b>280</b>	<b>165</b>

**Tabla 1.1.1 Características de las principales estructuras para el desalojo de agua residual y pluvial**

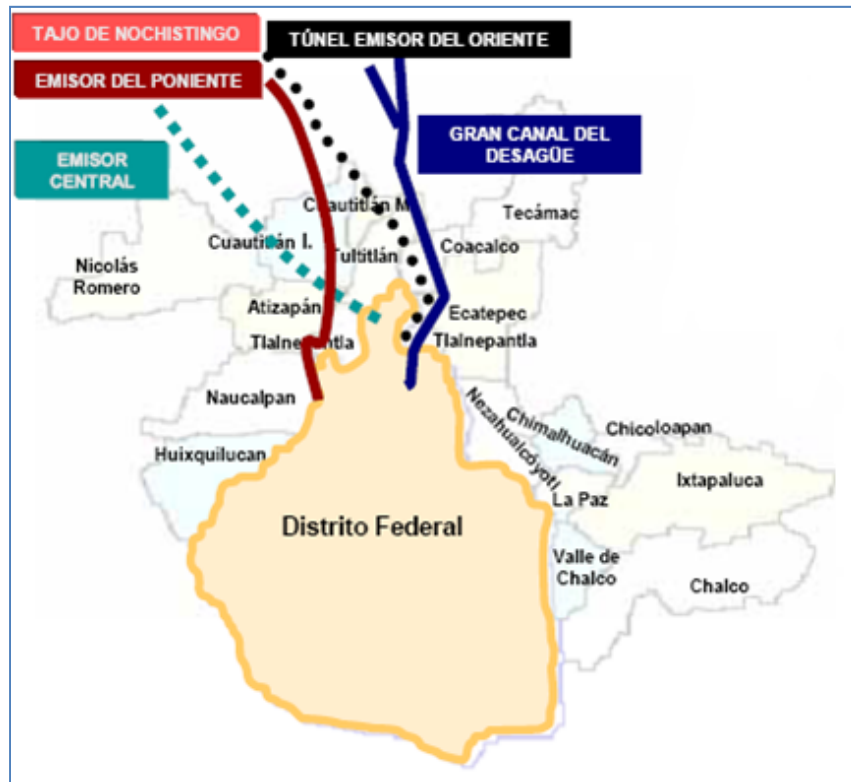


Fig. 1.1.1 Estructuras que componen el drenaje del Valle de México



Fig. 1.1.2 Localización salidas artificiales de la cuenca del Valle de México



## **1.- Tajo de Nochistongo**

Es uno de los primeros antecedentes que existen en cuanto a la evacuación de agua pluvial de la cuenca, es la primera salida artificial, se construye para desalojar las excedencias provocadas durante la época de lluvias en el valle de México, que afectaban de manera indirecta en las elevaciones del lago de Texcoco provocando inundaciones en la capital de la Nueva España.

Las intensas precipitaciones que se presentaban en el Valle de México eran captadas por la cuenca del Río Cuautitlán, producía escurrimientos caudalosos a los lagos del norte, los cuales por estar interconectados al sistema de lagos conformados por los lagos: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco provocaron se incrementara el nivel en el lago de Texcoco aunado a los asentamientos poblacionales en las orillas del lago que les restaban superficie, provocando de esta manera inundaciones en la capital novohispana con terribles consecuencias que tenían duraciones de meses y en ocasiones hasta de años.

Una vez detectada la problemática se encarga al ingeniero Enrico Martínez, los estudios y la ejecución de las obras que consistían en la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, así como el canal de Huehuetoca, al noroeste del Valle de México, se pretendía drenar el lago de Zumpango, e interceptar el río Cuautitlán para dirigir sus aguas hacia el río tula y reducir así el caudal que alimentaba el lago que rodeaba la ciudad de México, Sin embargo el túnel falla por falta de revestimiento en la galería y sufre derrumbes que lo hacen inoperante, finalmente se decide sustituirlo por un tajo o zanja el cual queda terminado muchos años después debido a numerosas dificultades que presento como derrumbes e inundaciones.



**Fig. 1.1.3 Trazo Canal de Huehuetoca**



**Fig. 1.1.4 Túnel y Tajo de Nochistongo**

En la actualidad es hacia el tajo de Nochistongo por donde desaloja el interceptor poniente.



## **2.- El Gran Canal del Desagüe.**

Entre 1803 y 1804 Alejandro de Humboldt, un geógrafo, naturalista y explorador prusiano tras analizar la propuesta de Enrico Martínez concluye que se debe completar ese plan para drenar el valle por medio de un gran canal de desagüe.

Hacia 1856 las inundaciones eran cada vez más alarmantes, en algunas zonas su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura, a principios de ese año el ministro de Fomento, Ingeniero Manuel Siliceo abrió un concurso para el proyecto de las obras del desagüe, ofreciéndose un premio de doce mil pesos oro al vencedor.

El mejor proyecto y más completo fue el presentado por el ingeniero Francisco de Garay, que comprendía la construcción del Gran Canal del Desagüe, pero no por el rumbo de Nochistongo, sino que éste terminaría en Tequixquiac; las obras comprenderían un tajo, un túnel y un canal, además se harían tres canales secundarios, el del Sur, el de Oriente y el de Occidente.

En 1865, Garay fue nombrado Director General del Desagüe del Valle de México. Pronto se abocó a iniciar una tarea larga y costosa, en la que participarían numerosas brigadas de trabajadores, así como técnicos y especialistas mexicanos.

Fue así como en 1900 comienza a operar el gran canal, se requirió de un esfuerzo colosal, sin embargo de ninguna manera se había logrado una solución total.

Finalmente, las obras del Gran Canal quedaron conformadas por un canal de sección trapecial y dos túneles para el desalojo de los escurrimientos de agua fuera de la Cuenca del Valle de México.

Sus características más relevantes son:



- a) Canal de sección trapezoidal a cielo abierto que va de San Lázaro, D. F., a la población de Tequixquiac, Estado de México.
- b) Cuenta con una longitud total de 47 kilómetros.
- c) El primer túnel comienza a funcionar en 1900.
- d) El segundo túnel inicia operaciones en 1950.

Cabe resaltar que estas obras siguen operando a pesar del transcurso del tiempo y problemas que el suelo ha presentado aunque con ayuda, como la construcción de plantas de bombeo permitiendo que se mantenga en operación.



**Fig. 1.1.5 Gran Canal del desagüe**



**Fig. 1.1.6 Ubicación del Túnel de Tequixquiác**

### **3.- El interceptor- Emisor del Poniente**

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 consta de 36 presas reguladoras de las cuales 18 se encuentran en el D.F y 18 en el Estado de México, su función es la de controlar los ríos del Poniente, evitando que sus escurrimientos bajen al Valle, en donde se asienta la Ciudad y que descargue directamente al Lago de Texcoco.

El interceptor del poniente, se trata de un túnel de 4 m de diámetro y 16.5 km de longitud, inicia en la Ciudad Universitaria y descarga en la Planta de Bombeo Río Hondo ubicada en el río del mismo nombre hacia el vaso regulador del Cristo donde nuevamente se regulan las avenidas y en las tormentas fuertes desfoga en el Emisor del Poniente, el que en su recorrido recibe las aguas de los Ríos Tlalnepantla, San Javier, Cuautitlán, Tepotzotlán y otros menos caudalosos, hasta llegar a la Derivadora Santo Tomás, donde nuevamente se pueden regular las avenidas en la Laguna de

Zumpango o descargar hacia el Tajo de Nochistongo e incorporarse al río de El Salto, para posteriormente descargar sus aguas al Río Tula y a la Presa Endho para su distribución al riego.

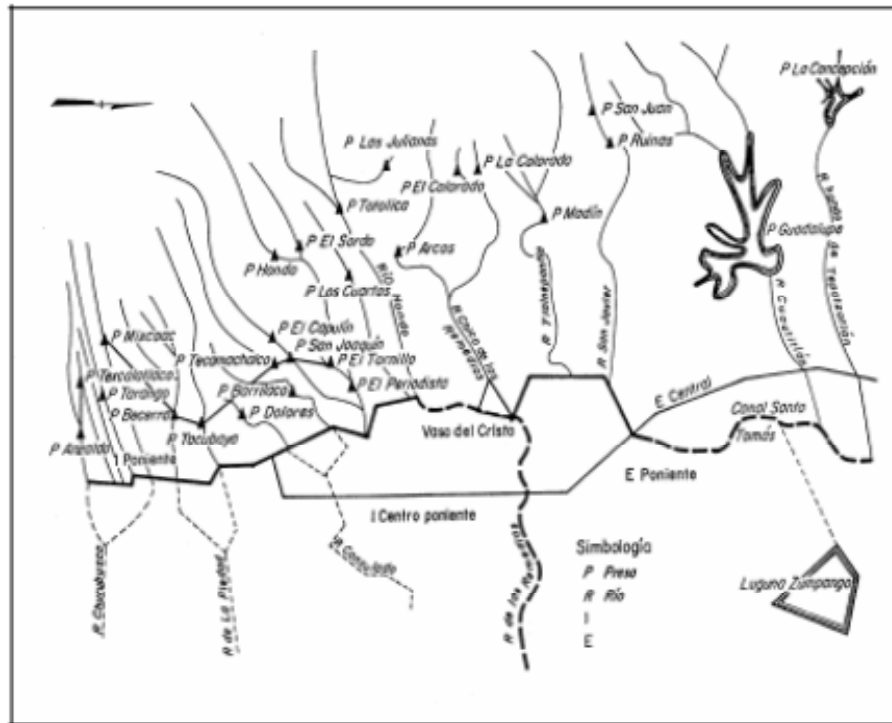


Fig. 1.1.7 Sistema de presas del poniente

#### 4.- El Sistema de Drenaje Profundo

Es la cuarta salida artificial para el desagüe del Valle de México, surge por la necesidad de evitar inundaciones que se presentaban en la ciudad así como contar con un sistema de drenaje funcional, que operara en tiempo de lluvias y se diera mantenimiento en época de estiaje, se crea con la finalidad de reducir gastos de operación ocasionados por la construcción de plantas de bombeo a causa de la pérdida de pendiente producida por hundimientos de la ciudad, es diseñado para la conducción de agua pluvial sin embargo finalmente es utilizado para el desalojo tanto agua pluvial como residual, es decir se maneja como sistema combinado.

Mediante la aplicación de este sistema se pretende evitar los problemas debidos a los hundimientos que sufría la ciudad, consecuencia del crecimiento incontrolado de la urbe, afectando la capacidad de evacuación del drenaje al perderse la pendiente del Gran Canal e incluso invertirse en algunos tramos, se observa por ejemplo que para el año 1910 el declive era de 19 cm/Km, para 1950 es de 12 cm/Km y nula para 1980 e invirtiéndose en los años posteriores, por lo que fue necesario bombear el agua para poder evacuarla, elevando así los costos de operación y mantenimiento.

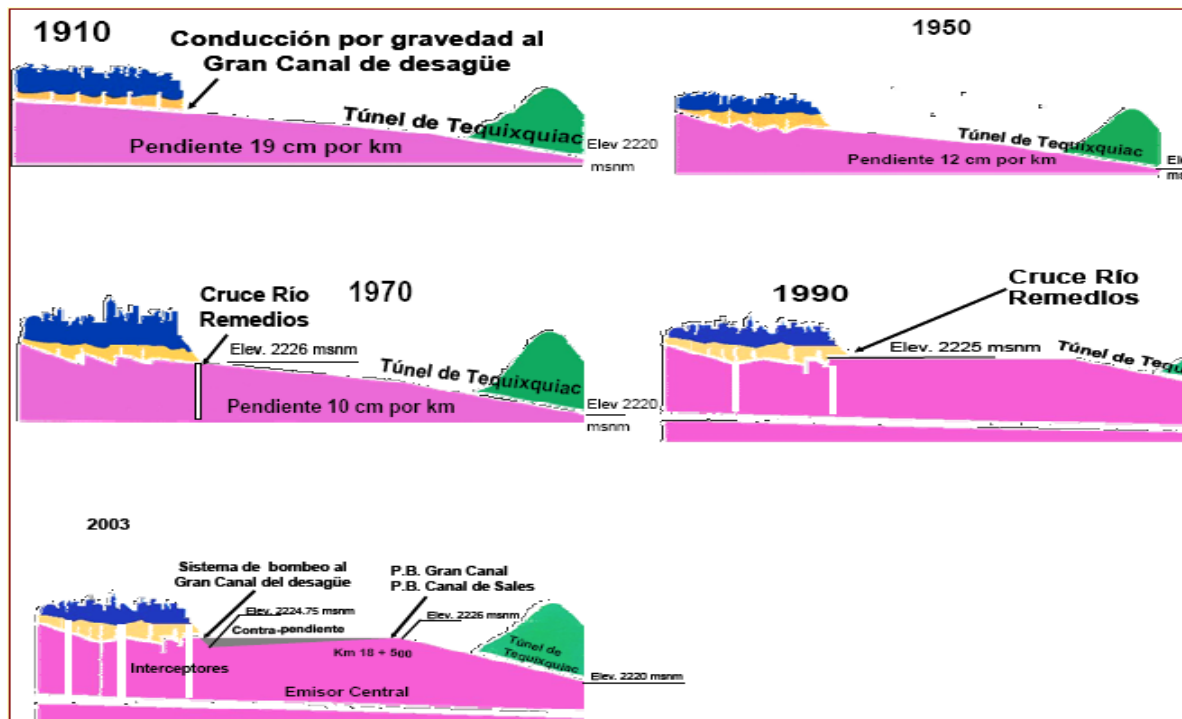


Fig. 1.1.8 Hundimientos de la ciudad de México

Con la construcción y puesta en marcha del drenaje profundo se cumplen satisfactoriamente los objetivos planteados para este sistema ya que se brindan a sus usuarios mejor calidad de vida; evitando problemas de salud así como riesgos en brotes de enfermedades que pudieran convertirse eventualmente en epidemias, además representa un ahorro económico a nivel gobierno ya que se evita por muchos años la construcción de plantas de bombeo.



Beneficia a los habitantes de la ciudad de México, en las partes bajas de la ciudad y su área metropolitana, además de una parte del estado de Hidalgo la cual se beneficia con mayor cantidad de agua utilizada para el riego.

Sin la existencia de este sistema de drenaje resulta difícil imaginar la subsistencia de la ciudad de México y su área metropolitana ya que resultaría complicado desalojar la cantidad de agua producto de sus industrias, comercios y población en general, las cuales resultarían insuficientes en capacidad para mantener drenada esta zona por medio de las salidas antiguamente construidas.

El gobierno federal, el entonces Departamento del Distrito Federal (DDF), a través de la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH) realizaron investigaciones pertinentes, y proyectaron diversas estructuras de esta obra y que tuvo a cargo la inversión para la construcción de este sistema con recursos propios desde su inicio en 1967 y hasta su culminación con obras complementarias.

En 1967, al iniciarse la primera etapa del proyecto (Emisor Central) y durante toda la construcción de esta etapa se utiliza la técnica convencional empleada por la minería, sin embargo para la construcción de los interceptores se aplican nuevas técnicas como la excavación a base de un escudo de aire comprimido por medio del cual se pretendía estabilizar el frente de excavación sin embargo no dio buenos resultados ya que se tenía un rendimiento bajo que oscilaba de entre 4 a 6 m por día, además de provocar daños a los obreros debidos a los cambios de presión.

Esto orillo a la realización de estudios que permitieran un mejor diseño para el escudo en la excavación de los túneles, dando como resultado el escudo de frente presurizado en 1978, este escudo estabilizaba el frente de excavación por medio de lodo bentonítico, además es capaz de perforar con rapidez el suelo de la ciudad dando rendimientos de 12 a 25 m diarios, evitando además riesgos a la salud de los trabajadores por descompensación.



El sistema de drenaje profundo se componía principalmente de tres partes en su primera etapa, planeadas originalmente por las autoridades de la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH) del D.D.F. para completar el desagüe del valle de México y que evacuara solamente agua de lluvia, conformada por las siguientes obras:

1. Interceptor central.
2. Interceptor de Oriente.
3. Emisor central.

Estos sistemas trabajan por gravedad y son resistentes a sismos, la primera etapa del Drenaje Profundo entró en operación en 1975, sumando 68 km de túneles y 33 lumbreras, el diámetro interior de los Interceptores es de 5 m, con una capacidad máxima de conducción es de 90 m<sup>3</sup>/s, con una profundidad que varía entre los 30 a 50 m. ambos atraviesan la ciudad en dirección sur-norte.

El Emisor Central tiene un diámetro interior de 6.50 m, su capacidad máxima de conducción es de 220 m<sup>3</sup>/s, su profundidad mínima es de 50 m y la máxima de 217 m escurre en dirección sur-noroeste. En la segunda etapa se continuó con la prolongación de los Interceptores Central y Oriente así como con la construcción de los siguientes Interceptores: Centro-Poniente, Centro-Centro, Oriente-Sur, Obrero Mundial, Semiprofundo Iztapalapa, Canal de Chalco-Canal Nacional.

La finalidad fue de integrar a este sistema de interceptores los colectores existentes en zonas que presentaban riesgos graves de inundación, cabe mencionar, que el total de túneles construidos en esta segunda etapa fue de 98 km, para alcanzar un total de 166 km y para el año 2007 con la terminación del Interceptor Oriente-Oriente de L-1 a L-3, con captación de la Laguna de regulación el Salado que beneficia principalmente la delegación Iztapalapa y a parte de la zona oriente del Estado de México.

Finalmente se cuenta con una longitud total de 173.7 km, como se menciono anteriormente, inicia a operar en su primera etapa en el año de 1975, creciendo a partir de ese año hacia aguas arriba.

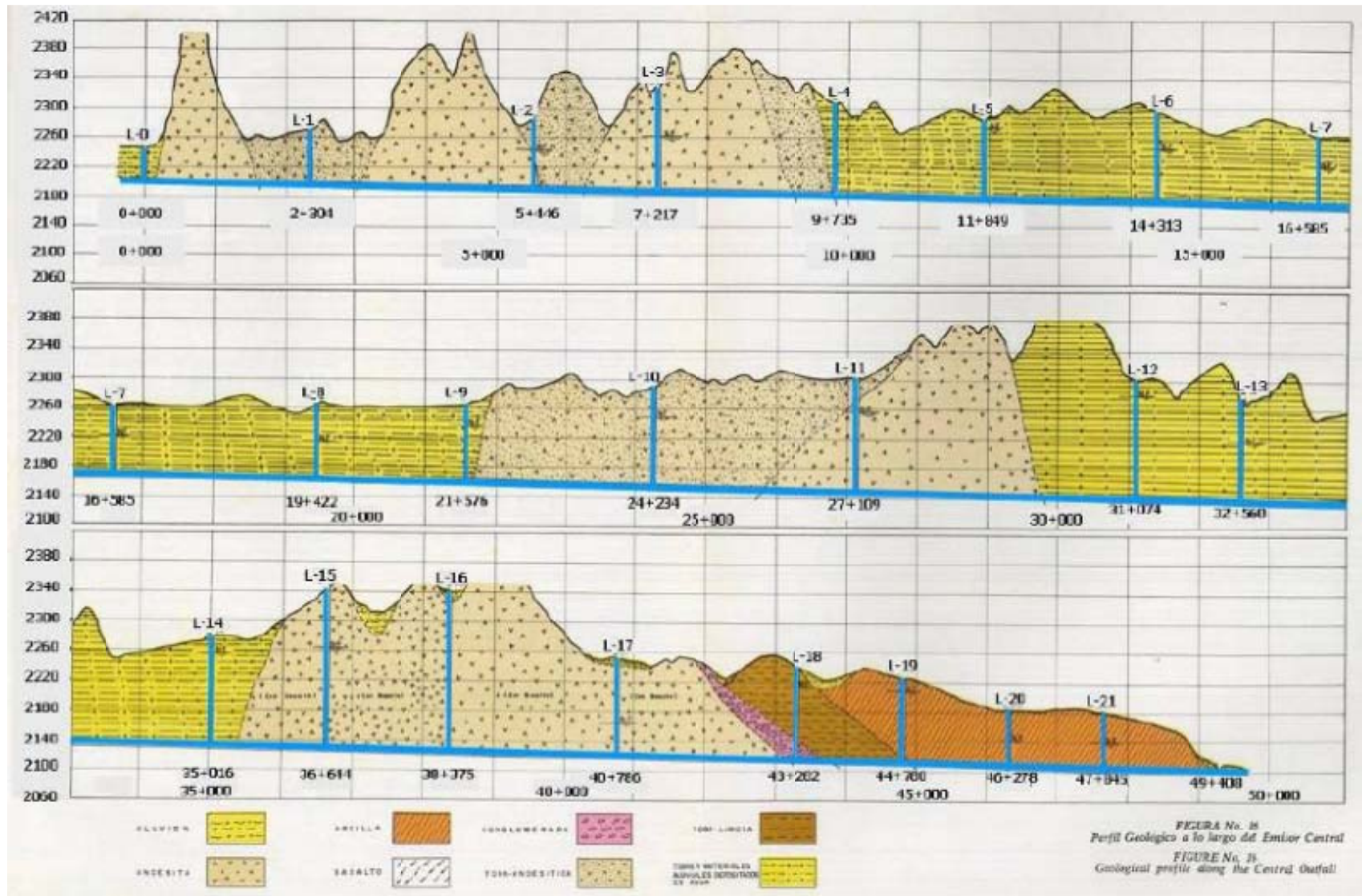


FIG. 1.1.9 Estratigrafía del Emisor Central

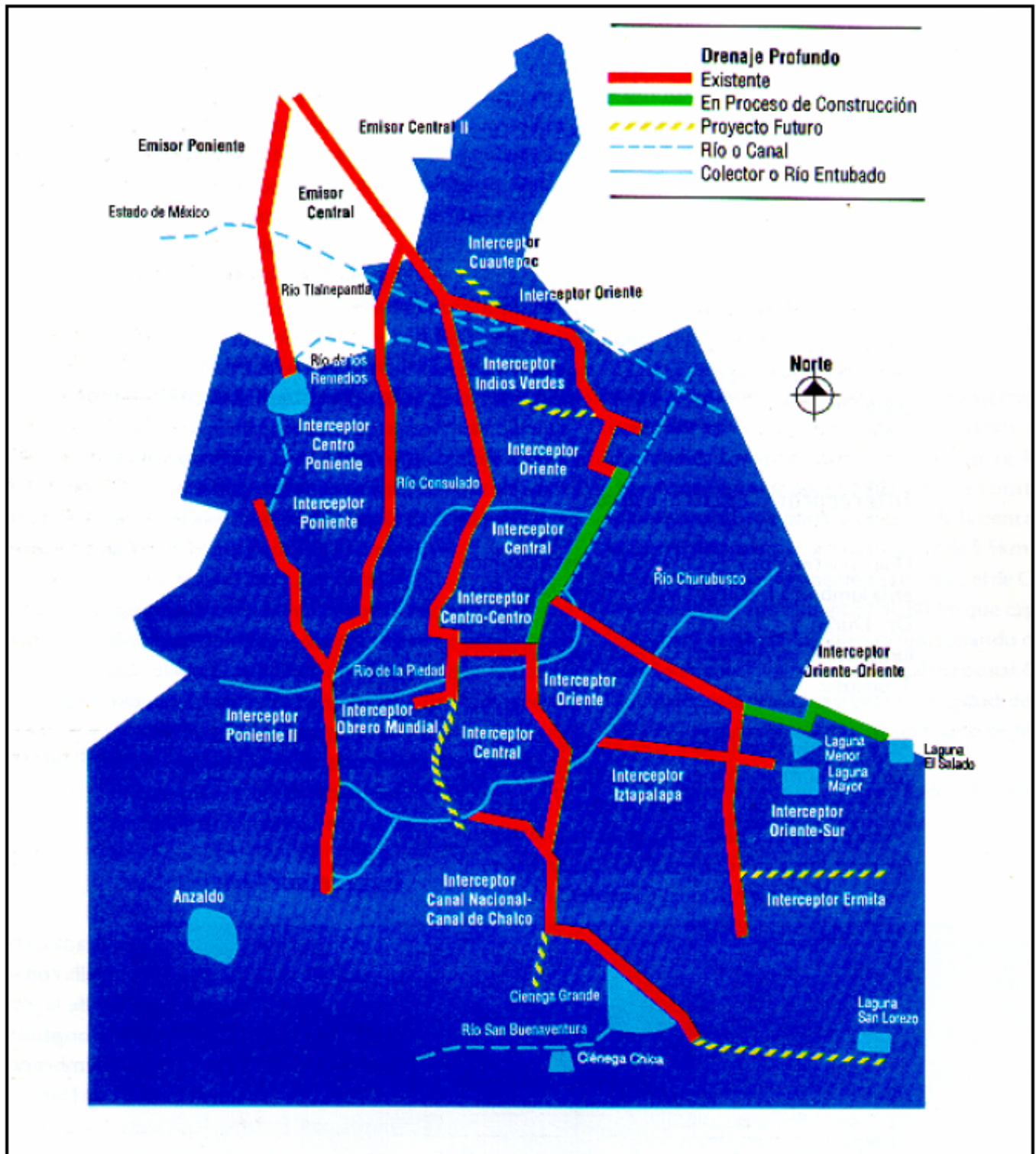


En la tabla 1.1 se muestra un resumen de los componentes principales del drenaje profundo, así como sus características de Longitud (L), diámetro ( $\varphi$ ) y capacidad de desalojo (Q), mientras que la figura 1.2.10 indica el esquema general del Sistema de Drenaje Profundo.

<b>ESTRUCTURA</b>	<b>L (Km)</b>	<b><math>\varphi</math> (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
<i>Emisor Central</i>	50.0	6.5	220
<i>Interceptor Central</i>	16.1	5.0	90
<i>Interceptor Centro – Centro</i>	3.7	5.0	90
<i>Interceptor Oriente</i>	22.2	5.0	85
<i>Interceptor Centro – Oriente</i>	16.0	4.0	40
<i>Interceptor del poniente</i>	16.5	4.0	25
<i>Interceptor Iztapalapa</i>	5.5	3.1	20
<i>Interceptor Obrero Mundial</i>	0.8	3.2	20
<i>Interceptor Oriente - Sur</i>	13.8	5.0	85
<i>Canal Nal. - Canal Chalco</i>	8.7	3.1	20
<i>Interceptor Centro – Poniente</i>	16.0	4.0	40
<i>Interceptor Oriente – Oriente</i>	3.4	5.0	90
<i>Interceptor Gran Canal</i>	1.01	3.10	90

**Tabla 1.1.2 Características del emisor central y los 12 interceptores que lo componen**





1.1.10 Esquema general del drenaje profundo.

## 1.2 LA IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES

Las inundaciones se consideran como uno de los eventos naturales que más generan catástrofes humanas y que mayor número de víctimas producen en el mundo, además de producir pérdidas económicas considerables al presentarse en centros urbanos importantes, por lo tanto el fenómeno de las inundaciones tiene afectaciones importantes en el desarrollo tanto social como económico de la región. El agua es decisiva, si hay poca, la vida y la tierra se mueren, si hay demasiada, los efectos originados por ellas es devastador.

Técnicamente una inundación es la ocupación de agua en zonas generalmente libres de esta, ocasionada ya sea por el desbordamiento de ríos que sobrepasan sus niveles máximos habituales, que no pueden ser controlados por los vasos naturales o artificiales que la contienen, producidos por avalanchas causadas por tsunamis, o roturas de obras de protección como diques, túneles, tuberías, etc.



**Fig. 1.2.1 Inundación en la ciudad de México**

Por otro lado el alcantarillado es una obra de canalización o por medio de tuberías que asegura el desalojo de agua pluvial, residual (o como sistema combinado) producto del uso o la utilización para distintas actividades de una sociedad sin riesgo de

contaminación para la población que sirve. Consta de una serie de estructuras que por su complejidad se le considera como un sistema distinto al del agua potable cuando en realidad es complementario.



**Fig. 1.2.2 Creación de una parte del sistema de alcantarillado.**

En un principio la cuenca del valle de México drenaba por la cuenca del río Balsas hacia la vertiente del pacífico, antes de que la erupción volcánica que generó la sierra Chichinautzin, convirtiera la cuenca en endorreica, dando origen de esta manera a un gran lago, el cual al irse evaporando disminuye su extensión, dando origen a una cadena de lagos someros.

Debido a las características geomorfológicas del valle de México, desde la creación de Tenochtitlán, al centro del lago de Texcoco ha existido la problemática causada por las crecientes de los niveles en los lagos que la circundaban, afectando de esta manera la calidad de vida de sus habitantes, por lo cual fue necesario la planeación y ejecución de las obras de defensa ubicadas estratégicamente dentro de la cuenca contra las contrariedades que representaban el crecimiento de los niveles en este sistema de lagos, fue así como se puso a prueba el ingenio de aquellos pobladores que tuvieron a su cargo la convivencia con estas condiciones de vida, adaptándose a ella mediante la construcción de albarradones o diques que los mantenían a salvo de tales

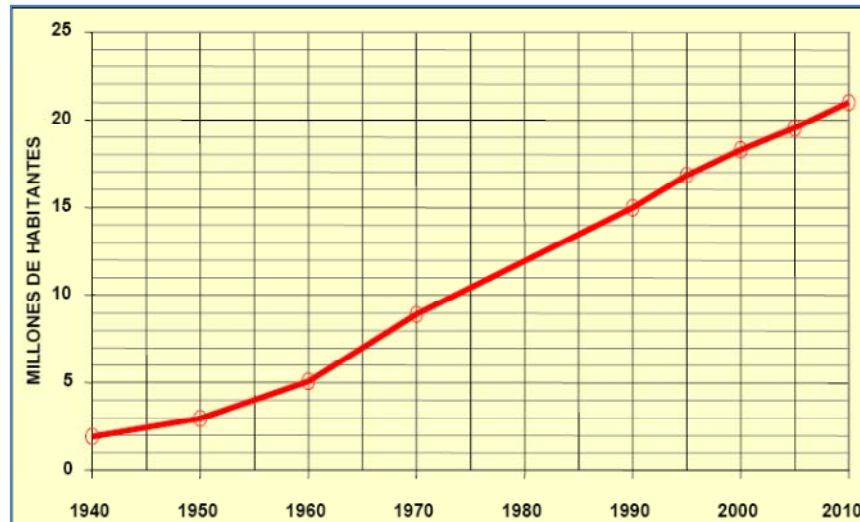


inundaciones, los cuales además les proporcionaban agua potable y vías de comunicación. Se puede mencionar por ejemplo el albarradon de Nezahualcóyotl el cual fungía como protección contra inundaciones a la vez que separaba el agua salobre del lago de Texcoco de las aguas dulces de los lagos de Xochimilco y Chalco y que ayudaba a contener los desbordes de los lagos vecinos sobre el Lago de Texcoco, siendo además antecedente de otras obras creadas posteriormente para los mismos fines como la construcción de bordos, canales, drenes y otras estructuras.

Sin embargo, fue durante la época colonial cuando se presentan los mayores casos de inundaciones debido a la destrucción que hicieron los conquistadores de las obras que los Aztecas habían creado para su resguardo ante la creciente en los niveles de los lagos debidas a las precipitaciones que se presentaban en el valle, aunado a esto la expansión de la población quienes ganaban de esta manera terreno al lago y agravando aún más el problema de las inundaciones.

El clima en el valle de México, que por su ubicación ha desempeñado desde siempre un papel fundamental en las terribles inundaciones que se han presentado en dicha zona, siendo afectado también por fenómenos meteorológicos tales como ciclones y huracanes que se presentan en ambos litorales; Golfo de México y Océano Pacífico ya que se tienen registrados datos donde se habla de precipitaciones promedio de 743 mm por año, presentándose principalmente entre los meses de mayo a octubre durante los cuales se precipitan el 80 % de la lluvia en un año, caracterizándose por su gran intensidad y corta duración, acumulándose además durante este periodo gran cantidad de azolve en el sistema, por lo que en época de estiaje es necesario llevar a cabo su limpieza para recuperar su capacidad de conducción y regulación, por otro lado la urbanización de la ciudad y su área metropolitana han llevando al limite la capacidad del drenaje, por un lado se han disminuido las áreas de infiltración de agua hacia el subsuelo, provocando un mayor escurrimiento superficial el cual combinado con la baja capacidad de desalojo del alcantarillado tiene como resultado el crecimiento de los niveles del agua y finalmente inundaciones.

La población del valle de México que pasa de 3.6 millones en 1950 a cerca de 20 millones de habitantes en la actualidad, y esperando una población de equilibrio de 25 millones de habitantes a mediados del siglo XXI, han presentado grandes problemas debido al crecimiento acelerado, como son hundimientos regionales y diferenciales y saturación del drenaje.



**Gráfico 1.2.3 Crecimiento de la población del valle de México.**

Actualmente la red de drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe un promedio de 43 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales. Debido a los hundimientos experimentados en la región central del Valle de México por la sobre explotación de los acuíferos en estratos formados por arcillas compresibles, la capacidad hidráulica del sistema de desalojo de las aguas residuales, incluyendo las pluviales, se ha visto peligrosamente reducida en los últimos años y ha motivado una creciente dependencia en plantas de bombeo para poder elevar las aguas a los drenes del Valle.

Es a partir de estas problemáticas como surge la necesidad de contar con un sistema de drenaje que permita drenar la cuenca del valle de México, abrirla para permitir el desalojo de las aguas pluviales y residuales con el fin de poner remedio a las frecuentes inundaciones que ocurrían desde los aztecas hasta épocas más recientes, las cuales provocan grandes daños tanto económicos como de la salud.



Se utilizaron diversas estructuras desde aquellas épocas y hasta nuestros días para el desalojo de agua desde canales, tajos, túneles, drenes, plantas de bombeo, etc.

Sin embargo en la época moderna ya no solo es el problema del desborde por el exceso en los niveles de los lagos debido a la precipitación en la cuenca, sino que se ha agravado a consecuencia del crecimiento desmedido de la mancha urbana, provocándose una demanda mayor de agua potable (y por ende mayor demanda en el servicio de drenaje sobrepasando de esta manera la capacidad de desalojo del desagüe de aquel entonces) misma que se extraía del subsuelo lo cual provocaba que el suelo arcilloso se compactara afectando de esta manera el comportamiento de las obras de desagüe las cuales fueron diseñadas para trabajar por gravedad, mismas que sufrieron paulatinamente perdidas en su pendiente hasta llegar al momento en que la pendiente era totalmente en su contra permitiendo de esta manera que el agua que tenía que ser evacuada se regresara debido a esta contra pendiente.

La prevención de inundaciones y disposición de aguas residuales han sido un problema que atañe tanto a autoridades como pobladores del valle de México, las condiciones de operación de la red de desalojo de las aguas residuales deben ser las óptimas para que cumplan con su función de forma adecuada de igual forma deben cumplir con las condiciones sanitarias y ambientales que aseguren no afectaran las condiciones actuales de los lugares de disposición final.

La importancia de los sistemas de alcantarillado radica en la posibilidad de evacuar los excedentes de agua a través de una conducción de tal manera que no afecte a las poblaciones a las que sirve, brindando por otro lado beneficios a poblaciones que padecen el escaseo de este recurso, sin embargo tal idea se ve desvanecida al contar con sistemas combinados como es el caso de México por el cual se hace más caro y difícil dar tratamiento a tal volumen de agua por lo cual muchas veces no se realiza, desalojando aguas totalmente contaminadas y que lejos de ayudar perjudican el medio ambiente y lo único que hacen es alejar el problema de las ciudades e incrementarlos en otros lugares.



A este respecto los gobiernos del Distrito Federal, el Estado de México y la Federación, a través de la Comisión Nacional del Agua, actuando en forma conjunta, tienen ya en marcha un programa integral de drenaje y saneamiento, que en pocos años permitirá contar con un sistema que, preservando los grandes beneficios que se derivan del riego agrícola, controle y prevenga los problemas ambientales y sanitarios. A este respecto los Gobiernos del Estado de México y el Distrito Federal constituyeron el Fideicomiso de Administración y Fuente de Pago No. 1928 en el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, con la participación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua para llevar a cabo el Proyecto de Saneamiento del Valle de México (PSVM).

### **1.3 SISTEMAS ADICIONALES PARA EL DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES**

Al presentarse los problemas de hundimientos en el valle de México, y tenerse sistemas de drenaje que se diseñaron para trabajar por gravedad, surge la necesidad de incorporar otros sistemas que ayuden a la evacuación de los volúmenes de agua necesarios, al verse los anteriores rebasados por la demanda que hace la población de estos servicios, es así como surge la necesidad de construcción de plantas de bombeo aunque presentan la desventaja de que incrementan los costos de operación del sistema de drenaje sin embargo es la única alternativa para desalojar los volúmenes generados de agua residual y pluvial al verse afectadas las antiguas obras por las cuales se desalojaban estas aguas, se debe considerar además que su vida útil ya ha sido superada.

Se presenta el caso de La primera de ellas, la Planta de Bombeo Gran Canal, ubicada en el kilómetro 18+500 del Gran Canal del Desagüe, en el Municipio de Ecatepec, Estado de México, con capacidad instalada de 42 m<sup>3</sup>/s.



El Gran Canal del Desagüe llegó a tener una capacidad máxima de 90 m<sup>3</sup>/s; sin embargo, debido al hundimiento de la Ciudad, como consecuencia de la extracción de agua (hundimiento de casi 9 metros en su parte central durante el siglo pasado), el Gran Canal se encuentra 4 m arriba del nivel medio de la Ciudad y ha perdido su pendiente original en sus primeros 18 km, en el tramo que corre por la zona urbana del Área Metropolitana. En septiembre del 2002 tenía una capacidad de conducción inferior a 7 m<sup>3</sup>/s, complicando la operación de los sistemas de drenaje y desagüe de la Ciudad, colocando a ésta en riesgo creciente de inundación. Con la construcción de la Planta de Bombeo Gran Canal, se ha aumentado la capacidad de desalojo del Gran Canal del Desagüe, de 7 a 42 m<sup>3</sup>/s, recuperando parcialmente la capacidad disminuida por la pérdida de pendiente de este conducto, siendo ésta la primera de una serie de Plantas a construirse en forma escalonada. El presupuesto original de la obra fue de 250 millones de pesos, con un costo final de 230 millones de pesos.

Cabe destacar que se construyó adicionalmente la planta de bombeo Río Hondo permite operar el Interceptor del Poniente de manera efectiva, con una capacidad instalada 24 m<sup>3</sup>/s.

**Planta de Bombeo Gran Canal km 18 + 500**  
Características principales

Capacidad total instalada	42 m <sup>3</sup> /s
Número de equipos de bombeo sumergibles	14, de 3 m <sup>3</sup> /s cada uno
Potencia de motores	14 x 400 = 5,600 HP
Equipo para emergencias con generación propia de energía eléctrica	5,000 kw en 4,160 volts de CA
Sistema automático de rejillas, para desazolve	1
Aumento en la capacidad de desalojo de agua en el Gran Canal, de 7 m <sup>3</sup> /s a 42 m <sup>3</sup> /s	600%
Carga dinámica	7.40 m
Carga máxima	8.20 m
Carga mínima	2.00 m
Presupuesto original de la obra	\$250'000,000.00
Costo final de la obra	\$230'000,000.00
Fecha de inicio de construcción	30 de mayo del 2001
Fecha de término de la obra	13 de agosto del 2002

**Tabla 1.3.1 Características de las plantas de bombeo para desalojo de aguas negras.**



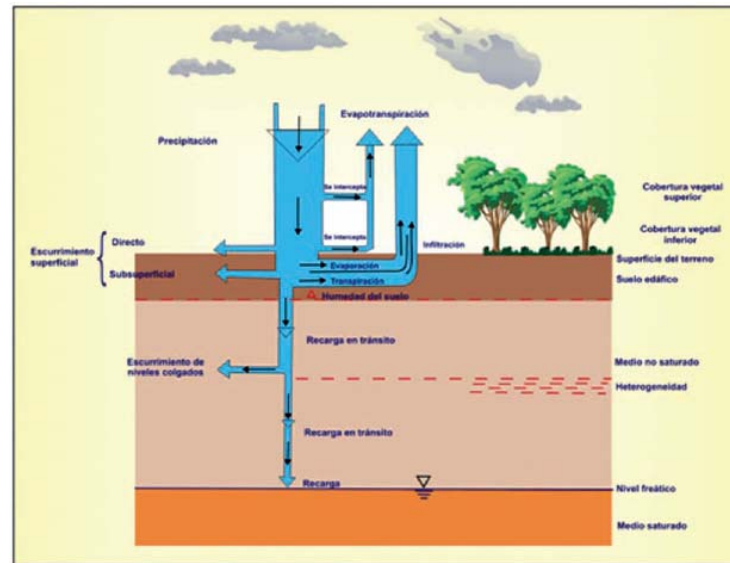


Aunado a la construcción de plantas de bombeo se requiere llevar a cabo un permanente programas de desazolve de presas, lagunas de regulación, ríos y de las redes de drenaje ya que de esta manera se asegura una mayor eficiencia en el desalojo de estas aguas, evitando la acumulación de las mismas provocando finalmente el grave problema de las inundaciones y con ello las consecuencias sociales que de ello se derivan, se trata pues de mantener las condiciones operativas adecuadas de las redes de drenaje y obras de protección principalmente en época de lluvias .

Una técnica que se aplica para controlar los niveles de crecimiento del agua pluvial y que permite además la recarga de los mantos acuíferos son los llamados Pozos de absorción, los cuales consisten en excavaciones a profundidades variables por donde el agua se infiltra por paredes y piso los cuales deberán ser permeables, sin embargo se debe cuidar que el agua sea de origen pluvial o que se le allá dado tratamiento previo de tal manera que se asegure una calidad adecuada del agua, que no contamine el terreno ni los mantos a los que recargara.

Otra técnica aplicada es por medio de las lagunas de infiltración, que representan la manera más eficaz para recargar los acuíferos con aguas tratadas.

Esta técnica, aprovecha la capacidad de los suelos y las formaciones geológicas para tratar y filtrar el agua, está siendo utilizada con éxito en varios continentes.



**Fig 1.3.1 Pozo de absorción**

Otra forma auxiliar que se tiene para el control de inundaciones y posterior desalojo de agua pluvial es por medio de las presas de regulación que son estructuras que regulan los excedentes de las corrientes naturales como son ríos, arroyos y/o barrancas.

La importancia del mantenimiento en el sistema de drenaje así como de las obras auxiliares, radica en mantener en óptimas condiciones las vías de desalojo de agua fuera de la cuenca, y que operen de manera conjunta de tal forma que se tenga bajo control los niveles excedentes de agua evitando de esta manera los problemas que representan las inundaciones.



## **II.-DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS DE UN TÚNEL PARA EL DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES**

La correcta ejecución de los trabajos en la construcción de túneles requiere de estructuras que permitan el acceso tanto de personal como de equipo y materiales requeridos en el frente, así como de elementos que protejan al personal y la maquinaria durante la ejecución de los trabajos y que aseguren la vida útil de la obra y correcta funcionalidad de la misma.

Se tratara en este capítulo acerca de las estructuras indispensables para la construcción de túneles en suelos blandos, ya que sin estas sería imposible concebir tales proyectos que producen grandes beneficios a la sociedad, como puede ser el control de inundaciones, por medio de los cuales se conduce, controla y desaloja los caudales excedentes generados en épocas de lluvia y de esta forma evitar problemas de inundaciones en las comunidades.

Dichas estructuras hacen posible la construcción de túneles y por otro lado permiten el correcto funcionamiento del mismo a lo largo de su vida útil, dentro de la secuencia de construcción la primera estructura en construirse es la lumbrera por donde se da acceso a los equipos de excavación y revestimiento, así como a los materiales y personal necesario para la ejecución de los trabajos, durante la construcción de dovelas se fabrican los elementos que permitirán estabilizar el terreno al momento de la excavación, en cuanto a los trabajos de excavación y estabilización del subsuelo estos se ejecutan a la par y permiten dar el soporte inicial de lo que finalmente sería el túnel, finalmente se aplica el revestimiento definitivo con lo cual se llega al diámetro de diseño y se proporciona el acabado final. En resumen son cuatro procesos los que hacen posible la materialización de un túnel, construcción de lumbreras, construcción de dovelas, excavación y estabilización del terreno y revestimiento definitivo.



## 2.1 LUMBRERAS

Las lumbreras son elementos estructurales auxiliares en la construcción de túneles, estas estructuras son construidas verticalmente, generalmente de arriba hacia abajo, de forma circular, ademadas con concreto reforzado o simple dependiendo de las características del suelo, permiten tener acceso a instalaciones o estructuras subterráneas, así como proveer de recursos y personal necesario para construcción de un tramo de túnel.

El procedimiento constructivo varía según el tipo de suelo sobre el cual se construirá la estructura, los suelos se clasifican en general como blandos, duros y mixtos, según el tipo de suelos los procedimientos constructivos así como los equipos utilizados se modifican.

Las lumbreras en roca son de mayor dificultad que las de suelos blandos, para su construcción pueden aplicarse distintas técnicas tales como:

- a. Ayuda de explosivos
- b. Por medios mecánicos
- c. Por combinación de los anteriores.

En las lumbreras de pequeño diámetro (menor de 6.0 m) generalmente se utilizan las máquinas llamadas contrapoceras, cuyos diámetros pueden variar entre 0.6 y 6.0 m. Se pueden hacer de arriba hacia abajo y viceversa. La manera más eficiente, es barrenar de arriba hacia abajo al túnel o caverna por conectar y hacer la ampliación de abajo hacia arriba con la contrapocera.

En lumbreras de gran diámetro, mayor de 6.0 m, se pueden utilizar métodos convencionales y/o uso combinado de contrapoceras con ampliación o topes integrales.



Los revestimientos en las lumbreras dependen de:

- Calidad del suelo y de las solicitaciones de carga.
- Del uso de la lumbrera (los conductos a presión en ocasiones llevan concreto hidráulico, anclas y camisa de acero)
- Del nivel freático.

Se pueden aplicar los siguientes métodos para revestir lumbreras en suelos blandos:

- Excavación convencional combinada con colocación de anclas
- Concreto lanzado y en algunos casos drenes de alivio
- Uso de explosivos combinado con anclas, concreto lazado y drenes en caso necesario.

En suelos mixtos (suelos blandos y duros):

- Pilas secantes
- Excavación convencional

Para el caso de construcción de lumbreras en suelos blandos, (típicos del Valle de México, debido a sus orígenes lacustres), experiencias previas, durante la construcción de colectores, cárcamos profundos y cimentación de edificios han permitido estudiar con especial cuidado las condiciones geométricas y mecánicas de la excavación para seleccionar el procedimiento constructivo más adecuado de tal suerte que se eviten los dos tipos más comunes de falla en estas estructuras:

### **1. Falla de fondo**

Se presentan levantamientos de fondo, en estructuras además lateralmente, cuando la profundidad esta cercana a sobrepasar los 10 m.



## 2. Extrusión

Las paredes de la lumbrera fluyen colapsando de esta manera la estructura (deslizamiento de talud), se puede presentar entre los intersticios de un ademe abierto, cuando la profundidad es mayor a los 15 m.

Los métodos constructivos han de considerar estas posibilidades de falla para aplicar el método más adecuado.

En los suelos blandos los procedimientos más comunes son:

- ❖ Lumbrera flotada.
- ❖ Muro Millan.
- ❖ Anillos.

Cabe aclarar que existen más métodos sin embargo estos son los de mayor aplicación en la actualidad, con los que se resuelven el tipo de proyectos para desalojo de agua residual en el valle de México.

Los procedimientos antes mencionados para la construcción de lumbreras en suelos blandos tienen en común las primeras etapas de construcción, variando al final del proceso según las características del suelo sobre el cual se construirá la lumbrera. Enseguida se describirá de forma simplificada las etapas comunes entre los métodos mencionados en la construcción de lumbreras.

1.- **Construcción de Brocales.**- Son los elementos guías y de protección al borde de la excavación que alojara el lodo autofraguante de la pantalla perimetral. Para estos propósitos será necesaria la construcción de dos los brocales uno exterior que es definitivo y uno interior que es provisional, el colado de estos elementos es en una sola etapa.

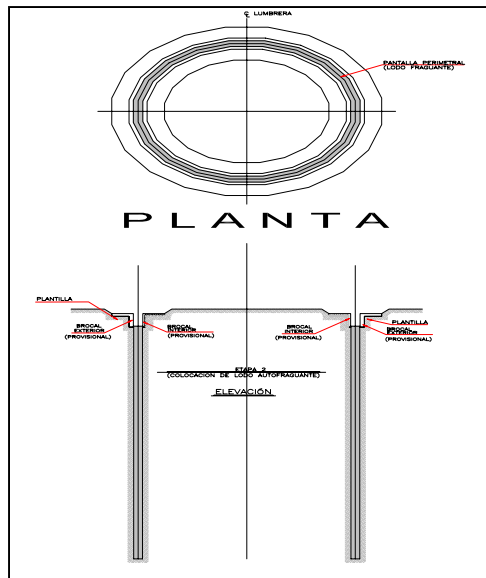


Fig. 2.1.1 Primera etapa, construcción de brocales provisionales

2.- **Pantalla perimetral.**- también conocido como muro pantalla consiste en excavar con almeja y equipo guiado entre los brocales y colocar lodo autofraguante por tableros alternados, formando un cilindro que ayudará a estabilizar las paredes de la excavación para la construcción de la lumbrera.

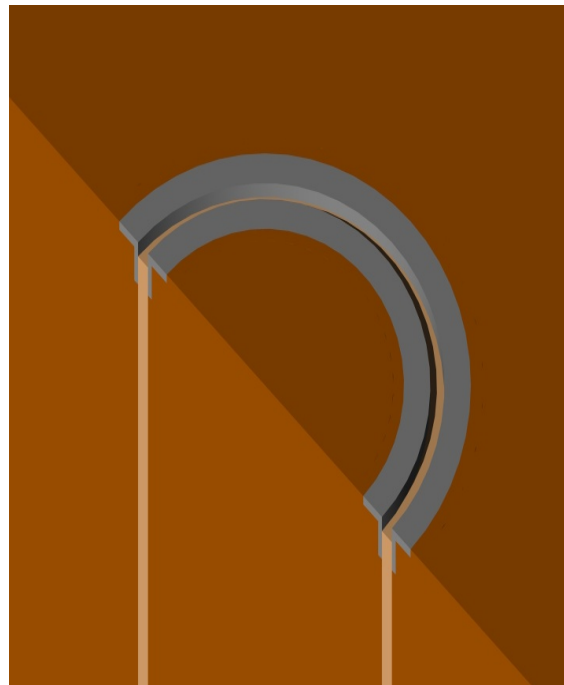
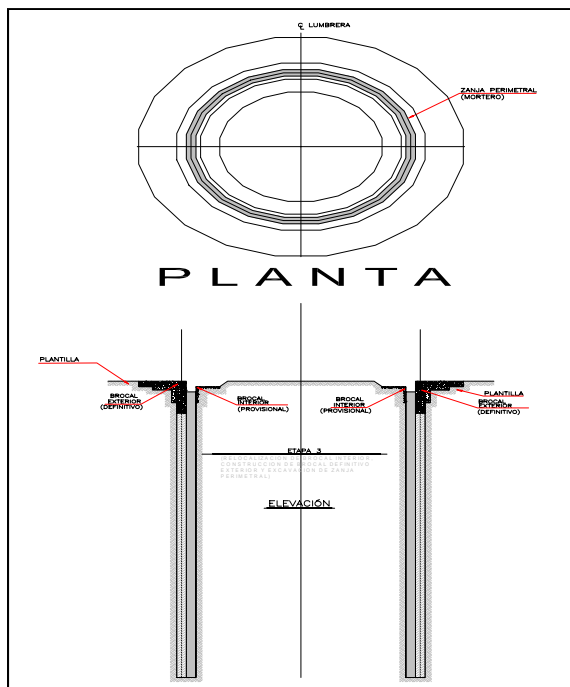


Fig. 2.1.2 Segunda etapa, colocación de lodo autofraguante

3.- **Relocalización del brocales.**- Construcción de brocal exterior definitivo, demolición y reubicación del brocal interior provisional y excavación para zanja perimetral rellena de mortero.

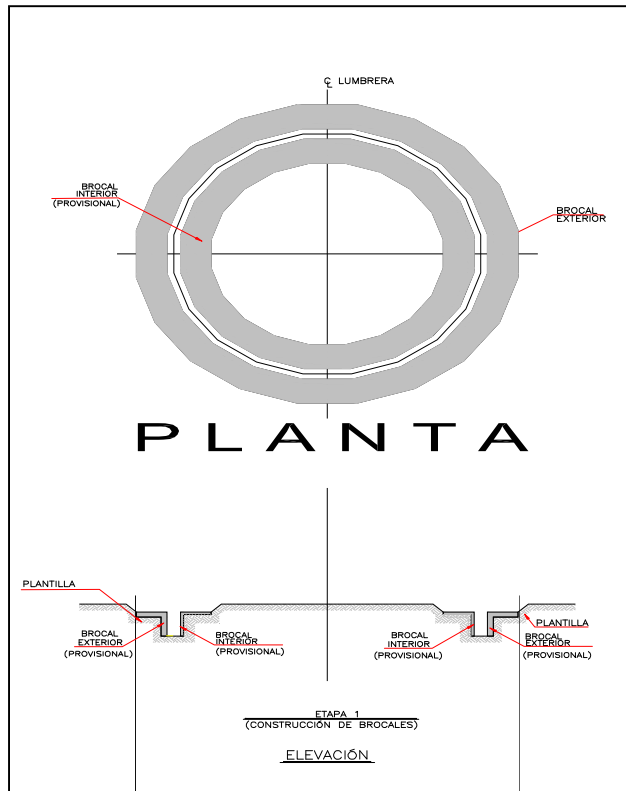


Fig.2.1.3 Tercer etapa, relocalización de brocales y excavación de zanja perimetral

4.- **Excavación del núcleo.**- En esta etapa se retira el brocal interior (provisional) y se extrae el material que queda en el interior del cilindro formado por la pantalla perimetral y se sustituye el material excavado por lodo bentonítico, la excavación se efectúa con la almeja loca para el método de flotación, o retroexcavadora con otros métodos, hasta la profundidad deseada.



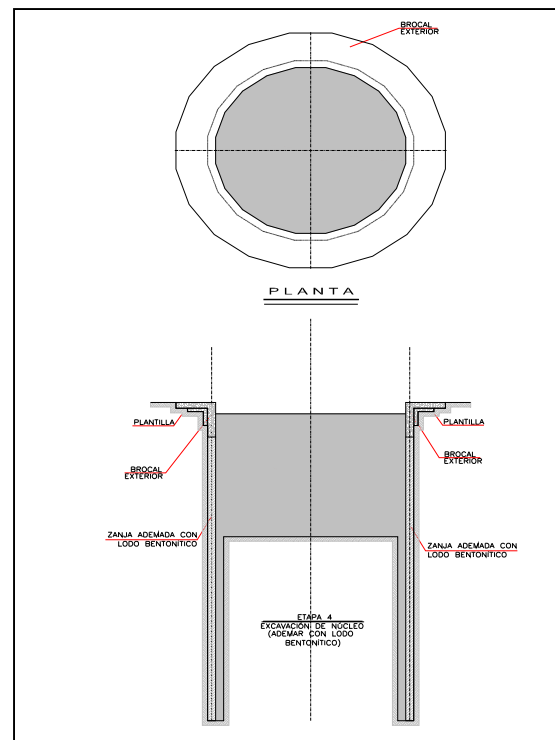


Fig. 2.1.4 Cuarta etapa, excavación del núcleo adomado con lodo bentonítico (método de flotación)

5.- **Muro perimetral y traves de liga.**- Es la etapa final del proceso, consiste en la construcción del muro de la lumbrera con lo cual queda concluida la construcción de la estructura dando el diámetro de proyecto. Esta etapa depende del procedimiento aplicado.

### **Método de flotación**

Excavado el núcleo y estabilizado con bentonita se procede a colocar el tanque de flotación, sobre el cual se construirá la losa de fondo, conforme se va sumergiendo el tanque se va evacuando el lodo bentonítico de la excavación y por etapas se va colando el muro de la lumbrera hasta alcanzar la profundidad de proyecto. Una vez concluido el muro de la lumbrera se inicia la construcción de las traves de liga que unirán la estructura de la lumbrera con el brocal exterior definitivo, se inicia la inyección de la zanja perimetral y fondo de la excavación incluyendo el tanque de flotación.



Fig. 2.1.5 Procedimiento constructivo por el método de “flotación”

### **Muro Millan**

La pantalla perimetral es construida con concreto reforzado, y al momento de excavar el núcleo quedará como muro de la lumbrera, y finalmente se liga con el brocal exterior definitivo. Es importante mencionar que se puede reforzar con anillos circulares de acero.

### **Método de anillos**

En este método en lugar de colocar una pantalla perimetral se van colocando anillos de concreto que al ensamblarse van formando el muro perimetral, el núcleo se va excavando conforme se van colocando los anillos hasta la profundidad de proyecto, concluido el muro se procede a la construcción de las travesaños de liga.



**Fig.2.1.6 Procedimiento constructivo por el método de “Muro Millán”**

En cuanto a las características de las lumbreras, el diámetro de diseño se determina según la función que vaya a cumplir dicho elemento y del espacio físico disponible para su construcción, distinguiéndose dos tipos de lumbreras:

1. Lumbrera principal o de ensamble.
2. De operación y mantenimiento.

La lumbrera principal o de ensamble, esta estructura tiene un diámetro mayor que la de operación y mantenimiento, es por medio de este tipo de lumbrera por el cual se introduce y se extrae equipo necesario para la construcción del túnel, tomando en cuenta sus prolongadas dimensiones por ejemplo el escudo EPB, y demás maquinaria requerida en el proceso de construcción del túnel.



**Fig. 2.1.7 Lumbrera de operación y mantenimiento.**

La lumbrera de operación y mantenimiento, es de menor diámetro y permite dar mantenimiento a los equipos que se encuentran trabajando dentro del túnel, así como suministrar materiales necesarios en la construcción de este, tales como acero, concreto, etc. Además de la evacuación de rezaga, suministro de materiales, maquinaria y equipo necesarios en los frentes. Por otro lado estas estructuras ayudan a mantener ventilado el túnel durante y después de la construcción, funcionan como respiradero al concluir la construcción de la obra.

## 2.2 DOVELAS

Las dovelas son elementos constructivos, prefabricados, de concreto reforzado, que conforman arcos, anillos y bóvedas, que garantizan la estabilidad del frente, según las características del suelo, pueden funcionar a largo plazo (revestimiento primario es a la vez el definitivo) ó corto plazo, hasta colocación de revestimiento definitivo. Deben ser capaz de resistir los diversos esfuerzos a los que se someta la estructura tales como:

- Cargas verticales
- Empujes laterales
- Y reacción del suelo en la parte inferior

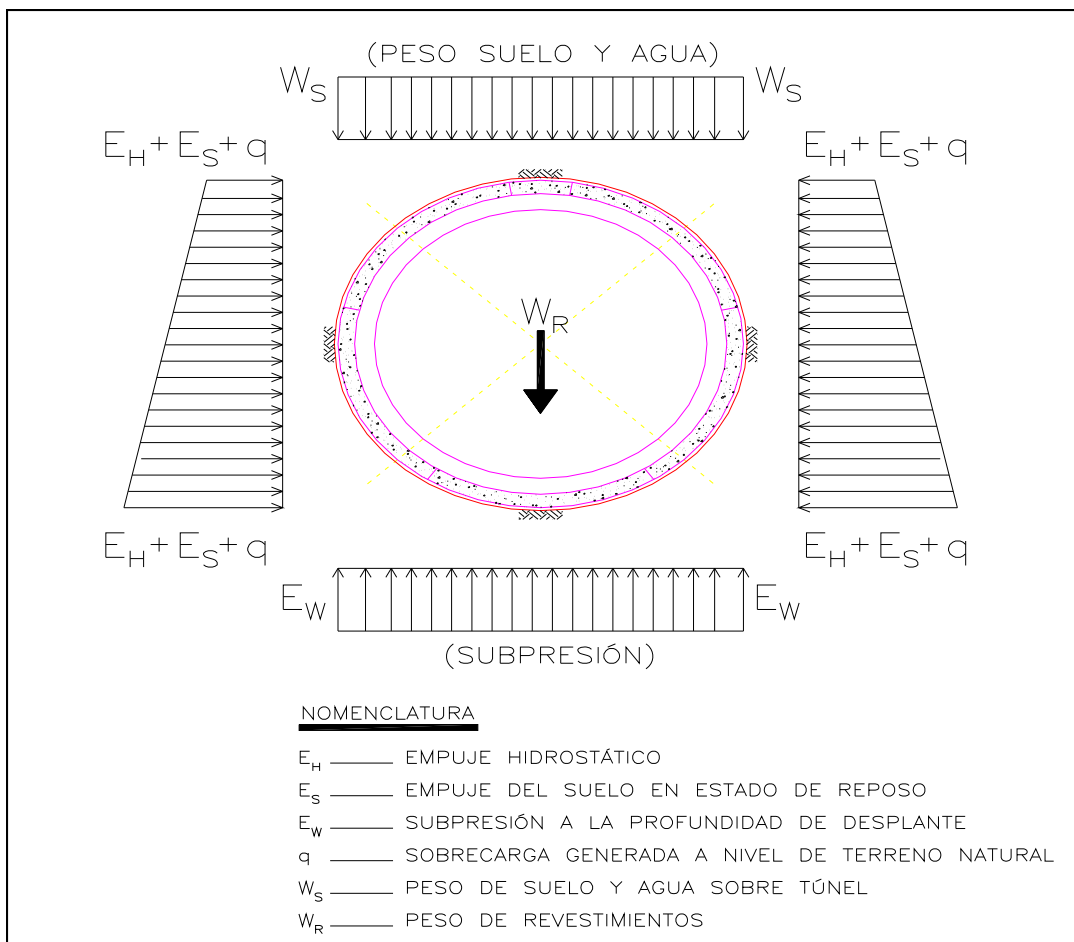


FIG. 2.2.1 Cargas que actúan sobre túnel y suelo

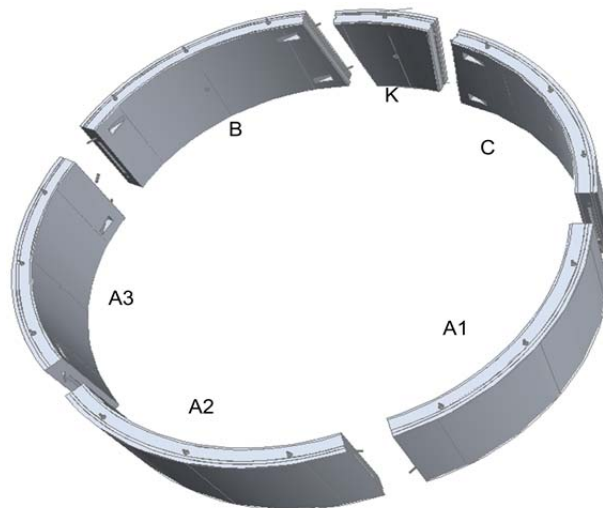


Fig. 2.2.2 Dovelas para soporte inicial en túneles

En cuanto a la geometría de los anillos, pueden ser como se muestran en la Fig. 2.2.3.

De caras equidistantes

- Anillos trapezoidales
- Anillos universales

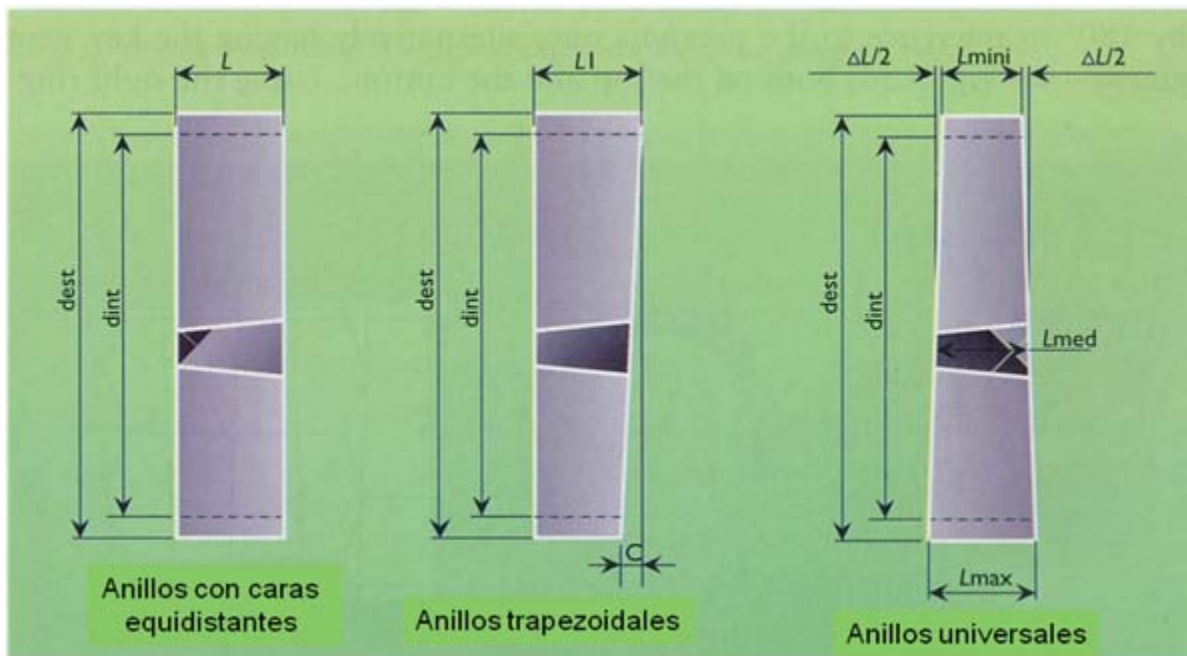
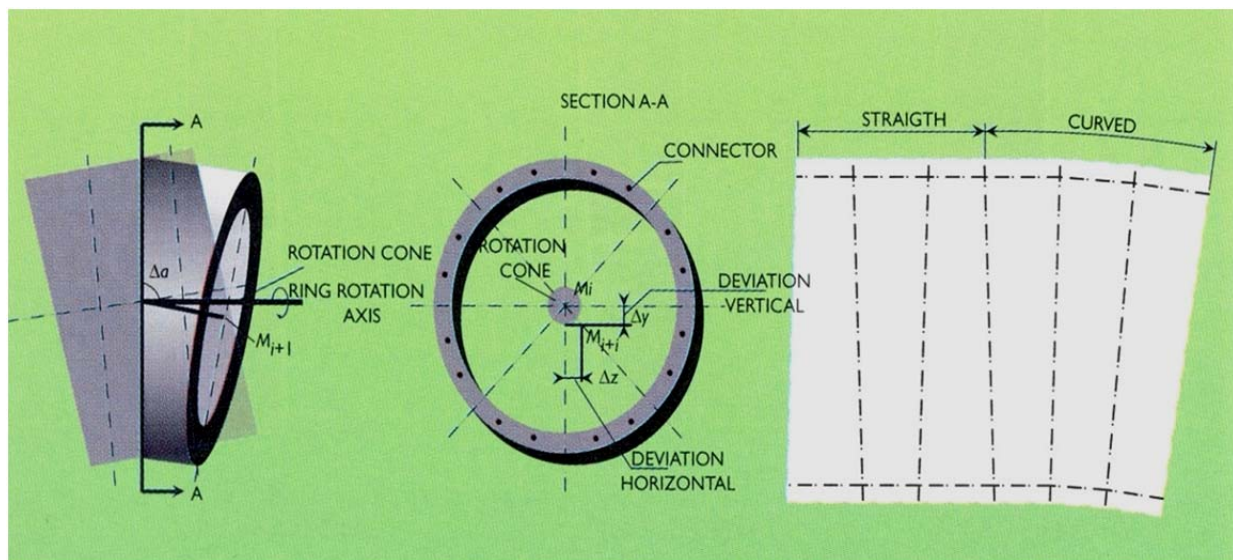


Fig. 2.2.3 Geometría de un anillo

Los anillos de caras equidistantes y trapezoidales, son utilizados en conjunto, los de caras equidistantes son utilizados para revestir tramos cuyo eje del trazo es recto y los trapezoidales o correctivos permiten el revestimiento de curvas tanto en plano horizontal como en perfiles o para corregir pequeñas desviaciones accidentales causados por la TBM. y así regresar al trazo del túnel, es decir se complementan estos dos tipos para dar el trazo requerido.

La principal desventaja que presentan estos anillos es que se deben fabricar ambos tipos y tenerlos preparados en el lugar de trabajo.

En la actualidad la tendencia es trabajar con anillos universales ya que permiten mayor versatilidad en los trabajos y no se requiere la fabricación de piezas especiales o de ajuste, con este tipo de anillos es posible trabajar en tramos rectos así como seguir trazos curvos tanto en dirección horizontal como vertical.



**Fig. 2.2.4 Anillos universales en revestimiento de túneles**

Mediante el adomado con dovelas se forman anillos, un anillo se compone de “n” piezas de forma troncocónica, las cuales dependen del diámetro a revestir así como del tipo de escudo que se emplee, en general se componen por piezas A, B, C y K, donde la pieza K es llamada cuña y por medio de esta es como que-



da conformado cada anillo, los anillos pueden adoptar varias posiciones según se necesiten (anillos universales) del tal manera que se ajusten al trazo del túnel. Para hacer la unión de las caras laterales o de dovela a dovela se utilizan tornillos, también llevan juntas o sellos flexibles que permiten el sellado entre anillo y anillo para evitar fugas de la inyección de mortero así como del material del terreno.

Otra característica importante de las dovelas es la impermeabilización de las piezas, esta queda garantizada por varios factores, tales como la buena calidad del concreto y de los procesos de fabricación de la piezas, como un adecuado curado para evitar formación de grietas y adecuada transportación para evitar fracturas en los elementos, sin olvidar un cuidadoso colocado de los sellos entre la unión de dovelas.

La construcción de las dovelas, se lleva a cabo en plantas automatizadas, las cuales pueden ser de dos tipos:

### **1. Planta estacionaria**

Los moldes permanecen fijos en un solo lugar, por lo que es necesario acercar los recursos (concreto, acero, insertos, etc.) hacia este para la fabricación de la dovela, este tipo de plantas no es recomendable para proyectos grandes ya que los costos en la mano de obra se incrementan demasiado.

### **3. Planta de carrusel**

En este caso los moldes se mueven a través de una línea de producción durante todo el proceso desde la colocación del armado hasta el túnel de curado. Este tipo de plantas presentan mayor eficiencia que los sistemas estacionarios.

La elección de cualquiera de estos sistemas está en función de la magnitud del proyecto, cantidad de piezas a fabricar y los costos de instalación de la planta,





en cuanto a las áreas requeridas para la planta se requieren revisar tres aspectos muy importantes:

- a) dimensiones de la nave, dependen principalmente del número de moldes en la línea de producción, y la cámara de curado.
- b) dimensiones de los patios de almacenaje.- aquí es importante considerar que para la colocación de las dovelas es necesario que los elementos alcancen el 100% de su resistencia, lo cual sucede a los 28 días el mismo tiempo que se tendrán que tener almacenadas antes de darles salida como consecuencia de esto se deben provisionar un mes de fabricación para su envío al frente de excavación, otro aspecto a considerar es el balance entre lo requerido para la colocación y lo producido en la planta ya que los rendimientos son diferentes, esto debido a problemas que se presentan durante la excavación o paros necesarios, por ejemplo para el paso del escudo a través de las lumbreras de un tramo a otro.
- c) áreas de servicio.- Una vez obtenidas las áreas tanto de la nave como de la superficie de almacenamiento se procede a obtener el área correspondiente a los servicios necesarios para que funcione correctamente la planta tales como; vialidades, oficinas, almacén, comedor, vestidores, vigilancia, enfermería, etc.

Una vez que se tienen los espacios definidos para cada unidad o modulo se inicia la construcción de la nave, así como todos los trabajos necesarios que harán que opere correctamente, concluida la construcción se está listo para iniciar con la producción de las dovelas.

En general el proceso que se lleva a cabo para la elaboración de las dovelas es el siguiente:

- Limpieza del molde y aplicación de desmoldante
- Colocación de acero de refuerzo e insertos.



- Colocación y vibrado del concreto
- Pulido y acabado de la pieza
- Transporte del molde a las cámaras de curado a base de vapor
- Desmolde y desalojo de la pieza
- Inspección y control de calidad.
- Volteo de la pieza
- Almacenaje
- Transporte de dovelas a la zona de almacenamiento donde adquieren la resistencia de proyecto.
- Transporte al frente de excavación.



## 2.3 EXCAVACION

El proceso de excavación de túneles en suelos blandos actualmente en México es realizado por medio de escudo los cuales existen de diferentes tipos, estas maquinas permiten a la vez que excavan estabilizar el frente e ir colocando el revestimiento primario a base de dovelas de concreto armado.

Se entiende como excavación a todos los trabajos necesarios para el retiro y estabilización del terreno sobre el que se construirá el túnel en el caso de excavación de túneles en suelos blandos, la excavación consiste de cuatro etapas:

### 1.-Excavar

Es la etapa en la que se retira parte del subsuelo donde se alojara el túnel, sin afectar al entorno, ni características iniciales de la configuración del suelo (hundimientos), en este caso como se menciona anteriormente, sobre suelos blandos, se facilita la tarea utilizando escudo o túneladora.

### 2.- Rezagar

Es la actividad mediante la cual se extrae el material excavado y es conducido hacia la superficie para ser transportado al tiro. Se puede llevar a cabo por medio de bandas transportadoras, bombas centrifugas ó bombas de pistón, siendo estos métodos los más comunes, aunque existen otras formas. Es importante contar con un adecuado sistema de rezaga ya que de esto depende un rendimiento óptimo de los trabajos y por lo tanto un mayor avance del frente.

Rezagar por medio de **bandas transportadoras**, consiste en una banda continua donde se deposita la rezaga para ser expulsada del frente, proporciona un buen rendimiento en espacios relativamente pequeños y poca mano de obra, con lo que se garantiza un retiro rápido del material excavado, es una solución limpia y reduce el peligro de accidentes, permite además su implementación en curvas cerradas de radio menor a 200 m.

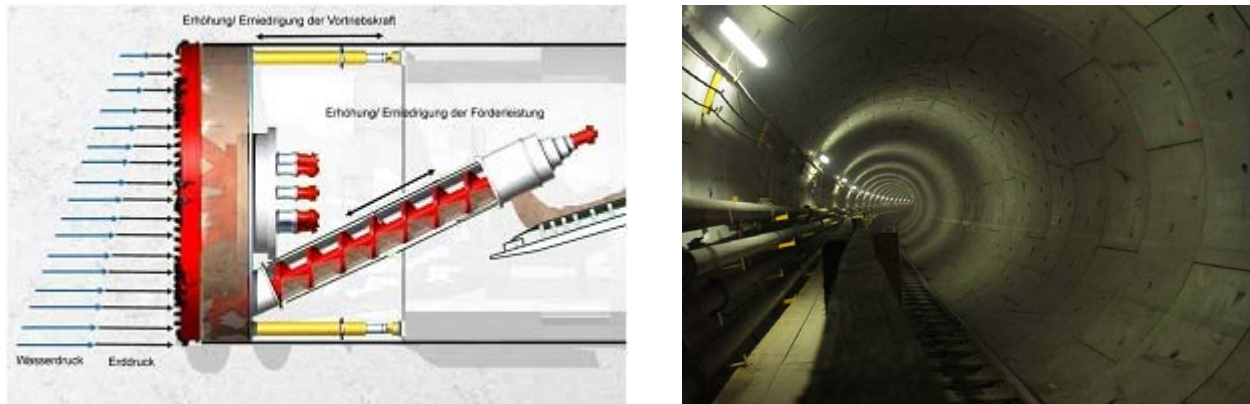


Fig. 2.3.1 Método de extracción de material excavado por medio de banda transportadora

La evacuación de rezaga por medio de bombas centrífugas se da por medio de un mezcla de lodo y material excavado, la cual es extraída por medio de una tubería conectada a la cámara de excavación, esta mezcla se efectúa en la cámara de excavación, para hacer que el material excavado pueda ser bombeable, el lodo será suministrado desde la superficie por otra tubería hacia la cámara.

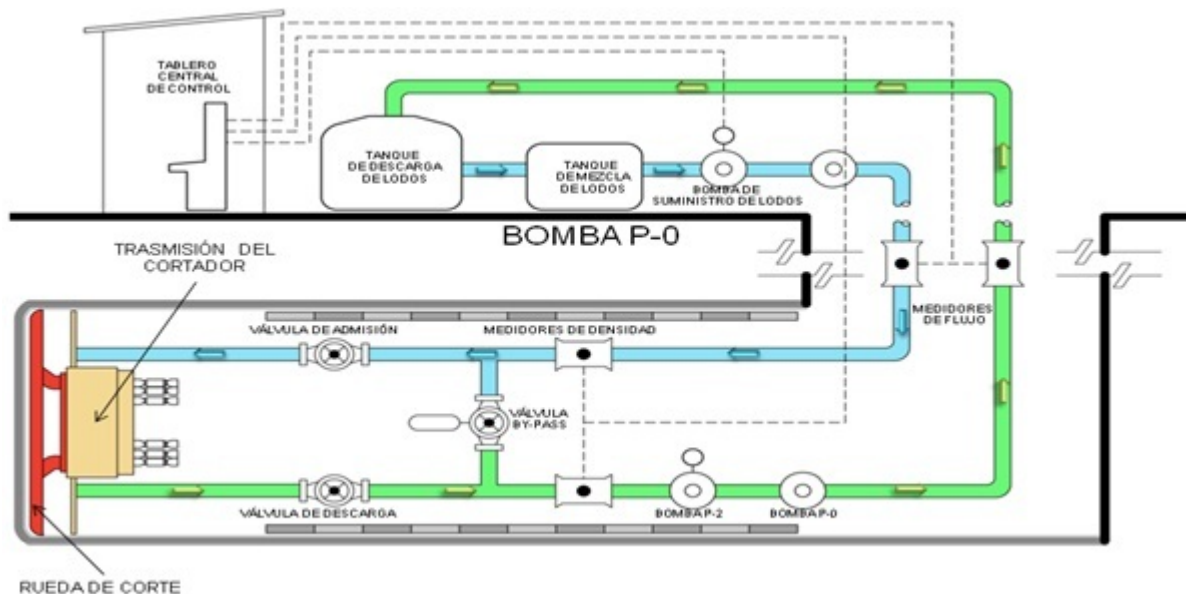


Fig. 2.3.2 esquema de planta de separación de lodo

Para la separación del lodo y el material excavado se requiere la instalación de una planta de tratamiento de lodos donde se separa ambas partes, y una vez separadas es nuevamente transportado hacia la cámara para iniciar un nuevo ciclo. Conforme la distancia de evacuación aumenta es posible la colocación de más bombas para el traspaleo del material, lo que dependerá de la longitud a la que se encuentre la excavación desde el frente de trabajo hasta la superficie.

La extracción por medio de bombas de pistón, es un método, en donde el lodo debe estar saturado de tal forma que tenga la plasticidad adecuada para ser bombeado por medio de la tubería y la bomba de pistón, la cual se encarga de desplazar el material bombeado creando un flujo.

Las ventajas de este método son: ahorro de espacio para conducir tuberías en un pequeño túnel, transporte limpio y seguro de la rezaga excavada sobre distancias largas de alto rendimiento.

La mezcla de componentes sólidos y líquidos en un lodo debe ser tal que da lugar a una masa plástico deformable. Se debe tener especial cuidado con el lodo, es decir que este cuente con la fluidez adecuada y que no caigan dentro de la bomba obstrucciones que puedan dañar la bomba, por lo cual llevan unas rejillas o trampa que las protege de obstrucciones.



**Fig. 2.3.3 Material rezagado con bomba de pistón**



### **3.- Estabilización del frente**

Consiste en presurizar el frente de excavación con el propósito de mantener inalterado el estado de esfuerzos que se tenían antes de la excavación, su fin es que no se altere o modifique la configuración original del terreno por encima de la excavación y que no sufra hundimientos ni abultamientos, además debe mantener seguro el frente de trabajo, tal propósito se puede lograr por varios métodos y depende de la túneladora con que se realicen los trabajos se pueden destacar los siguientes:

- Rejillas
- Tableros verticales accionados por gatos hidráulicos.
- Aire comprimido
- Lodo a presión
- Con el propio material

Estos métodos se describirán más adelante cuando se vean los equipos de utilizados para la excavación.

### **4.- Estabilidad del túnel o de las paredes**

Consiste en colocar con o sin ayuda del escudo, el soporte inicial del túnel o también llamado revestimiento primario, para recibir con *seguridad* los empujes que le induce el terreno vecino. Tradicionalmente, este soporte se ha resuelto con el uso de anillos de dovelas de concreto armado. Sin embargo se han aplicado otras técnicas con el mismo objetivo, las cuales se ilustran a continuación.

- Concreto lanzado y anclas

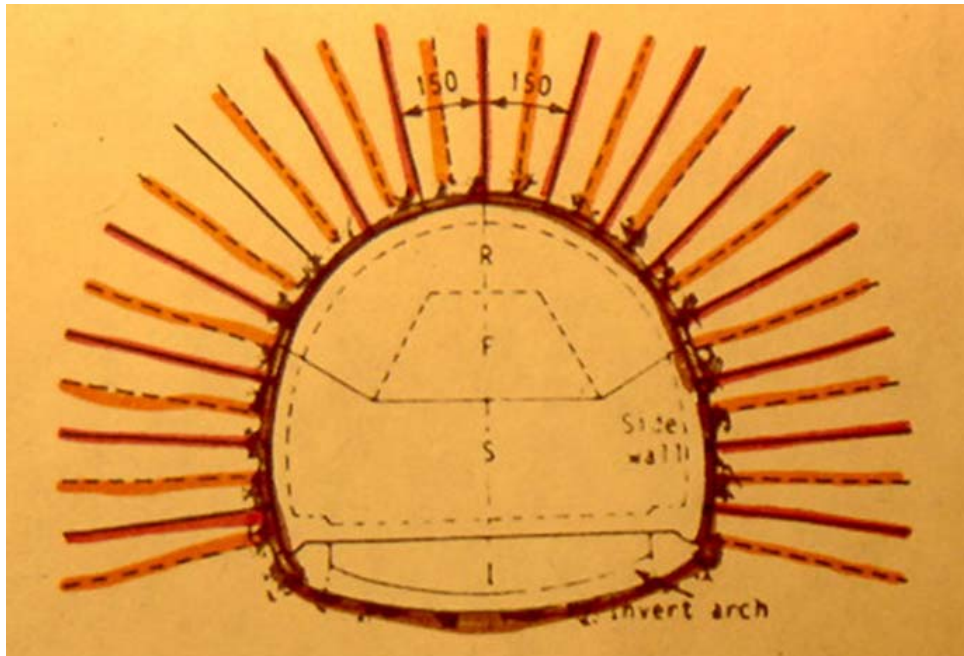


Fig. 2.3.4 Estabilizado de las paredes del túnel por medio de concreto lanzado y anclas.

- Anillos metálicos y polines de madera.



Fig. 2.3.5 Estabilizado de paredes del túnel por medio de anillo metálico y polines.

– Dovelas de placa metálica



**Fig. 2.3.6 Estabilizado de paredes del túnel por medio dovelas de placa metálica**

Las actividades preliminares al inicio de la excavación comprenden trabajos tanto en superficie como en el fondo de lumbrera mediante las cuales se proveen de las estructuras y equipos necesarios para el correcto desarrollo de los trabajos relativos a la excavación, los cuales se mencionan a continuación.

### 1. **En superficie**

Corresponden a la distribución de las instalaciones, con base en planos, de tal manera que no interfieran en la bajada y ensamble del escudo en el fondo de la lumbrera, estas actividades comprenden la ubicación de los patios para la recepción de la túneladora y los equipos que la componen, así como la construcción de una plantilla o losa de concreto misma que posteriormente servirá como patio de almacenaje de dovelas, ubicación de la zona de bajada de dovelas (grúa pórtico), subestación eléctrica, líneas de agua, luz y aire, talleres, bodegas, ves-





tidores, planta de inyección y oficinas, disposición de un lugar para recepción de la rezaga (mampara de rezaga), de igual forma es importante contar con un sistema para el acceso y salida del personal de obra (escalera de caracol y un elevador).

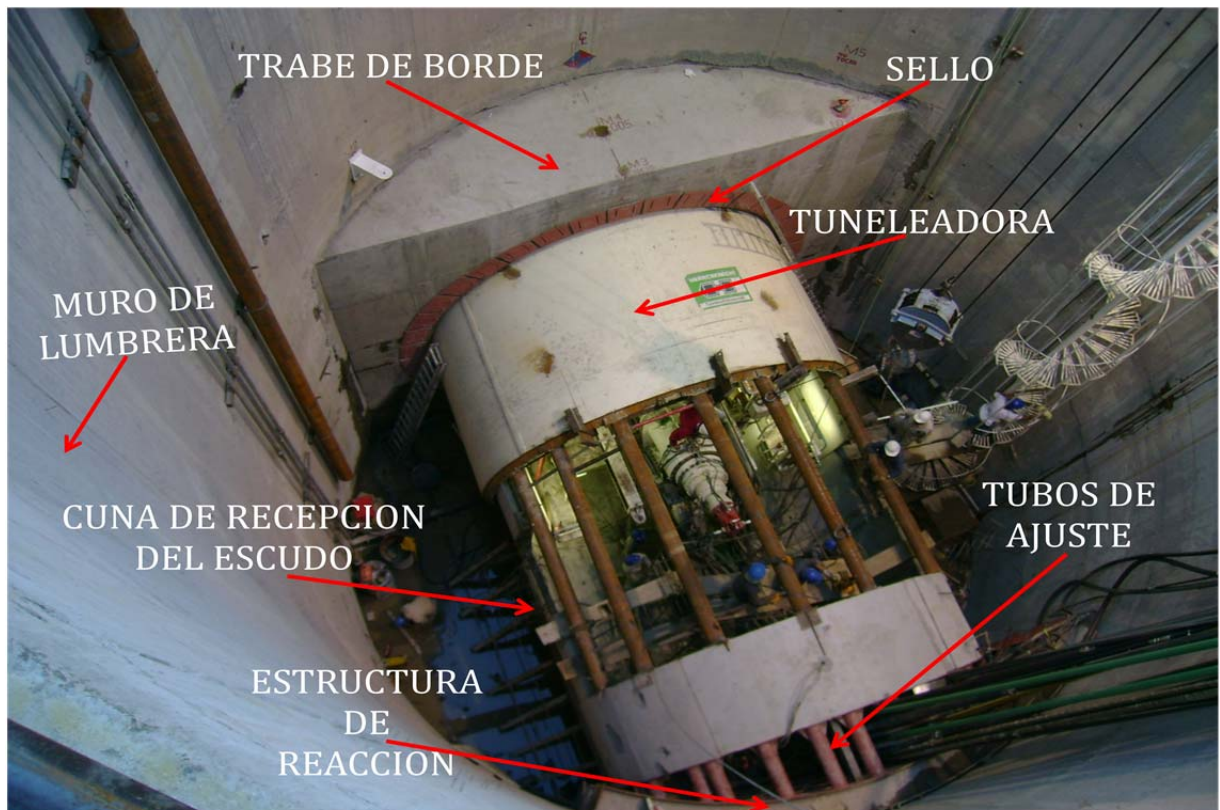
## 2. **En fondo de lumbrera.**

Son las instalaciones cuya objetivo es facilitar la entrada de la túneladora, es decir ponerla en contacto con el terreno para iniciar los trabajos de excavación y posteriormente facilitar las maniobras de suministro de recursos al interior del túnel, consisten en tres estructuras principales:

- a) Trabe de borde.- Su función es la de soportar el empuje del terreno en la zona de entrada o salida del escudo, transmitir los esfuerzos al muro de lumbrera de tal manera que trabajen juntos tanto la trabe de borde como el muro de la lumbrera, es por ello que el armado de este elemento se anclara al del muro de lumbrera, siendo necesaria la demolición de una parte del muro de la lumbrera hasta descubrir el acero de donde se sujetara el armado del portal. Se incluye en la construcción de este elemento la colocación de placas metálicas de forma trapezoidal en todo el perímetro con la finalidad de colocar un sello de neopreno que selle la holgura que queda entre el escudo y la trabe de borde y evitar que salga material por la presión del equipo así como el mortero que se inyectara en los primero anillos.
- b) Cuna de recepción del escudo.- Puede ser de concreto reforzado o de acero, su finalidad es proporcionar un apoyo al desplazamiento del escudo durante los empujes al inicio de la excavación.
- c) El muro de atraque.- Es una estructura de concreto reforzado que va anclada al muro de la lumbrera, transversal al eje del túnel que junto

con la estructura de reacción permiten que se apoyen las dovelas (provisionales) sobre las que se apoyaran los gatos hidráulicos del escudo durante los primeros empujes de este, dicha estructura transmite los empujes al muro de la lumbrera de tal manera que las cargas en el muro sean lo más uniforme posibles.

- d) Plataforma de trabajo.- Esta facilita las maniobras ya que permite un mayor espacio de trabajo para el suministro de materiales y equipos necesarios en el túnel, se instala una vez que ha entrado la túneladora completamente y se han retirado los troqueles y anillos de atraque.



**Fig. 2.3.7 Instalaciones en el fondo de lumbrera**



A continuación se presenta la secuencia llevada a cabo durante la bajada del escudo y puesta en marcha o arranque de la excavación.

1. Posicionamiento inicial de la cuna en el fondo de lumbrera
2. Descenso del escudo medio
3. Descenso del escudo frontal con motores acoplados
4. Descenso de la rueda de corte
5. Ensamble de la rueda de corte al escudo e inicio de la demolición del núcleo de la lumbrera.
6. Empuje de la cuna con el escudo y colocación del sello de neopreno
7. Adición de la cuna de complemento
8. Empuje del escudo hacia el interior del portal
9. Descenso y colocación del erector de dovelas y tornillo sin fin
10. Descenso y colocación del faldón
11. Colocación del muro de atraque y comienzo de las conexiones hidráulicas y eléctricas.
12. Colocación de anillos y troqueles de atraque para transmitir el empuje del escudo al muro de la lumbrera.

Colocado el muro de reacción se conectan las mangueras y cables necesarios para el escudo y la cabina de mando, una vez conectados los equipos del escudo se procede a hacer las pruebas correspondientes tanto en los sistemas de avance, corte, extracción de material, articulaciones, etc. Para asegurarse de que todo funcionara adecuadamente al comienzo de la excavación.

Una vez que se han probado los equipos y que funcionan correctamente, la siguiente etapa consiste en la instalación de los primeros anillos auxiliares llamados “anillos de atraque”, en el fondo de la lumbrera, cuya función será permitir el apoyo o soporte para que avance el escudo en los primeros metros de



excavación y colocación de dovelas, estos anillos provisionales quedan ubicados entre el muro de reacción y el faldón, la bajada de las dovelas para este fin se realiza por medio de una grúa, la cual baja pieza por pieza hasta el fondo de la lumbrera, estas dovelas son introducidas entre el faldón y el muro de atraque, una vez en el fondo, son llevadas hasta el brazo erector del escudo por medio de “tilfors” donde se colocan en su posición correspondiente, la cantidad de anillos de atraque dependen del diámetro de la lumbrera.

Colocados los anillos de atraque necesarios se procede entonces a la demolición del mortero colocado en el portal, teniendo el cuidado de que permita la entrada del escudo y que el sello de neopreno cubra completamente la camisa del escudo y que cumpla con su función de contener la presión que se ejerce entre el escudo y el portal. Una vez que el anillo coincide con el portal se ajustan las placas que sujetan el anillo perimetral hasta quedar casi en contacto con el anillo de dovelas.

Terminada la demolición del mortero se inicia el accionamiento de los cilindros hasta tener un avance suficiente (1.6 a 1.9 m aprox.) para la colocación del siguiente anillo, ya que avanzo el escudo se retiran los cilindros de propulsión y se coloca el anillo. Estos primeros anillos de la excavación se refuerzan por medio de tubería de acero en la parte superior para que el escudo pueda trabajar de manera adecuada.

Colocados los primeros cuatro anillos ya se debe tener listo el equipo para iniciar la inyección a base de mortero y bentonita para rellenar las oquedades que se presentan en la zona anular del túnel dejada por el escudo entre la dovela y el terreno una vez que los anillos quedaban expuestos o liberados del faldón.

Los primeros metros de excavación se realizaron solo con el escudo, el tren de equipos y la cabina de mando se encuentran en superficie desde donde se reali-



za el control y monitoreo del escudo, el resto del equipo se baja según se va presentado el avance.

En un principio el lodo se saca por medio de botes maromeros o artesas y con ayuda de una grúa hacia la superficie, hasta que se cuente con el espacio suficiente para la instalación de la tubería por la que se desalojara el lodo hacia la superficie.

Las dovelas bajadas al fondo de la lumbrera son transportadas hasta el erector por medio de plataformas lo que permitía dejar las dovelas al alcance del brazo erector para su colocación, de esta manera se trabaja hasta contar con la distancia necesaria para bajar el tren de equipos de la túneladora.

Conforme se van presentando el avance y longitudes necesarias para la instalación del tren de equipos, este se va bajando al frente, para lo cual se hace una pausa para las conexiones necesarias, esto sucede en la bajada de cada carro, se aprovecha también para hacer las instalaciones necesarias dentro del túnel, tales como iluminación, tubería de rezaga, el cambio california, instalación de teléfono, etc.

La colocación de anillos subsecuentes sigue la siguiente secuencia, en una túneladora EPB:

- a) Se comienza el empuje de los gatos programados del escudo, los cuales reaccionan con el anillo anterior e impulsan el escudo contra el terreno, obteniendo de esta manera el espacio en el que se alojara la primera dovela del anillo.
- b) Se retraen los gatos del escudo ubicados en la posición que ocupara la nueva dovela.



- c) La dovela es tomada por el brazo erector y trasladada a su posición de colocación.
- d) Se sujeta la pieza por uno o dos gatos del escudo según su posición y se retira el brazo erector para ir por la siguiente dovela.
- e) Se retraen los gatos para alojar la siguiente pieza y se hacen coincidir los orificios de los elementos de sujeción y se atornillan.
- f) De nueva cuenta se apoya uno o dos gatos según convenga para liberación del brazo erector.
- g) Se repiten las actividades de los incisos “b” a “f” hasta completar el armado de un anillo más, entonces se está en condiciones de realizar otro empuje para la colocación del siguiente anillo.

La colocación de las dovelas fue traslapada de acuerdo a su construcción geométrica evitándose de esta manera líneas de falla longitudinales.

Paralelo a la excavación y colocación de los anillos se va inyectando lechada que como se había mencionado anteriormente para rellenar el espacio anular entre el terreno y las dovelas con el objeto de evitar movimientos del terreno (hundimientos superficiales) para lo cual se instala en superficie una planta de inyección. Aunado a estas actividades se colocan durmientes con espaciamientos adecuados para el tránsito del tren de equipos, carros y locomotoras que abastecerán de lo necesario durante la excavación.

Durante el desarrollo de los trabajos de excavación es necesaria la construcción de pozos auxiliares mediante los cuales se extraerá material producto de la excavación por medio de una línea de tubería y lo conducirá hasta la superficie hasta mamparas de rezaga y de esta manera lograr mantener los rendimientos del escudo.

Finalmente se da por terminada la excavación de un tramo cuando llega la túneladora a la lumbrera siguiente es cuando se realizara un paro para verificar las condiciones en las que se encuentra el equipo después de recorrer el tramo, cambiar los dientes de la rueda cortadora, darles mantenimiento y hacer reparaciones de ser necesario, previamente se inician los preparativos en la lumbrera de llegada para la recepción de la túneladora; como demolición de las preparaciones de mortero, colocación de la cuna y nivelación, etc. Y se procede a aplicar el mismo procedimiento de excavación del tramo anterior.



**FIG. 2.3.8 Cruce del escudo por lumbrera de un tramo a otro**



## 2.4 EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES PARA DESALOJO DE AGUA RESIDUAL

### ❖ EQUIPO UTILIZADO EN LA EXCAVACION

La ejecución de los trabajos de excavación para un túnel en suelos blandos requiere esencialmente de un escudo que cumpla con las funciones de excavar, rezagar y estabilizar el frente y las paredes del túnel, grúas para suministro de materiales y equipo al frente de excavación, equipo de ventilación, planta de inyección de mortero y finalmente planta generadora de electricidad.

#### ▪ Escudos

Un escudo consistente en un cilindro de metal rígido que cubre la sección frontal del túnel, sirve para resistir las presiones del terreno mientras el revestimiento se va construyendo dentro de esta protección.

El tuneleo con escudo ofrece las siguientes ventajas esenciales:

- 1) La excavación del túnel puede hacerse a sección completa.
- 2) Ofrece un soporte constante al terreno, en todas direcciones.
- 3) Facilita el trabajo de construcción.
- 4) Evita deformaciones excesivas del terreno, reduciendo los asentamientos en la superficie.

En general se conocen dos tipos de escudos; de frente abierto y frente cerrado, sin embargo son de mayor aplicación en la actualidad los de frente cerrado.

#### 1. Escudo de frente abierto

El escudo de frente abierto, es un cilindro de acero rígido abierto en ambos extremos; provee facilidades a su frente para la excavación del terreno y en su parte posterior para la erección del revestimiento prefabricado. El escudo es impulsado hacia adelante por pasos manteniendo armonía con el avance de ex-





cavación y el trabajo de erección del ademe primario, de manera que el frente quede bien soportado hasta que se cuele el revestimiento final, en caso de que se requiera.

Este tipo de escudos ha sido utilizado para excavar en materiales de Zona de Transición y en algunos de Zona del Lago.

Dentro de los escudos de frente abierto se distinguen tres tipos utilizados para excavación de los primeros túneles para drenaje en el Valle de México los cuales se mencionan a continuación.

### **A. Escudo de rejillas**

Son de **forma cilíndrica circular**, y el frente que se proyecta hacia la excavación, tiene *una rejilla de placas metálicas* que forman triángulos rectángulos, de aproximadamente un metro de lado.

En su interior, cuenta con *gatos hidráulicos* que se apoyan en el soporte inicial previamente colocado, y que le proporcionan suficiente fuerza de empuje, para **“encajar”** su rejilla frontal. Mediante estos escudos con rejillas frontales, cuyos diámetros han sido de 2 a 4m, entre los años 1961 y 1975 se excavaron casi 10 kilómetros de túneles, principalmente de drenaje. Sus rendimientos han llegado a ser del orden de 200m por mes.

La rejilla frontal cumple con *dos propósitos fundamentales*, forma bloques del suelo arcilloso excavado, para *facilitar su amasado*, licuación y eventual expulsión del túnel, mediante bombas centrífugas, y también *estabiliza el frente*, desarrollando una fuerza de fricción entre el suelo y las paredes de la rejilla.

En la parte posterior de la máquina y con la protección del **“faldón”** se va colocando el soporte inicial del túnel, generalmente formado a base de dovelas de concreto, prefabricadas, que forman anillos circulares.

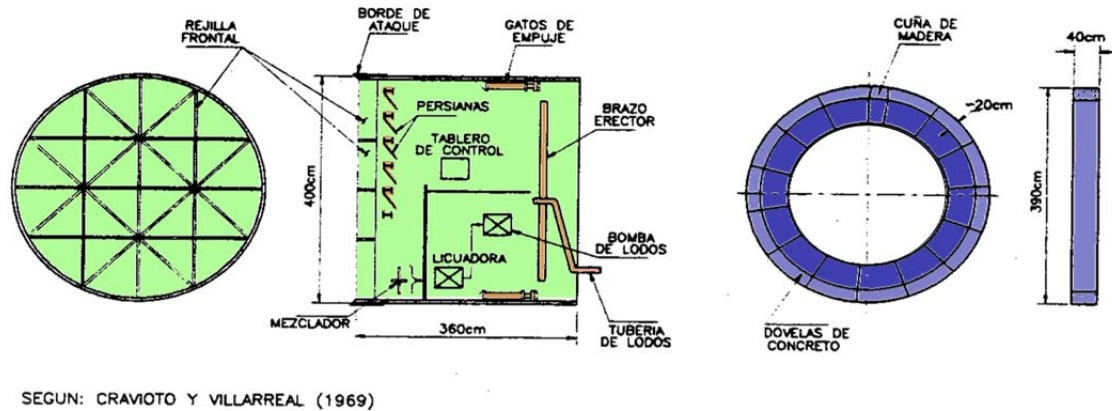


Fig. 2.4.1 Escudo de frente abierto de rejillas

Estos escudos estabilizan el frente de excavación, mediante una serie de gatos frontales, la excavación se realiza con ayuda de herramientas manuales, y para ello *se subdivide* el área de excavación, en tantas “ventanas” como gatos frontales se dispongan. Cuando la “ventana” correspondiente a un gato frontal, ha sido excavada, se le coloca un tapial de madera, y el gato en cuestión se extiende hasta hacerlo presionar contra lo excavado. Cuando toda el área ha sido excavada y los correspondientes *gatos frontales* se encuentran extendidos, se procede a realizar el empuje del escudo mediante los gatos correspondientes alojados perimetralmente, los cuales reaccionan contra el *anillo de dovelas* del soporte inicial, previamente colocado. Durante ese proceso de empujado, los gatos frontales se retraen simultáneamente, sin perder la presurización frontal asignada.



Fig. 2.4.2 Escudo con gatos frontales



## **B. Escudos con Aire Comprimido.**

Es el proceso de excavación mediante el que se *mantiene estable* el frente de trabajo, gracias a la presión de aire que se le inyecta, para lo cual se utilizan esclusas, tanto para el acceso y salida del personal que excava y coloca el soporte inicial del túnel.

A pesar de que la utilización de aire comprimido para la excavación de túneles en otros países a dado buenos resultados su adaptación a las condiciones de altitud del Valle de México, ha requerido una revisión cuidadosa del comportamiento físico humano.

Fue empleado en excavaciones en donde la resistencia al corte era baja y aunado a la presencia de lentes de arena con tendencia a tubificarse y fluir hacia el frente de trabajo llevó a la decisión de construir y operar un sistema de suministro de aire comprimido a baja presión combinado con abatimiento del nivel freático y un escudo de frente abierto.

El diseño del sistema de aire comprimido y las presiones de trabajo necesarias fueron realizados en base a las condiciones de estabilidad del frente, habiéndose definido un rango de presiones de trabajo entre 0.45 y 0.8 atmósferas sobre la presión atmosférica. Este sistema tiene por objeto crear un flujo de aire hacia el frente de excavación, que en el caso de las arenas produzca tensiones capilares y evite el arrastre de las mismas, y en el caso de las arcillas extruibles las haga estables.

Con los *escudos de frente abierto*, se excavaron entre los años 1972 a 1986, casi 15.7 kilómetros de túneles, de los cuales 8.6 se realizaron presurizando el frente con *aire comprimido*.

## 2. ESCUDOS DE FRENTE CERRADO

Los escudos de frente cerrado se emplean en suelos que son inestables (suelos no cohesivos) además de aquellos saturados de agua y en los que existen presencia de arenas, estas máquinas tienen la posibilidad de presurizar el frente para equilibrar las presiones que ejerce el terreno vecino, existen dos tipos de escudos cerrados:

### A. Escudo presurizado con lodo

Este escudo es totalmente mecanizado, realiza el proceso de excavación mediante un disco cortador ubicado al frente, que “rasura” progresivamente al terreno que encuentra en su trayectoria, haciéndolo entrar el material excavado en una cámara presurizada con lodo bentonítico, con el cual se mezcla formando un lodo más pesado, que es expulsado por tubería al exterior del túnel, mediante un sistema accionado por bombas centrífugas, de esa manera se estabiliza el frente, el balance entre el lodo que sale y el que entra permite mantener la presión en el frente.

Al excavar en el suelo arcilloso de la Ciudad de México, es común no adicionar bentonita al sistema, ya que basta con la que contiene la arcilla de la Ciudad de México, y solo es necesario agregarle agua para hacerla bombeable. Ello constituye un significativo ahorro de materiales en el proceso de excavación.

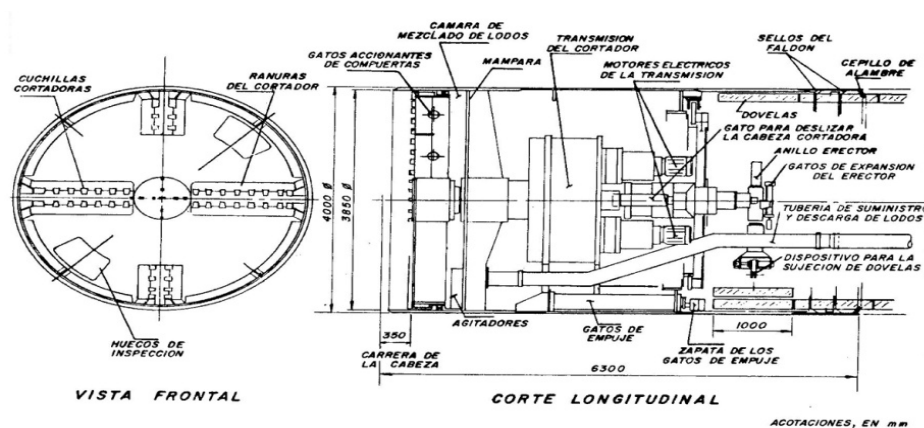


Fig. 2.4.3 Escudo de frente abierto de rejillas

## B. Escudo Presurizado con el Material Excavado

Este tipo de máquinas *presuriza* el frente con el mismo material que está en proceso de excavación, el cual se va extrayendo sistemáticamente de la cámara frontal, con ayuda de *un tornillo sinfin*, que es el accesorio mecánico distintivo de este concepto de máquinas de tuneleo. El tornillo sinfin, viene a ser la “*válvula reguladora*” que controla la presión que debe mantenerse en el frente de trabajo, para evitar descompresión del terreno natural, y con ello desfavorables asentamientos del terreno.

Dependiendo de las características geotécnicas propias del material por excavar, en ocasiones es necesario agregarle ciertos *aditivos*, entre espumantes y plastificadores, que le proporcionan un cierto grado de “*condicionamiento*” para que funcione eficientemente como válvula reguladora, el objeto es obtener una especie de “masa”, tan homogénea como sea posible, de manera que se pueda operar a presión dentro del pleno y permita su manejo al utilizar el tornillo transportador para su extracción. Un anillo de dovelas prefabricadas se instala en la sección trasera del escudo y se realiza la inyección de contacto para rellenar el espacio anular entre el terreno y los anillos de dovelas.

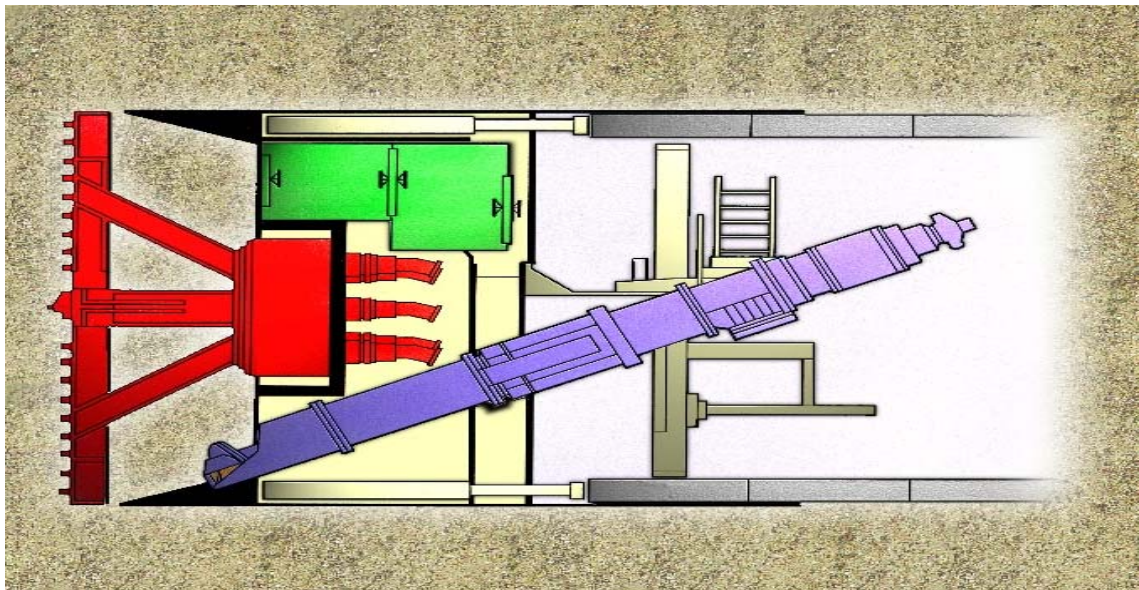


Fig. 2.4.4 Escudo presurizado con lodo

- **Equipo para suministro de materiales y equipo**

Para el suministro de materiales y equipo se emplearon grúas hidráulicas hasta 500 ton. Para descenso y posicionamiento del escudo, los materiales y equipos tales como dovelas, durmientes rieles, tuberías, bombas o transformadores se suministraban por medio de una grúa pórtico o una grúa hidráulica.

- **Ventilación**

Es indispensable contar con un sistema de ventilación que suministre aire fresco al frente y así sanear el medio ambiente, esto se logra mediante la utilización de ventiladores.



Fig. 2.4.5 Ventilación del túnel

- **Planta generadora de electricidad.**

Equipo requerido en caso de emergencia, cuando por cualquier motivo no se cuente con suministro de energía eléctrica y sólo funcionara para mantener iluminado el túnel.



### **Planta de Inyección.**

Esta inyección es conocida como de contacto dovela-terreno, es a base de mortero y se realiza en el espacio anular entre la dovela y el suelo que queda al momento de impulsarse el escudo hacia adelante para la colocación de la primera dovela del siguiente anillo y tiene la función de evitar los asentamientos en la superficie del terreno. Para la realización de tal inyección se requiere de una planta la cual se ubica en superficie y se encarga de suministrar el mortero, sus componentes principales son:

- ✓ Silo para cemento.
- ✓ Silo para bentonita.
- ✓ Tolva de pesado
- ✓ Agitador
- ✓ Tanque de almacenamiento de agua potable.
- ✓ Líneas de conducción



## 2.5 EQUIPO UTILIZADO EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Concluida la excavación de un tramo del túnel se llega a la etapa del Revestimiento Definitivo, el cual se debe ejecutar de acuerdo a los diseños realizados.

En general en el revestimiento de túneles, se pueden emplear equipos considerando dos métodos de revestimiento una consiste en la colocación del concreto de revestimiento por medio de cimbra telescópica y la otra es por medio de concreto lanzado, abordaremos el tema iniciando con el equipo requerido en la cimbra metálica telescópica y posteriormente en el de concreto lanzado.

### ▪ CIMBRA TELESCÓPICA

El equipo empleado para revestir por medio de cimbra telescópica consiste desde luego en el equipo propio de la cimbra y una serie de accesorios que la complementan como se mencionara a continuación.

#### **Tableros**

La cimbra metálica, en su sección transversal se compone de cinco **tableros** distribuidos de la siguiente manera:

El primer tablero, clave de la cimbra se localiza en la parte superior del elemento y se compone de una pieza.

El segundo y tercer tableros son los laterales, localizados en los costados de la cimbra, uno a la izquierda y otro derecha.

El cuarto y quinto tableros corresponden a la cubeta de la cimbra.



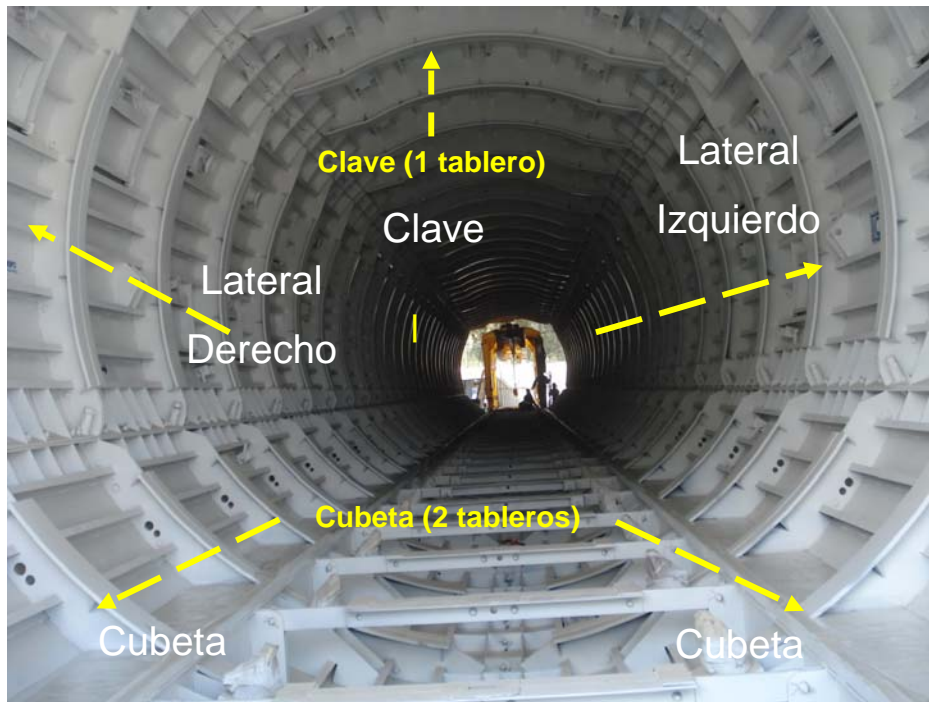


Fig. 2.5.1 Tableros de la Cimbra metálica telescópica.

### Ventanillas

Estos elementos se encuentran en los laterales y clave de la cimbra y permiten suministrar concreto así como verificar el avance de este al interior de la cimbra.



Fig. 2.5.2 Ventanillas de la Cimbra metálica telescópica.

### Piernas de flotación

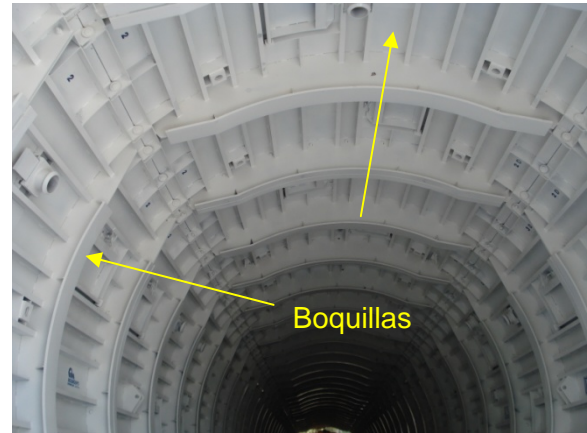
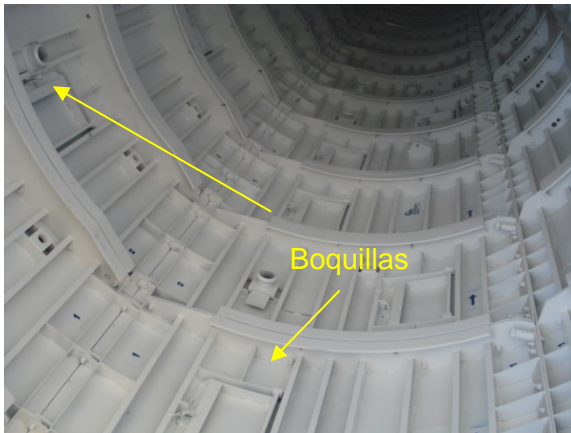
Permiten mantener la cimbra en su posición ya que restringe el movimiento causado por el concreto en toda la superficie perimetral produciendo un efecto de flotación, por otro lado las piernas de la cubeta permiten nivelarla cada que se traslada a una nueva posición.



Fig. 2.5.3 Piernas de flotación de la cimbra.

### **Boquillas para suministro de concreto**

Para la colocación del concreto con un sistema electromecánico de distribución Snorkel, se requiere de boquillas metálicas de colado, permiten la inyección de concreto hacia el interior de la cimbra y se encuentran distribuidas a lo largo de cada tablero de la cimbra, además cuentan con guillotinas de cierre que permiten hacer los cambios de boquilla impidiendo que salga el concreto que se encuentra en la cimbra.



**Fig. 2.5.4 Boquillas para suministro de concreto a la cimbra.**

## Vibradores

Para este tipo de cimbras se emplean vibradores de pared los cuales se alimentarán desde distribuidores existentes en cada sección de la cimbra, se instalan en el primer modulo donde se iniciará el colado, éstos deben estar equipados para poder retirar y ensamblar en sus base de forma rápida, por medio de tornillería que garanticen su fijación durante el proceso de vibrado y su desensamble fácil.



fig. 2.5.5 Vibradores para la cimbra

## Sistema de alimentación eléctrica e iluminación

Se deben colocar las líneas de tuberías conduit de 1" de diámetro para la alimentación de energía eléctrica en cada sección, de módulo por módulo, y de esta conectar las lámparas para el servicio de alumbrado de los módulos, adicionalmente se dejarán contactos tipo intemperie, para la conexión de equipos auxiliares.



FIG. 2.5.6 Alimentación eléctrica e iluminación

### **Inyección de concreto a la cimbra**

La colocación del concreto es por medio de un sistema electromecánico de distribución llamado Snorkel el cual se trata de un sistema de tuberías articuladas que conectan la línea de conducción del concreto hacia la cimbra metálica, se requiere de boquillas metálicas de colado. La cimbra cuenta con una distribución de boquillas de colado de 5" de diámetro, por lo que se deben verificar las guillotinas de cierre. También se tiene una plataforma para el distribuidor de concreto (Snorkel), durante el proceso de colado se necesita estar desplazando el Snorkel y al final del colado éste distribuidor debe alojarse en una plataforma para poder garantizar el llenado del último módulo de la cimbra.

La plataforma tiene la misma sección de una de las cubetas y la cual se va manipulando colado tras colado con el Jumbo Transportador.



**Fig. 2.5.7** Plataforma del distribuidor de concreto (Snorkel)



**Fig. 2.5.8** Sistema electromecánico de distribución de concreto (Snorkel)

### **Transportador de la cimbra (Jumbo Transportador)**

Es el equipo integrado a la cimbra metálica que permite el armado y traslado de los componentes de esta (laterales o muros, clave y cubeta) hacia su nueva posición colado tras colado.



**Fig. 2.5.9 Sistema transportador de la cimbra**

### **Compresor**

Es el equipo que se encarga de suministrar el aire hacia la cimbra para el funcionamiento de los vibradores y limpieza de la línea de colado.



**Fig. 2.5.10 Compresor para suministro de aire a presión**

### **Bomba para concreto**

Se trata de una bomba de alto alcance y se encarga del suministro de concreto desde la superficie hacia el interior del túnel por medio de una línea de conducción, este equipo debe estar orientado en dirección a donde se realizara el colado.



**Fig. 2.5.11 Bomba para suministro de concreto**

### **Línea de conducción**

Son los conductos por medio de los cuales se suministra el concreto hacia la cimbra y se trata de tubería de 5" de diámetro de alta resistencia HD, calculada para poder soportar presiones del concreto superiores a 120 bar. la tubería se colocará apoyada en la superficie de la cubeta, es importante contar con tuberías estancas y con uniones rígidas que eviten se giren durante el desarrollo del transporte del concreto.



**Fig. 2.5.12 Tubería para transporte del concreto hacia la cimbra**

## ▪ EQUIPO UTILIZADO EN EL LANZADO DE CONCRETO

Para el revestimiento por medio de concreto lanzado vía húmeda se emplea el mismo equipo de suministro de aire y concreto que para la cimbra solo que en este caso se utiliza un robojet o lanzadora para realizar la colocación del concreto.

### **Compresor**

Es el equipo que se encarga del suministro de aire para el correcto funcionamiento del proceso de lanzado, este equipo se encuentra en la superficie y cuenta además con un tanque de almacenamiento que ayuda al compresor a trabajar con mayor efectividad.

### **Robojet o Lanzadora**

Es el equipo proyector de concreto con las características necesarias para conducir y manejar mezclas a través de líneas de mangueras y boquillas, con gravas de tamaños de 1/2" a 3/8" adaptada con líneas de suministro de aditivos acelerantes de fraguado.



Fig. 2.5.13 Equipo para colocación de concreto lanzado



### **Boquilla de lanzado**

Elemento necesario para proyectar el concreto el cual esta equipado con un cuerpo de dosificación de aditivo y aire que adicionara todos los elementos al momento de pasar el concreto.



**Fig. 2.5.14 Boquilla para lanzado de concreto**

### **Línea de suministro de concreto**

Es la tubería por medio de la cual se suministra concreto a la lanzadora, desde la superficie con características similares a la línea de suministro de concreto para la cimbra telescópica.

### **Equipo de limpieza**

Son los aditamentos como bolas de esponja y/o tapón de neopreno que permiten la limpieza de forma adecuada de la línea de conducción por medio de aire.



**Fig. 2.5.15 Equipo para limpieza de la línea de conducción**



### **III SISTEMAS DE GESTION DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCION DE TÚNELES**

La gestión de calidad tiene la finalidad de satisfacer necesidades establecidas mediante estándares determinados con los cuales se garantizan los trabajos realizados y permiten proporcionar el plazo de ejecución de dichos trabajos, en la práctica, tomar en consideración estos puntos es de gran relevancia para hacer una selección adecuada en cuanto al equipo a utilizar, pruebas aplicables a los materiales y seguridad tanto en el manejo de maquinaria, materiales y del propio personal que se encarga de la ejecución de los trabajos, estas condiciones quedan plasmadas en las especificaciones de cada una de las áreas involucradas, permitiendo de esta manera entregar trabajos con la calidad que satisface la necesidad del cliente.

Con el fin de lograr el cumplimiento de calidad en los trabajos se deben definir un conjunto de disposiciones, requisitos e instrucciones que se habrán de seguirse en una obra determinada llamadas especificaciones.

En este capítulo se trataran los puntos relativos a la calidad de los trabajos para lo cual se requiere cumplir con especificaciones de calidad tanto en materiales, en equipo y mano de obra que quedaran reflejados en la satisfacción de las necesidades del cliente.



### **3.1 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO**

Las especificaciones técnicas del equipo es un documento en el que se definen las características de cada equipo, uso específico, y dimensiones, lo que permite realizar la selección de maquinaria y equipos, que se ajusten a las necesidades de la obra, debe estar adecuadamente documentada a través de fabricantes de equipos, publicaciones comerciales, asociaciones de venta, archivos de las empresas, etc.

Enseguida se mencionaran los equipos más representativos o característicos que intervienen durante la ejecución de los trabajos en los frentes para la construcción de un túnel en suelos blandos, para tal motivo se hará referencia al caso de estudio, dado que los métodos de construcción para túneles en general brindan varias alternativas aplicables para la ejecución de los trabajos, se consideran también factores como tipo de suelo, espacios disponible y tecnología aplicable, etc.

Los trabajos ejecutados en la construcción del túnel río la Compañía consistieron en lo siguiente;

La excavación para túnel, se efectuó con escudo de frente presurizado por medio de lodo.

Estabilización del suelo, por medio de dovelas de concreto armado.

Revestimiento definitivo, a base de concreto armado colado en sitio por medio de cimbra telescópica y en algunos tramos (zonas atípicas) por medio de concreto lanzado vía seca.



## ESPECIFICACIONES DEL ESCUDO EPB UTILIZADO PARA LA EXCAVACIÓN Y ESTABILIZADO DE LAS PAREDES DEL TÚNEL.

Especificación y Hojas de Datos Técnicos del TBM

<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>	<b>Notas</b>
<b>Datos Túnel</b>		
Geología general	Suelo blando arcilloso	
Túnel tramo I	2,688m	
Túnel tramo II	2,119m	
Túnel tramo III	1,970m	
<b>Datos Dovela</b>		
Diámetro exterior del anillo	6,100mm	
Diámetro interior del anillo	5,600mm	
Longitud de la dovela	1,500mm	
N° de dovelas	5 + key	
Radio mínimo de curva	200m	
<b>Escudo</b>		
N°	1	
Tipo	EPB	
Diámetro	6,300mm	
Presión de trabajo	3bar	
N° de sensores de presión de confinamiento	3	
Dispositivos de regulación de aire comprimido	1	DN 65
Brida de adaptor de esclusa de personal	ND 1600	
Brida de adaptor del tornillo sinfín	ND 700	
<b>Cola de escudo</b>		
N°	1	
Tipo	articulado	
"Gap" espacio anular	r = 95m	necesario por radio de curva de 200m
Diámetro	6,290mm	
Peso	280 kN	
Sistema de sellado	3 filas de cepillos	soldados
N° de líneas de mortero	4	DN 50 mm, integrado en la cola de escudo
N° de líneas de lubricación (con grasa)	8	4 por cámara



<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>	<b>Notas</b>
<b>Cilindros de propulsión</b>		
N°	32	2 x 16 double
Medición de carrera	4	
Dimensiones de los cilindros	190 / 160 - 2,000mm	
Tipo de soporte de los cilindros	goma	
Máxima fuerza de empuje	29,000KN	@ 320 bar
Velocidad de avance	0 - 10cm/min	
<b>Rueda de corte</b>		
N°	1	primer juego incluido
Tipo	cerrado con llanta	
Diámetro	6,300mm	
Herramientas	68 rastreles, buckets	
Dirección de giro	izquierda/derecha	
Sobrecortadores	1 mecanico	para min. 10mm ode sobrecorte
<b>Accionamiento rueda de corte</b>		
Tipo	accionamiento electrico, centro abierto	
N° de motores	6	75kW
Par excepcional	2,789kNm	
Par nominal	2,325kNm	
Velocidad de giro	0 - 2.7rpm	
Potencia electrica	450KW	
Diámetro exterior de rodamiento principal	2,600mm	
Vida	>10,000hrs	L <sub>10</sub> conforme DIN ISO 281
<b>Erector</b>		
N°	1	
Tipo	center free ring erector	
Sistema de cogida	mechanical	
Posibles direcciones	6	
Rotación	+/- 200°	control proporcional
Longitud segmento	1.500 mm	
Carrera	2.000 mm	control proporcional
Rotación cabeza de eerector	+/- 2,5 °	
Ángulo de inclinación de la cabeza del erector	+/- 2,5 °	
Carga	50 kN	
Velocidad de rotación	0 - 1rpm	



<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>	<b>Notas</b>
Mando a distancia	1x radiomando	1 x mando cableado de repuesto
Capacidad de elevación (carga)	120kN	
potencia instalada	45kW	
<b>Tornillo sinfín</b>		
N°	1	
Tipo	screw spiral	
Diámetro	700mm	
Potencia electrica	110kW	
Par máximo	190kNm	
Velocidad	0 - 22rpm	continuamente ajustable
Capacidad teoretica máxima	300m <sup>3</sup> /h	
Acesorios	cierre de guillotina	con función de emergencia
<b>Bombas de extracción</b>		
N°	2No.	option
Tipo	p.ej. Schwing TAP110	Bombas de doble piston.
Potencia electrica	1.000kW	4x 250kW
Diámetro máxmio admitido de gránulos	50mm	
Brida de conexión con el sinfin	DN 200	
Manguera flexible	1	de tornillo hacia bomba
Capacidad teoretica máxima	120m <sup>3</sup> /h	cada
Máxima velocidad de avance (TBM)	100mm/min	approx.
Estructura de carro adicional	1	
Instalación de conductos	1	
Instalación de hardware eléctrico y de control	1	
<b>Instalaciones en los remolques</b>		
<b>Sistema remolques</b>		
N°	4	Abierto, sobre carril
	1	sector puente
Ancho máximo para pasarelas	1.5m	
Unidad hidráulica	1	tornillo sinfin, accionamiento auxiliar tipo circuito cerrado con cambiador de calor; agua fresca debe de ser suministrada por la obra
Sistema de refrigeración y filtraje	1	



Descripción	Especificación	Notas
<b>Sistema remolques</b>		
Cabina de mando	1	aire acondicionamiento & insulado contra ruido
Bomba de engrase del accionamiento principal	1	with handling device
Bomba gasa de cola	1	
Armarios de distribución	1	distribución secundaria y primaria
Transformadores	1	IP 55 Type silicone
Enrolladora cable AT	1	Capacidad 180m
Cable alta tensión	1	Longitud 180m
Compresor de aire con tanque	1	4.83m <sup>3</sup> /min @ 7.5bar, 30kW
Grua de dovelas	1	
Alimentador de dovelas	1	para 3 dovelas
Sistema de inyección de mortero	1	
Bomba de trasvase de mortero	1	Schwing KSP 45
Bomba de inyección de mortero	2	Bombas de doble piston
	p.ej. Schwing KSP 12	Capacidad 2x 8m <sup>3</sup> /h
Dispositivo de medición de presión	2	
Tanque de mortero	1	Capacidad 6m <sup>3</sup> con agitador
Potencia electrica instalada	33kW	
Adquisición de datos Tuneladora	1	HK-Standard
Pantalla	1	En la cabina de mando
Ordenador (equipo industrial)	1	En la cabina de mando
Visualización y mensajes	1	en Inglés
Otra software (windows,....)	1	en Inglés
Sistema de guiado de la Tuneladora	1	SLS-T_APD Basic
Blanco ELS	1	in shield
Estación Laser	1	Type Leica 1103
Pantalla	1	in the control cabin
Ordenador industrial	1	in the control cabin
Software	1	en Inglés



<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>	<b>Notas</b>
Equipo adicional SLS-T APD		
Programa de secuencia de anillos	1	
Transmisión de datos a receptor remoto	1	
<b>Electrico</b>		
Voltaje primario	10kV	(+/-10%)
Voltaje secundario	440V / 220V	
Transformador	1.600 kVA	Type silicone, IP 55
Voltaje de control	24V / 220V	
Iluminación	110V	
Voltaje válvulas	24V	
Frecuencia	60Hz	
Nivel de protección	IP55	
<b>Potencia instalada (extracto)</b>		
Avance	450kW	6x 75kW
Empuje	55kW	
Erector	45kW	
Tornillo sinfin	110kW	
Filtraje y unidad de refrigeración	17kW	
Bombas de extracción para 100mm/min	1.000kW	4x 250kW
Gruas	7kW	
Agitador en los tanques de mortero	7,5kW	
Sistema de inyección de mortero	33kW	
Sistema de ventilación	30kW	
Enchufes, iluminación, etc.	50kW	
Subtotal aproximado	1.804kW	
<b>Dimensiones y pesos</b>		a ser confirmado después del diseño
Pieza más pesada	approx. 95to.	
Dimension escudo y cola de escudo	approx. 7,870mm	
Dimension TBM con remolques	70m	
<b>Tbería de túnel DN200</b>		Para 2,800 metros
Manufacturación de tubos del túnel	1	
Manufacturación de piezas de connexion de brids	1	



**ESPECIFICACIONES DE LA CIMBRA TELESCOPICA PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO.****Descripción****Especificación****Datos Túnel**

Diámetro de diseño.	5 m.
Perímetro de diseño.	15.708 m
Tipo de revestimiento	Concreto armado
Espesor de revestimiento	30 cm
Tipo de concreto	Bombeable

**Cimbra metálica telescópica**

Longitud total	45 m.
No. De módulos	Cinco módulos de 9 m C/U.
No. tableros por módulo (Sección transversal)	Cinco tableros.
Transportador (Jumbo)	Ancho 2330 mm Largo 7500 mm Long. Cantiliver 25897 mm
Colocador de concreto (Snorkel)	1 equipo electromecánico + línea de conducción 5" $\phi$ Radio de giro 180°
Acero	ASTM A-36.
Soldadura	Electrodo Serie E-70
Pintura	Primario Alquidálico estándar capa de 2 mils. de pulgada de espesor seco.
Acabado	Alquidálico amarillo cromo 2 mils. de pulgada de espesor seco.
Alimentación de energía eléctrica y Sistema de alumbrado	Tuberías conduit de 1" de diámetro para conexión de sistema de alumbrado.
Conexión de equipos auxiliares	Por medio de contactos tipo intemperie

**Tableros Cimbra Telescópica**

<b>Clave</b>	<b>Un tablero (3,476 mm)</b>
Puntales de flotación	6 pzas.
Ventanas (en tresbolillo).	6 Pzas. (607 X 455 mm)
Boquillas	3 Pzas. 5" de diámetro
<b>Laterales</b>	<b>Dos tableros (3,380 mm C/U)</b>
Ventanas (en tresbolillo)	12 Pzas. . (607 X 455 mm)
Boquillas y guillotinas de cierre	6 Pzas. 5" de diámetro.



Repartidor de aire	Uno por tablero equipado con válvulas de cierre rápido y tomas para manguera de alta presión de ¾"
<b>Cubeta</b>	<b>Dos tableros (2,736 mm C/U)</b>
Puntales de carga en cada tablero	7 Pzas.
Escotillas	6 Pzas.
Boquillas	6 Pzas. 5" de diámetro

### Uniones entre Tableros

Unión longitudinal (Cubeta con laterales)	Tornillos de ¾" x 3".
Unión transversal (modulo con modulo)	Tornillos de ¾" x 3".
Pernos de articulación (Clave Cimbra-lateral)	Pernos 1 ½" x 4

### Transportador (Jumbo)

Marcos	1 de tracción 1 de conducción
Cilindros de desmolde vertical	Cuatro Pzas.
Cilindros de desmolde	Cuatro Pzas.
Traslación del transportador	Motor Hidráulico
Sistema de control de desmolde.	Sistema hidráulico por medio de banco de válvulas
Balancín	8000 mm de longitud, izaje de los tableros de cubeta

### Colocador de concreto (Snorkel)

Brazo telescópico	Ángulo de giro 180° y 5" Φ para conectarse a las boquillas.
Máxima extensión del brazo	6.00 m
Sistema electromecánico	7.5 KW, 440 v, tres fases, 60 Hz.
Sistema de conducción	Tubería de acero 5" de diámetro
Alojamiento o plataforma de montaje del Snorkel	Plataforma montada sobre chasis ubicada al final de la cimbra, con cuatro al ruedas para riel y tracción de todas las ruedas mediante cuatro motores hidráulicos
Sistema de tubería	En tijera de 8.5 m de extensión.
Colocación plataforma.	Perimetral sobre toda la sección transversal de la cimbra

### Sistema de vibradores

Tipo de vibradores	Vibradores de pared neumáticos de
--------------------	-----------------------------------



	pistón y rápida colocación.
Frecuencia	1250 VPM
Consumo de aire	35 C.F.M. @ 50 PSI
Nivel de presión	DBA 95
Espesor de pared	3/8" a 1/2"
Peso	350 Lb
Línea de Conducción del concreto	Tubería de 5" de diámetro de alta resistencia HD

### Equipo para bombeo de concreto

Tipo de Bomba	Pistón
Rendimiento	43 m <sup>3</sup> /h
Presión Máxima	55 bar
Accionamiento	38 Kw (diesel)
Refrigeración	Por medio de agua.
Cilindros de transporte	120 mm $\Phi$
Carrera	1000 mm

Lanzadora de Concreto (Robojet)

**6. Electricidad**

Nº	Telemando Cable Proporcional	Unidad	Característica
41.	Longitud del cable	m	15
Nº	Alimentación de corriente eléctrica	Unidad	Característica
42.	Exigencia mínima: Interruptor diferencial	mA	> 300
Nº	Cuadro eléctrico general	Unidad	Característica
43.	Potencia	KW	40
44.	Protección panel	IP	55
45.	Frecuencia red	Hz	50      60
46.	Tensión,	V	400      440

**7. Limpiador de alta presión (Opcional)**

Nº	Bomba de agua	Unidad	Característica

**8. Enrollables**

Nº	Enrollables manual	Unidad	Característica
47.	Cable 4 polos, 25 mm <sup>2</sup>	Ømm	32-38
48.	Longitud cable eléctrico	m	50

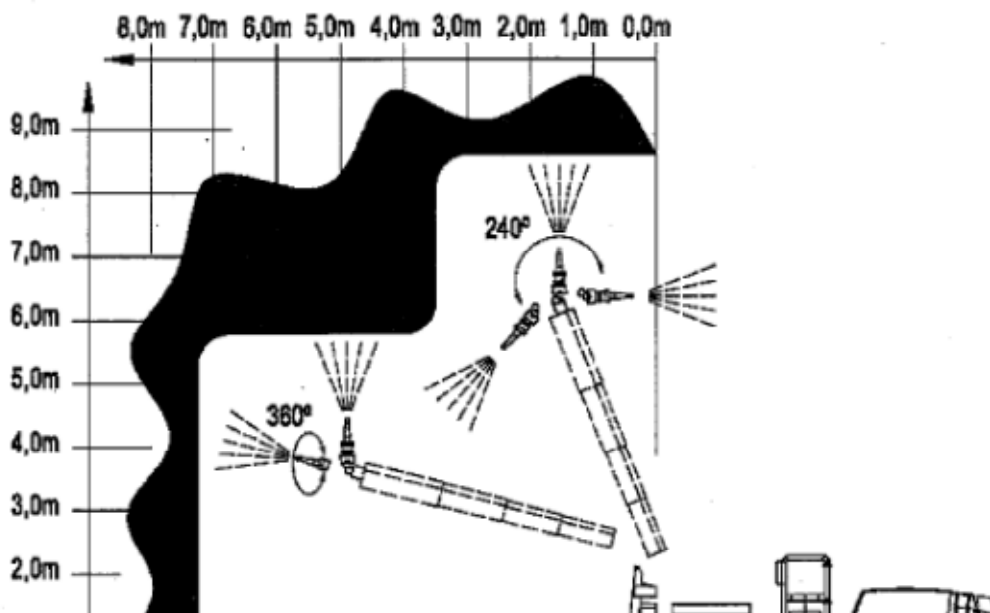
**9. Chasis**

Nº	Chasis 4WD	Unidad	Característica
49.	Depósito de combustible	L	75
50.	Velocidad máxima	Km/h	20
51.	Transmisión hidrostática	velocidades	Nº 2
52.	Número de ejes		2
53.	Tipo de freno,	hidráulico o seco	Hidráulico
54.	Nº Discos en baño de aceite	Nº	4
55.	Freno de estacionamiento		manual
56.	Ángulo máximo de inclinación transversal conduciendo	%	10%
57.	Ángulo máximo de inclinación longitudinal conduciendo	%	30%

Nº	Motor Diesel – Deutz BF 3L 2011	Unidad	Característica
58.	Potencia	kW	41.7
59.	Revoluciones motor	1/ min	2.500

**10. Otros**

Nº	Faros	Unidad	Característica
60.	Faros halógenos	V	4 x 12

**11. Alcance**




### **3.2 ESPECIFICACIONES Y PRUEBAS DE MATERIALES (CONCRETOS Y ACERO)**

Las especificaciones para los materiales son el conjunto de disposiciones, requisitos y condiciones que el cliente o alguna entidad competente ha establecido para la ejecución de las obras, los materiales de construcción habrán de cumplir con dichas especificaciones con la finalidad de asegurar que tal obra cumplirá satisfactoriamente con las necesidades del cliente.

Dentro de las especificaciones del proyecto se incluyen también las pruebas que se habrán de aplicar a los materiales, lo que garantizara que se logre el comportamiento esperado en cuanto a las solicitudes que el proyecto demanda.

Dado que la construcción de túneles en suelos blandos es a base de concreto reforzado, el cual se encargara de dar un comportamiento estructural adecuado, se requiere dar especial atención a las características del acero así como a la materia prima del concreto (cemento agregados y agua) de tal forma que se cumpla con lo establecido en las especificaciones.

El **concreto** se define como aquel material que se fabrica con cemento, agua, arena y grava, se coloca en estado fluido y endurece con el tiempo adquiriendo la forma de los moldes que lo contienen, obteniendo como resultado elementos estructurales con la resistencia de diseño.

Cemento: Se utilizará cemento tipo CPO 30R-RS, resistente a sulfatos. ( de acuerdo a la Norma NMX-C-414-ONNCCE-1999). El cemento podrá estar dispuesto a granel ó envasado en sacos de papel.

Se debe verificar la calidad del cemento que se utilice en la obra, por lo que deberá contar con los certificados de calidad de cada lote, emitidos por el



fabricante; en caso de que esto no sea posible, deberá contar con los certificados de calidad de cada lote emitidos por un laboratorio acreditado ante la EMA.

El lote de cemento almacenado cuyas pruebas no hayan resultado satisfactorias y en consecuencia haya sido rechazado, deberá ser retirado de la bodega y trasladado fuera de la obra.

La temperatura del cemento no deberá ser superior a 55°C en el momento de fabricar el concreto, para su almacenamiento, se deberá contar con un almacén adecuado, si el cemento está disponible en sacos, el almacén deberá estar cerrado para evitar su hidratación; no se permitirán estibas de más de 14 sacos y se evitará su contacto con el suelo, para lo cual deberá contarse con tarimas de maderas elevadas por lo menos 10 cm arriba del suelo.

En caso de que por necesidades de la obra, parte del cemento tenga que almacenarse a la intemperie, éste deberá colocarse invariablemente sobre tarimas de madera y protegerse totalmente con lonas para evitar su hidratación.

No podrá utilizarse el cemento que permanezca almacenado por más de 30 días, al menos que se demuestre mediante ensayos realizados por un laboratorio acreditado, que se encuentra en buenas condiciones.

Al recibirse el cemento en la obra, éste deberá clasificarse con su fecha de entrada en el almacén y utilizarse en el orden cronológico de su recepción.



Instituto Mexicano del  
Cemento y del Concreto, A.C.

Resolución No. 249/2009  
Calle México, 101  
C.P. 04510, México, D.F.  
Tel: (5255) 5727-1140, 5727-1141  
Fax: (5255) 5727-1142  
www.imcyc.com.mx

PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS DE CEMENTO							
Ord. No. de Muestra No. 447		Informe Técnico No. 213/2009		Hoja No. 3 de 3			
Cliente		Precisión		Precisión		ESPECIFICACION	
Muestra No. Q480 - MUESTRA DE CEMENTO CPC 30RS CRUZ AZUL		Laboratorio		Inter Laboratorios		NMX-C414- 40R	
P	Consistencia normal,	% de agua	24,6	-	-	-	
R	Tiempo de fraguado	Inicial	182	34 min	45 min	45 MINIMO	
		Final	372	56 min	122 min	600 MAXIMO	
U	Vicat y/o Gillmore						
E	Finura en	No. 200	% pasa	-	-	-	
		No. 130 M	% pasa	99,3	-	-	
B	%						
A	Sup. especifica, Blaine	m <sup>2</sup> /kg	476	-	-	-	
S	Contenido de aire en el Mortero	%	-	-	-	-	
	Sanidad: Expansión o contracción en autoclave	%	-0,05	-	-	-0,20 MAXIMO	
F	Fraguado falso: Penetración final	%	90,0	-	-	-	
I S I C A S	Resistencia a la compresión	A 24 horas	MPa	-	-	-	
		A 3 días	MPa	31,0	-	-	30 MINIMO
		A 7 días	MPa	35,0	-	-	-
		A 28 días	MPa	PENDIENTE	-	-	40 MINIMO
		Relación A/C		0,485	-	-	-
	Fluidez	%	-	-	-	-	
Análisis Químico	SiO <sub>2</sub> - Silice	%	19,6	-	-	-	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Alúmina	%	4,7	-	-	-	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Oxido férrico	%	3,9	-	-	-	
	Ca O - Cal combinada	%	61,3	-	-	-	
	Ca O - Cal libre	%	0,7	-	-	-	
	MgO - Magnesio	%	1,1	-	-	-	
	S O <sub>2</sub> - Trióxido de azufre	%	3,1	-	-	-	
	Residuo Insoluble	%	1,27	-	-	-	
	Pérdida por calcinación	%	3,5	-	-	-	
	Suma		99,17	-	-	-	
	Na <sub>2</sub> O - Oxido de sodio	%	0,15	-	-	-	
	K <sub>2</sub> O - Oxido de potasio	%	0,68	-	-	-	
	Total de álcalis (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O)	%	0,60	-	-	-	
Compuestos potenciales	C <sub>2</sub> S - Silicato tricálcico	%	54,60	-	-	-	
	C <sub>3</sub> S - Silicato dicálcico	%	15,00	-	-	-	
	C <sub>4</sub> A - Aluminato tricálcico	%	5,86	-	-	-	
	C <sub>3</sub> A.F - Ferr. alum. tetracálcico	%	11,87	-	-	-	
	Suma		87,33	-	-	-	
Observaciones:	Los resultados son únicamente para la muestra recibida. El muestreo y procedencia de este cemento fue responsabilidad del IMCYC ( ), CLIENTE ( X ) <b>OBRA: TUNEL RIO DE LA COMPAÑIA, 08-05-09, L-3</b>						
Precisión:	El resultado de dos pruebas adecuadamente realizadas, no debe diferir en los valores listados.						
Referencias:	NMX-C-49-ONNCCE-2006, NMX-C-56-1997-ONNCCE, NMX-C-57-1997-ONNCCE, NMX-C-59-ONNCCE-2006, NMX-C-61-ONNCCE-2001, NMX-C-62-1997-ONNCCE, NMX-C-131-1976, NMX-C-132-1997-ONNCCE, NMX-C-414-ONNCCE-2004						
Realizó:	Alejandro Barra Barrientos Técnico Laboratorio Cemento		Revisó: Ing. David López Morales Jefe Laboratorio Cemento		Fecha de elaboración: 2009-06-02		

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento, sin la autorización escrita del IMCYC.  
Los resultados del presente informe corresponden exclusivamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).  
Fig-002-ene

FIG-GTLCE-002  
Version 06



**Grava:** La grava deberá cumplir con los límites granulométricos dados en la designación No. 67 de la Norma ASTM C-33-99 y cumplir con los requisitos establecidos en dicha Norma deberá vigilarse que cumpla con las siguientes condiciones:

- ❖ Pérdidas por lavado, no deberán exceder de 1%. ( Se deberá contemplar en su análisis de costo la posible necesidad de lavar la grava para eliminar los finos indeseables, arcilla y/o limo).
- ❖ Densidad deberá ser mayor de 2.45 g/cm<sup>3</sup>.
- ❖ Cuando se recurra al empleo de agregados triturados, la grava no deberá poseer más del 18% de partículas planas y/o alargadas. Dicho porcentaje será determinado de acuerdo con la Norma CRD C 119 ( U.S. Army Corps of Engineers).





**RESULTADO DE ESTUDIO DE GRAVA**

Referencias: NMX-C-30-ONNCE 2004, NMX-C-111-ONNCE 2004, NMX-C-170-1997-ONNCE, NMX-C-77-1997-ONNCE, NMX-C-73-ONNCE 2004, NMX-C-165-ONNCE 2004 y NMX-C-84-1990

Fecha de Envío:	27-Abril-2009	Fecha de estudio:	28 al 04/05, 2009	No. de Folio:	16
Mina de procedencia:	PINFRA	Ubicación:	IXTAPALUCA	Tamaño de la grava:	20
Muestreada por:	TEC. GUILLERMO E. VIDAL M.			Origen de la Grava:	BASALTO
				Planta de procedencia:	CHALCO

**Masa específica (S.S.S.) (NMX-C-164-1986) Método del Picnómetro**

MEss =  $\frac{W1}{V1}$

MEss =  $\frac{1842.6}{735} = 2.51 \text{ g/cm}^3$

W1= Peso de la muestra en S.S.S. en gr.  
V1= Volumen del agua desplazada en el Picnómetro en (ml)

**Granulometría ( Ref. NMX-C-077-1997-ONNCE )**

No. malla	Retenido (gr)	% Ret.	% Acum.	% pasa
1	0	0.0	0.0	100.00
3/4	82.5	0.8	0.8	99.17
1/2	2440	26.4	27.3	72.73
3/8	3000	30.1	57.3	42.67
4	3890	39.0	96.3	3.70
8	286.1	2.9	99.2	0.84
Charola	83.7	0.8	100.0	0.00
Total	9982.3			

**Masa volumétrica ( Ref. NMX-C-73-1990 )**

Masa v. suelta: 14.03 kg x Factor = **1387** kg/m<sup>3</sup>

Masa v. compactada: 14.7 kg x Factor = **1453** kg/m<sup>3</sup>

TARA 6.54 Factor = **98.87** l/m<sup>3</sup>

**Absorción ( Ref. NMX-C-164-1986 )**

% Absorción =  $\frac{1842.6 - 1797.1}{1797.1} \times 100 = 2.53 \%$

**Pérdida por lavado ( Ref. NMX-C-84-1990 )**

Secado a masa constante

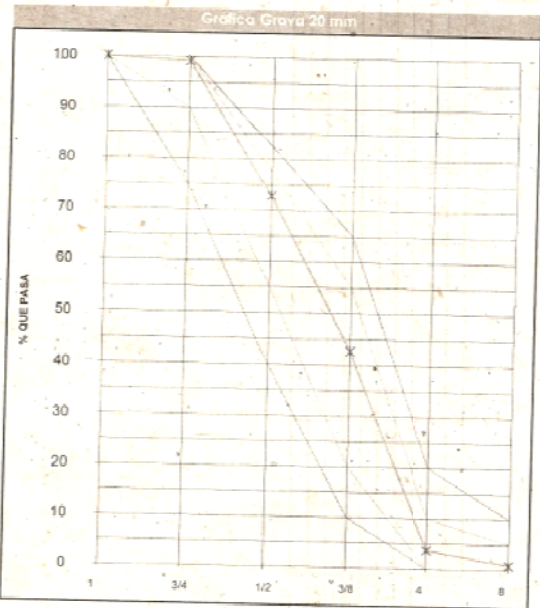
Peso muestra seca "Ms" ( gr ) = 854.5 gr

Peso muestra seca lavada "Msl" (gr) = 848.3 gr

% P x L =  $\frac{Ms - Msl}{Ms} \times 100 = \frac{854.5 - 848.3}{854.5} \times 100 = 0.73 \%$

**ESTADO DE INSPECCIÓN**

Conforme  No conforme  Rechazado



Este reporte no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización escrita de PCM.

**OBSERVACIONES**

Realizó prueba:

TEC. GUILLERMO E. VIDAL M.

Firma

Nota: A.R.L. = Autoridad responsable de liberación

A.R.L. Producto:

Firma



Arena: Se utilizará arena que cumpla con las especificaciones estándar para agregados utilizados en el concreto (ASTM C33).

Debe vigilarse que cumpla con las siguientes condiciones:

- Pérdida por lavado no deberá exceder de 3%. (La Contratista deberá contemplar en su análisis de costo la posible necesidad de lavar la arena para eliminar los finos indeseables, arcilla y/o limo).
- Contenido en pómez, tepetate, etc., máximo 6% en peso.
- Módulo de finura debe estar entre 2.5 y 3.0
- Prueba de colorimetría (**ASTM C-40-84**) satisfactoria.
- Densidad deberá ser mayor de 2.45 g/cm<sup>3</sup>.

Previamente al empleo de los agregados se entregará un informe técnico emitido por algún laboratorio acreditado en donde se encuentren asentadas las siguientes características:

\* Peso volumétrico (determinado de acuerdo con la Norma **ASTM C-29 M-97**).

\* Colorimetría (determinado de acuerdo con la Norma **ASTM C-40-99**).

\* Intemperismo acelerado (determinado de acuerdo con la Norma **ASTM C-88-99A**).

\*Densidad y absorción de grava (determinadas de acuerdo con la Norma **ASTM C-127-88**).

\*Densidad y absorción de arena (determinada de acuerdo con la Norma **ASTM C-127-88**).

\*Abrasión de agregado grueso hasta 38.1 mm. (realizada de acuerdo con la Norma **ASTM C-131-96**)


\*Granulometría (realizada de acuerdo con la Norma **ASTM C-136-96a**)

\*Pérdida por lavado (determinada de acuerdo con la Norma **ASTM C-117-95**.)

\*Reactividad (realizada de acuerdo con la Norma **ASTM C-227-97a**).



\*Dureza al rayado ( realizada de acuerdo con la Norma **ASTM C-851**).



### RESULTADO DE ESTUDIO DE ARENA

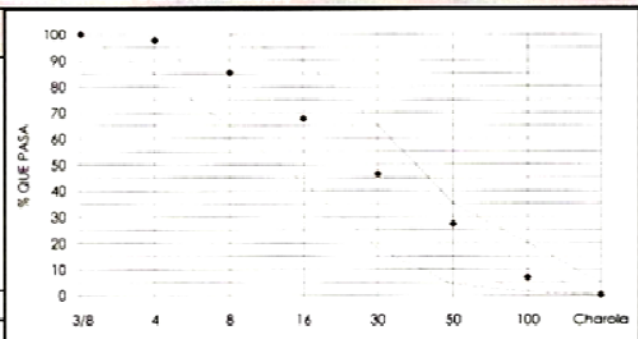
Referencia: NMX-C-30-ONNCE-2004, NMX-C-111-ONNCE-2004, NMX-C-170-1997-ONNCE, NMX-C-77-1997-ONNCE, NMX-C-73-ONNCE-2004, NMX-C-145-ONNCE-2004 y NMX-C-84-1990

Fecha de envío:	Fecha de estudio:	No. de Folio:
Mina de procedencia:	Ubicación:	Tamaño de la Arena:
Muestreado por:		Origen de la Arena:
		Planta de procedencia:

Diámetro (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)	Charola (%)
3/8	0.0	0.0	100.00	
4	2.3	2.3	97.69	
8	12.4	14.7	85.28	
16	17.7	32.4	67.58	
30	208.9	53.7	46.26	
50	19.0	72.8	27.22	
100	20.4	93.2	6.82	
Charola	6.8	100.0	0.00	
<b>Total</b>	<b>977.6</b>	<b>100</b>		

Módulo de finura (esp. de 2.5 a 3.1)	<b>2.67</b>
--------------------------------------	-------------




Masa v. suelta: $1543 \text{ kg} \times \text{Factor} = 1543 \text{ kg/m}^3$ Masa v. compactac: $1642 \text{ kg} \times \text{Factor} = 1642 \text{ kg/m}^3$ Factor = $\dots \text{ l/m}^3$	$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{peso muestra S.S.S. (gr)} - \text{peso muestra (gr)}}{\text{peso muestra (gr)}} \times 100$ $\% \text{ Absorción} = \frac{\dots - 479.8}{479.8} \times 100 = 4.21 \%$
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

$ME_{100} = \frac{S}{(B + S - C)} = \dots + 500 = 2.45 \text{ g/cm}^3$ S= Peso de la muestra sat. y sup. seco B= Peso del picnómetro con agua C= Peso del picnómetro con la muestra y agua	Secado a masa constante Peso muestra seca "Ms" (g) = $\dots$ g Peso muestra seca lavada "Msl" (g) = $\dots$ g $\% P \times L = \frac{Ms - Msl}{Ms} \times 100 = \frac{500 - 483.8}{500} \times 100 = 3.24 \%$
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Este reporte no podrá ser reproducción parcial o totalmente sin la autorización escrita de FCM.


Realizó el estudio:



CONFORME

NO CONFORME

RECHAZADO





**Fibras de Nylon:** Se deberá añadir fibras de Nylon, con diámetro entre 0.005” y 0.007”, y longitud de 50 mm para reforzar el concreto, En una proporción de 250 gramos de fibras por un metro cúbico de concreto.

**Almacenamiento:** Si los agregados pétreos se almacenan en campo, se evitará su contaminación entre ellos y entre otros materiales que puedan afectar su calidad, para lo cual será necesario la colocación de una plantilla de concreto pobre, o bien de una capa de agregados apisonados antes de su apilamiento.

Los almacenamientos se harán sobre terreno plano y con una ligera pendiente que permita el drenado de los agregados en el caso de estar saturados o por efecto de lluvia.

Si por mal almacenamiento y/o manejo los agregados se contaminarán con polvo, deberán desecharse y ser reemplazados por materiales que cumplan las especificaciones antes citadas.

**Agua:** El agua que se utilice para la elaboración y curado del concreto deberá estar libre de impurezas que puedan afectar el fraguado del concreto y/o reduzca la resistencia o la durabilidad del concreto o mortero. El agua no deberá estar contaminada con aceites o grasas.

Antes de emplear el agua, se deberá verificar su calidad mediante pruebas realizadas por algún laboratorio confiable y acreditado.

El agua que se pretende utilizar deberá ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos por las Normas ASTM que a continuación se indican y satisfacer los requerimientos establecidos por la Supervisión para cada ensaye:



Número	Método de Prueba	Especificación ASTM	Valores límite (ppm)
	Cationes en forma de:		
1	CaO (óxido de calcio)	D-511	
2	MgO (óxido de magnesio)	D-511	
3	Na <sub>2</sub> O (óxido de sodio)	D-1428	
4	K <sub>2</sub> O (óxido de potasio)	D-1428	
	Aniones:		
5	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (bicarbonatos) +CO <sub>3</sub>	D-513	600 máx
6	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (carbonatos)	D-513	
7	OH <sup>-</sup> (hidróxidos)	D-513	
8	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (sulfatos)	D-516	1000 máx
9	Cl <sup>-</sup> (cloruros)	D-512	600 máx
10	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (nitratos)	D-992	
11	CO <sub>2</sub> (bióxido de carbono)	D-513	Trazas o pH no menor de 6
12	O <sub>2</sub> (oxígeno consumido en medio ácido)	D-1252	20 máx
13	Sólidos disueltos por conductividad		2000 máx.
14	Sólidos en suspensión pH	D-1293	6 mín

Cuando los resultados de los ensayos del agua no sean satisfactorios, y por motivos económicos sea incosteable emplear agua de otra fuente se deberán efectuar pruebas en cubos de mortero (**Norma ASTM C-109**) producidos con el agua de la cual se tengan dudas y verificará que las resistencias a compresión a 7, 28 y 90 días sean mayores ó iguales al 90% de las resistencias a las mismas edades de los especímenes testigos fabricados con agua potable ó destilada. Además, se deberán efectuar ensayos que aseguren que las impurezas en el agua no afectan el tiempo de fraguado del cemento acortándolo o prolongándolo, de acuerdo con la Norma ASTM C-191.



Instituto Mexicano del  
Cemento y del Concreto, A.C.  
Insurgencias Sur No. 1876 Col. Florida  
Del Alcazar Obregon  
C.P. 01030, Mexico, D.F.  
Tels. (0155) 5323-5740, 5682-0606  
Fax (0155) 5323-5742  
imcyc@mail.imcyc.com  
www.imcyc.com

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA.			
Orden de Trabajo No.	1168	Informe Técnico No.	417/2008
Hoja No.	2	de	3
Cliente: PCM CONCRETO, S. A. DE C. V.			
Muestra No. Q832 - MUESTRA DE AGUA 19-09-08. PLANTA DE PROCEDENCIA: CHALCO. UBICACIÓN: AV. SANTA FE CORPORATIVO			
<b>RESULTADOS DEL ANÁLISIS</b>			
		Resultados expresados en mg/l ( p.p.m. )	Especificación ( Límites Máximos )
			Cementos Ricos en calcio
			Cementos Sulfato Resistentes
Color		INCOLORO	
Olor		INODORO	
Aspecto		DIAFANA	
Sedimento ( impurezas en solución )		140	3 500 p.p.m.    4 000 p.p.m.
pH		6.1	No. menor de 6.0    No. menor de 6.5
Cloruros	( Cl <sup>-</sup> )	58	400 p.p.m.    600 p.p.m.
Sulfatos	( SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	21	3 000 p.p.m.    3 500 p.p.m.
Alcalinidad	( CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	-	600 p.p.m.    600 p.p.m.
Alcalinidad	( HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	125	
Calcio	( Ca <sup>+2</sup> )	18	
Magnesio	( Mg <sup>+2</sup> )	23	100 p.p.m.    150 p.p.m.
Materia Orgánica ( Oxígeno consumido en medio ácido)		4	150 p.p.m.    150 p.p.m.
Grasas y aceites		0	0 p.p.m.    -
Álcalis totales	( Na <sup>+</sup> )	31	300 p.p.m.    450 p.p.m.
Sólidos en suspensión ( Limos y arcillas )		0	2 000 p.p.m.    2 000 p.p.m.
Observaciones:	Los resultados son únicamente para la muestra recibida.		
	El muestreo y procedencia fue responsabilidad del		
	IMCYC (    ), CLIENTE ( X )		
Referencias:	NMX-C-122/ONNORCE-2004, ASTM-D-512B, D516, D1126B, D511, D1767 EN VIGOR		
Realizó:	Alejandro Ibarra Barrientos Técnico Laboratorio Cemento	Revisó:	Ing. David López Morales Jefe Laboratorio Cemento
		Fecha de elaboración:	2008-11-12

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita del IMCYC A.C.  
Los resultados del presente informe corresponden exclusivamente a la(s) muestra(s) ensayada(s)  
Fig-014.exe

FIG-GTLCE-014  
Versión 06

Se deberá verificar la calidad del agua por lo menos una vez al mes.



**Aditivo:** Cuando por razones estrictamente técnicas así se requiera, se podrá proponer el empleo de aditivos para el concreto; el empleo de estos aditivos estará condicionado a la aprobación de la Supervisión.

Antes de que los aditivos se envíen a la obra se deberá verificar la calidad de cada lote. Se deberá verificar la calidad de los aditivos así como presentar a la Supervisión los certificados de calidad con los resultados de las pruebas indicadas en la **Norma ASTM C-494-90**, expedidos por el fabricante, el proveedor, ó por un laboratorio acreditado.

Se deberá disponer de bodegas adecuadas para almacenar los aditivos, de manera que los recipientes no estén expuestos a la acción directa de los rayos solares y no se produzcan confusiones en su utilización. Todos los aditivos deberán identificarse con la fecha de llegada a la obra, y se utilizarán según el orden cronológico de su recepción.

Todo lote de aditivos que permanezca almacenado en la obra durante más de tres meses no podrá ser utilizado, a menos que la Contratista demuestre mediante ensayos realizados por un laboratorio acreditado que el aditivo se encuentra en buenas condiciones.

**Dosificación del concreto:** Las cantidades que deban usarse de cemento, agregados de distintos tamaños que entren en la mezcladora para formar las distintas clases de concreto, serán controladas por un equipo de pesado y el agua por un medidor; estos equipos formarán parte de la planta dosificadora y no serán usados sin la previa verificación de la Supervisión.

La relación agua-cemento que se elija para el diseño de la mezcla debe ser el menor valor establecido para cumplir con los requisitos de durabilidad y resistencia, tal como lo define el **ACI 201**.



**Preparación del lugar de colocación de concreto:** Todo el equipo de mezclado y transporte de concreto deberá estar limpio.

La obra falsa deberá estar adecuadamente estructurada los moldes limpios, estancos, tratados con aceite mineral u otro material antiadherente.

Deben retirarse el escombros, materiales sueltos, grasas etc., que puedan afectar la calidad del concreto.

Previo al colado, tanto la superficie del concreto como el acero de refuerzo deberán limpiarse enérgicamente eliminando cualquier vestigio de polvo, grasa ó cualquier sustancia ó material que presente reducción de adherencia.

Deberá eliminarse el exceso de agua del lugar donde se colocará el concreto.

**Mezclado:** Deberá hacerse por medios mecánicos hasta lograr una distribución uniforme de los materiales.

Deberá vigilarse que la velocidad de giro de la revolvedora sea la indicada por el fabricante.

El tiempo mínimo de mezclado una vez incorporado todos los materiales será de un minuto para mezcladores estacionarios de hasta 765 l de capacidad, con un aumento de 15 segundos por cada 765 l adicionales o fracción.

Se verificará el revenimiento del concreto en campo con una frecuencia de cuando menos una vez cada cinco metros cúbicos de concreto suministrado.

Deberá tomarse muestras de concreto para pruebas de resistencia con una frecuencia de cuando menos seis muestras cada diez metros cúbicos de concreto fabricado.





A las muestras tomadas se les determinará su resistencia a compresión ensayando dos cilindros a 7 días, dos a 14 días y dos a 28 días.

**Transporte:** El transporte debe realizarse de la mezcladora al sitio final de colocación empleando métodos que eviten la segregación o pérdida de materiales.

Si el concreto no ha sido colocado dentro de los 45 minutos posteriores al mezclado será desechado. No deberá colocarse concreto en proceso de fraguado.

**Colocación:** El concreto debe depositarse lo más cerca posible de su ubicación final para evitar la segregación debido al remanejo o flujo

El colado debe efectuarse a tal velocidad que el concreto conserve su estado plástico en todo momento y fluya fácilmente dentro de los espacios entre varillas.

Se desechará el concreto que se haya endurecido parcialmente o que se haya contaminado con materiales ajenos.

Una vez iniciado el colado éste deberá efectuarse en una operación continua hasta que se termine el colado de la estructura de acuerdo con sus límites predeterminados.

La compactación del concreto se realizará con vibradores 2 ó 3 pulgadas de diámetro, eléctrico ó neumático con una frecuencia mayor de 7,000 r.p.m., medida ésta estando los vibradores dentro del concreto. Se deberá contar con un mínimo de cuatro vibradores en buenas condiciones mismos que serán operados todo el tiempo por personal calificado para su uso.



El uso de los vibradores tendrá como finalidad eliminar los vacíos del concreto así como ligar la capa de concreto superior con la subyacente, por lo que no se permitirá el acarreo del concreto con el vibrador.

El tiempo de inmersión de los vibradores debe ser de 10 a 15 segundos, queda prohibido el tratar de colocar concreto sin el empleo de vibradores.

La penetración del vibrador deberá ser vertical y espaciada 15 a 30 cm penetrando 10 cm por lo menos en la capa inferior, retirándolo lentamente. Debe evitarse el contacto directo del vibrador con el acero y/o la cimbra ya que podría ocasionar alteraciones en la posición de los mismos ó afectar el concreto en las zonas que se encuentren en proceso de fraguado. Durante el vibrado del concreto deberá vigilarse que no se provoque sangrado ni segregación del mismo.

Invariablemente deberá obtenerse un concreto denso y compacto que presente una textura uniforme y una superficie con buena apariencia.

**Registros:** Deberá llevarse registro de cada colado indicando las fechas y horas de inicio y fin de cada etapa de la manufactura posterior a la mezcla de los ingredientes del concreto, así mismo se registrara la cantidad de concreto colocado medido por revolturas para compararlo con el volumen calculado geométrico.

**Protección del colado:** Se debe evitar que durante el colado y las diez horas después de terminado, el agua de lluvia ó algún otro agente deterioren el concreto; así mismo debe evitar durante el colado y las 24 hora siguientes, sacudidas, trepidaciones, esfuerzos y/o movimientos en las varillas o elementos metálicos que sobresalgan, que se transite sobre la superficie expuesta ó de algún modo se altere el estado de reposo del concreto.



**Curado:** El curado se hará con membrana impermeable utilizando el producto que apruebe la Supervisión. Después de terminado el colado y cuando el concreto tenga el endurecimiento suficiente para que el agua no lo dañe, deberán mantenerse húmedas las superficies expuestas hasta que se aplique la membrana impermeable.

A continuación del descimbrado de las estructuras, lo cual deberá efectuarse cuando menos 18 horas después de terminado el colado, se humedecerán las superficies por curar, sin dejar charcos, y a continuación se aplicarán dos manos de una membrana de curado base agua y color blanco.

La membrana debe conservarse sin daño sobre la superficie del concreto durante 20 días; La Contratista debe evitar que la membrana impermeable sea dañada y si por razones de tránsito u otras causas se daña la membrana debe reponerse con cargo a la Contratista.

Para la verificación de la calidad de la membrana, se deberá presentar a la Supervisión los certificados de calidad con los resultados de las pruebas indicadas en la **Norma ASTM C-309-89**, expedido por el fabricante, el proveedor, ó por un laboratorio confiable y acreditado

- **Especificaciones para el acero de refuerzo**

Se define al **acero de refuerzo** como el elemento de acero al carbón corrugado fabricado especialmente para usarse como refuerzo del concreto y que toma principalmente esfuerzos de tensión.



En cuanto a los trabajos en los que se involucra la colocación de acero de refuerzo en la construcción de las estructuras de concreto reforzado, se deben cumplir con las siguientes especificaciones.

El acero de refuerzo deberá llegar a la obra libre de oxidación, exento de grasa, quiebres, escamas, hojaduras y deformaciones en su sección y deberán ser de los grados requeridos en los planos.

Se presentará a la Supervisión el certificado de calidad de cada uno de los lotes que se adquiera, expedido bien sea por el fabricante del acero o bien por un laboratorio reconocido y acreditado. Si no se cuenta con el certificado de calidad, el acero de refuerzo no podrá utilizarse.

Cuando el acero de refuerzo se haya oxidado o deteriorado por haber permanecido almacenado un tiempo considerable, Se deberá verificar las condiciones del acero mediante pruebas realizadas por un laboratorio acreditado y sancionado por la Supervisión, si el acero es aceptable deberá limpiarse por medios mecánicos, los cuales pueden ser: chorro de arena, cepillo de alambre ó pulidora con cerda de alambre trenzado.

Igual procedimiento deberá seguirse para limpiar los residuos en el acero ó residuos de cemento ó pintura antes de reanudar los colados.

Siempre deberá evitarse la contaminación del acero de refuerzo con sustancias grasas y en el caso que esto ocurra se removerá con solventes que no dejen residuos. La Supervisión se reserva el derecho de realizar las pruebas de laboratorio que estime pertinentes, para lo cual se deberán proporcionar todas las facilidades para la realización de estas pruebas.



**Habilitado:** Con el propósito de proporcionar la forma que fijen los planos de diseño las varillas de refuerzo de cualquier diámetro se doblarán en frío, y sólo cuando lo justifique técnicamente las varillas podrán doblarse en caliente, en cuyo caso la temperatura no excederá de 600° C a 650° C, la cual se determinará por medio de crayones térmicos ó cualquier otro medio adecuado. El calentamiento debe efectuarse de manera que no ocasione daños al concreto o a otros elementos del refuerzo, y el enfriamiento del acero deberá ser lento y a temperatura medio ambiente. Cuando el proyecto indique traslapes en varillas estos se localizarán en los puntos de mínimo esfuerzo de tensión y no se permitirá traslapar en una misma sección, más del 50% de las varillas de refuerzo. La longitud de los traslapes no deberá ser menor de 40 diámetros de la varilla correspondiente.

**Recubrimiento:** Los recubrimientos del concreto que se darán al acero de refuerzo serán iguales a lo indicado en los planos estructurales correspondientes, o en su defecto de 5 cm (2").

**Soldadura.** Todos los trabajos de unión por medio de soldadura se sujetarán a lo indicado en el proyecto, la Supervisión ó en las Normas que para su uso han sido editadas por los fabricantes de electrodos ó las asociaciones especializadas **ASTM; AWS**, y las que dicte la **SECOFI**.

**Colocación:** Antes de proceder a la colocación de varillas u otros elementos metálicos como soportes, separadores y silletas deberán limpiarse y mantenerse así hasta la colocación del concreto, libres de tierra, grasa, aceite, oxidación y otras sustancias extrañas ó perjudiciales, que impidan la adherencia.

Todas las varillas de refuerzo deberán colocarse con las longitudes, dobleces, ganchos y separación y posición que fije el proyecto y deberán mantenerse firmes en su posición durante la colocación del concreto.



El acero de refuerzo próximo a los moldes se separara de estos por medio de separadores de acero o de plástico rígido, para cumplir con el recubrimiento señalado en el proyecto.

Todas las varillas longitudinales y transversales, se unirán entre si en sus puntos de contacto, por medio de amarres de alambre recocido de No. 14 al No. 18.



### 3.3 EQUIPO DE SEGURIDAD (PERSONAL Y EQUIPO)

Con la finalidad de reducir al mínimo la ocurrencia de accidentes y eficientar los trabajos en cualquier proyecto, es de vital importancia apearse a los requerimientos de seguridad particulares presentes en cada uno de los proyectos, en lo relativo a la calidad y apego al programa de obra, las normas de seguridad permiten minimizar retrasos en el programa y pérdidas económicas que afectaran al proyecto.

#### ***EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL***

Es el conjunto de elementos y dispositivos, diseñados específicamente para proteger al trabajador contra accidentes y enfermedades que pudieran ser causados por agentes o factores generados con motivo de sus actividades de trabajo y de la atención de emergencias.

Tal equipo debe ser el necesario y adecuado que requiera para el correcto desarrollo de sus actividades en consideración de las situaciones de riesgo a las que estén expuestos como se muestra en la siguiente tabla.

EQUIPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Casco normal	R	R	R	R	R		R		R		R	R	R	R	R	R	R	R
Casco dieléctrico						R		R		R					O	O		
Lente o careta de seguridad	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	O	O	O	R	R	O	R
Tapones auditivos		R	O	R				R	R	O	R	R	O	R	O	O	O	R
Mascarilla	O	R	R	O			O	R	R	O	R	R	O	O	O	O	O	O
Equipo de respiración		R	O						O		O							
Guantes de piel																		O
Camaza cortos			R	R		R	R		R		R	R	R		O	O	O	
Camaza largos	R	R						R	R									
Tacto suave					R					R				R				R
Guantes de hule			R					O					R					
Guantes dieléctricos		R								R								
Guantes con malla																		
Botas de piel					R		R								R	R		
Botas de hule				R														
Botas dieléctricas								R		R								
Botas con casquillo			R		R	R			R			R	R	R			R	R



Botas con casquillo y plantilla	R											R							
Capucha lona o piel	R	O						O	R			O		O					
Almohadilla / carga			O				O					R	R						
Peto, mangas, delantal de piel	R	R				O		R	R				R	S					
Polainas de piel o hule	R													O					
Polainas de lona	R	R																	
Fajilla	R	R	O	O	R	R		R	R	R	R	R	R	R					
Arnés	O	O	O		O	O	O		O	O		O	O		O	O			
Chaleco con banda reflejante	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	R

R= Equipo necesario

O= Equipo opcional

1= Ayudante general excavación	7.- Carpintero	13= Sobrestante
2.=Ayudante general lumbreras y revestimiento	8.= Operador de maquinaria	14= Perforista
3=Albañil	9= Maniobrista	15= Topógrafo
4=Fierrero	10= Mecánico	16= Cadenero
5.-Soldador	11= Lubricador de maquinaria	17=Técnicos, administrativos y servicios
6.-Electricista	12= Chofer	18=Banderero

**EQUIPO REQUERIDO POR EL PERSONAL PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE SUS ACTIVIDADES LABORALES**

Los equipos mencionados anteriormente deben cumplir con las normas siguientes :

Norma	Equipo	Norma	Equipo
NOM- 113-STPS-94	Calzado de protección	NMX-S-002-SCFI	Respiradores
NOM- 115-STPS-94	Casco de protección	NMX-S-058/1-SCFI	Arneses
NMX-S-041	Careta para soldador	NMX-S-058/5-SCFI	Conectores
NMX-S-035	Protectores auditivos		
NMX-S-018-SCFI	Guantes		
NMX-S-039-SCFI			
NMX-S-040-SCFI			

*El proyecto proporcionara el equipo de seguridad necesario a los trabajadores de acuerdo a las características y condiciones de sus actividades, así como de cualquier otro equipo especial.*

*En todo momento, dentro del proyecto todo el personal deberá llevar puesto el casco el cual deberá ser de polietileno y con suspensión y sin objetos en la parte interna de este.*





#### IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REVESTIMIENTO EN TÚNELES

El revestimiento de un túnel en general, consiste en la colocación de concreto armado o simple, prefabricado o colado en sitio, el tipo de revestimiento depende de las características del suelo sobre el cual se construirá el túnel, de ahí la importancia de conocer el tipo de suelo para la elección de algún método o la combinación de ellos para revestir un túnel.

La construcción de túneles para desalojo de agua residual es común revestir en dos fases:

##### **Primera fase: revestimiento primario**

Es el sistema de soporte inicial del túnel que garantiza la estabilidad de la excavación así como la seguridad de los trabajadores, puede ser a base de prefabricados (dovelas), o colado en sitio (concreto lanzado) la elección depende de las características estratigráficas del suelo sobre el que se construirá el túnel.

##### **Segunda fase: revestimiento definitivo**

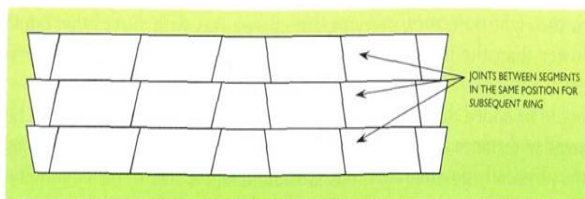
Es un recubrimiento de concreto ya sea simple o armado colado en sitio por medio de una cimbra u otro medio mecánico, el revestimiento final se construye sobre el soporte inicial (en la actualidad por medio de dovelas de concreto), su función es proteger al túnel de las acciones destructivas derivadas de su uso, de tal forma que la construcción de un túnel culmina con el revestimiento definitivo dando este el acabado final y diámetro de proyecto.

#### 4.1 COLOCACION DE DOVELAS (REVESTIMIENTO PRIMARIO)

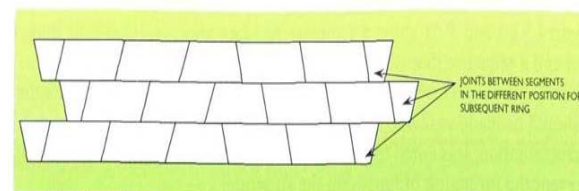
En la actualidad son ampliamente utilizadas las dovelas como revestimiento primario en túneles construidos en suelos blandos, las dovelas son elementos prefabricados montados con la ayuda de un brazo erector localizado al interior de un escudo, el proceso consiste en la colocación secuencial de dovelas, de dimensiones y formas prescritas, que integran el soporte inicial estabilizando las paredes del túnel.

Para el caso de estudio un anillo se compone de cinco dovelas o segmentos más una de cierre o llave (sistema 5+1), cada dovela es identificada por una letra y un número lo que determina la posición que ocupara en el anillo, cada anillo se compone de seis elementos; tres son tipo A (A1, A2, A3), uno B, uno C y la cuña K.

Hoy en día son de uso común los anillos de tipo “universal” que permiten ajustarse a trazos rectos y curvos con solo rotar la posición de la dovela de cierre o segmento “k” y con esto el anillo, definiéndose así el tipo de anillo, en el caso de estudio los anillos son de tipo universal y van desde el U01 al U16, la configuración del anillo no cambia, lo que se modifica es el plano de empuje permitiendo al escudo la elección del anillo más adecuado según una secuencia determinada eligiendo alguna de las combinaciones que más convenga según la trayectoria de la tuneladora, esto es posible también gracias a la forma tronco-cónica de los anillos, sin embargo existe una restricción la cual no permiten las juntas entre dovelas consecutivas es decir debe existir un traslape con la finalidad de evitar líneas de debilidad.



**Fig. 4.1.1a** Secuencia no permitida en la colocación de anillos



**Fig. 4.1.1b** Secuencia permitida en la colocación de anillos

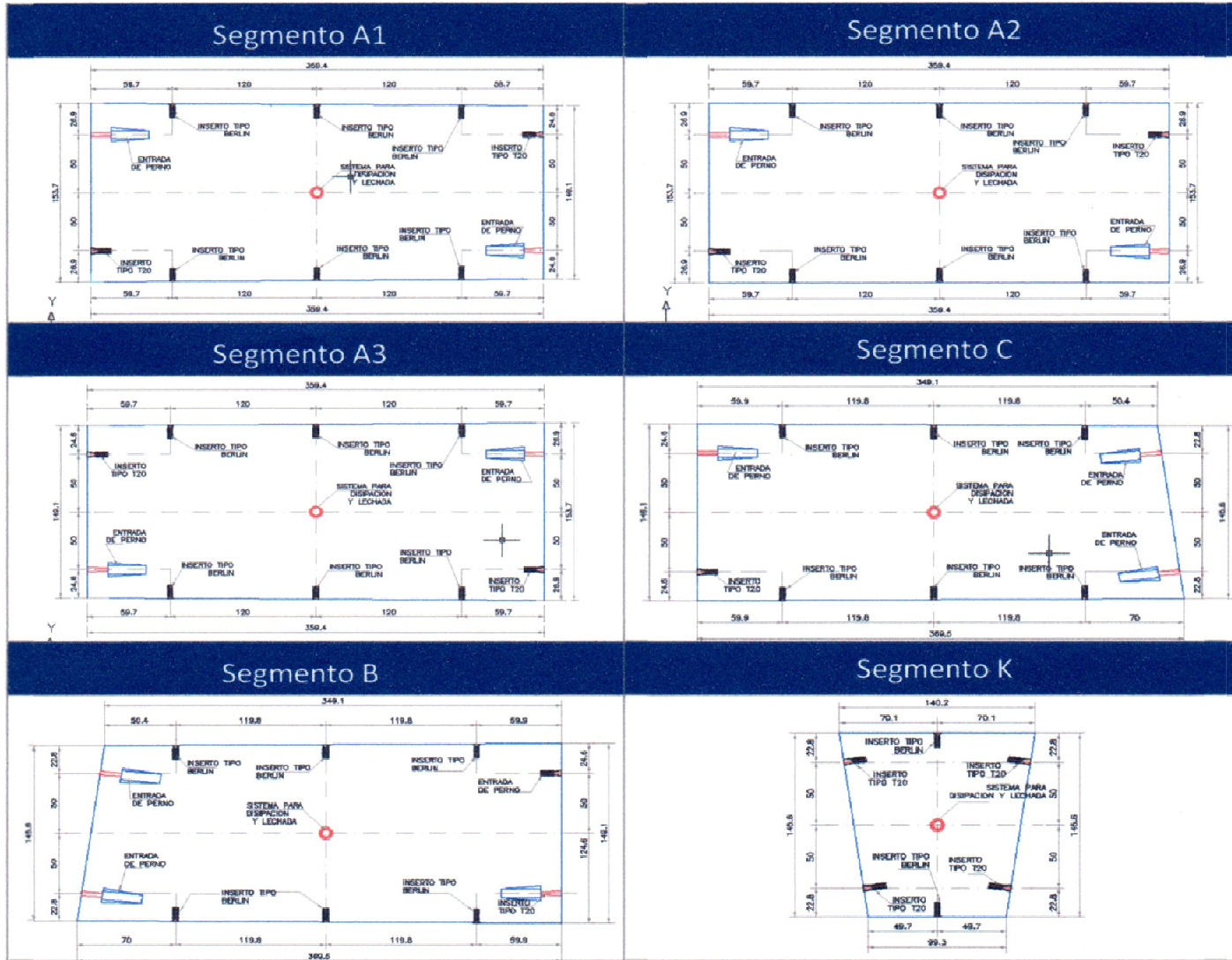


Fig. 4.1.2 Características geométricas de las dovelas



Fig. 4.1.3 Configuración de anillos en sus 16 posiciones

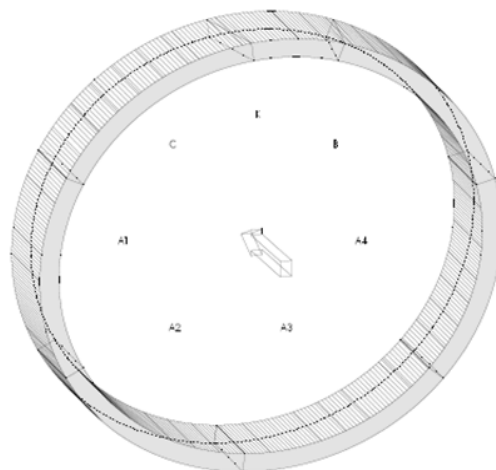


Fig. 4.1.4 Segmentos que componen un anillo de concreto

Cada dovela cuentan con una ranura perimetral sobre todo su espesor para la colocación de juntas de neopreno con la intención de dar hermeticidad entre las uniones de anillos para impedir el paso del agua y el mortero de inyección al interior del túnel.

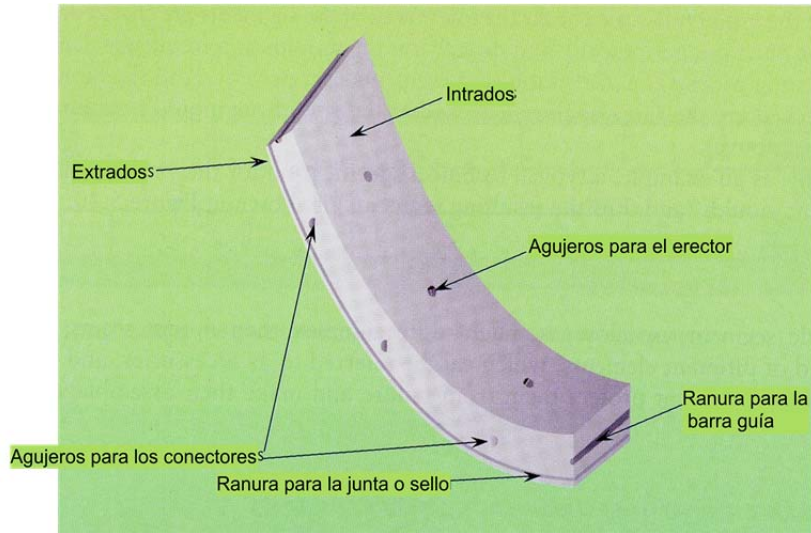


Fig. 4.1.5 dovela de concreto armado

Tipo	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
01	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S
02	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S
03	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N
04	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S
05	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S
06	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N
07	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N
08	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S
09	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N
10	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N
11	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S
12	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S
13	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N
14	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S
15	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S
16	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N

Permitido
No Permitido

Fig. 4.1.6 Secuencia permitida y no permitida en función del tipo de anillo evitando

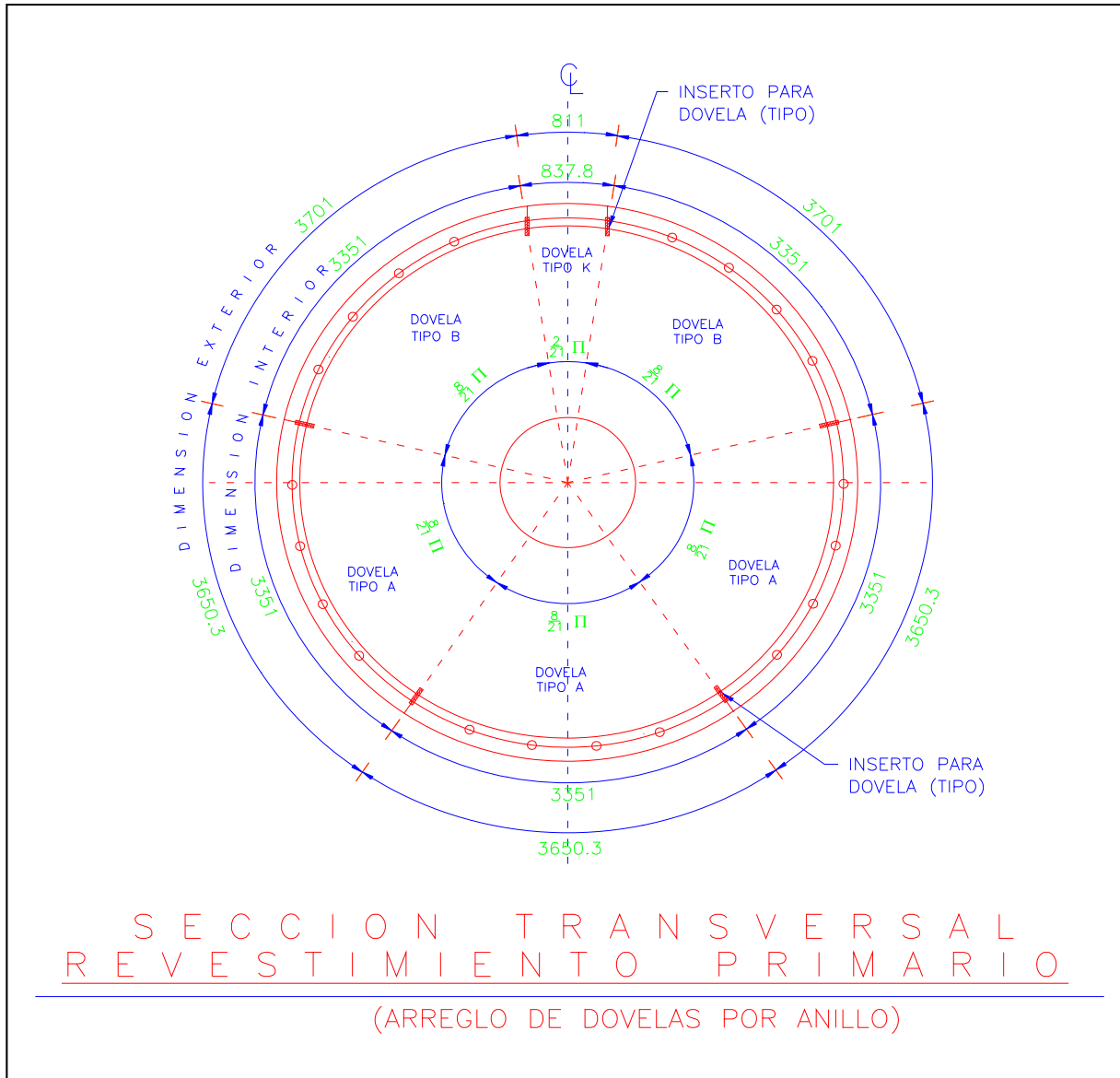


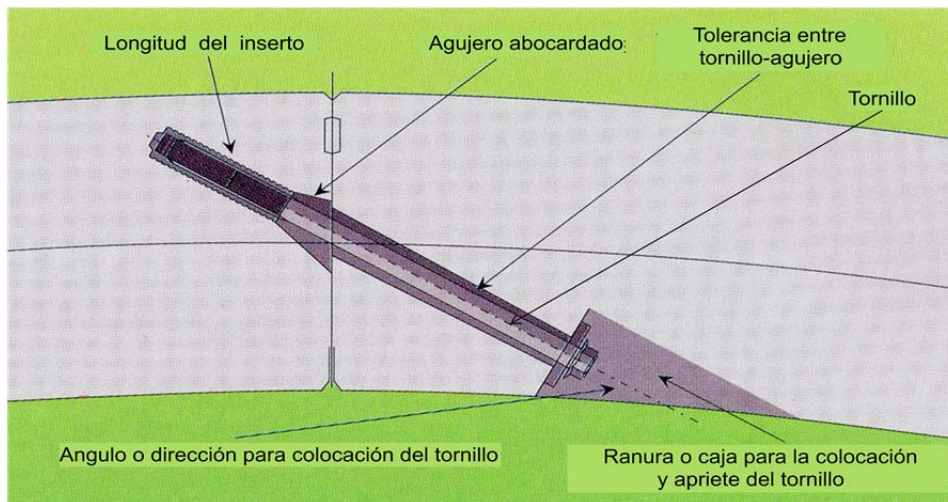
Fig. 4.1.7 armado anillo de dovelas

Conocidas las características de lo que en conjunto forma el revestimiento primario se puede dar paso a la etapa de ensamble de las dovelas y anillos, para lo cual se requieren dos tipos de uniones: una entre dovelas y la otra entre anillos.

Un anillo queda conformado por la unión entre los distintos tipos de dovelas, dicha unión se logra por medio de tornillería, después de montar la pieza, se

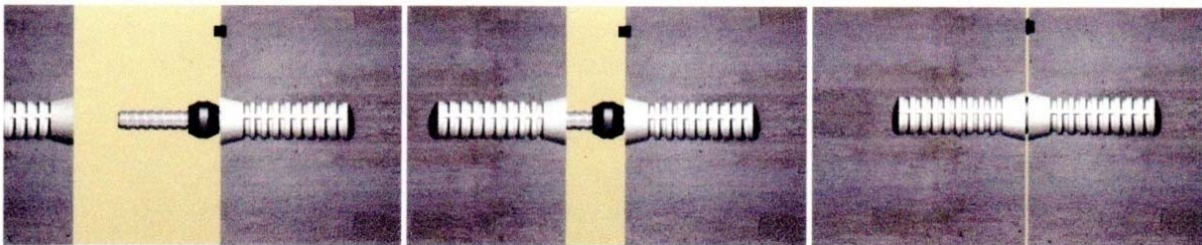
colocan los tornillos en los insertos y se aprietan con llave neumática, para la unión de dovelas contiguas se emplean dos tornillos por lo que para un anillo se emplean doce tornillos en total. La figura 4.1.7 muestra la unión con tornillo entre dovelas.

Para colocación de los tornillos, la caja debe contar con las dimensiones adecuadas que permitan el atornillado así como el agujero por donde entrara el tornillo de acero, el cual debe pasar libremente hasta el inserto.



**Fig. 4.1.8 Unión entre dovelas contiguas**

La unión entre anillos es también por insertos, utilizando el sistema de unión Berlín con tornillos bicéfalo que permite la unión por medio de presión sin necesidad de atornillar.



**Fig. 4.1.9 Unión entre anillos por medio del sistema Berlín con tornillos bicéfalo**

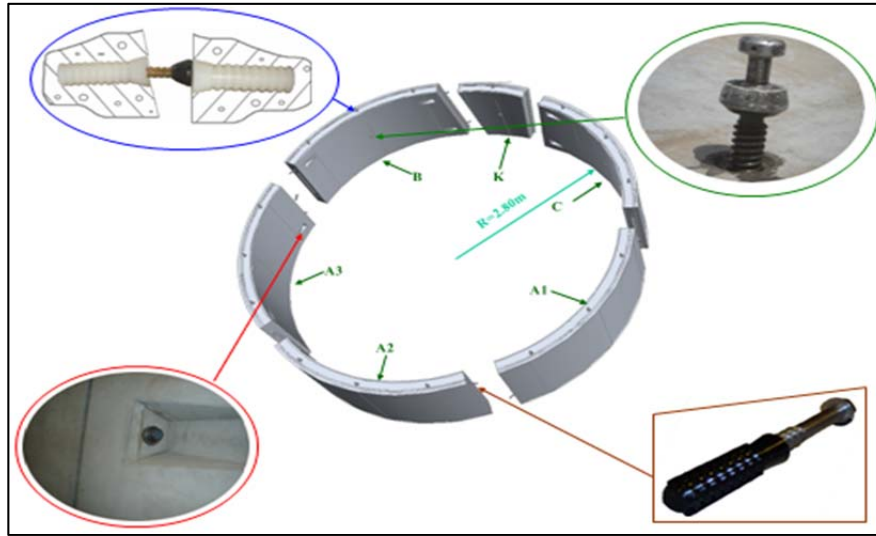


Fig. 4.1.10 Conectores para armado de dovelas y anillos

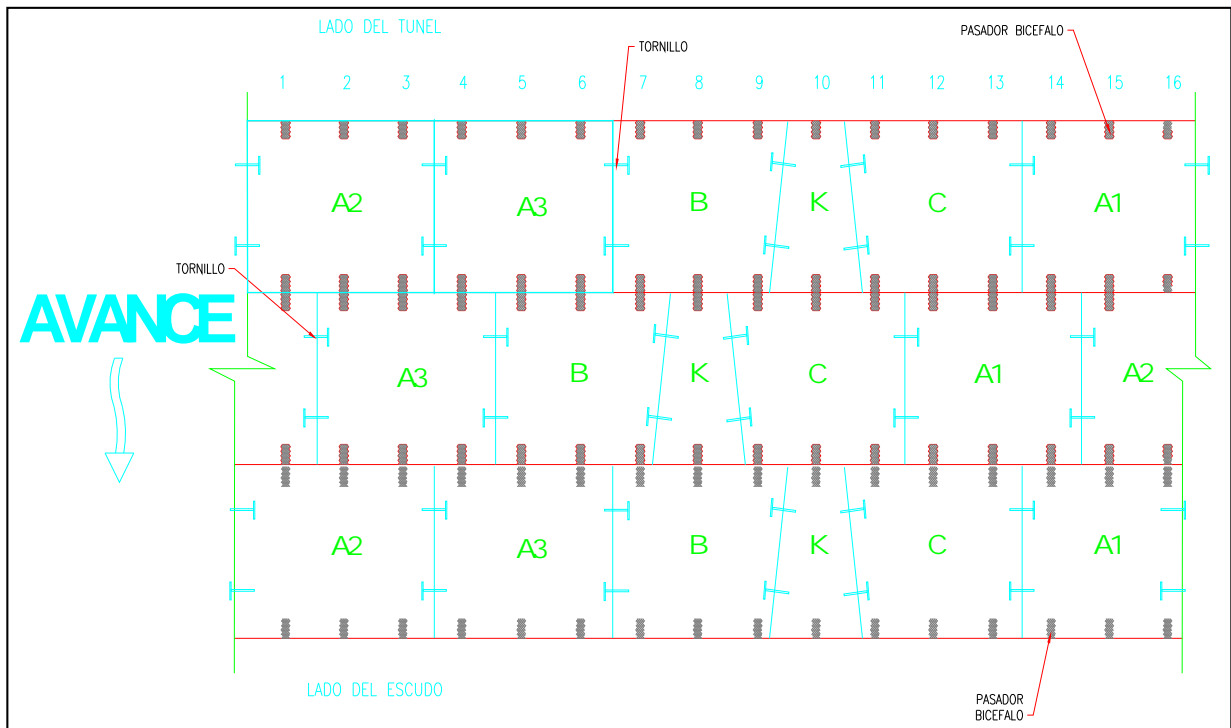


Fig. 4.1.11 Conectores para armado de dovelas y anillos.



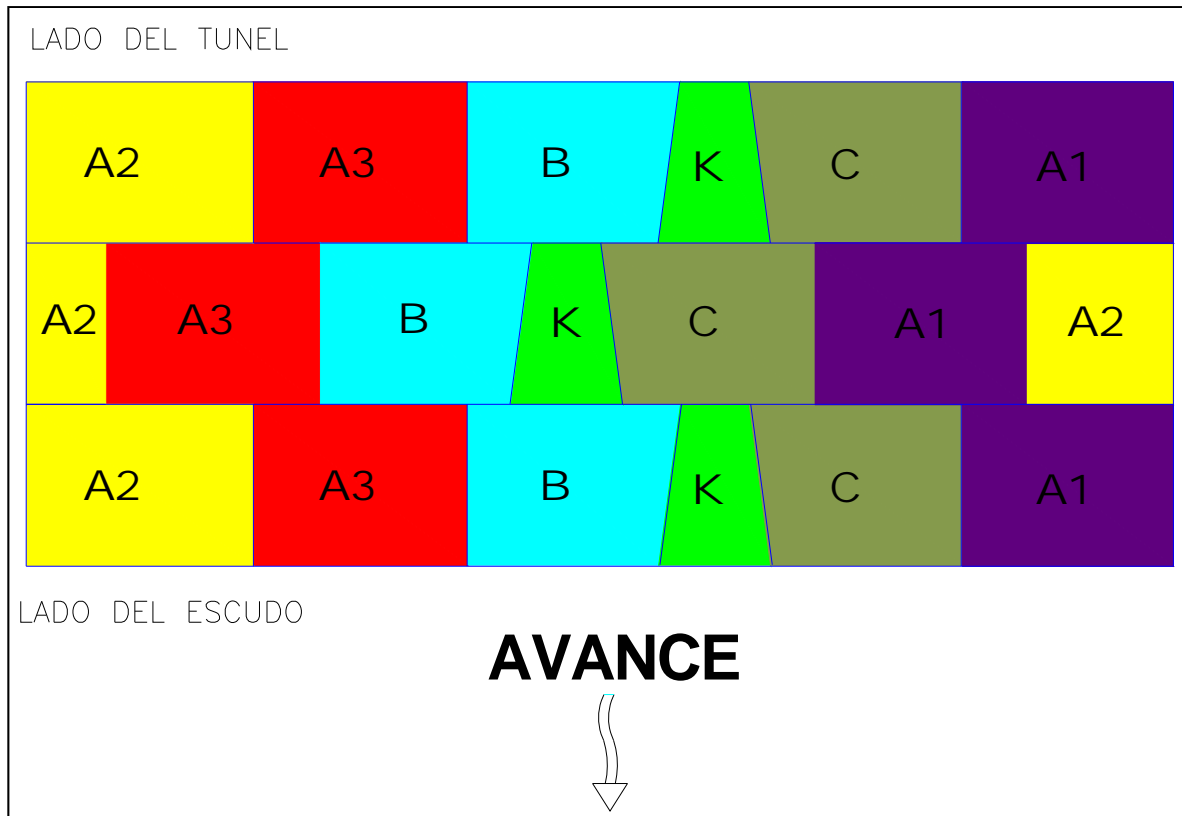


Fig. 4.1.12 Conectores para armado de dovelas y anillos.

Los trabajos del revestimiento primario inician cuando se tienen los primeros metros excavados, el proceso de montaje o colocación de las dovelas comienza con la maniobra de bajada hasta el portal de entrada del túnel, de donde son transportadas hasta el lugar de su colocación, aquí es importante mantener el orden adecuado en la llegada de dovelas al erector ya que se debe respetar la serie de montaje, de ahí la importancia de tenerlas identificadas para bajarlas en el orden correcto.

El orden de colocación de los segmentos del anillo es alternando las piezas una a la derecha y una a la izquierda de esa manera hasta llegar a la colocación de la última pieza la “K”, la figura 4.1.11 muestra las dovelas una vez colocadas.

El proceso de colocación se lleva a cabo mediante un brazo erector, como se ha mencionado anteriormente, integrado dentro del escudo el cual se encarga de

levantar la dovela mediante un perno o tornillo con la capacidad de soporte de la pieza, este perno se inserta en una rosca dejada para esa función en el centro del elemento llevándolo a la posición que le corresponda, una vez que se cuenta con las piezas al alcance del erector inicia el ciclo para el armado de los anillos, el proceso consiste en lo siguiente:

1. Se retraen los gatos necesarios para liberar espacio y poder colocar la dovela del siguiente anillo.
2. El erector coloca la dovela en el lugar previamente liberado, dependiendo de su posición se apoya uno o dos gatos sobre la dovela colocada para liberar el brazo y se dirige hacia la siguiente pieza a colocar.
3. Ya con la pieza lista en el erector nuevamente se retraen los gatos para poder colocar la segunda dovela misma que se monta en la zona liberada.
4. Se hacen coincidir los orificios del tornillo que une ambas dovelas y se atornillan.

Esta secuencia continúa hasta colocar la pieza “k” que completa el anillo, este ciclo se mantiene durante todo el proceso del revestimiento primario.



**Fig. 4.1.13 Suministro de Dovelas al escudo**



**Fig. 4.1.14 Culminación de un tramo de revestimiento primario (dovelas de concreto)**

Conforme se avanza en la colocación de los anillos se requiere de una inyección a través de preparaciones que se dejan para este propósito en la clave del anillo, tal inyección es a base de mortero y bentonita, con la finalidad de rellenar los espacios anulares y limitar los asentamientos del terreno (efecto autonivelante) que quedan entre las dovelas y el terreno al liberar el faldón del escudo, la inyección también ayuda a impermeabilizar el túnel.

Es de esta manera se desarrollan los trabajos del revestimiento primario en cada tramo para finalmente y se da inicio al desmantelamiento de las instalaciones de la excavación y revestimiento primario, así como la limpieza del tramo para iniciar con los trabajos para el revestimiento definitivo.



## 4.2 REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento definitivo es la etapa final en el proceso de construcción de un túnel, consiste en la colocación de concreto armado o simple utilizando cimbras u otro sistema manual o mecánico, el cual constituye una protección adicional al túnel.

Para el caso de estudio, el revestimiento definitivo es construido sobre el primario a base de dovelas, entre las funciones más importantes del revestimiento definitivo está la de incrementar la resistencia del túnel a los esfuerzos que le provoca el terreno, así como la de proteger al túnel contra las acciones nocivas que le provocan las aguas residuales, más aún si se trata de terrenos lacustres, por otro lado minimiza las deformaciones que se pudieran presentar debido a las cargas que se manifestaran por la sección de la estructura.

Durante los trabajos previos al revestimiento se hacen las instalaciones en superficie y dentro del túnel para la ejecución de los trabajos en el frente, estos primeros trabajos comprenden las siguientes actividades:

- ❖ suministro de energía eléctrica
- ❖ iluminación
- ❖ comunicación
- ❖ talleres de soldadura, carpintería, electricidad y mecánicos,
- ❖ áreas de habilitado del acero de refuerzo.
- ❖ oficinas, almacén, cuarto de residuos peligrosos.

La primera etapa en los trabajos del revestimiento definitivo consiste en la colocación del acero de refuerzo, para lo cual es necesario el desmantelamiento del tramo, retiro de las instalaciones utilizadas durante los trabajos de excavación del tramo y que no son útiles para el revestimiento definitivo.

Una vez terminadas las actividades de desmantelamiento, se inician con los de limpieza, retirando toda la rezaga hasta dejar en condiciones óptimas para iniciar con el armado.

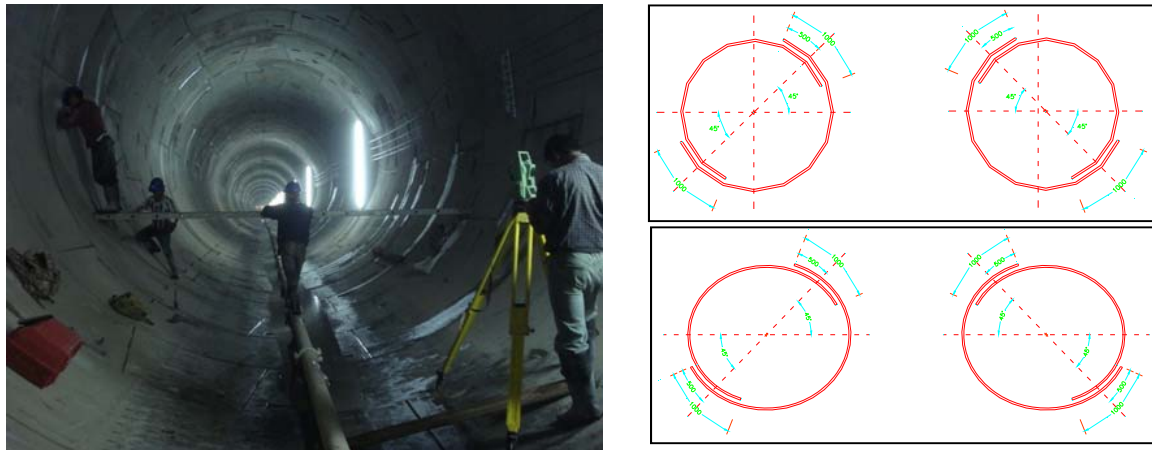


**Fig. 4.2.1 Desmantelamiento y limpieza para iniciar los trabajos del revestimiento definitivo.**

Concluida la limpieza del tramo y con las instalaciones necesarias preparadas, tales como iluminación y tendido de líneas de corriente de alto voltaje se inician los trabajos en el frente.

El primer paso es el trazo para colocación del acero que efectúa la topografía, en donde se especifica la distancia que se deben tener del paño interior de la dovela al acero tanto vertical como horizontal y apegarse a lo especifica en los planos, esta actividad se muestra en la Fig.4.2.2

Para el caso de estudio, el armado del revestimiento definitivo a lo largo del túnel se efectúa en dos secciones, como se verá más adelante, empleando varilla corrugada grado 42, a cada 0.15 m tanto longitudinal como anular, con traslapes de 1 m para la sección uno y de 0.8 m en la sección dos, en dos lechos, el primero con un diámetro de 5.5 m (lecho exterior) y el segundo con diámetro de 5.10 m (lecho interior).



**Fig. 4.2.2 Trazo para armado del acero**

El armado se realiza conforme a las especificaciones del proyecto, consta de dos secciones como se menciono anteriormente, difiriendo en el calibre del acero y la longitud del armado de cada sección, teniéndose así:

En la sección 1, acero del #8 (1”), en una longitud de 12 m colocado en los extremos de cada tramo, es decir para los primeros 12 m a la entrada de cada lumbrera y 12 m antes de la llegada a la siguiente lumbrera (ya que requiere mayor resistencia a los esfuerzos en esa zona que en el resto del desarrollo del túnel).

Para la sección 2, es el armado en el resto del túnel exceptuando los extremos de cada tramo. el acero mantiene las mismas características de fluencia y separación, únicamente cambia el calibre del acero al #6 (3/4”), tanto longitudinal como anular, las secciones tipo 1 y 2 del armado, así como los arreglos del acero según su sección se muestran en la figura 4.2.3.

La primera actividad del armado para el revestimiento definitivo consiste en llevar el acero habilitado a la zona de colocación, el cual se deja cerca de la lumbrera para que se estrobe y baje al fondo de la lumbrera, por medio de



atados, también se toma en cuenta que conforme se avance en los trabajos será necesario acarrearlo dentro del túnel a una distancia mayor, con el fin de que no se vea afectado el rendimiento en la colocación del acero esta actividad se realiza mediante un tractor agrícola o un minicargador y una plataforma habilitada especialmente para este fin, la descarga del acero se hace manual lo más cerca posible del lugar de colocación depositándola en la cubeta del túnel.

Ya con el acero próximo al lugar de colocación, el tramo limpio y libre de materiales sueltos y los trazos listos se inicia el armado del acero de refuerzo, para ambas secciones el procedimiento de colocación es similar.

El primer lecho del armado tiene un radio promedio de 2.75 m. el acero longitudinal es de 12 m con traslapes de 1 m. con el acero de la sección 2, para el acero anular se utilizaron cerchas en combinaciones de 12.00 y 7.30 m, en el primer corte se colocaban una cercha de 12 m con una de 7.30 m y en el siguiente corte cambiaba y se colocaba primero la de 7.30 m y después la de 12 m.

El segundo lecho tenía un radio de 2.55 m, el acero longitudinal de 12 m y se traslapo un metro con el de la sección 2, para el acero anular, el perímetro es de 16.02 m la combinación usada es una cercha de 12 m con una de 6.20 m en un primer corte y en el siguiente corte se colocaba primero una de 6.20 m y posteriormente la de 12 m.

Para la sujeción y colocación del acero se utilizaron guías en cuatro puntos de la sección transversal, así como anclas y silletas que aseguraban la separación entre ambos lechos, además ayudan a evitar cualquier desplazamiento durante el proceso de colado y lograr un buen recubrimiento que de cumplimiento al proyecto.



La sección dos es armada con acero del No.6 (3/4") con separación longitudinal y anular como la de sección 1 a cada 0.15 m, así como el radio exterior e interior de 2.75 y 2.55 m respectivamente para esta sección los traslapes son de 0.8 m.

Con estos datos se calcularon las longitudes de las cerchas para el acero anular de cada lecho, obteniéndose las siguientes longitudes:

El Primer lecho de la sección dos se armo con dos tipos de cerchas, una de 12 m y una de 6.88 m que al sumarlas resulta un perímetro de 18.88 m y restando dos traslapes de 0.8 m se tiene 17.28 m que corresponde al perímetro del primer lecho.

El segundo lecho, de radio 2.55 m tiene un perímetro de 16.02 m para lo cual se emplean dos cerchas una de 12 m. y otra de 5.62 m. con traslapes de 0.8 m.

Al momento de terminar con los trabajos de armado del acero se debe despejar todos los residuos sueltos y dejar limpio el tramo para poder estar en condiciones de iniciar con el colado de dicho tramo.



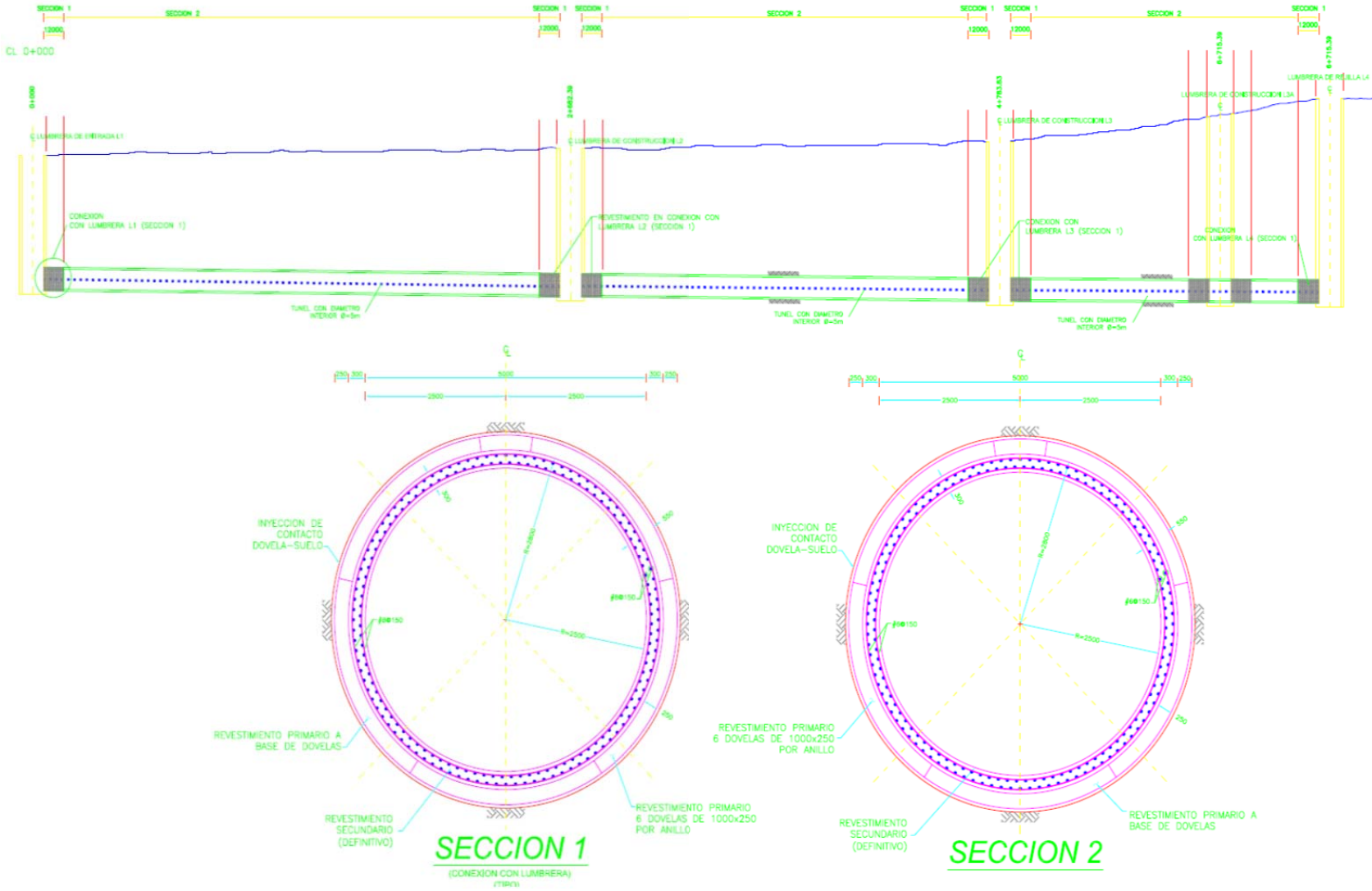


Fig. 4.2.3 Secciones para el armado del revestimiento definitivo

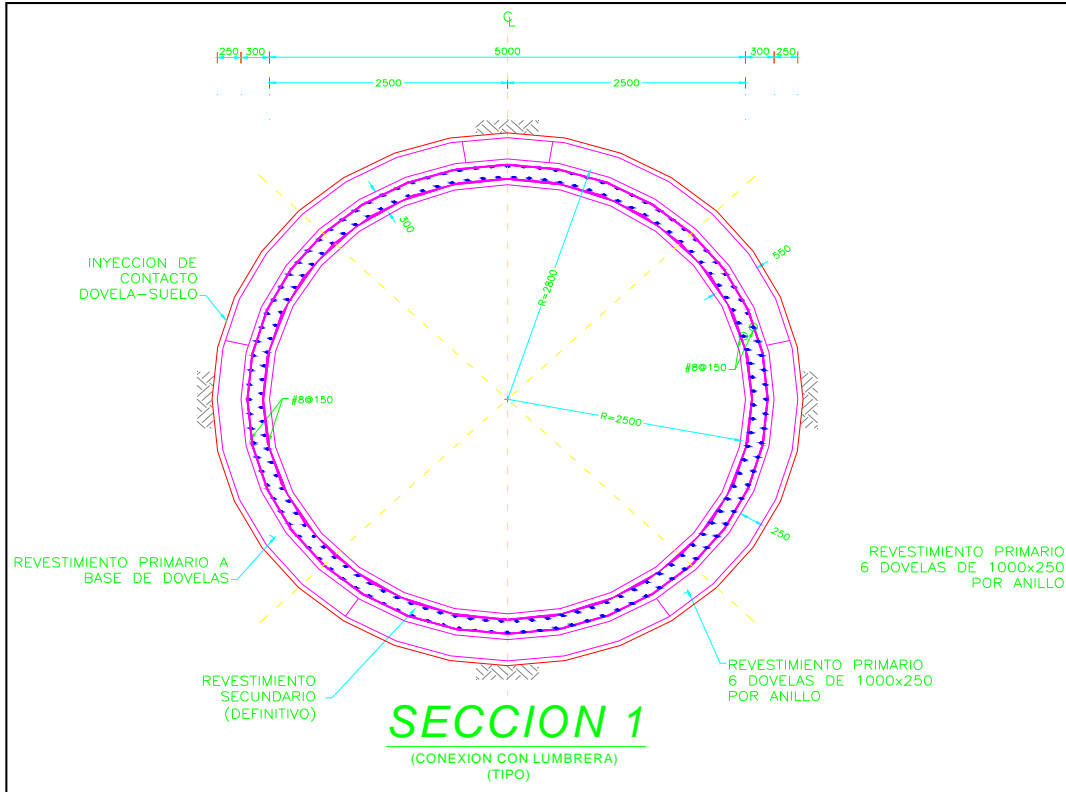


Fig. 4.2.4 Armado de la sección 1 del revestimiento definitivo con acero No.8

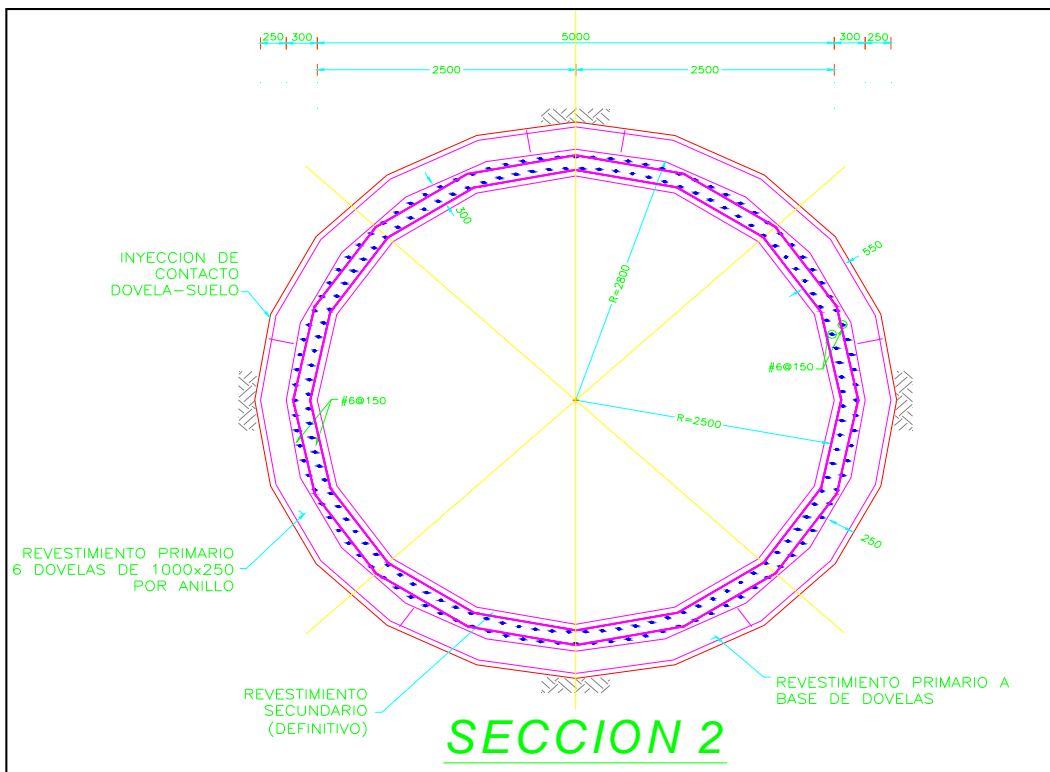


Fig. 4.2.5 Armado de la sección 2 del revestimiento definitivo con acero No.8

**PRIMER LECHO**

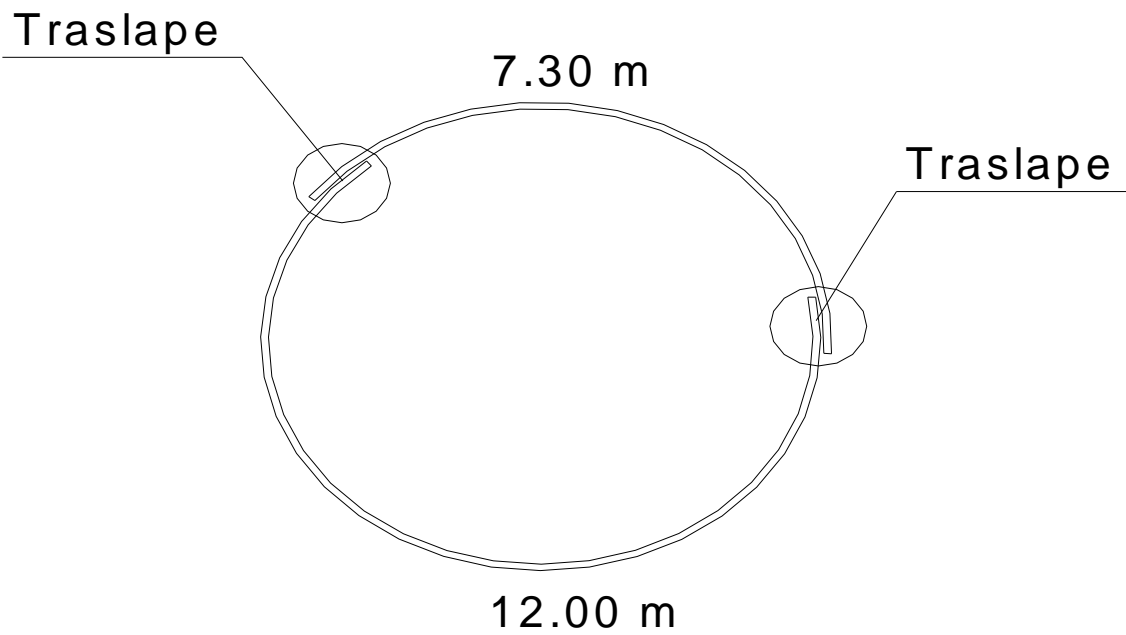


Fig. 4.2.6 Primer corte, armado del primer lecho

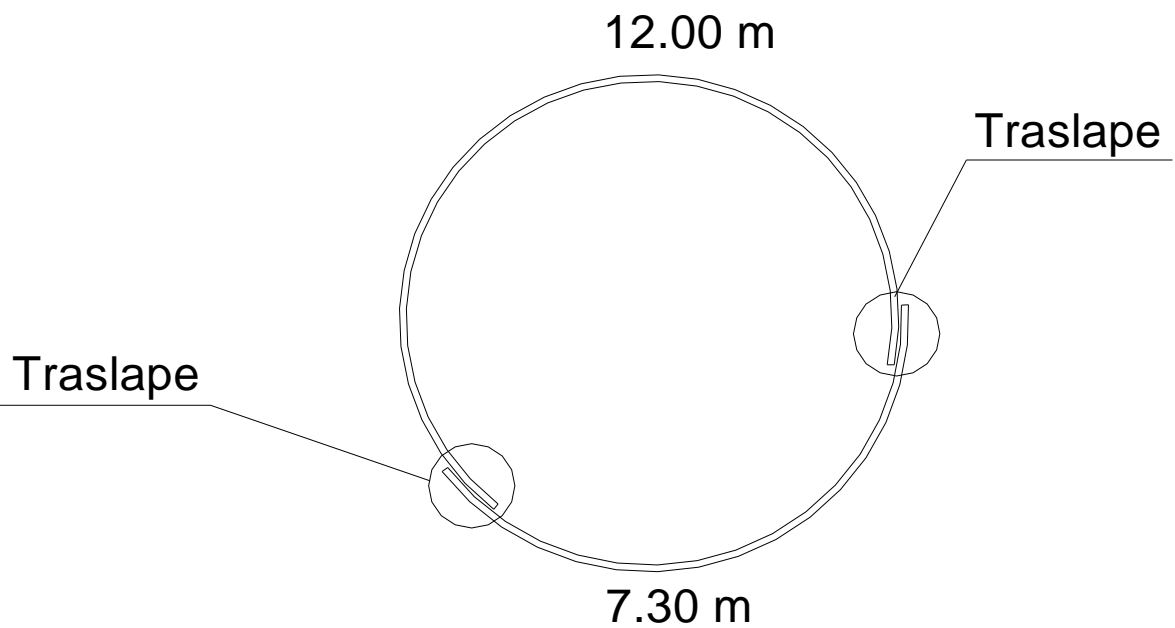


Fig. 4.2.7 Segundo corte, armado del primer lecho

### SEGUNDO LECHO

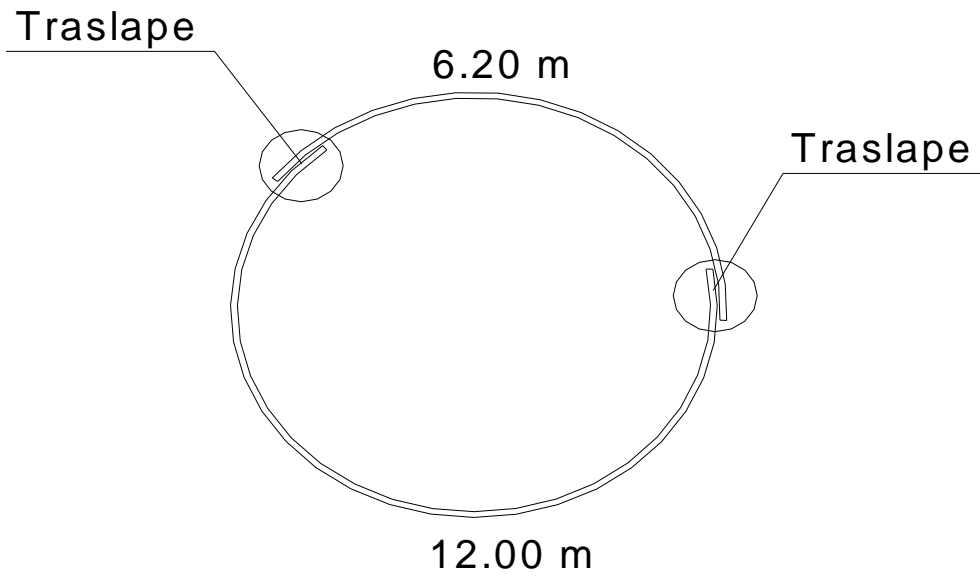


Fig. 4.2.8 Primer corte, armado del segundo lecho

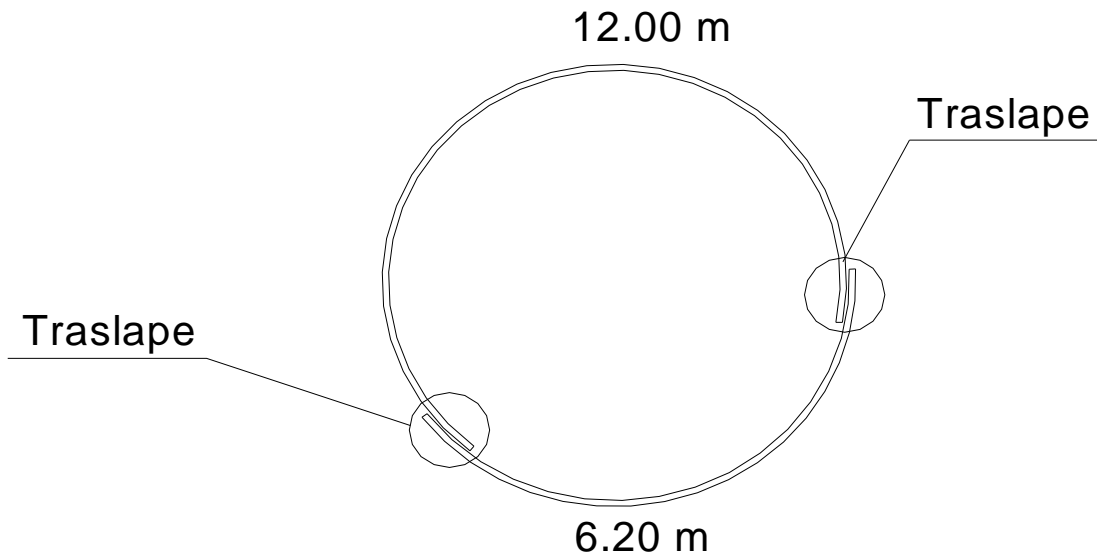
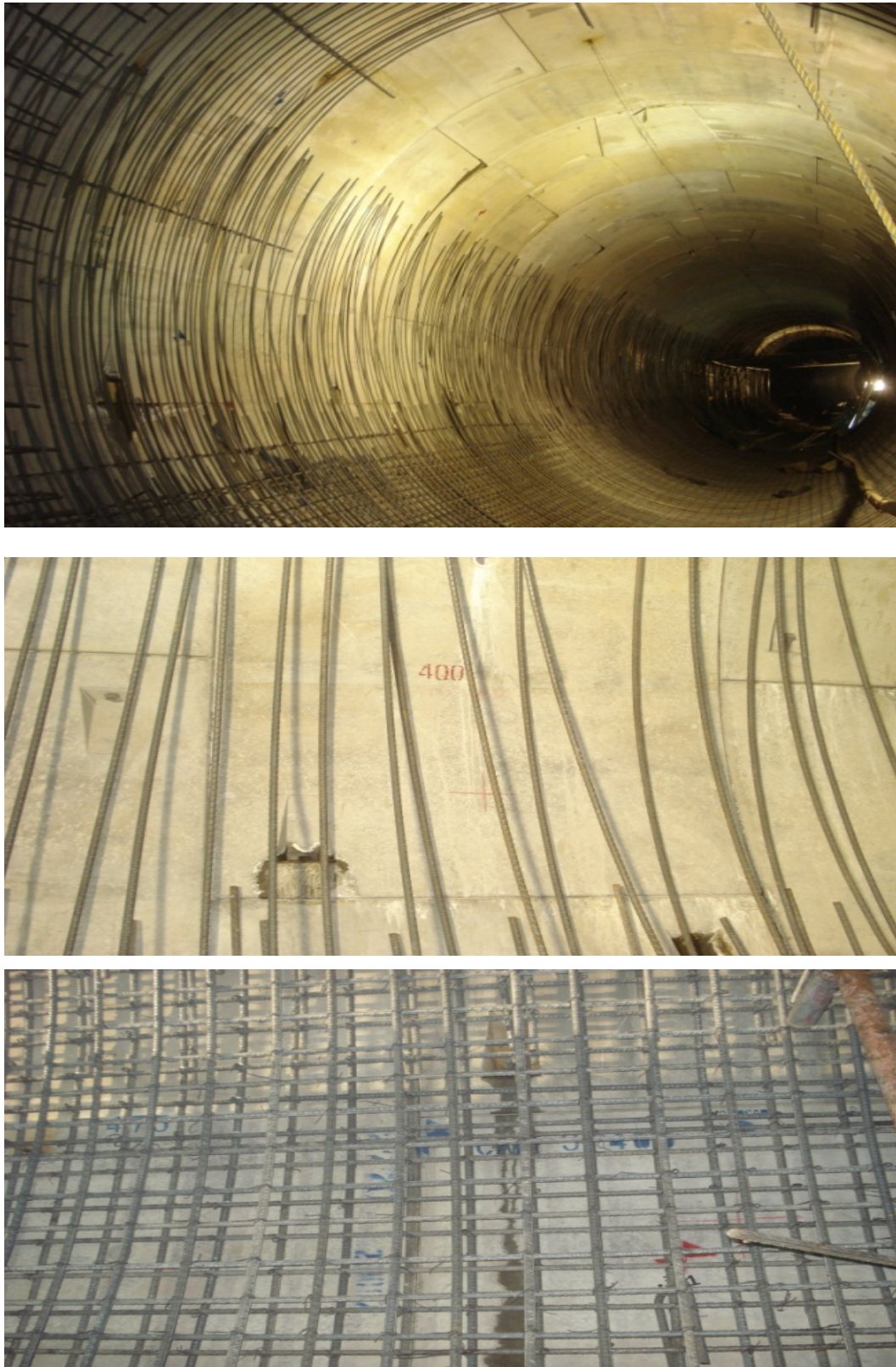


Fig. 4.2.9 Segundo corte, armado del segundo lecho



**Fig. 4.2.10 Armado para la primer sección del túnel con acero No. 8**



Al contarse con un tramo armado de acero al 100% cuya longitud sea apropiada (aprox.60m para colados de 45 ml y 50 m para los colados de 36 ml), se inician los preparativos para el colado de dicho tramo, cada colado debe ser aprobado por la supervisión, para ello se elabora una liberación del tramo a colar en el que se informaba la longitud que se liberara para el colado, definida por el cadenamamiento inicial y final del tramo, la supervisión verifica en el frente que se cumpla con las especificaciones del proyecto y condiciones adecuadas en el sitio tales como iluminación, comunicación adecuada hacia la superficie y limpieza del tramo, en cuanto a las especificaciones de proyecto; en el concreto es por medio del laboratorio; en donde la supervisión verifica que la dosificación de los materiales proporcionara la resistencia del proyecto, tipo de cemento, TMA, humedad de los materiales, etc., en el armado del acero verificaban tipo de sección, separación del acero y amarres adicionalmente se verifica que el tapón de madera esté listo para contener el empuje del concreto. Si se cumplían con la normatividad se firmaba dicha liberación y era posible dar inicio al colado.

La colocación del concreto se realizo de dos formas, en una se utilizo cimbra metálica telescópica con lo cual se ejecuto gran parte de los colados en el túnel, el segundo procedimiento consistía en la colocación de concreto lanzado por vía húmeda para clave y muros del túnel, completándose la sección con la colocación de concreto en la cubeta como se verá más adelante.

Los métodos anteriores requirieron la instalación tanto de la bomba para concreto como de las líneas para el suministro de concreto y aire comprimido hacia el interior del túnel este último utilizado tanto para la limpieza y achique de agua así como para el funcionamiento de los vibradores neumáticos de la cimbra metálica y el funcionamiento de la lanzadora, la instalación de la líneas para concreto y aire se hacían en la superficie y seguían sobre las paredes de cada lumbreras, también se colaban estas tuberías por los pozos auxiliares que



ayudaban a acortar la distancia de bombeo permitiendo que se esforzara menos la bomba y agilizando el tiempo de duración del colado y disminuyendo la probabilidad de que exista un tapón de concreto que complicaría la terminación del colado.

En el procedimiento de colado con cimbra metálica se verificó topográficamente las dimensiones de la misma, además de que se contara con todos sus accesorios y que funcionaran adecuadamente todos sus componentes, el envío a obra se hace de acuerdo al orden de armado, ya que en ese orden se bajó al túnel.

En obra ya se contaba con toda la herramienta para el ensamble y armado de la cimbra en fondo de lumbrera, así mismo se debía contar con la alimentación eléctrica para conectar el sistema de traslado (Transportador o Jumbo) y poder armar los módulos de la cimbra, por lo que se requerían los planos de ensamble de la cimbra y accesorios para suministro de: aire, vibrado e iluminación.

A medida que se bajó la cimbra se fue armando en la plataforma del fondo de lumbrera habilitada con durmientes y rieles para poder ingresar al túnel la cimbra, las actividades son las siguientes:



- ❖ Sobre la plataforma de recepción de la cimbra se arman dos secciones de cubeta, para poder recibir el Jumbo Transportador.
- ❖ Armadas las dos cubetas se baja y ensambla el jumbo transportador con todos sus accesorios, sistema electrohidráulico y gatos de descimbre.
- ❖ Con el Jumbo Transportador funcionando se continúa bajando el resto de las cubetas y trasladan al interior del túnel.
- ❖ Armadas las cubetas en el interior del túnel, se bajan las secciones de clave y laterales para completar los módulos e ir trasladándolos a su posición en cada cubeta.
- ❖ Finalmente, una vez armada la cimbra, se trasladara a la posición de inicio del colado, es importante mencionar que en la entrada y salida de cada lumbrera se tiene que dejar un tramo de aproximadamente 80 cm sin colar con la finalidad de anclar a ese acero las traveses de borde que fijarían al revestimiento definitivo con el muro de la lumbrera.

Terminados los trabajos de armado de la cimbra en el fondo de la lumbrera se inicia el traslado al sitio del colado alineando y nivelando cada uno de los módulos en cada movimiento con la finalidad de permitir el movimiento del transportador.

Mientras se realizan los trabajos de descenso y traslado de la cimbra, en superficie se determina la ubicación de la bomba de colado, orientándola en la dirección de suministro del concreto, una vez ubicada la bomba se procede a realizar los preparativos para construir el atraque que servirá como base de apoyo de la tubería (tubería de 5" de diámetro de alta resistencia HD) que le ayudaba soportar los empujes que le transmitía la bomba cuando esta trabajaba, dicho atraque se calculada para poder soportar presiones del concreto superiores a 120 bar.





**Fig. 4.2.11 Bomba para transporte de concreto al sitio de colocación**

Una vez colocado el atraque o también conocido como muerto, se instala la tubería de la salida de la bomba al muerto, hasta el punto donde se tiene un cambio de dirección por medio de un codo de diámetro largo (radio de 1.00 m) hacia el fondo de la lumbrera. La colocación y sujeción de la tubería desde la superficie hasta el fondo de la lumbrera se realizaba por medio de abrazaderas sujetas al muro de la lumbrera, en la parte inferior se instaló un distribuidor de concreto tipo guillotina con un sistema electrohidráulico, éste permite sacar la línea de tubería de forma horizontal hacia el túnel y cimbra telescópica.

A lo largo del túnel, conforme se avanzaba en los colados se requería de ir acoplado más tubería (lo que incrementa la longitud de la línea) para concreto la cual se apoyaba en la superficie de la cubeta, es importante contar con tuberías bien fijadas y con uniones rígidas que eviten se giren durante el desarrollo del transporte del concreto.

Para el suministro de aire se empleó tubería de 3" de acero la cual se tenía conectada a un tanque de almacenamiento ubicado en la superficie de donde se suministraba el aire necesario para los colados, a la vez este tanque era abastecido por un compresor portátil de capacidad adecuada.



**Fig. 4.2.12 Tramo revestido con un espesor de 30 cm**

Debido a las inclemencias del tiempo por lluvia en ocasiones en el fondo de las lumbreras se tenía un acumulamiento de agua, la cual era desalojada por medio de bombas de agua de diafragma neumáticas a las cuales se les suministraba el aire por la misma tubería ya que se contaba con distribuidores que permitían elegir donde suministrar el aire.

Previo a la llegada de la cimbra a la zona del primer colado se realizaba una limpieza en el armado con aire comprimido para desalojar los residuos que quedaron durante el proceso de armado del acero dejando de esta manera el tramo limpio.

Ya con la cimbra en el lugar de colocación se aplica una capa de desmoldante a cada modulo y se está en condiciones de proceder con la colocación de los módulos de la cimbra.

El siguiente paso consiste en la colocación y nivelación de la cimbra lo cual se hace con ayuda de la topografía quienes se encargan de alinear y nivelar los módulos, considerando la posición de las secciones del túnel tanto en sentido vertical como horizontal, verifican también los espesores y separaciones del



acero de refuerzo, el posicionamiento y nivelación se controlaba con el sistema de pernos de fijación comúnmente llamados “piernas” las cuales están distribuidas en las secciones de cubeta, laterales y la clave, de tal forma que estas garantizarán la rigidez necesaria en la cimbra para evitar desplazamientos durante el proceso de colado, una vez nivelada la cubeta se colocaba el resto de los componentes del modulo (paredes laterales y clave) con lo cual se concluye la etapa de colocación de la cimbra e iniciar con la siguiente fase.

Concluido el posicionamiento y nivelación de la cimbra se iniciaba con la colocación de los tapones ya sea el frontal o el posterior dependiendo del caso, el tapón se hacía de madera y se reforzaba con acero soldado a la cimbra proporcionando mayor resistencia a la presión que ejercía el concreto durante su ascenso dentro de la cimbra y finalmente se calafateaba, para cada inicio de colado, esto es, cuando se cruzaba una lumbrera se utilizaban dos tapones uno aguas arriba y uno aguas abajo, siendo la única ocasión en la que se colaban cinco módulos, ya que para los colados consecutivos se quedaba un modulo de tapón y los cuatro restantes se movían para el siguiente colado.

A la vez que los carpinteros colocaban el o los tapones (según se requiriera), los maniobristas efectúan la conexión de la línea de colado que provenía desde la superficie, donde los bomberos hacían las conexiones de la línea con la bomba y los preparativos necesarios tales como la pruebas de la bomba y la línea de colado, asegurándose de esta manera que la tubería está libre de cualquier obstrucción, para lo cual utilizaban lo que conocen como “diablo” que consiste en un tapón de caucho que tiene el diámetro de la tubería, utilizado para la limpieza interna de la línea de colado, la pruebas consistía en llenar la tolva y la línea de tubería con agua, posteriormente se coloca el tapón o diablo al inicio de la línea de colado en la superficie, posteriormente se coloca a la boquilla que está conectada a el aire, se coloca la brida y se despeja el área dentro de túnel y se abre el aire para que el pistón de plástico salga cerca de la cimbra.



Posteriormente es regresado a superficie solo usando aire comprimido, una vez verificado que tanto la bomba como la tubería funcionan correctamente se inicia la conexión de la línea de colado con el snorkel, que es el que se encarga de inyectar el concreto hacia la cimbra, en esta etapa también se fijaban los vibradores de pared en el primer modulo donde se iniciará el colado, éstos deben estar equipados para poder retirar y ensamblar en sus base de forma rápida, por medio de tornillería que además garanticen su fijación durante el proceso de vibrado y se pueda quitar fácilmente.

Finalmente se verifica que las líneas de suministro de aire se encuentren conectadas en cada modulo ya que estas permitirán el funcionamiento de los vibradores que van sujetos en las paredes de la cimbra e irán conectando a los distribuidores de aire, existentes en cada sección de la cimbra, es entonces cuando se está en condiciones de iniciar el colado.

Cada colado se inicia con la solicitud de mortero y concreto, la función del mortero es impregnar las paredes de la tubería y que el concreto no perdiera humedad al pasar por ella, el volumen de mortero debe ser cuando menos el 20% del volumen total estimado de la tubería por utilizar, cada tubo para concreto de 5" de diámetro y 3m de longitud almacenaba 0.04 m<sup>3</sup> que al multiplicar por el número de tubos que tiene la línea daba el volumen de concreto en dicha línea, por otro lado para un colado de 5 módulos (45 ml) se empleaban 225 m<sup>3</sup> aproximadamente y para el más común de 4 módulos (36 ml) se utilizaba un volumen de 180 m<sup>3</sup> aprox.

Cuando han llegado las dos primeras ollas, una con el mortero y la otra con el concreto a la obra, se verifica la documentación donde se especifica que se envía (concreto o mortero) así como sus características (agregados, tipo de cemento y revenimiento solicitado, etc.), volumen enviado y hora de salida de la planta.



Revisada la documentación se verifica por parte del laboratorio que se cumple con el revenimiento solicitado y por lo tanto con la fluidez y trabajabilidad necesarias para ser bombeado a la distancia requerida.

Ya que la prueba de revenimiento del concreto fue satisfactoria se inicia con el bombeo del mortero hasta que sale en la punta de la línea, al concluir el bombeo de mortero se inicia el vaciado de la primer olla y se da un seguimiento del avance del concreto bombeado a través de las líneas de colado por medio de sonidos de percusión (golpeando la tubería), hasta llegar a el distribuidor del concreto (snorkel) el cual conduce al concreto hasta su vaciado directo a través de las ventanas localizada en los laterales o las boquillas de la cimbra localizadas en la clave de esta.

Normalizado el bombeo del concreto, se confirma que la trabajabilidad sea la adecuada en el frente de colocación ya que de esto depende que no se tenga problemas durante el colado. El concreto se pedía a la planta en intervalos de 20 a 30 min. Aproximadamente, sin embargo dependía de la distancia a la que se encontraba la planta del lugar donde se llevaba a cabo la actividad y de los imprevistos que se pudieran presentar ya sea en la bomba, en la línea de conducción o el esnorkel.

En el interior del túnel la colocación del concreto se iniciaba cuando llegaba al esnorkel, elemento que se encargaba de la colocación ya sea por las ventanillas o las boquillas de la cimbra, el llenado de la cimbra se hacía en el sentido de avance de los colados, en primer lugar el concreto se suministraba por las ventanillas y se arrancaba el sistema de vibrado en la zona de cubetas, cuidándose que el nivel del concreto se encuentre por debajo de las ventanas y poco antes de llegar al nivel de estas se cerraban, entonces se hacía una pausa en el bombeo de concreto (las pausas en el bombeo se realizaba cada que se cambiaba de boquilla y se colocaba un tubo más), entonces el esnorkel se



giraba hacia la boquilla de la cimbra por donde se daba continuidad al colado y se arrancaba nuevamente los vibradores que aseguraban una mejor compactación del concreto, esta actividad se repitió para las boquillas radiales de la cimbra y en todo momento se vigilaba el ascenso radial del concreto.

Conforme avanza el colado y se acerca al final del tramo cimbrado se debe verificar que el tapón de la cimbra no tenga problemas de movimiento o desplazamiento de las cuñas, para evitar problemas de pérdida o salida de concreto en forma precipitada, es por esta razón que los carpinteros se encontraban atentos para reforzar el tapón en caso necesario.

Cuando el concreto está a punto de llenar la cimbra se realizaba una inspección visual y por medio de percusiones para conocer hasta donde se encontraba el concreto y determinar cuánto se pedirá de ajuste, para ello se tomaba en cuenta el concreto que se alojaba en la tubería y así evitar tener acumulamiento de material dentro del túnel.

Una vez colocado el concreto correspondiente al ajuste se da por terminada la actividad, y se inicia el lavado de la tolva y de la tubería. Para la limpieza de la tubería se desacopla la bomba de la tubería, se coloca la pelota de esponja, el tapón limpiador y se vuelve a acoplar la bomba a la tubería, posteriormente se llena la tolva con agua y se bombea hasta que sale en el frente de colado y se regresa por medio de aire hacia la superficie, quedando de esta manera limpia la línea de colado.

En cuanto el concreto inicia el fraguado se inicia el retiro del tapón de madera para escarificar la zona de contacto y exponer el agregado grueso en la junta de construcción con el siguiente colado proporcionando así la adherencia necesaria. Durante el desarrollo de las actividades anteriores se tiene la



precaución de estar aflojando los pernos de posicionamiento de todos los módulos para evitar problemas durante el descimbre.

Se debe tener especial cuidado en retirar y limpiar correctamente los vibradores de pared utilizados así como las boquillas de colado.

A la vez que se retira el tapón del último colado se inicia con la limpieza para colar el siguiente tramo de 36 ml (cuatro módulos), la limpieza se realiza por medio de aire a presión, quedando completamente libre de madera, alambre, varilla y todo aquello que afecte la calidad del concreto y su adherencia en el momento de la colocación.

Concluida la limpieza del siguiente tramo a colar se mantiene una secuencia de actividades bien definidas para continuar con el avance en la construcción del revestimiento definitivo, las cuales se mencionan a continuación:

1. Se verifica topográficamente que el armado cumple con las separaciones y espesores especificados en el proyecto.
2. El descimbre del primer modulo se realizara de 6 a 8 hrs. después de haber terminado el colado, para lo cual ya se abra retirado el tapón, el retiro de la cimbra iniciaba colapsando las secciones laterales y clave de la cimbra, recibándose directamente sobre el jumbo del transportador, posteriormente con el cantiléver y balancín se extrae los tableros correspondientes a la cubeta.
3. Una vez descimbrado el primer modulo se limpia perfectamente la superficie de contacto y se aplica el desmoldante.
4. Una vez aplicado el desmoldante en cada uno de los tableros del modulo se traslada hacia la zona de colocación correspondiente al siguiente colado, posicionando, nivelando y alineando



- topográficamente la cubeta del modulo, posteriormente se colocaran los laterales y clave, rectificando los espesores de recubrimiento.
5. Cuando se tenía presencia de curvas horizontales y/o verticales, los módulos presentaban una holgura entre ellos (discontinuidad), para solucionar esta situación y dar continuidad al cimbrado, la unión entre módulos se hacía por medio de cerchas de madera las cuales se calafateaban muy bien para evitar fuga de mortero y dar el acabado de proyecto.
  6. Para la colocación del resto de los módulos se repetirán cada uno de los pasos anteriores hasta el posicionamiento en el sitio correspondiente, finalmente se colocaba el tapón de cierre en el último módulo y de esta manera poder dar inicio a un nuevo colado.
  7. Finalmente el curado del concreto se realizó con aditivo, a partir de las ocho horas posteriores a su aplicación.

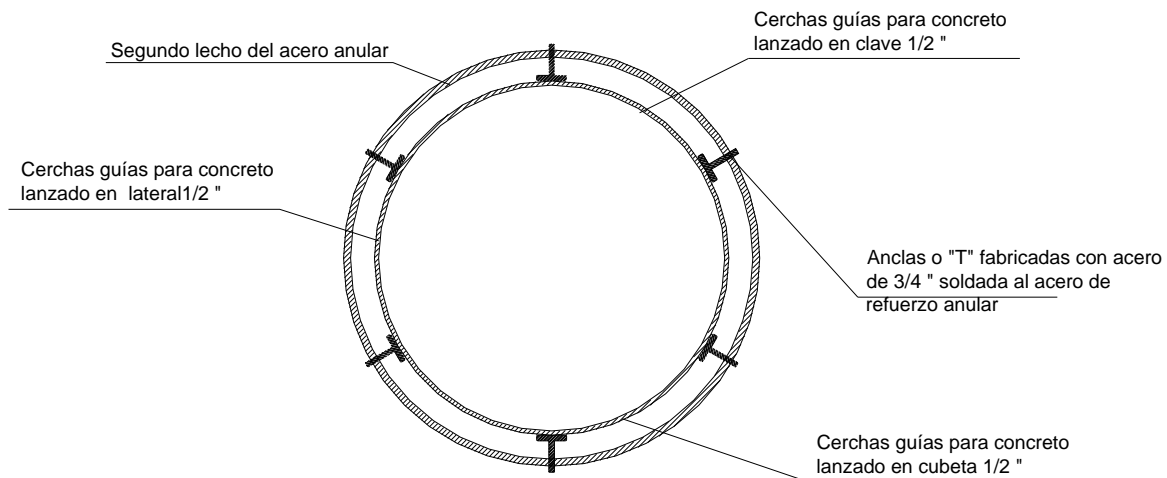
De esta forma se llevaron a cabo cada la colocación de concreto por medio de la cimbra telescópica, Sin embargo se tuvo la necesidad de aplicar otro procedimiento para el revestimiento definitivo, resuelto utilizando concreto lanzado vía húmeda.

Esta otra metodología empleada para el revestimiento definitivo fue la colocación de concreto lanzado, mediante el cual se revistieron las zonas Atípicas del túnel, entendiéndose como aquellas zonas que han presentado deformaciones excesivas en el revestimiento primario debido a la presencia de grietas de tensión por el mal comportamiento de los suelos blandos con problemas geológicos geotécnicos. Tales zonas previamente fueron reforzadas con marcos metálicos con diagonales para evitar el incremento de las deformaciones.



Anticipadamente se definieron las zonas de aplicación del procedimiento, iniciándose la colocación el acero de refuerzo de acuerdo a las especificaciones, la colocación se realizó en una sola etapa, colocando los dos lechos de acero de refuerzo, para así poder ir colocando capas de concreto lanzado hasta garantizar un espesor de 30 centímetros como esa especificado para el revestimiento definitivo

Concluida la colocación del acero de refuerzo se soldó a este de forma radial anclas fabricadas con acero de refuerzo del No. 6, las cuales fungirían como sujetadoras de las cerchas guías para dar los 30 cm de espesor del revestimiento que especificaba el proyecto, estas anclas se colocaron con la finalidad de garantizar el posicionamiento y fijación de las guías. Sobre estas anclas se amarraban las guías que consistían en cerchas también hechas de acero de refuerzo colocadas anularmente cada 1.5 m de longitud. Al final se colocaron tapones de madera que delimitaban la longitud a colar.



**Fig. 4.2.13. Colocación de anclas y cerchas (guías) para revestimiento con concreto lanzado**

Concluida la colocación de las anclas, se retirara todo el material suelto de la zona, y se hacían los preparativos necesarios para la colocación del concreto, se



verificaba que las líneas de suministro de concreto estén correctamente conectadas y en condiciones de funcionar adecuadamente.

Concluidas las actividades de armado, colocación de anclas y cerchas así como la limpieza y la instalación de la línea de conducción del concreto se está en condiciones de iniciar el colado de dicho tramo.

El procedimiento de colocación de concreto para revestimiento por medio mecánico, se efectuó en dos fases, en la primer fase se colocaba concreto en la zona de cubeta del túnel, (parte inferior del túnel) lo cual se hacía manualmente y con apoyándose en las guías para dar el espesor del recubrimiento de proyecto de 30 cm y posteriormente se hacía la colocación de concreto en los muros y clave del túnel por medio de concreto lanzado por vía húmeda.

Se iniciaba verificando que el equipo de lanzado contara con la instalación correcta de las líneas o mangueras para suministro de aditivo, de aire y que la boquilla este correctamente instalada, para dar inicio al lanzado.

El colado de la cubeta consiste en la colocación de concreto conforme este llega a la descarga de la línea de conducción sin el uso de cimbra de ningún tipo, el acomodo del concreto se hace por medio de palas con las que se da el espesor de proyecto y por medio de una llana dio el acabado final, la longitud transversal del colado de la cubeta correspondía aproximadamente de 4.5 m.

El procediendo consistió esencialmente de las siguientes actividades:

Liberada la zona de colado por la supervisión externa, se da inicio al colado de cubeta con concreto hidráulico  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>, de forma similar que en el procedimiento con cimbra telescópica, inicialmente se suministra el mortero suficiente de acuerdo a la longitud de la tubería que exista hasta el lugar de

colocación, tanto el mortero como el concreto fueron enviados por medio de una bomba para concreto.

El concreto mantuvo un ángulo de reposo de  $45^\circ$  respecto a los ejes del túnel (horizontal y vertical), con la finalidad de que con este ángulo, se garantice la buena colocación durante el proceso de colado

Ya que el concreto ha llegado al frente de colocación, los oficiales albañiles proceden a la colocación por medio de palas, dándole la forma curva correspondiente al acabado del túnel, apoyándose en las cerchas guías colocadas previamente, conforme se va avanzando en el frente se va desacoplando la tubería y retira del frente y se va limpiando



**Fig. 4.2.14. Colocación de concreto en zona de cubeta**

Simultáneamente a la colocación del concreto se realiza el vibrado de concreto con un vibrador neumático con el fin de garantizar que la compactación del concreto sea la correcta. Transcurridos de 2 a 3 horas antes de su fraguado inicial, se procede a darle el acabado final de la cubeta, con una llana metálica para lograr el pulido requerido por proyecto.



El revestimiento mediante concreto lanzado se realizaba posterior al colado de la cubeta, enseguida se definirá que es el concreto lanzado y cuál fue el procedimiento de colocación.

**Concreto lanzado.**- consiste en la proyección a gran velocidad por medio de aire comprimido sobre una superficie de concreto, mediante lo cual se adhiere y compacta por sí mismo, el concreto debe llegar con un revenimiento bajo para poder colocarlo adecuadamente y que permita la fijación en la superficie de aplicación.

En el revestimiento por medio de concreto lanzado se realizaron los mismos preparativos que para el colado de la cubeta en cuanto al suministro de concreto al frente, sin embargo en el lanzado se emplea una lanzadora para lo cual se requieren consideraciones diferentes.

Como toda maquinaria, se debe verificar que esté en condiciones de operación, lo cual se hace en superficie, donde se prueban todos los mecanismos verificando que estos funcionen adecuadamente, concluida la inspección y realizada la aprobación para poder usar el equipo se procede a trasladarlo hacia el frente de lanzado, iniciando con la maniobra de bajada hacia el fondo de la lumbrera y posteriormente se transita hasta la zona donde iniciara el lanzado.

Durante el lanzado es muy importante mantener una distancia adecuada entre la boquilla y la superficie, la cual se ajustaba a la velocidad de descarga para lograr un mínimo de rebote, en general la distancia se mantuvo dentro de los límites de 0.5 a 1.5 metros y la boquilla en dirección normal a la superficie por tratar, de esta manera se llevaron a cabo los trabajos de aplicación del concreto lanzado, en capas hasta completar el espesor de proyecto.

Al finalizar el lanzamiento se da un afine con palas tanto en las paredes como en la clave del túnel para dar el acabado, para lo cual se colocan andamios, el acabado se va realizando conforme se avanza en el lanzamiento.



**Fig. 4.2.15. Colocación de concreto lanzado**

Estos dos procedimientos en general son aplicados en el revestimiento definitivo de túneles para desalajo de agua residual, principalmente en suelos blandos, sin embargo siempre se debe hacer un correcto estudio de la estratigrafía sobre la cual se construirá la estructura para poder determinar el método de revestimiento a emplear.



## CONCLUSIONES

La construcción de obras para el desalojo de agua residual y pluvial son de gran importancia para la sociedad, puesto que ayudan a controlar las excedencias de agua en épocas de lluvias por un lado previniendo las inundaciones y con esto la presencia de enfermedades, pérdidas económicas que esto implica.

Con la construcción y puesta en marcha del túnel Río la Compañía se ayudó a mitigar los problemas como los ocurridos en años pasados en los que por la falta de infraestructura para la evacuación de los excedentes de agua pluvial se presentaron inundaciones, que afectaron fuertemente a las comunidades que habitan en las márgenes del río, además de una vía importante de acceso a la ciudad de México como es la autopista México Puebla.

En cuanto a la elección de los equipos y métodos para la construcción de túneles es importante conocer el tipo de suelo sobre el cual se construirá, ya que esto permitirá hacer la mejor elección en cuanto a los equipos que se emplearán para la construcción de la obra y los procedimientos más adecuados.

La planeación también toma un papel fundamental, como en cualquier tipo de obra, ya que de esta depende el cumplimiento de los plazos de ejecución de la obra, dentro de esta misma línea la importancia que tiene el ir adquiriendo los materiales con base en los rendimientos observados en campo para la adquisición de estos, sin que se tenga en exceso o que se retrasen los trabajos debido a que los suministros no se realizaron a tiempo en cualquiera de los dos casos resulta en perjuicio de la contratista.



## BIBLIografía

- ❖ Dirección General de Obras Hidráulicas. DGOH “Interceptores Profundos y El Emisor Central un nuevo sistema de drenaje para el Distrito Federal.”
- ❖ Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. DGCOH “Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México”.
- ❖ Enrique Tamez González, José Luis Rangel, Ernesto Holguín, TGC Geotecnia S.A de C.V., “Diseño Geotécnico de Túneles” México D.F. (1997)
- ❖ Comisión Federal de electricidad, “Seguridad en el Trabajo en la construcción de Túneles”.
- ❖ Herrenknecht Tunnelvortriebstechnik “Operating Manuals EPB” Alemania (2008).
- ❖ Túnel, S.A. de C.V. “Memoria Técnica de las Obras de Drenaje Profundo del Distrito Federal” Vol. 1 (2003).
- ❖ Túnel, S.A. de C.V. “Memoria Técnica de las Obras de Drenaje Profundo del Distrito Federal” Vol. 2 (2003).
- ❖ “Andrés A. Moreno y Fernández ”Construcción de lumbreras y túneles en suelos y rocas (2006).
- ❖ Raúl Bracamontes Jiménez, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. “Concreto Lanzado para Obras Subterráneas” México D.F. (2005).
- ❖ Tom Arild Melbye, “Sprayed concrete for rock support”. Suiza (1994).



## Sitios web.

- ❖ Universidad Nacional Autónoma de México [en Línea]  
<http://www.revista.unam.mx/vol.1/num2/proyec1/>.
- ❖ México desconocido [en Línea] Del desagüe del Valle de México al drenaje profundo. <http://www.mexicodesconocido.com.mx/del-desague-del-valle-de-mexico-al-drenaje-profundo.html>.
- ❖ Senado de la República Mexicana [en línea], Drenaje de la zona metropolitana de la Ciudad de México.  
[http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/df/content/materiales/docs/drenaje\\_ZMCM.pdf](http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/df/content/materiales/docs/drenaje_ZMCM.pdf).
- ❖ Cámara Mexicana de Industria de la Construcción, Hundimientos de la Cuenca.  
[www.cmic.org/mnsectores/agua/plantaElSalto/CMICMayo04.pdf](http://www.cmic.org/mnsectores/agua/plantaElSalto/CMICMayo04.pdf).