

2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

“EXCAVACION DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO CON ESCUDOS CORTADORES DE FRENTE PRESURIZADO ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

DAVID PELAEZ VENTURA

ASESOR:

ING. PASCUAL GARCIA CUEVAS

MÉXICO

1998

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

26 8414



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
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON
DIRECCION

DAVID PELAEZ VENTURA
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 31 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. PASCUAL GARCÍA CUEVAS pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "EXCAVACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MÉXICO CON ESCUDOS CORTADORES DE FRENTE PRESURIZADO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 6 de abril de 1998
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura del Area de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/IIa.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN
ÁREA DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA
P R E S E N T E .

Me dirijo a usted, para informarle que el C DAVID PELAEZ VENTURA pasante de la Carrera de Ingeniería Civil, con número de cuenta 8937067- ha terminado la elaboración de la tesis profesional titulada: Excavación del sistema de drenaje de la Ciudad de México con escudos cortadores de frente presurizado, a base de codos, de 6.24 mts. de diametro externo, propiedad del D.D.F. Lo que comunico a usted para los fines que se estime procedente.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., a 13 de MAYO 1998.

DIRECTOR DE TESIS

ING. PASCUAL GARCIA CUEVAS.

Vo. Bo.

ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ.

c.c.p. ING. MANUEL MARTÍNEZ ORTÍZ, Jefe del Depto. De Servicios Escolares
ING. IGNACIO E. HERNÁNDEZ QUINTO, Jefe del Área de Ingeniería Civil.
ING. MA. DE LOS ANGELES SÁNCHEZ CAMPOS, Secretaria Técnica. del
Área de Ingeniería Civil.
ASESOR DE TESIS
COMITÉ DE TESIS
INTERESADO

IEHQ*onc.

AGRADECIMIENTOS :

A MIS PADRES

ING. HERMENEGILDO Y JUANITA
POR HABERME FOMENTADO EL DESEO DE SUPERACIÓN
YA QUE GRACIAS A SU EJEMPLO Y SACRIFICIO
HE LLEGADO A CUMPLIR UNA DE LAS METAS
MÁS IMPORTANTES DE MI VIDA.

A MIS HERMANOS

FILADELFO, MÓNICA, LAURA Y SALVADOR
POR LA SINCERIDAD DE SU AFECTO Y COMPRENSIÓN.

A MI FAMILIA

CAROLINA Y JANETT
CUYA COMPRENSIÓN Y ESTIMULO CONTRIBUYERON GRANDEMENTE
A LA TERMINACIÓN DE ESTA META.

A MIS TIOS

POR EL APOYO Y SUS CONSEJOS
QUE SIEMPRE TOMARE EN CUENTA.

A MI ASESOR

POR SU ORIENTACIÓN Y APOYO
PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

A MIS AMIGOS

POR LOS MOMENTOS INOLVIDABLES Y SU SINCERA AMISTAD.

I N D I C E

T E M A S	PAGINA
I.- OBJETIVO.....	01
II.- ANTECEDENTES.....	01
III.- TRABAJOS PRELIMINARES.....	14
IV.- MEJORAMIENTO DEL TERRENO.....	24
V.- PORTAL DE SALIDA.....	26
VI.- TRABAJOS PREVIOS AL INICIO DE LA EXCAVACION.	32
VII.- EXCAVACION DEL TUNEL.....	34
VIII.- SISTEMA DE CIRCULACION DE LODOS.....	46
IX.- REVESTIMIENTO PRIMARIO.....	55
X.- INSTRUMENTACION.....	60
XI.- EXTRACCION, BAJADA Y GIRO DEL ESCUDO.....	65
XII.- INSTALACION EN TUNEL.....	67
XIII.- EQUIPO COMPLEMENTARIO.....	69
XIV.- CONTROL TOPOGRAFICO.....	73
XV.- CONCLUSIONES.....	75
XVI.- BIBLIOGRAFIA.....	80

INTRODUCCION

Hasta hace pocos años, los métodos convencionales para hacer túneles con escudo requerían el uso del aire comprimido y de sistemas de inyección química para la estabilización del frente, en terrenos arenosos la estabilidad del frente no puede ser controlada efectivamente esto resulta en graves hundimientos del terreno y en ocasiones en daños a estructuras cercanas, finalmente las condiciones de trabajo bajo aire comprimido reducen los rendimientos e incrementan los costos de construcción; la aplicación del método de inyección química en el frente son totalmente incosteables, por que son caros y no tienen una estabilización total del subsuelo.

Debido a que en la ciudad de México se encuentran los suelos más difíciles que podamos encontrar, fue necesario se que se desarrollaran otros métodos de excavación en los cuales ofrecieran buen avance, seguridad y aún costo razonable.

Surgiendo así la fabricación de escudos de frente cerrado y abierto, con diferentes tipos de usos, tamaños y tipos, quedandole la tarea al ingeniero e seleccionar el tipo de escudo a utilizar en la construcción de la obra asignada y de acuerdo a estudios de diseño, mecánica de suelos y proyectos de ejecución.

Existe una gran gama de estudios de los escudos de frente cerrado, por lo cual daré una breve explicación del escudo de frente cerrado con cámara de presurización, que fue el que se utilizó en la construcción del drenaje profundo de la Ciudad de México.

Como todos sabemos la problemática que presentan los suelos de la ciudad de México, estudios y métodos de construcción, dieron como resultado la

selección del escudo de frente presurizado para la construcción del sistema del drenaje profundo de la Ciudad de México.

Con la utilización de este escudo, se comprobó la eficacia de excavación del túnel en las arcillas antes descritas, ofreció las siguientes ventajas, seguridad absoluta, acabados de gran calidad limpieza en su construcción, seguridad al personal de ejecución, avances ventajosos y costos normales.

Finalmente podemos mencionar que en el costo particular de la ciudad de México, se ha desarrollado una amplia experiencia en la construcción en túneles en los suelos de la ciudad de México, por lo cual podemos decir que la tecnología mexicana está a la vanguardia a nivel mundial, a pesar de todo no podemos dejar de investigar otras tecnologías o nuevas técnicas de construcción que nos permitan salvar las nuevas situaciones que pudieran presentarse en las futuras generaciones.

I.- OBJETIVO

El Departamento del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.), Está construyendo los túneles que componen el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Para tal efecto y cumpliendo con lo indicado en la Ley de Obras Públicas, se pondrán a licitación dichos trabajos.

Esta investigación tiene por objeto enterarnos de los mecanismos que componen los escudos de frente presurizado, propiedad del D.D.F. y de los procedimientos empleados en la construcción de estos túneles, para que las empresas interesadas en participar en estos trabajos, estén en condiciones de concursar en las licitaciones que se efectuaran al respecto.

II.- ANTECEDENTES

La problemática que presenta el Drenaje de la Ciudad de México, que al estar situada en la cuenca cerrada y no tener salidas naturales de las aguas que concurren a ella, ha requerido para su solución de la construcción del Sistema de Drenaje Profundo, el cual consiste en la excavación de túneles a una profundidad promedio, en el área urbana de la ciudad, de 30 metros.

Dadas las diferentes calidades del material por el que atraviesan los túneles, los métodos ó sistemas de excavación también han variado, en términos generales, los sistemas de excavación se podrían agrupar de acuerdo al tipo o al método constructivo empleado, de la siguiente manera.

1.- excavación a sección completa con ademe primario de concreto lanzado y/o marcos metálicos.

I.- OBJETIVO

El Departamento del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.), Está construyendo los túneles que componen el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Para tal efecto y cumpliendo con lo indicado en la Ley de Obras Públicas, se pondrán a licitación dichos trabajos.

Esta investigación tiene por objeto enterarnos de los mecanismos que componen los escudos de frente presurizado, propiedad del D.D.F. y de los procedimientos empleados en la construcción de estos túneles, para que las empresas interesadas en participar en estos trabajos, estén en condiciones de concursar en las licitaciones que se efectuaran al respecto.

II.- ANTECEDENTES

La problemática que presenta el Drenaje de la Ciudad de México, que al estar situada en la cuenca cerrada y no tener salidas naturales de las aguas que concurren a ella, ha requerido para su solución de la construcción del Sistema de Drenaje Profundo, el cual consiste en la excavación de túneles a una profundidad promedio, en el área urbana de la ciudad, de 30 metros.

Dadas las diferentes calidades del material por el que atraviesan los túneles, los métodos ó sistemas de excavación también han variado, en términos generales, los sistemas de excavación se podrían agrupar de acuerdo al tipo o al método constructivo empleado, de la siguiente manera.

1.- excavación a sección completa con ademe primario de concreto lanzado y/o marcos metálicos.

2.- Excavación a media sección con ademe primario de concreto lanzado y/o marcos metálicos.

3.- Excavación a media sección y con túnel o túneles piloto y ademes primarios de madera y marcos metálicos.

4.- Excavación con ranura y a media sección con ademe primario de marco metálico.

5.- Excavación con escudos.

5.1 Excavación con escudo de frente abierto

5.2 Excavación con escudo de frente abierto y aire comprimido

5.3 Excavación con escudo de frente presurizado.

Los cuatro primeros métodos constructivos se utilizaron en materiales cuyo valor de soporte, al realizar la excavación y la colocación del ademe primario, sin presentar problemas de "Caídos".

La excavación con escudos se esta realizando en zonas donde los suelos corresponden a la formación corresponden a la formación lacustre del Valle de México, los cuales por su poca cohesión deben ser soportados inmediatamente a la excavación.

El procedimiento para la utilización del escudo de frente abierto, se fue modificando de acuerdo a la cohesión del terreno, de tal manera que para que el frente de excavación fuera estabilizado, a partir del tramo lumbrera 9 a lumbrera 10 y la continuación hacia el sur del interceptor central hasta lumbrera 5, se requirió del empleo del aire comprimido dentro del túnel. Este procedimiento consiste en colocar una mampara o tapón, de tal forma que el frente de excavación quede aislado de la presión atmosférica, procediendo a inyectar aire a una presión que estabilice el frente.

Los estudios de Mecánica de Suelos, reportaron que para la construcción del interceptor Oriente,

del Centro-Centro, del tramo Sur del Interceptor Central a partir de Lumbrera 5 y de los Colectores Semiprofundos (Iztapalapa, Obrero Mundial, etc.) donde se tenían arcillas con resistencias mas bajas, las presiones requeridas eran mayores a 1.3 kg./cm². Lo cual además de presentar problemas de tipo físico para el personal, disminuía los rendimientos de excavación, debido a que los tiempos de descompresión que se requerirían para el personal eran muy largos y las jornadas efectivas de trabajo resultaban mínimas.

Ante esta problemática, el Departamento del Distrito Federal, a través de varios estudios, decidió adquirir dos escudos de frente presurizado con lodo, los que además de resolver los problemas físicos del personal, aumentan considerablemente el rendimiento de la excavación.

Los resultados obtenidos a la fecha han demostrado que este procedimiento, además de ser más eficientes que otros, presenta ventajas considerables en cuanto disminuye substancialmente los asentamientos en superficie y el riesgo de falla en el frente ha sido prácticamente eliminado.

ESCUDO CORTADOR DE FRENTE PRESURIZADO. Y SUS

FUNCIONES

1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE EXCAVACIÓN

Los dos escudos cortadores de frente presurizado, adquiridos por el Departamento del Distrito Federal para continuar la construcción del sistema de Drenaje Profundo, fueron fabricados por OKUMURA MACHINERY CORPORATION, empresa japonesa especializada en maquinaria para construcción.

La parte principal del sistema, es el escudo de frente presurizado, que tiene como principio de diseño la estabilidad del frente de excavación. Esta estabilización se logra mediante la presión mecánica que se ejerce con la parte frontal del escudo, denominada cabeza cortadora, la cual consiste en un disco provisto de dientes que al girar sobre su eje va cortando el suelo.

El material así cortado penetra a una cámara presurizada a través de unas compuertas de abertura regulable que están localizadas junto a los dientes cortadores, en donde el material, para ser extraído a la superficie, es mezclado con lodo que se suministra desde el exterior, con una densidad determinada.

La presión hidrostática del suelo es equilibrada con el lodo presurizado en la cámara antes mencionada. La presión se obtiene mediante la aportación del lodo a la superficie por medio de bombeo.

El sistema de circulación de lodos esta formado por una bomba de suministro, instalada en superficie y 5 bombas de extracción, que se instalan en el túnel, a cada 400 metros, a medida que avanza la excavación.

Con el equipo disponible, es posible excavar tramos de 2042 metros entre lumbreras.

El sistema de lodos esta diseñado para operar con densidades de 1.0 a 1.10 t/m³ para el suministro, y de 1.20 t/m³ para la extracción.

En superficie, el lodo es depositado en un tanque de sedimentación para su reutilización parcial y posteriormente retirar de la obra el material excedente.

El escudo excavador avanza impulsado por 24 gatos, con una fuerza total de empuje de 2880 ton., que trabajan conjuntamente con la cabeza cortadora.

A cada metro de avance, se coloca un anillo de dovelas, el cual esta formado por seis piezas de concreto reforzado, las que son unidas entre si por medio de tornillos, formando de esta manera el revestimiento primario del túnel.

El espacio anular dejado por el espesor de la placa del cuerpo del escudo (faldón) y el anillo de dovela, debe ser inyectado de manera inmediata con una mezcla de cemento-bentonita-arena silica-agua, para evitar asentamientos en superficie.

2.- DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL ESCUDO Y SUS FUNCIONES

2.1 CUERPO DEL ESCUDO

Es un cilindro metálico de 6.24 mt de diámetro exterior, 7.30 mt de longitud y 4.5 cm. de espesor, que tiene como finalidad soportar perimetralmente y en forma inmediata la excavación.

Dentro de este cilindro se ubica la cabeza cortadora, la cámara presurizada o de mezclado, la transmisión de la cabeza cortadora, los gatos de empuje y el anillo erector de dovelas.

En la parte posterior de este cilindro se encuentra el denominado faldón, que es el lugar donde se ensamblan las dovelas de concreto precoladas, que formaran el revestimiento primario del túnel. Al final del faldón se localizan tres sellos perimetrales (Dos de neopreno y una de cerdas de alambre), cuya función es impedir la entrada al escudo de la mezcla de inyección que se localiza en el espacio anular. En el faldón del escudo se pueden instalar 2.5 anillos de dovelas con los gatos de empuje retraídos.

2.2 CABEZA CORTADORA

Es un disco metálico de 6.12 mt. de diámetro situado al frente del escudo, con un desplazamiento horizontal de 40 cm. la cabeza cortadora gira sobre su eje, para excavar con velocidades de 0.67 y 1.0 R.P.M. está provista por 72 dientes cortadores, 24 compuertas de control, y 12 paletas mezcladoras de suelo, colocadas en la parte posterior, así como dos escotillas para inspección del frente. Para liberar al cuerpo del escudo de fricciones adicionales al cruzar por las zonas del suelo mejorado o en alguna situación particular, la cabeza cortadora tiene dos preparaciones diametrales opuestas, para colocar dientes de sobre-excavación que sobresalen 1.5 cm. del cuerpo del escudo.

La cabeza cortadora tiene como objetivos principales: La estabilización del frente de excavación, mediante la presión mecánica que se ejerce con un gato de 360 ton., y el corte del suelo o excavación propiamente dicha.

2.3 CÁMARA PRESURIZADA O DE MEZCLADO

En el espacio comprendido entre la cabeza cortadora y una mampara metálica. Las funciones de la cámara de mezclado son equilibrar la presión hidrostática del suelo mediante la presión del lodo, el cual es suministrado desde la superficie por bombeo, así mismo permite el mezclado del suelo con el lodo.

La mampara metálica esta diseñada para una presión de lodo hasta 2.3 kg./cm² y para sostener el eje de la cabeza cortadora.

En la mampara metálica, que forma la cámara se localizan:

2.3.1. Dos puertas para inspección, que se utilizan para revisar el frente de excavación, para lo que previamente la cámara de mezclado se vacía.

2.3.2. Una válvula para eliminación del aire de la cámara durante la presurización del frente de excavación.

2.3.3. Sensores de presión de la cámara presurizada.- Indica la presión frontal de trabajo. Uno registra la presión en las consolas y el otro directamente en un manómetro colocado en la mampara.

2.3.4. Clinómetro para medir el giro del escudo.- Indica la posición del escudo respecto a su eje vertical.

2.3.5. Clinómetro para medir la inclinación del escudo.- Indica la posición del escudo respecto a su eje horizontal (Pendiente).

2.3.6. Válvulas para suministro y extracción de lodos.- Permiten el suministro y retiro de la cámara presurizada. Se operan manualmente.

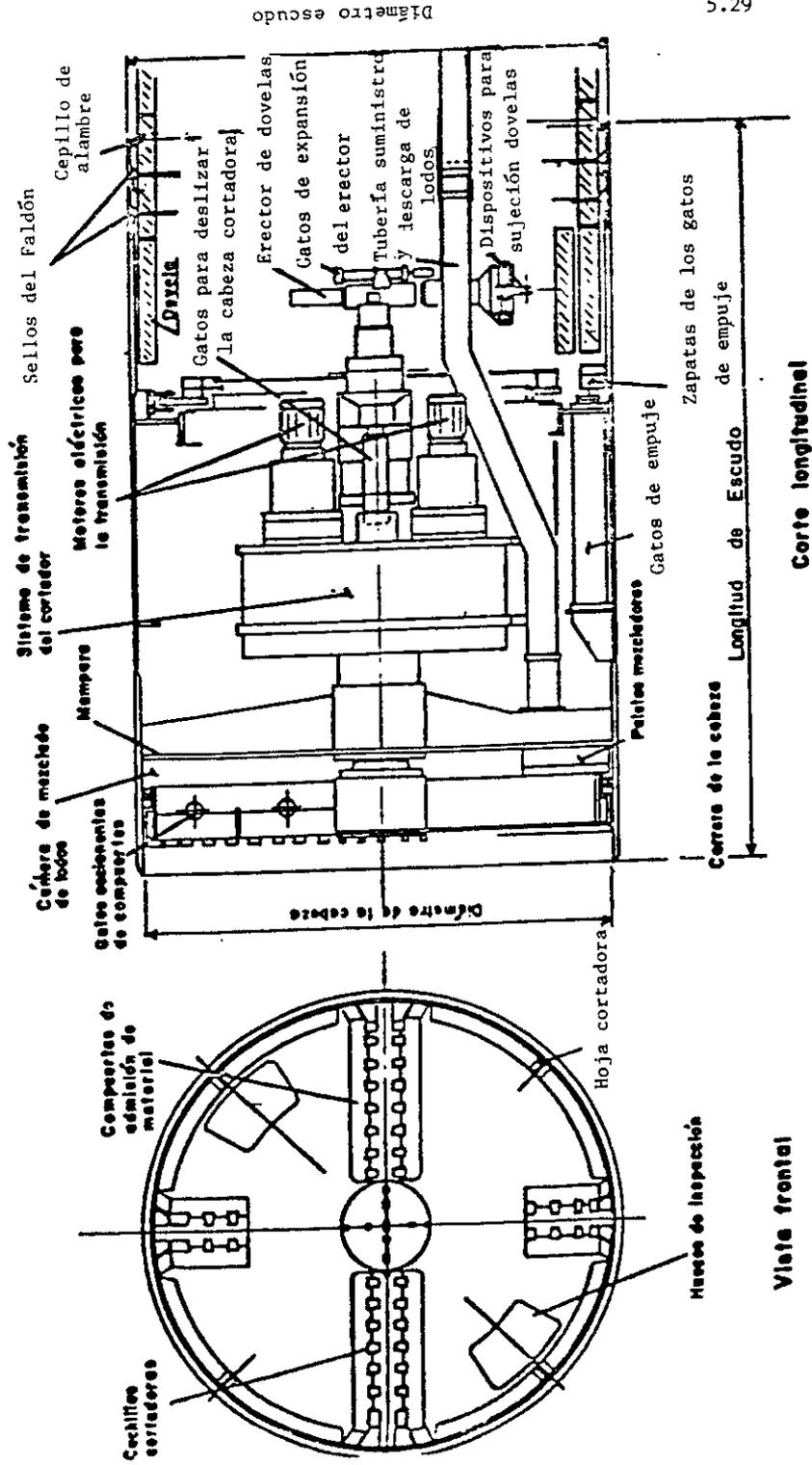
2.4 TRANSMISIÓN DE LA CABEZA CORTADORA

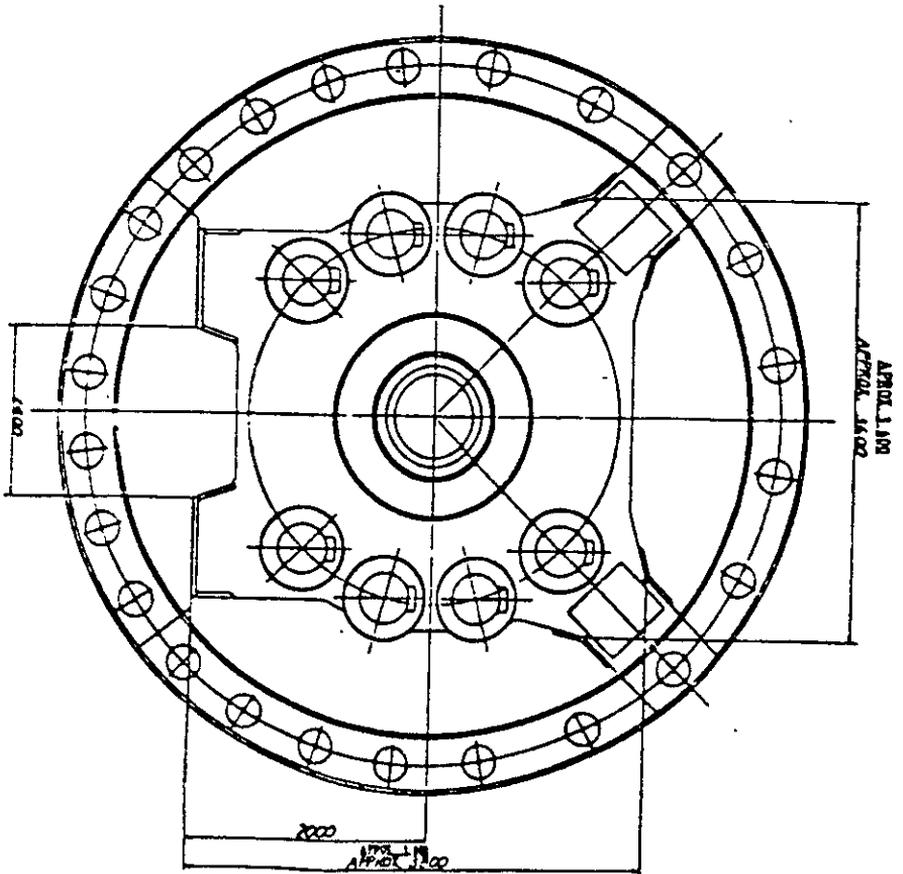
Su función es la de proporcionar el torque necesario al cortador, por medio de ocho motores eléctricos.

2.5 GATOS DE EMPUJE

Proporcionan el avance del escudo durante la excavación, apoyándose en el último anillo de dovelas colocado. Así mismo con los gatos de empuje, se conduce al escudo de acuerdo con las líneas de proyecto.

FIGURA 1: MAQUINA DEL ESCUDO CORTADOR DE FRENTE PRESURIZADO





El escudo cuenta con 24 gatos de empuje, instalados en perímetro interno del escudo, con una capacidad de 120 ton. c/u, lo que proporciona una fuerza total de empuje de 2880 ton. la longitud de carrera de los gatos es de 1.15 mt. y cuentan con dos sensores que indican la longitud de extensión. La velocidad de extensión es regulable hasta 5 cm/min.

Cada gato puede operarse de manera independiente para la conducción del escudo.

2.6 ANILLO ERECTOR

Es el dispositivo encargado del montaje de las dovelas y tiene capacidad para deslizar, girar y colocar las dovelas en su posición final.

El anillo erector tiene 3.66 mt. de diámetro; velocidades de 0.5 y 0.8 R.P.M.; con movimientos circulares (360° reversible), radial (65 cm.) y axial (20 cm.). El cual es operado a control remoto. (fig. 4)

2.7 TREN DE EQUIPO

Atrás del cuerpo del escudo, van instalados equipos que son necesarios para su operación. Son remolcados por el propio escudo, durante el avance de excavación.

El tren está formado por cuatro módulos y una tubería telescópica. A continuación se indican los equipos que contienen estos módulos: (fig. 5)

2.7.1. MODULO No. 1

Está formado por la cabina del operador, y un polipasto colocado en una trabe carril, por medio de

la cual se llevan las dovelas al alcance del anillo erector.

2.7.2. MODULO No. 2

Esta integrado por la unidad de poder hidráulico, el gabinete de circuitos eléctricos (en la parte superior un transformador de 450 kva) y los depósitos de aceite hidráulico.

2.7.3. MODULO No. 3

Esta formado por la unidad de derivación de lodos o By-pass, las válvulas de compresión de suministro y extracción y la unidad neumática.

2.7.4. MODULO No. 4

Esta formado por la bomba de extracción de lodos.

2.7.5. UNIDAD DE TUBERÍA TELESCÓPICA

Es la que permite que el escudo pueda avanzar hasta 6 mt. sin instalar tuberías rígidas para suministro y extracción de lodos y está formada por una tubería externa y una interna, que se deslizan a través de un sistema de cremallera.

A continuación se indican las funciones de los sistemas principales que integran el tren de escudos.

CABINA DEL OPERADOR

Desde esta cabina operan los sistemas de: la cabeza cortadora (corte y desplazamiento); gatos de empuje; las compuertas de control de excavación; las unidades de energía eléctrica; así mismo cuenta con los indicadores necesarios para monitorear la operación del escudo.

UNIDAD HIDRÁULICA

Esta integrada por tres unidades de energía hidráulica, para operar:

- 1.- Los gatos de empuje.
- 2.- El gato de la cortadora y el anillo erector.
- 3.- Los gatos de las compuertas de control de excavación (Alabes de ranura)

GABINETE DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Contiene los circuitos de suministro de energía a las unidades hidráulicas, a la bomba de lubricación, a los motores de la cabeza cortadora, al compresor de aire y a los circuitos de iluminación, y un tablero para operación local de las válvulas de circulación de lodo.

SISTEMA NEUMÁTICO

Consta de un compresor de aire de 7 kg./cm² para operar las válvulas de compresión del sistema de circulación de lodo y la válvula de derivación o By-Pass.

UNIDAD DE DERIVACIÓN DE LODOS O BY-PASS

Es la unidad mediante la cual se controla el suministro y la extracción de lodos de la cámara presurizada.

Adicionalmente del equipo antes mencionado, se tiene instalada en superficie la cámara de control central, desde el cual se opera el sistema de circulación de lodos. Cuenta con los indicadores necesarios para monitorear el funcionamiento de

operación del escudo y en dos gráficas que van registrando la información obtenida por los sensores del escudo.

Para concluir con las partes del escudo, a continuación se indica el funcionamiento del sistema de lodos.

El sistema de circulación de lodos es el procedimiento mediante el cual con lodo a presión, suministrado desde la superficie por medio de bombeo, se equilibra la presión hidrostática del suelo y a través del mismo sistema de bombeo, el suelo excavado es llevado a superficie para su tratamiento y reutilización parcial en la planta de lodos.

El sistema de circulación de lodos está compuesto por:

BOMBA DE SUMINISTRO DE LODOS (P-1)

Es una bomba centrífuga con capacidad de 3.4 m³/min., con una velocidad variable hasta de 1200 R.P.M., que va instalada en superficie junto al tanque de suministro de lodos.

BOMBA DE EXTRACCIÓN DE LODOS (P-2)

Es una bomba centrífuga con capacidad de 3.4 m³/min., con una velocidad variable hasta 1350 R.P.M., que va instalada en el modulo No. 4 del tren de equipo.

BOMBAS INTERMEDIAS O DE TRASPALO PARA LA EXTRACCIÓN DE LODOS (P3, P4, P5, P6).

Son bombas centrífugas con capacidad de 3.4 m³/min., a una velocidad de 1185 R.P.M., las que van siendo instaladas en el túnel a cada 400 mt. a medida que avanza la excavación, para tener la potencia requerida para la extracción de lodos.

MEDIDORES DEL FLUJO Y DESCARGA

Registran la velocidad de los lodos que circulan por las tuberías y los resultados se utilizan para ajustar las velocidades de las bombas de suministro y extracción de lodos. Van instaladas en el muro de la lumbrera.

MEDIDORES DE LA DENSIDAD DE SUMINISTRO Y DESCARGA

Registran las densidades de los lodos que circulan por las tuberías y sus resultados se utilizan para ajustar el tratamiento del lodo en la planta instalada en superficie, manteniendo la densidad de los rangos de operación de las bombas (van instalados en el muro de la lumbrera).

VÁLVULAS DE DESCOMPRESIÓN DE SUMINISTRO Y DESCARGA Y VÁLVULA DE DERIVACIÓN O BY-PASS.

Controlan el suministro y la extracción de lodo mediante dos formas de circulación:

CIRCULACIÓN FRONTAL

Suministra y extrae lodo de la cámara presurizada y es empleado durante la excavación. En esta forma las válvulas de compresión de suministro y descarga están abiertas y la válvula de derivación permanece cerrada.

CIRCULACIÓN DE DERIVACIÓN

Se circula el lodo por las tuberías del suministro y extracción sin pasar por la cámara presurizada. Es utilizando antes y después de la excavación para igualar densidades en las tuberías. En esta forma las válvulas de compresión de suministro y descarga se mantienen cerradas y la válvula de derivación permanece abierta (van instaladas en el modulo No. 3 del tren de equipo del escudo).

UNIDAD NEUMÁTICA

Proporciona la energía para operar las válvulas de compresión de suministro, descarga y la válvula de derivación. Va instalado en el modulo No. 3 del tren de equipo del escudo.

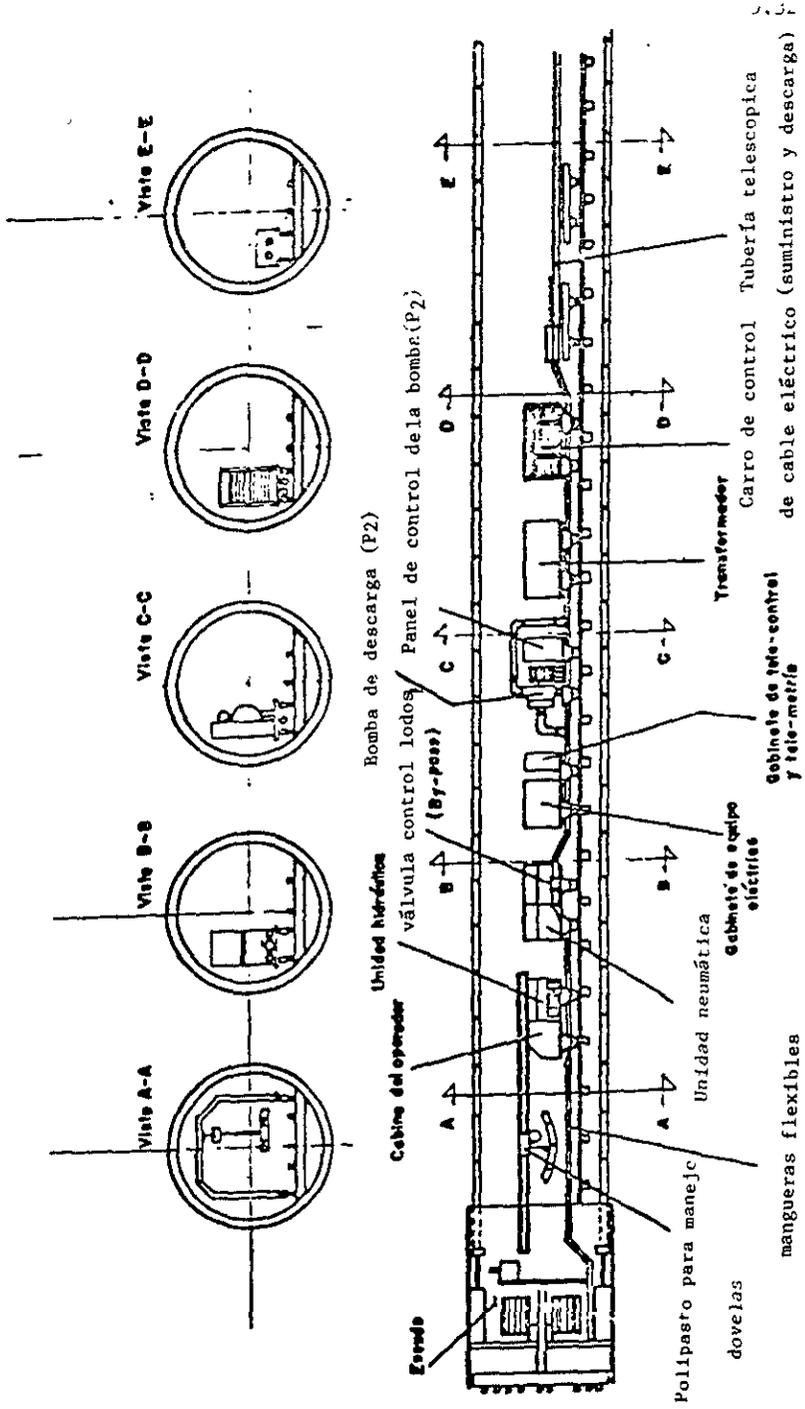
UNIDAD DE TUBERÍA TELESCÓPICA

Permite avanzar al escudo hasta 6 mt. sin necesidad de instalar tramos nuevos de tubería. Va instalada al final del tren de equipo del escudo.

La secuencia de trabajo del sistema de circulación de lodos es la siguiente:

- 1.- Se ponen en operación las bombas de suministro y extracción de lodos, en la forma de circulación de derivación y se ajustan las velocidades de las bombas p-1 y p-2, de acuerdo a la presión frontal, para igualar los flujos y densidades de lodos.
- 2.- Para iniciar la excavación se pasa el sistema de circulación frontal, se ajustan las velocidades de suministro y extracción para igualar flujos.
- 3.- Al terminar la excavación se pasa el sistema al modo de circulación de derivación para igualar densidades en las tuberías.
- 4.- Una vez igualadas las densidades de suministro y extracción, se paran las bombas en el siguiente orden: bombas intermedias, bomba de extracción p-2 y bomba de suministro p-1.

FIGURA 3: TREN DE EQUIPO DEL ESCUDO CORTADOR DE FRENTE PRESURIZADO



III.- TRABAJOS PRELIMINARES

Para trabajar con un escudo de frente presurizado se requiere de una serie de equipos e instalaciones, tanto en superficie como en lumbreira, que permita no solo el funcionamiento de la maquina misma, sino también un ciclo ágil de excavación.

1.- TRABAJOS EN SUPERFICIE.

Las instalaciones generales que conforman el campamento, además de talleres (Carpintería, electricidad, mecánica y soldadura), almacenes, vestidores, baños y oficinas, son las siguientes:

- Subestación de energía eléctrica.
- Planta de emergencia.
- Planta de dovelas y sistema de manteo.
- Compresor.
- Cisterna para agua tratada.
- Planta de tratamiento y sistema de circulación de lodos
- Tuberías en superficie.

1.1. SUBESTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tanto el escudo de frente presurizado como el equipo complementario requieren de energía eléctrica para su funcionamiento; por lo tanto, es necesario instalar una subestación cuya capacidad estará en función de los equipos por alimentar. La tensión por alimentación (Acometida) será de 23 kv, con tres diferentes distribuciones: 4160 V. (túnel), 440 V. (Superficie) y 220 V. (Túnel y superficie). (fig. III.1)

Las derivaciones para cada equipo se alojan sobre la superficie en trincheras, con el objeto de darles protección sin que interfieran con la circulación normal dentro del campamento.

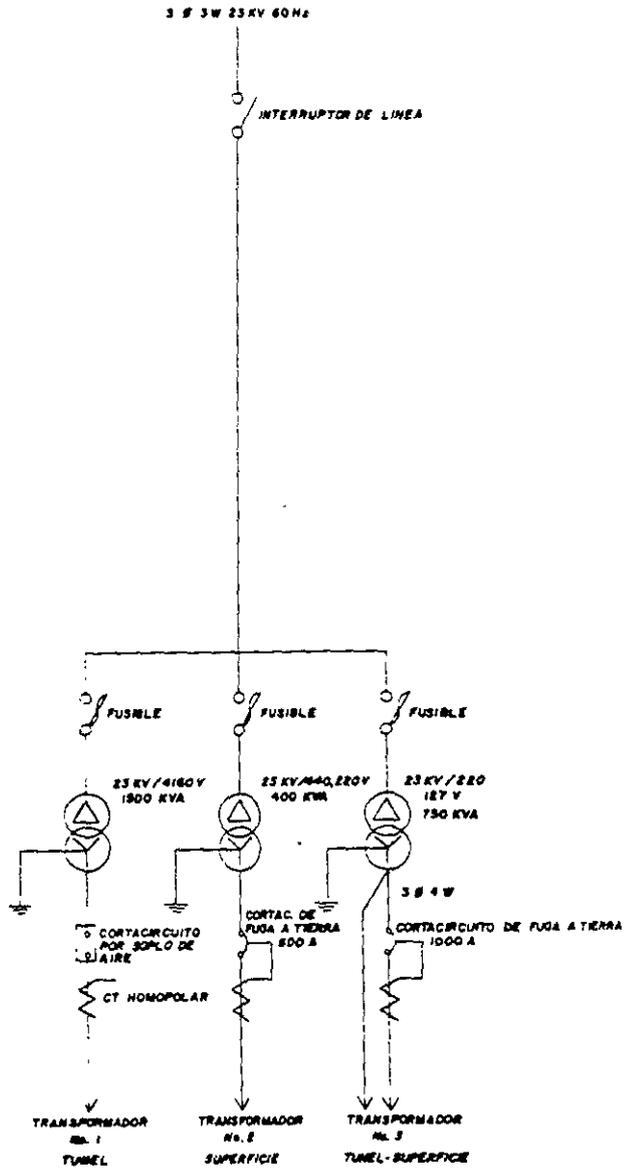
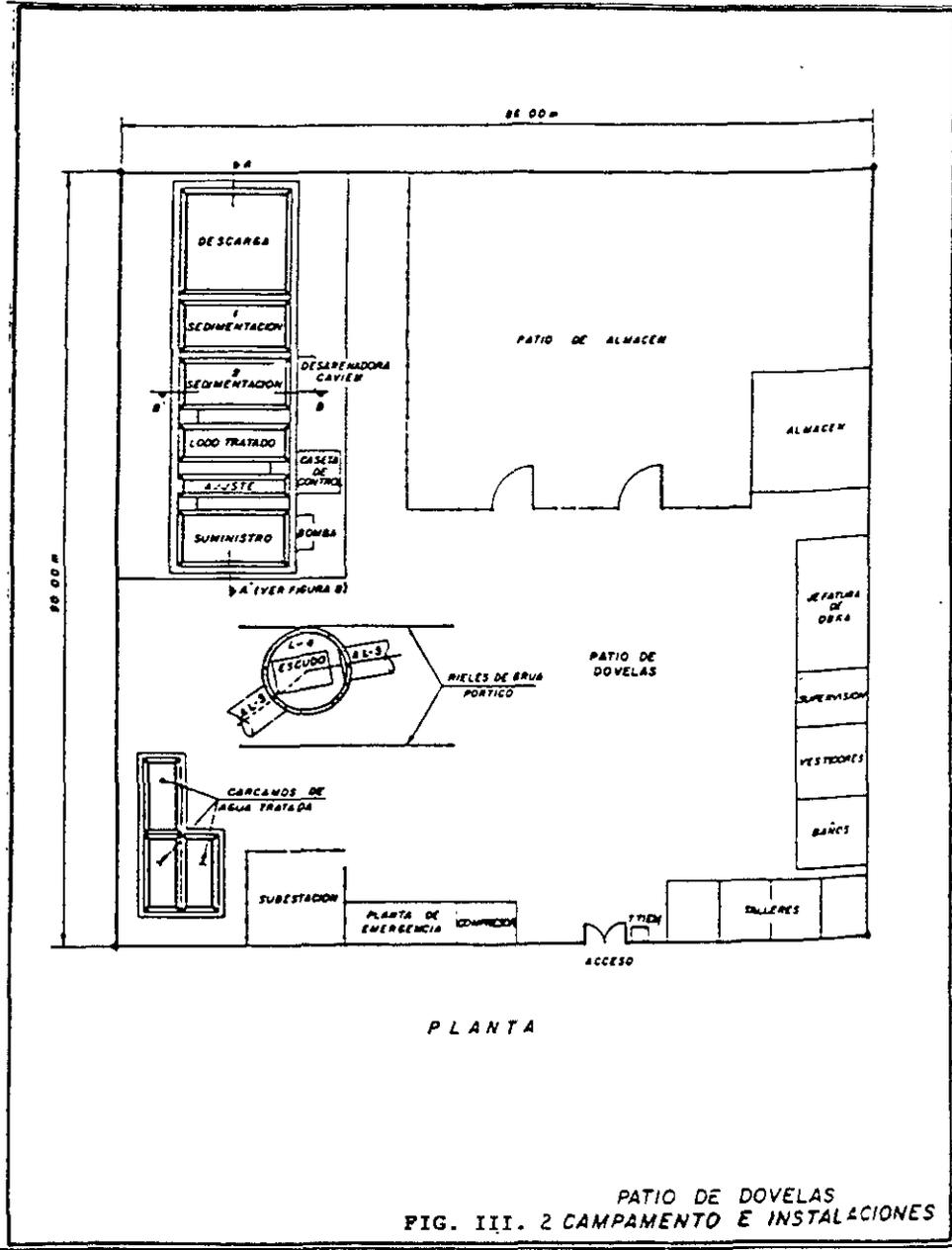


FIG. III. 1 SUBESTACION ELECTRICA



1.2. PLANTA DE EMERGENCIA

Puede considerarse la opción de contar con una planta de emergencia de capacidad superficie para que, en caso de corte temporal en el suministro normal de energía eléctrica, puedan cerrarse las ventanillas del cabezal cortador del escudo, así como las válvulas del sistema de circulación de lodos necesarias para mantener la presión en el frente; pueda elevarse el elevador de personal (en caso de contar con uno) y mantener el alumbrado necesario en el interior del túnel y en superficie.

1.3. PATIO DE DOVELAS Y SISTEMA DE MANTEO

Como en cualquier excavación de túneles con escudo, se requiere un sitio adecuado para el almacenaje en obra de las dovelas prefabricadas que constituyen el revestimiento primario, de tal forma que puedan estibarse eficientemente y que sean de fácil acceso para la grúa del sistema de manto.

Las dimensiones del patio de dovelas estará regidas por el área disponible para el campamento, tratando de que sea por lo menos lo suficientemente grande para albergar el "STOCK" de dovelas requerido para el avance diario programado del escudo.

Las dovelas deberán colocarse sobre polines anclados al firme del patio. Para que su peso no se encuentre en un solo punto; provocando con ello fisuramientos: de igual manera, al estibar una dovela sobre otra. Deberán colocarse polines intermedios, siguiendo la línea de los dos inmediatos inferiores.

El manto generalmente se realiza por medio de una grúa pórtico, que además de suministrar las dovelas al túnel, baja todos los materiales

indispensables para la excavación, tales como durmientes, rieles, tubos, etc., así como el equipo que se vaya requiriendo en el interior del túnel. Esta grúa pórtico puede sustituirse por una motogrúa, que además de la función ya mencionada, se encarga de los rezagos de los carcamos, siempre y cuando las disposiciones de las instalaciones en superficie lo permitan.

Cualquiera que sea el tipo de grúa que se seleccione para el manto, debe tener capacidad suficiente para manejar los materiales o equipos de mayor peso que deben utilizarse durante la excavación del túnel, tal es el caso de las dovelas, con un peso aproximado de 2 toneladas cada una, y de la locomotora, de 3 toneladas.

1.4. COMPRESOR

Se requiere la instalación de un compresor en superficie, con capacidad suficiente para alimentar a las bombas de achique que se localizan en el fondo de la lumbrera y en el túnel.

1.5. TENDIDO DE TUBERÍA Y CISTERNA PARA AGUA TRATADA

Debido a que se requieren grandes volúmenes de agua para la excavación con escudos de frente presurizado (aproximadamente 34 m³ por anillo), se emplea agua tratada en lugar de agua potable. Para tal efecto, es necesario tender una tubería de suministro desde la línea de conducción de agua tratada más cercana hasta el campamento; aquí el agua se almacena en una cisterna, en lo posible con capacidad suficiente para proveer a la planta de lodos por lo menos durante diez empujes de anillos cuando el gasto de la línea de alimentación sea bajo o nulo.

1.6. SISTEMA DE CIRCULACIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS

Como en la construcción de cualquier túnel, el material producto de la excavación debe retirarse del frente, extraerse del túnel y ser depositado en la superficie, en espera de ser acarreado al tiro asignado.

En el caso de los escudos de frente presurizado. La rezaga del material se efectúa por medio de tuberías (8" Ø en suministro y 6" Ø en descarga) y una serie de bombas que componen el sistema de circulación. Suministrando el lodo de ademe a la cámara presurizada del frente, para posteriormente extraerlo de esta, mezclado con el material excavado. En superficie únicamente se instala la bomba de suministro (P1), mientras que la bomba de descarga (P2) se incluye en el tren de equipo del escudo y las de traspaleo (P3 A P6) se van instalando en el interior del túnel conforme su construcción avanza. (fig. III.2)

El lodo extraído del túnel se deposita en una planta de tratamiento, cuya función es separar por medio de sedimentación, el material producto de la excavación del lodo que se utiliza en la estabilización del frente. El primero se retira de la planta por medio de camiones de volteo y pipas; el resto es acondicionado para continuar con la excavación.

La planta se localiza en un espacio cercano a la lumbrera y se compone básicamente de:

- Carcamo de desecho o descarga.- lugar en que se recibe el lodo proveniente del frente de excavación y en el que se inicia la sedimentación de los grumos de arcilla que han sido acarreados por el lodo de suministro.

- Carcamo de sedimentación.- Sitio en el cual continua el proceso de sedimentación de la arcilla en suspensión.

- Carcamo de ajuste.- Para reducir aún más la densidad del lodo que ha pasado por el carcamo de sedimentación, en el carcamo de ajuste se le adiciona agua tratada proveniente de la cisterna y se le homogeniza, para lo cual se emplean agitadores verticales o la inyección de aire a presión.

- Carcamo de suministro.- Lugar en el que se almacena el lodo con las características necesarias para ser llevadas nuevamente al frente de excavación.

- Caseta central de control.- Sitio que aloja la consola central, en la cual se recibe la información que se genera durante la excavación del túnel y se controla todo el sistema de circulación de lodos.

La caseta se instala junto a la planta de lodos, a una altura desde la cual se denominen los carcamos y de tal forma que la consola quede debidamente protegida.

1.7. TUBERÍAS EN SUPERFICIE

Como complemento a las instalaciones en superficie es indispensable el tendido de una serie de tuberías cuya finalidad es el suministro de agua tratada de la cisterna a la planta de lodos y a la lumbrera; el suministro de aire a presión desde el compresor; el transporte del agua de achique del túnel; etc.

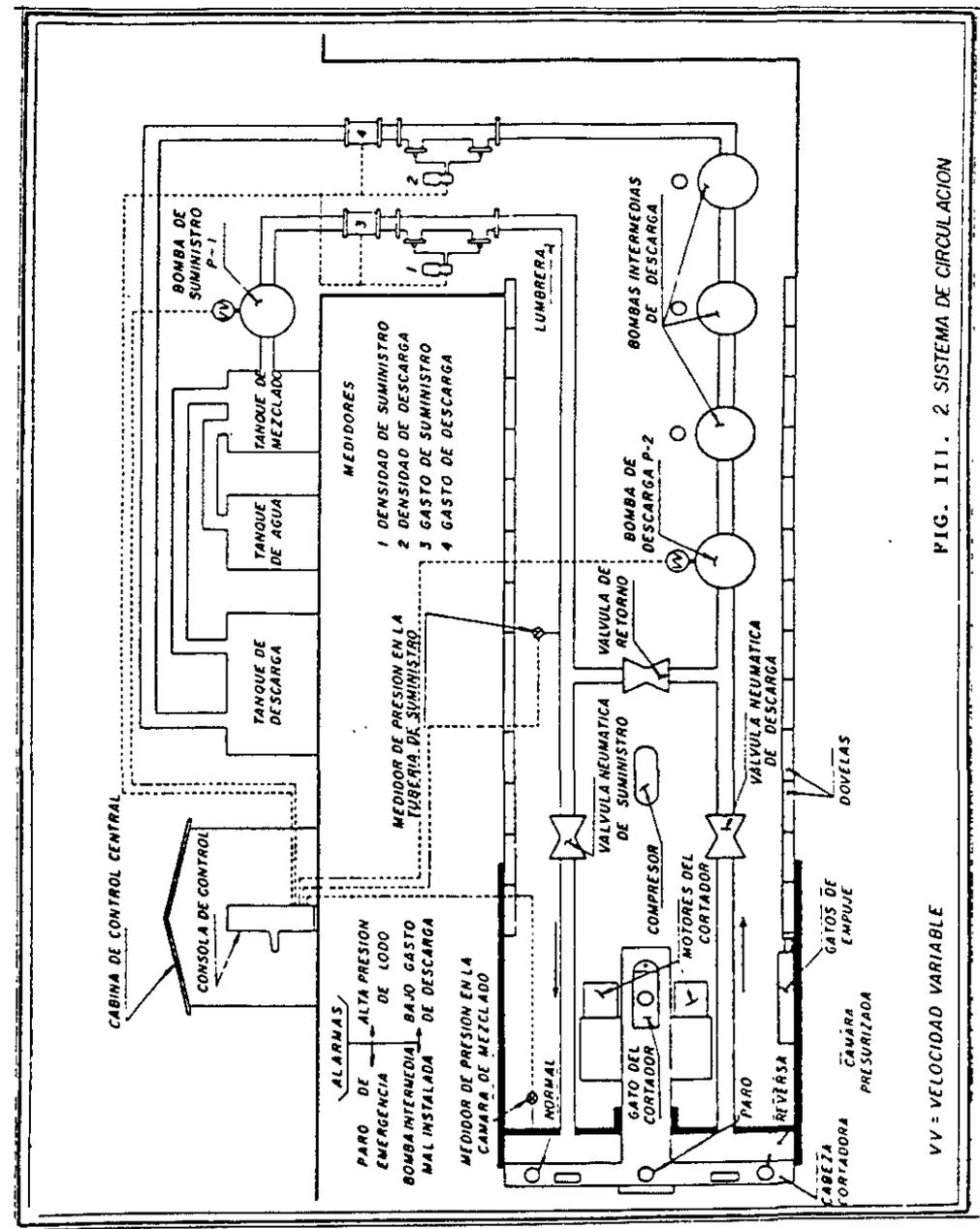


FIG. III. 2. SISTEMA DE CIRCULACION

VV = VELOCIDAD VARIABLE

2.- TRABAJOS EN LUMBRERA

Se requiere de trabajos especiales en la lumbrera, algunos de los cuales se emplearan exclusivamente al inicio de la excavación y otros permanecerán durante todo el transcurso de esta.

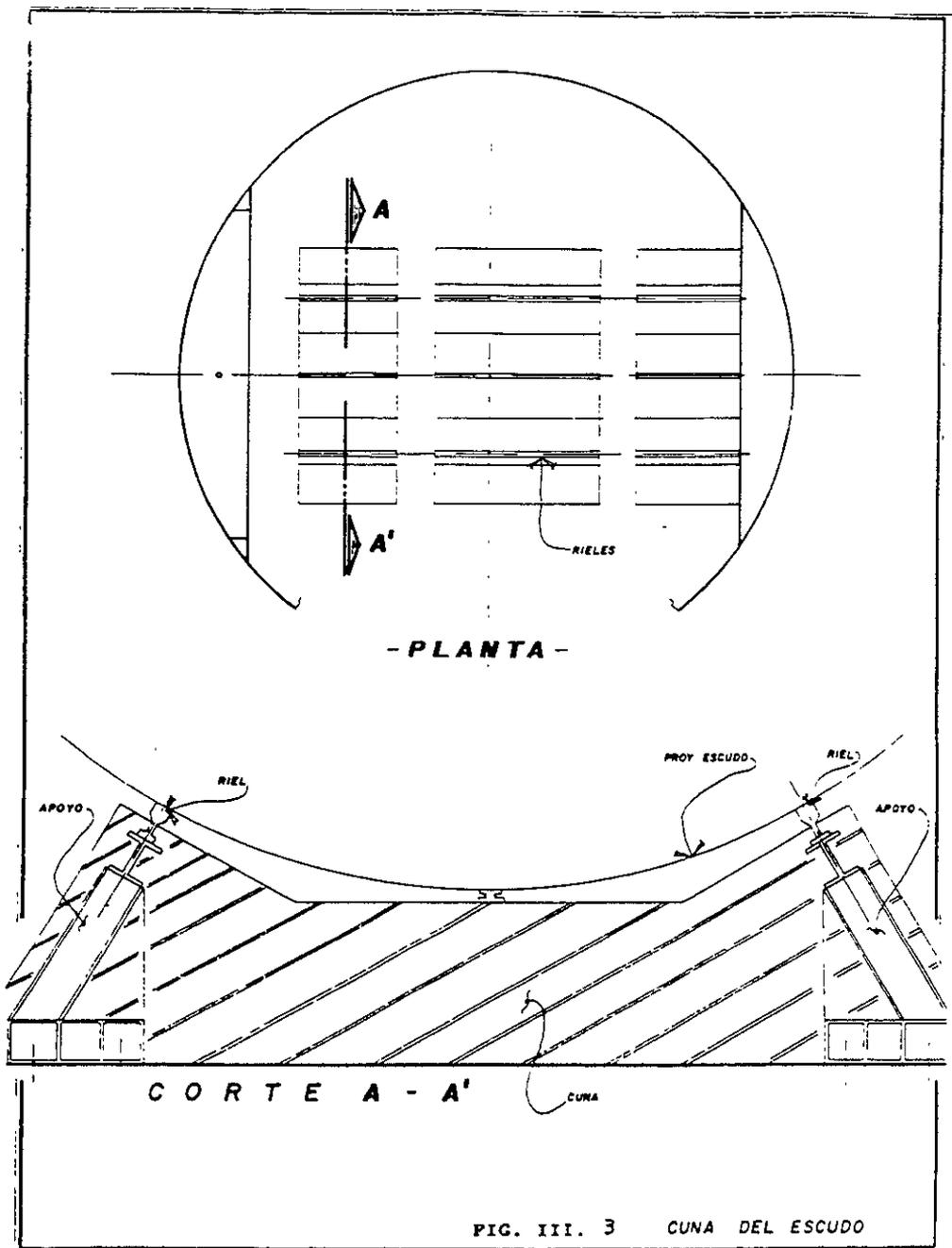
- Cuna para recepción del escudo.
- Muro de atraque.
- Sello de salida.
- Plataformas en lumbrera.
- Planta de inyección.
- Tubería y cableado en pared de lumbrera.
- Escalera de caracol y elevador de personal.

2.1. CUNA PARA RECEPCIÓN DEL ESCUDO.

La cuna es una estructura de concreto reforzado, anclada a la losa de fondo de la lumbrera, cuya finalidad es proporcionar apoyo al escudo y conformar un elemento de continuidad del túnel en la lumbrera. Sus dimensiones están dadas en función de los datos de proyecto y del escudo propiamente dicho. (fig. III.3)

La cuna cuenta con tres rieles a todo lo largo de su cara superior, ahogados en el concreto, cuyo objetivo es facilitar el deslizamiento del escudo durante los empujes; debe tenerse especial cuidado en el alineamiento y nivel de estos rieles, porque son la guía del escudo. Así mismo, pueden dejarse preparaciones a base de acero estructural en los hombros de la cuna, sobre los cuales se posteriormente una plataforma de trabajo en el fondo de la lumbrera.

Es indispensable que la cuna se construya en dos o tres secciones dejando pasillos entre estas para que el fondo de la lumbrera quede comunicado, formando un carcamo de captación del agua proveniente del túnel, la cual se bombea a la superficie.



Existen algunas variantes en cuanto al diseño básico de una cuna, mismas que se aplican cuando el escudo va a sufrir un cambio de dirección al término de la excavación de un tramo de túnel e inicio de otro. Estas variantes se detallan en el inciso XI.3.

2.2. Muro de atraque

En forma similar a la de cualquier escudo, el de frente presurizado requiere de un muro de atraque, que es una estructura de concreto reforzado anclada a la pared de la lumbrera, orientada transversalmente respecto al eje del túnel cuya finalidad servir de apoyo a los semianillos de dovelas (anillos provisionales) sobre los cuales reaccionan los gatos de empuje del escudo, al momento de efectuar los primeros empujes.

En caso de que el escudo haya sido girado, probablemente ya no sea posible construir el muro de concreto, ya que la pared de la lumbrera habrá perdido continuidad, entonces, puede construirse un atraque tubular o de perfiles estructurales, cuya función será exactamente la misma.

2.3. sello de salida

Este dispositivo tiene como objeto proporcionar un elemento de contención que impida la circulación del lodo del frente hacia la lumbrera, por la holgura existente entre la camisa del escudo y la pared de la excavación, durante los primeros empujes.

El sello consiste en un conjunto de anillos metálicos y de hule, de diferentes diámetros, que atornillados entre sí forman uno solo, permitiendo por su interior el paso del escudo.

Los anillos que conforman el sello de salida para el escudo de frente presurizado de 6.24 m de diámetro, son los siguientes:

a) Anillo metálico formado por un anillo rolado de 100 x 100 x 13 MM (4 x 4 x 1/2") y 6.40 de diámetro interior.

b) Anillo de hule natural de 25 MM (1") de espesor y 46.50 CM de ancho, con un diámetro interior de 5.66 M.

c) Anillo metálico de placa de acero estructural de 19 MM (3/4") de espesor y diámetro interior de 6.30 M.

Es importante mencionar, que al construir la estructura del sello de salida se suelda una válvula en la parte superior del anillo metálico, cuya función es liberar el aire atrapado al momento de iniciar la presurización con lodo de la cámara frontal del escudo.

2.4. PLATAFORMAS EN LUMBRERA.

Al iniciar la excavación con un escudo de frente presurizado, se cuenta exclusivamente con el espacio del interior de la lumbrera para alojar el tren de equipo, cuya longitud aproximada instalado en el túnel es de cincuenta metros. Por tal motivo, se hace necesario un arreglo o acomodo especial de los carros que lo integran.

Para ello se construyen plataformas ancladas a la pared de la lumbrera, a una elevación mayor que la de la cuna del escudo, con las cuales se optimiza el espacio, de esta forma, al iniciar los trabajos de excavación la ubicación del tren de equipo no interferirá con las actividades que se realicen al fondo de la lumbrera, tales como demolición, rezaga, colocación de semianillos, etc.

Conforme la excavación del túnel avanza, el equipo se va instalando en su interior, hasta que las plataformas quedan vacías y pueden ser retiradas de la lumbrera.

Una vez que todo el equipo del escudo ha entrado al túnel y ha sido retirado el sistema de atraque (troqueles y semianillos), resulta conveniente la construcción de una plataforma más en el fondo de la lumbrera (Plataforma de trabajo), con la cual se obtendrá un mayor espacio para maniobras.

2.5. PLANTA DE INYECCIÓN

Los anillos de dovelas tienen un diámetro exterior menor al de la excavación, ya que estos se ensamblan bajo la protección del faldón del escudo. Por esta razón, cuando los anillos salen de la camisa va quedando un hueco anular entre las dovelas y el terreno.

Esto puede provocar asentamientos superficiales; por lo tanto, para reducir este problema se requiere de dicho espacio sea llenado con una lechada bentonita-arena-cemento, que se inyecta a presión a través de las perforaciones con que cuenta las dovelas para este fin.

Todo anillo se inyecta conforme va saliendo de la protección del escudo; es decir, la inyección es simultánea a la excavación. Por lo tanto, debe contarse con una planta que garantice la rápida y eficiente elaboración de la mezcla, para no entorpecer el ritmo de avance del escudo.

La planta dosificadora generalmente se localiza en el interior de la lumbrera, anclada a la pared de esta, siendo sus componentes los que a continuación se mencionan: silo para cemento, silo para arena sílica, tolva báscula, tolva mezcladora (agitador), dosificadora de agua, plataforma de trabajo y almacenaje de bentónita. En este tipo de planta la dosificación se efectúa en forma semiautomática, de acuerdo a las especificaciones de obra.

No es indispensable que la planta de inyección se instale en el interior de la lumbrera; también puede ubicarse en superficie, junto al brocal, y

estar formada por elementos más simples. Aquí la dosificación se efectúa manualmente.

2.6 TUBERÍAS Y CABLEADO EN PARED DE LUMBRERA.

Algunas de las tuberías que se tienden en superficie se prolongan hasta el túnel, por el muro de la lumbrera, (Achique, suministro de aire y agua, etc.).

De igual forma, el cableado de los diversos equipos eléctricos que se emplean durante la excavación debe llevarse por el muro de la lumbrera, para ser introducido posteriormente al túnel.

2.7. ESCALERAS DE CARACOL Y ELEVADOR DE PERSONAL.

Para el acceso del personal se requiere la instalación de una escalera de caracol, debidamente protegida, adosada al muro de la lumbrera. Opcionalmente se puede utilizar un elevador de personal.

IV. - MEJORAMIENTO DEL SUELO.

Antes de iniciar la excavación de un tunel con escudo de frente presurizado, o antes de terminar está, se realiza un tratamiento en el suelo circundante a la salida o llegada del escudo a la lumbrera, cuya finalidad es incrementar su resistencia y cohesión, evitando así que el material fluya hacia el interior de la excavación en el tiempo que transcurre entre la demolición de la pared de la lumbrera y el momento en que empieza el escudo a ejercer presión sobre el suelo.

El mejoramiento se efectúa cubriendo un volumen con las siguientes dimensiones. (Fig. IV. I.)

Largo = 1.5 (D)
Ancho = 2.0 (D)
Profundidad = H + 0.5 (D)

En donde:

D = Diámetro del escudo excavador

H = Distancia de la superficie a la
plantilla de la excavación.

El proceso para el mejoramiento del suelo que se ha aplicado a la excavación con escudos de frente presurizado de 6.24 mt de diámetro, es el de sustitución del suelo, que consiste en lo siguiente:

1.- Se excavan tableros con almeja guiada, ademandando con lodo bentonítico, hasta la profundidad del proyecto. Las dimensiones de los tableros dependerán de las características geométricas del equipo de excavación.

2.- Los tableros se cuelan con una mezcla de suelo-cemento de mayor resistencia que la del suelo natural, con tubería tipo tremie, desplazando el lodo de ademe por diferencia de densidades.

Al realizar este mejoramiento, deben tomarse las siguientes precauciones.

- Los tableros deben excavarse y colarse en forma alternada.

- No debe iniciarse la excavación de un tablero, si existe otro contiguo que no haya alcanzado su fraguado inicial.

- Al excavar, debe seguirse un estricto control de las características del lodo de ademe, de tal modo que sea el adecuado para garantizar la estabilidad de la excavación.

- Durante el colado, deben verificarse cuidadosamente el ensamble de la tubería, colocación del balón de látex (diablo) y la posición del extremo de la tubería respecto al nivel superior del colado.

- La dosificación de la mezcla debe ser tal que proporcione la resistencia requerida ya colocado (IN SITU).

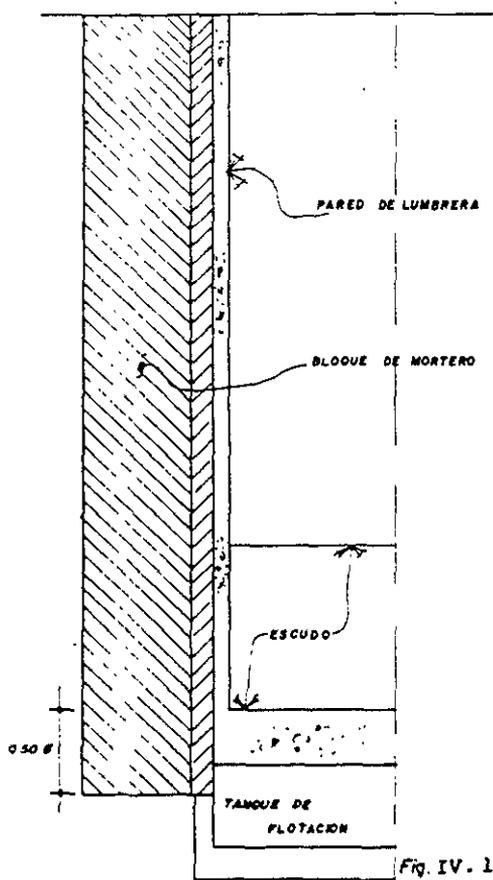
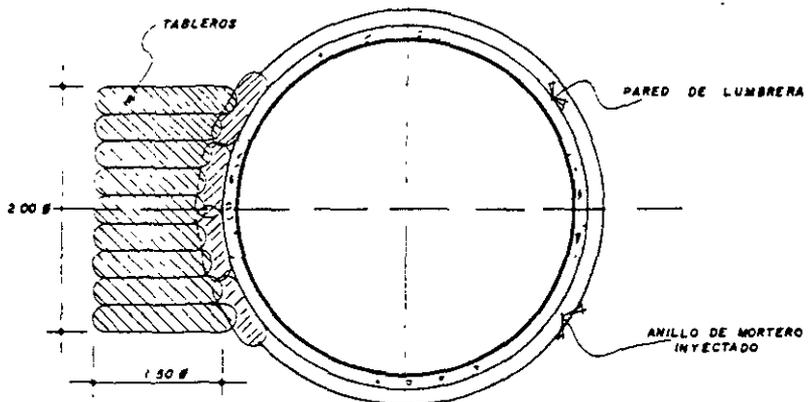
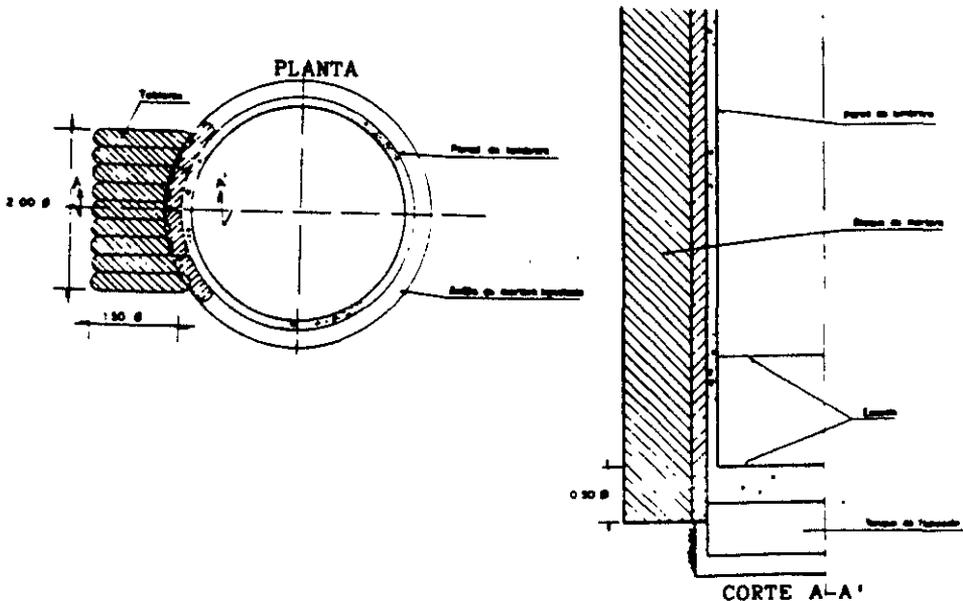


Fig. IV. 1 MEJORAMIENTO DEL SUELO

V. PORTAL DE SALIDA.

El portal de salida fue integrado al proceso constructivo de la lumbreira, motivado por una serie de problemas que se venían presentando durante el desarrollo de los trabajos para introducir el escudo en el subsuelo, es decir, ponerlo en contacto directo con el terreno natural. Originalmente en el inicio de las actividades para el arranque de la excavación del túnel, se venía realizando una sustitución del suelo en un área de 40.50 m² hasta 3mt. Bajo de la rasante hidráulica de la excavación del túnel a manera de garantizar una correcta salida del escudo, lo cual se puede apreciar en la figura.



Aquí se muestra el arreglo del mejoramiento del suelo a la llegada del escudo de frente cerrado y lodo a presión

Por otra parte cabe aclarar que a la fecha, se continúa utilizando la sustitución del suelo por un mortero de $f'c = 20-30 \text{ kg/cm}^2$ en un área de 40.50 m^2 hasta 3 mt. abajo de la rasante de llegada del escudo a la lumbrera, en esta zona, donde al escudo se le instalan los sobrecortadores para crear una sobreexcavación y que esta permita que el escudo pueda atravesar sin ningún problema la zona de mejoramiento; es importante que una vez que la cabeza cortadora toque el muro de la lumbrera, se verifique la posición en que se encuentra para determinar el área por demoler de dicho muro y de esta forma evitar sobreexcavación en la zona del muro y poner en peligro la salida del escudo a la lumbrera por cualquier eventualidad que pudiera presentarse, también sirve para hacer los trabajos de recepción del escudo en la cuna metálica como son fijación, nivelación y troquelamiento, la cual se instala una vez que la cabeza del escudo ha salido del muro de la lumbrera.

PORTAL DE SALIDA

Para poder comprender el funcionamiento del portal de salida, a continuación descubriremos en forma resumida, la construcción de la lumbrera por el método de flotación con la integración del portal.

La construcción de la lumbrera por el método de flotación se lleva a cabo mediante los siguientes pasos:

- 1.- Construcción de brocales exterior e interior.
- 2.- Excavación de la zanja perimetral mediante la utilización de una draga guiada, sustituyendo el lodo excavado por lodo bentonítico.
- 3.- Demolición del brocal exterior e inicio de la excavación del núcleo de la lumbrera, sustituyendo el material excavado por lodo mejorado (Suelo-Bentonita)
- 4.- Construcción del tanque de flotación, el cual se instala en la lumbrera, una vez excavado todo el núcleo con la ayuda de las grúas.
- 5.- Una vez instalado el tanque de flotación sobre la lumbrera, se inicia la colocación del acero de refuerzo sobre el tanque para la construcción de losa de fondo y parte del muro de la lumbrera; se cimbra y se cuela.
- 6.- Se descimbra para iniciar un proceso de inmersión y continuar con el siguiente tramo de colado del muro de la lumbrera, de acuerdo al proyecto ejecutivo, se localiza la posición del portal de salida para la colocación del mortero, aclarándose que en esta zona no se cuenta con acero de refuerzo.
- 7.- Los procesos de colado e inmersión de la lumbrera, son repetitivos hasta llegar a la cota de

proyecto y una vez finalizado, procedemos a efectuar el relleno del espacio anular y fondo de la excavación con un mortero de resistencia de 20-30 kg/cm². Para ejecutar esta actividad, es necesario primero construir las trabes de liga.

8.- El portal de salida integrado al muro de la lumbrera, debe contar con una resistencia final de 20 a 30 kg/cm² y contar con el área suficiente para permitir el paso del escudo.

9.- Durante el proceso constructivo de la lumbrera y una vez concluida la colocación del mortero en toda el área de salida del muro de la lumbrera, procederemos a efectuar la instalación de las vigas verticales en las preparaciones que previamente fueron dejadas para sujetarlas, teniendo un sistema de acuñamiento que al jalar la viga hacia arriba, esta no se atore, actividad que se ara una vez presentado el escudo en el portal.

10.- Al finalizar la construcción de la lumbrera, procederemos a efectuar la segunda etapa del portal de salida que consiste en colocar el acero de refuerzo y el anillo metálico, el cual se encuentra integrado al acero estructural del portal, posteriormente se protegen las vigas verticales envolviendo cada viga con unicel para evitar la adherencia del mortero o concreto de acuerdo a su posición y que esto no represente problema para su extracción.

11.- Se cimbran y se cuelan con concreto hidráulico las zonas que indique el proyecto, posteriormente se cuelan con mortero de las mismas características, la zona donde saldrá el escudo.

Una vez concluidos todos los trabajos sobre la construcción del postal de salida, procederemos a instalar el sello de hule que tendrá como fin, evitar la fuga de lodos y con ello crear una hermeticidad en el portal; posteriormente colocaremos las placas de cierre con la finalidad de

limitar el área de entrada del escudo al portal y garantizar que el sello de hule no se salga de su lugar y así con el escudo en posición frente al portal de salida y una vez revisados todos los sistemas de operación del escudo, procederemos a la extracción de las viguetas verticales mediante el empleo de una draga LS - 108 ó bien una grúa, en caso de que la viga presente ciertos problemas para la extracción del elemento metálico, procederemos a instalar una ménsula y un gato para incrementar la fuerza de la extracción (como se aprecia en la fig.2) este proceso debe hacerse simultaneamente y una vez extraída la vigueta, procederemos a llenar el espacio que dejó la viga con mortero de la misma resistencia (20 - 30 kg/cm²) este proceso de extracción es repetitivo, hasta retirar y llenar el último hueco dejado por las viguetas, se debe dejar que el mortero frague para estar en condiciones de empujar y cortar el material (mortero del portal de salida) con el escudo, debido a que si no ha fraguado en el momento de cortar el mortero, podemos tener fugas de lodo a través de los conductos dejados por las vigas.

Cabe aclarar que con el escudo en la cuna y colocados todos los elementos del portal de salida, iniciamos el empuje del escudo, apoyandonos en los anillos instalados en el faldón del escudo, durante el avance tenemos que tener cuidado con el sello de hule y una vez introducido el escudo en el portal de salida; procederemos a efectuar el ajuste de las placas sobre el cuerpo del escudo, para evitar que el sello se salga cuando se presuriza el frente. Simultaneamente con estos trabajos procedemos a instalar los sobrecortadores y una vez ajustadas las placas, procederemos a presurizar el frente con lodo de baja densidad o bien, solo agua tratada y se inicia el proceso de corte del mortero con el escudo, para proceder a su desplazamiento el escudo se apoya en el revestimiento primario y con la ayuda de los gatos de empuje este se desplaza y una vez alcanzado el espacio suficiente para la instalación de un semianillo; este es colocado en el faldón del

escudo dejando un espacio por el endovelado para permitir la introducción de materiales al interior del túnel, a esta colocación de semianillos se le llama túnel falso, el proceso es repetitivo hasta que el escudo se pierda, es decir se introduzca totalmente en el subsuelo.

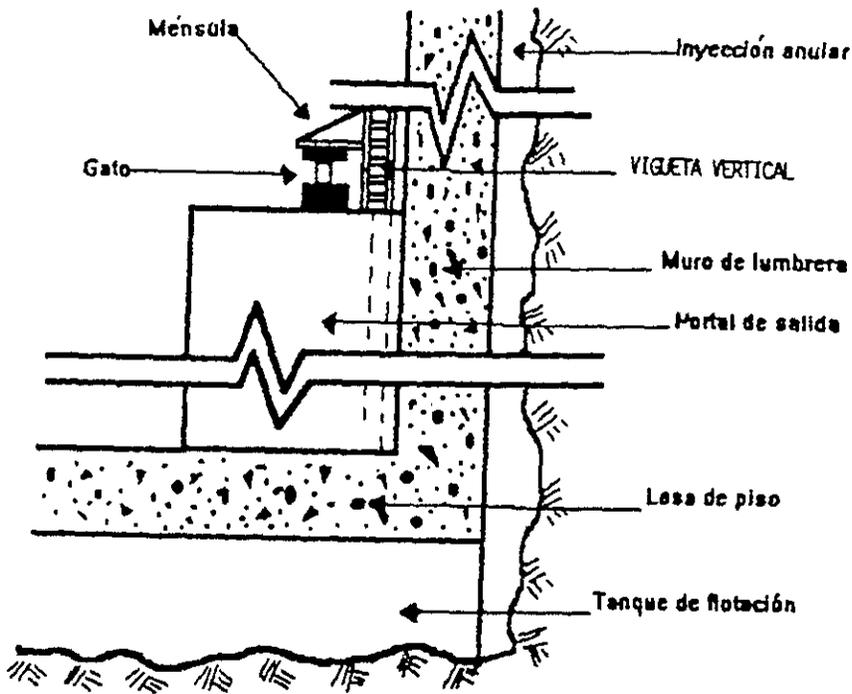


FIG. 2
CORTE SOBRE LA EXTRACCION DE
VIGUETAS EN PORTAL DE SALIDA

VI.- TRABAJOS PREVIOS AL INICIO DE LA EXCAVACION.

Se denomina como "Trabajos previos al inicio de la excavación", aquellas actividades que se realizan cuando están terminadas las instalaciones en superficie y lumbrera, y el escudo se encuentra en condiciones de operar. Estos trabajos son:

- Instalación de los dientes sobrecortadores.
- Demolición de la pared y de la inyección perimetral de lumbrera.
- Colocación de semianillos de atraque.

1.- INSTALACIÓN DE LOS DIENTES SOBRECORTADORES

La función de los sobrecortadores, que se instalan en el cabezal cortador del escudo, es reducir la fricción entre el suelo tratado y la camisa del escudo.

2.- DEMOLICION DE LA PARED Y DE LA INYECCION PERIMETRAL DE LUMBRERA.

La pared de la lumbrera se demuele con martillos neumáticos, por etapas, hasta tener contacto en el suelo mejorado (fig. VI.1.):

A) Primero se costurea (ranura) el concreto, formando una cuadrícula (Sin alcanzar la zona de la inyección perimetral). El hueco demolido debe ser geoméricamente mayor que el diámetro del escudo.

B) Una vez hecho lo anterior, se procede a cortar el acero de refuerzo y a retirar los bloques de concreto, de arriba hacia abajo.

C) A continuación se realiza la demolición de la inyección perimetral, también de arriba hacia abajo, quedando al descubierto el suelo mejorado.

D) Se limpia la zona de escombros y material suelto.

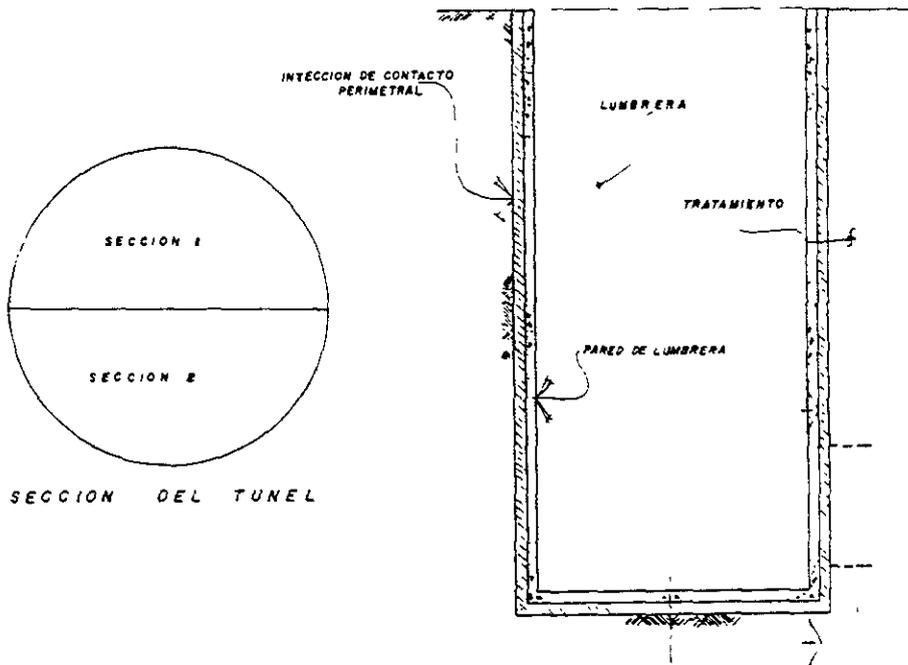
Al realizar estas actividades, deben tomarse las precauciones necesarias para que en caso de presentarse cualquier indicio de falla del frente, pueda controlarse adecuadamente (contar con madera para ademar, tubería para canalizar flujos de agua, etc.). Así mismo, cabe recalcar que es de vital importancia que estos trabajos se realicen con la mayor rapidez.

3.- COLOCACION DE SEMIANILLOS DE ATRAQUE.

En forma simultanea a la operación de demolición, en la parte trasera del escudo se colocan las dovelas de atraque (primer semianillo), para formar el apoyo del escudo. Este semianillo se rigidiza mediante el colado de un muro de ajuste adosado al muro de atraque.

Al terminar ambas operaciones se inicia el avance del escudo, cuando los gatos de empuje reaccionan sobre el semianillo, comenzando este a deslizarse sobre la cuna.

Cuando el cabezal cortador del escudo hace contacto con el terreno mejorado, el avance se detiene para proceder a realizar las actividades de presurización de la cámara de lodos.



- 1 - DEMOLER LA SECCION I
- 2.- TROQUELAR Y APUNTALAR CON DURMIENTES Y POLINES EL FRENTE DEL TERRENO
- 3.- DEMOLER LA SECCION 2
- 4.- TROQUELAR Y APUNTALAR CON DURMIENTES Y POLINES EL FRENTE DEL TERRENO
- 5.- RETIRAR EL MATERIAL DEL APUNTAMIENTO
- 6.- AVANZAR (*)
 - * A) AVANZAR HASTA COLOCAR UN ANILLO
 - B) AVANZAR EL ESCUDO
 - C) EXTENDER EL GATO DE LA CABEZA CORTADORA TOTALMENTE
 - D) INSTALAR LOS SOBRECORTADORES
 - E) HINCAR EL ESCUDO EN LA PARED
 - F) EFECTUAR PRUEBA DE CIRCULACION EN EL FRENTE

Fig. VI-1 DEMOLICION POR ETAPAS DE LA PARED DE LUMBRERA

VII.- EXCAVACIÓN DE TUNEL.

1.- AVANCE Y CONDUCCION DEL ESCUDO.

Como se ha mencionado, por medio de los 24 gatos de empuje, el escudo avanza y es conducido durante la excavación de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

Para realizar con éxito la excavación de un túnel, no se debe perder de vista que cada empuje debe responder a una planeación general de la conducción del escudo, por lo que cualquier corrección a las desviaciones que se presenten respecto a la línea de proyecto, debe ser estudiada debidamente.

1.1 EMPUJES

Al iniciar cada ciclo de excavación, para efectuar cada empuje, se deben considerar los factores que a continuación se indican:

1.1.1 TOPOGRAFIA.- Es necesario conocer la elevación y posición con respecto al alineamiento del proyecto, del último anillo colocado (dentro del faldón), así como de los anillos anteriores, para verificar si los resultados de los empujes previos corresponden a lo planeado. En función de esta verificación se determina la necesidad de reprogramar las modificaciones o correcciones que se consideren necesarias.

1.1.2 POSICION Y ORIENTACION DEL ESCUDO.- El escudo cuenta con los dispositivos (Clinómetros) para indicar en forma constante la posición con respecto a su eje longitudinal (Pitching) y respecto a su eje vertical (Rolling). El Pitching nos determina las acciones inmediatas por ejecutar, para corregir desviaciones, en caso de que existan.

1.1.3 ESPACIO ANULAR ENTRE ANILLOS DE DOVELAS Y FALDON DEL ESCUDO.- Es el espacio existente entre el diámetro exterior del anillo de dovelas y el diámetro interior del faldón del escudo (Galibos), por especificación la separación mínima que debe existir es de 5 mm.

En todos los empujes se debe cuidar que la separación entre dovelas y faldón no rebase la separación mínima, para evitar que al pegarse el revestimiento primario y el cuerpo del escudo, se generen en las dovelas esfuerzos que puedan dañarlas, lo que además pueden dañar los sellos de neopreno en esa zona, provocando con esto, que se presenten fugas del mortero de inyección, así como lodo proveniente del frente al interior del escudo. La posición ideal es mantenerse concéntricos los anillos con respecto al faldón del escudo.

Quando se requiere despegar el escudo del endovelado, se dejan de usar 2 a 4 gatos de empuje en las zonas donde las dovelas y el faldón se encuentran pegados, para provocar un desvalanceo de las fuerzas aplicadas en el empuje, lo que hara que el escudo avance menos en esa zona, lograndose de esta manera despegar las dovelas del faldón.

1.2 VOLUMEN EXCAVADO Y VOLUMEN DESPLAZADO

Durante los empujes, en la consola del control central, se cuenta con una computadora que va calculando en forma continua la relación entre el volumen excavado (VE) y el volumen desplazado (VD), que debe mantenerse en le unidad, para evitar sobreexcavación o inducir esfuerzos de compresión en el terreno.

VOLUMEN EXCAVADO.- Es la cantidad de material que pasa por las compuertas de control de excavación. Es determinado por la computadora, a partir de los datos registrados por los medidores de flujo de suministro y extracción de lodos.

VOLUMEN DESPLAZADO.- Es el volumen ocupado por el escudo durante su avance. Es determinado por la computadora a partir de los datos registrados por los sensores de carrera de los gatos de empuje.

Cuando la relación VE/VD es mayor que la unidad, se indica que se está excavando más volumen que el desplazado, lo que se implica que se debe ajustar la abertura de las compuertas de control de excavación o disminuir la velocidad del escudo.

Cuando la relación VE/VD es menor que la unidad, indica que se está empujando el terreno, lo que implica que se debe de ajustar la velocidad del avance del escudo o abrir más las compuertas de control de excavación.

1.3 FORMAS DE AVANCE.

Los controles independientes para desplazamiento de la cabeza cortadora y de los gatos de empuje, permiten al escudo dos formas de avance.

a) El cuerpo del escudo avanza cortando el terreno; la cabeza cortadora se mantiene una presión contra el frente, sin girar, con las compuertas de excavación cerradas. Se va retrayendo el gato de la cabeza cortadora conservando la presión de frente.

b) Una vez que el cuerpo del escudo tiene un avance de 40 cm., se detiene para iniciar la excavación, la que se efectúa con la cabeza cortadora avanzando 40 cm., girando con las compuertas de control de excavación abiertas, mientras el cuerpo del escudo permanece fijo con respecto al suelo.

La repetición de este ciclo se efectúa hasta concluir el empuje. Esta forma de avanzar se recomienda para familiarizarse con la operación del escudo.

1.3.2 **AVANCE SIMULTANEO.**- En esta forma el cuerpo del escudo y la cabeza cortadora avanzan simultáneamente. Esto se hace extendiendo los gatos de empuje, con la cabeza cortadora girando y manteniendo fijo su desplazamiento.

1.4 REVESTIMIENTO PRIMARIO

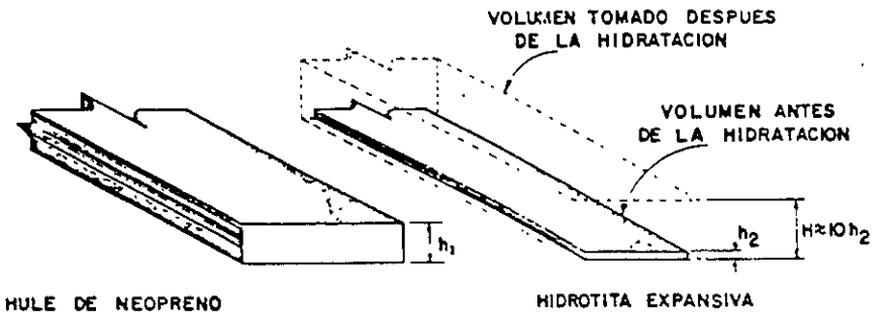
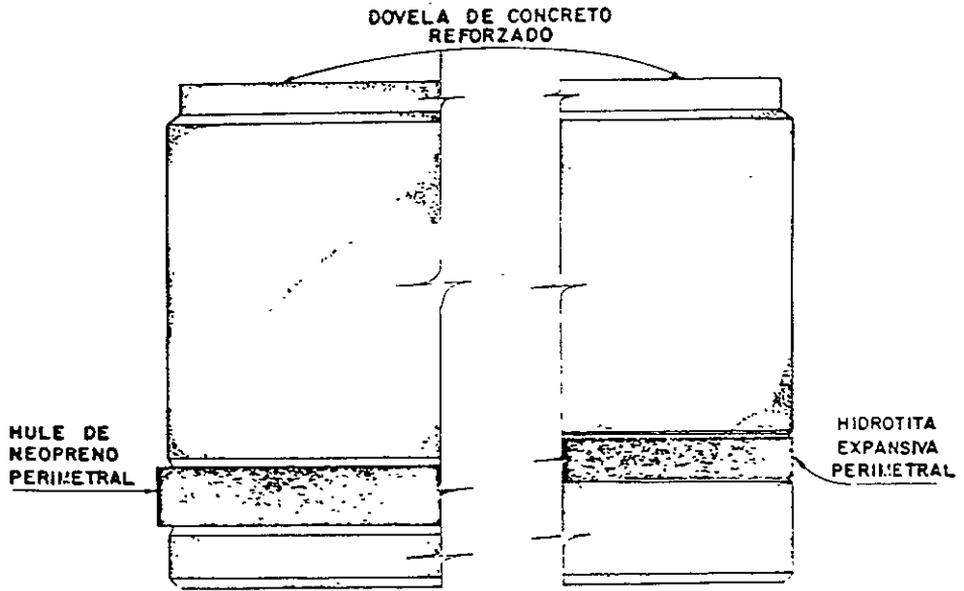
El escudo de frente presurizado va dejando un revestimiento primario formado por anillos de dovelas de concreto reforzado de una resistencia de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, de 6.10 m. de diámetro exterior y 25 cm. de espesor.

El anillo de dovelas consta de 6 piezas:

3 tipo A ó Normales , 2 tipo B ó Tangenciales y una tipo K ó Cuña para cerrar el anillo.

La fijación de los anillos, se realiza por medio de 33 tornillos de 1 1/8" de acero grado 5 con tuerca y rondana. Cada dovela tiene en el centro una perforación llamada **INSERTO**, la que se utiliza para su manejo durante la colocación y posteriormente, por el mismo inserto se efectúa la inyección de contacto entre dovela y terreno.

Las dovelas tienen una separación perimetral, la que se utiliza para la colocación de un sello de neopreno. La función del sello es la de impedir la entrada al túnel de filtraciones. Cuando por necesidades de proyecto, cuando la excavación cruza bajo una estructura importante (Metro, Viaducto, Edificaciones), se ha utilizado en las dovelas un sello de fabricación Japonesa, llamado HIDROTITA, que es un sellador de juntas de goma, cuya característica principal es que se expande hasta 10 veces su volumen a medida que absorbe agua, logrando de esta manera una mayor estanqueidad del túnel. (Fig. VII.1)



SELLOS PERIMETRALES EN DOVELAS

1.4.1 TIPOS DE ANILLOS DE DOVELAS.- Se cuentan con dos tipos de anillos de dovelas: **NORMALES Y CORRECTIVOS.**

Los anillos **Normales** tienen un metro de ancho en todo su perímetro y se usan en los tramos en tangente.

Los anillos **CORRECTIVOS** tienen un ancho, que varían de 1.00 m. a 0.95 m. su función es facilitar el cambio de dirección del escudo, que se manifiesta al colocar el siguiente anillo (Fig. VII. 2 y 3).

Los anillos **CORRECTIVOS** se utilizan en tramos en tangente para corregir las desviaciones del escudo y para despejar el endovelado del faldón.

El principal uso de los anillos de **CORRECTIVOS** es en curvas. La ejecución de los empujes en curvas se efectúa de acuerdo a una modulación, (Que se calcula previamente) de los anillos normales y correctivos por colocar.

Durante los empujes para anillos **CORRECTIVOS**, se dejarán de utilizar 2 ó 4 gatos laterales en el sentido de la curva. Para verificar que el escudo responda de acuerdo a la programación del empuje, se debe cuidar que en la carrera de los gatos, se vaya reflejando la diferencia de anchos del anillo correctivo, de tal manera que al finalizar el empuje se deben tener 5 cm. de diferencia entre uno y otro lado del escudo. No debe olvidarse que se deben respetar la separación mínima entre dovelas y faldón.

1.4.2 DETERMINACION DE TIPO DE ANILLOS EN CURVAS

En virtud de que cada curva tiene diferentes radios y longitudes, se deben calcular la modulación de anillos para cada caso. A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para la modulación de anillos.

Anillo cónico

El abusamiento Δ está dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{\frac{n}{m} \times B + BT}{R + \frac{D_o}{2}} \times D_o$$

m: Número del anillo cónico utilizado para curvas.

n: Número del anillo standard usado para curvas.

BT: Ancho máximo del anillo cónico en metros.

B: Ancho de la dovela standard en metros.

D_o: Diámetro externo de la dovela en metros.

m = 5

n = 3

BT = 0.98 m

B = 1.0 m

D_o = 6.1 m

R = 200 m

$$\Delta = \frac{\frac{3}{5} \times 1.0 + 1.0}{200 + \frac{6.1}{2}} \times 6.1$$

$$= 0.048 \text{ m} = 48.0 \text{ mm}$$

Calcule dejar 2.0 mm. como tolerancia.

Por lo tanto,

$$\Delta = 48.0 + 2.0 = 50.0 \text{ mm}$$

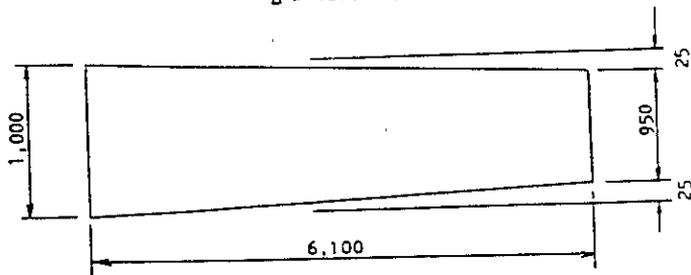


FIGURA VII.2

EJEMPLOS DE ARREGLO DE ANILLOS
PARA CURVAS

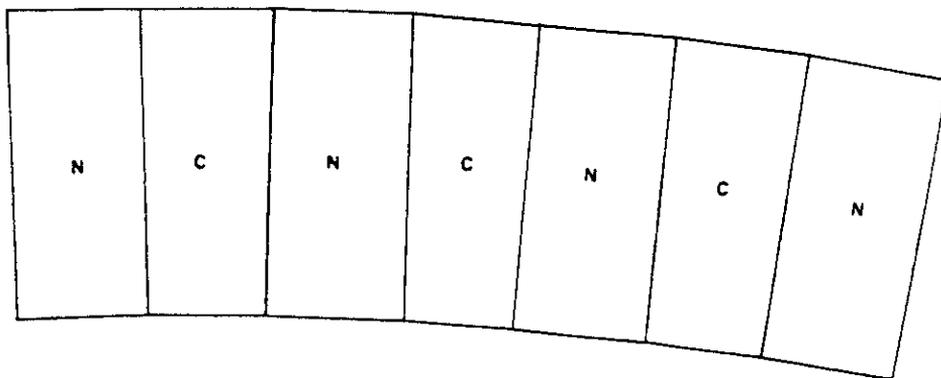
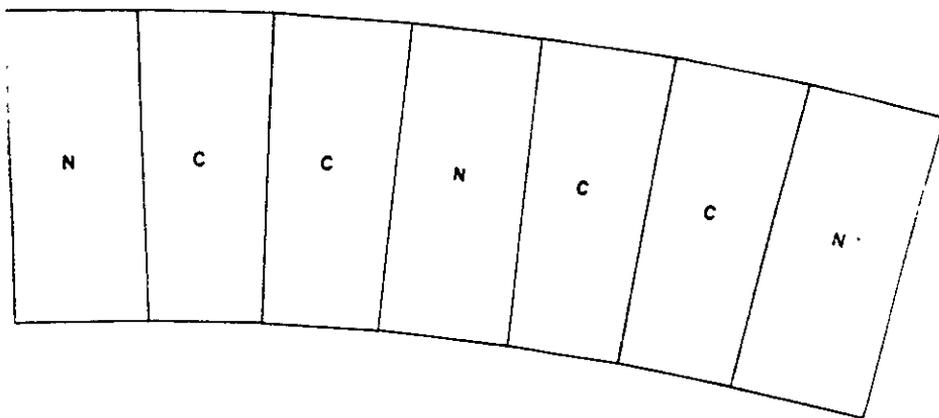


FIGURA VII - 3

DATOS: P.C. = 1 + 588
 P.T. = 1 + 638.2143
 L.C. = 99.116
 Δ = 18°38'40.35"
 R = 304.5894

LONGITUD EXTERIOR DE LA CURVA

$LC_e = R_e \theta$...1. En donde R_e es el radio de la curva

$R_e = R + D/2$ En donde D es el diámetro exterior del anillo de dovelas.

$$R_e = 304.5894 + 3.05 = 307.6394$$

$$\theta = LC/R = 99.116 / 304.5894 = 0.3254$$

Sustituyendo en 1.

$$LC_e = 307.6394 \times 0.3254 = 100.106 \text{ M.}$$

LONGITUD INTERIOR DE LA CURVA

$$LC_i = R_i \theta = (304.5894 - 3.05) 0.3254 = 98.12 \text{ M.}$$

DETERMINACION DE ANILLOS CORRECTIVOS Y NORMALES

DIFERENCIA DE CURVAS.

$$100.106 - 98.12 = 1.985 \text{ M.}$$

$$\text{No. DE ANILLOS CORRECTIVOS} = 1.985 / 0.05 = 39.7 \cong \underline{\underline{40}}$$

No. DE ANILLOS NORMALES

$$39.70 \times 0.95 = 37.715$$

$$98.12 - 37.715 = 60.406 \cong \underline{\underline{60 \text{ ANILLOS NORMALES}}}$$

$$\text{TOTAL} = 100 \text{ ANILLOS}$$

Lo que concuerda de longitud exterior, ya que el desarrollo de todos los anillos en la curva exterior es 1.00 m.

Arreglo Propuesto:

20 repeticiones de anillos correctivos y 3 anillos normales;

1.5 INYECCION DE CONTACTO ENTRE DOVELA Y TERRENO.

Al avanzar el escudo y salir las dovelas del faldón, existe un espacio anular que corresponde al espesor del faldón y la holgura de las dovelas respecto al mismo. Este espacio debe ser inyectado de manera inmediata para evitar asentamientos en superficie.

La inyección se realiza a través de los insertos de las dovelas, una vez que los anillos van saliendo del faldón del escudo. (Fig. VII.4).

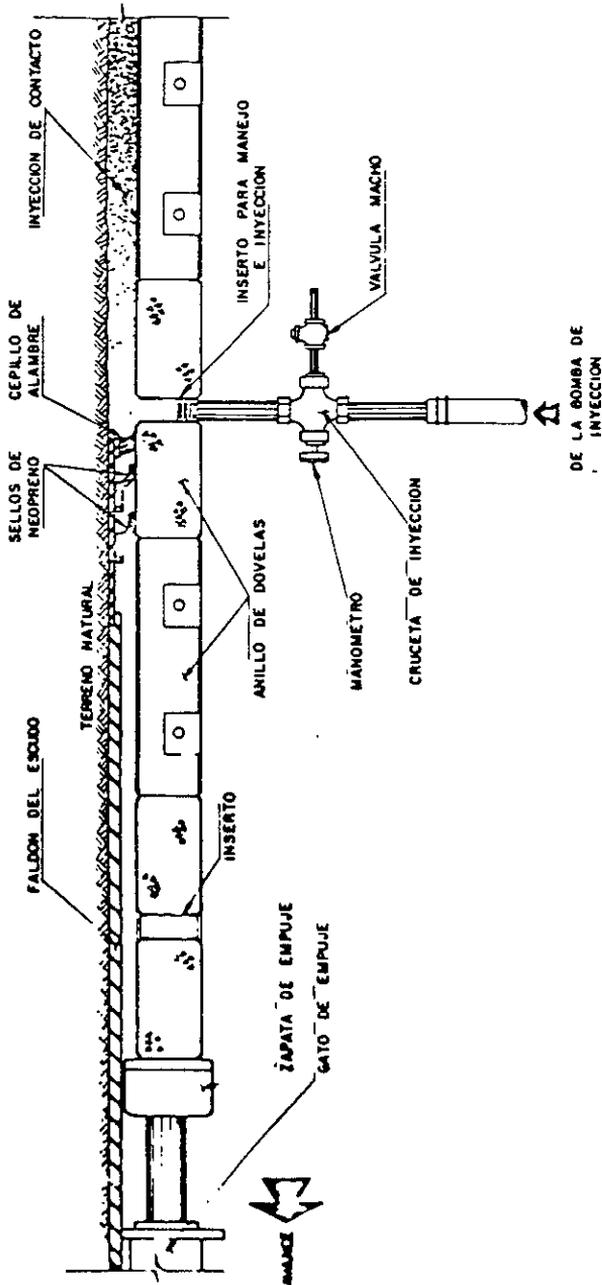
La dosificación de la mezcla de inyección utilizada por Bacha de 0.5 m³ es:

CEMENTO :	200 KGS.
ARENA SILICA :	0.243 M ³
BENTONITA :	50 KGS.
AGUA :	380 LTS.

La inyección esta limitada a 1.5 kg/cm² de presión ó 2.0 m³ de mezcla por anillo (lo que ocurra primero).

1.6 CICLO DE TRABAJO

Las actividades críticas para el ciclo de excavación son los empujes y la colocación de anillos. El resto de las actividades (complementarias) para la construcción del túnel., se pueden efectuar paralelamente a las actividades críticas. las actividades completarias son:



INYECCION DE CONTACTO EN
 ESCUDOS DE FRENTE PRESURIZADO
 FIGURA VII.4

Colocación de durmientes y vía, que se puede realizar durante el empuje; la instalación de tuberías para lodos, se puede realizar durante la colocación de los anillos. En forma similar estarían la colocación de andadores, tuberías para agua y aire, iluminación de túnel, etc.

2.- PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

2.1 EXCAVACIÓN DE 50 MTS. INICIALES.- Al inicio de excavación de un tramo de túnel, el equipo del escudo se instala en la lumbrera. La introducción de este equipo, se realiza durante el avance de los primeros 50 mt. de túnel, que es la longitud que ocupa el tren, el cual posteriormente es remolcado por el propio escudo.

La excavación de los 50 mts. iniciales, se puede dividir en dos etapas:

2.1.1 EXCAVACIÓN DE LOS PRIMEROS 5 MTS. DE TUNEL.

Una vez que el escudo esta próximo a la zona de mejoramiento del suelo, debe cruzar 4 mts. de un material de una resistencia aproximada de 20 kg/cm², lo que hace necesario la colocación de los dientes de sobre-excavación, para liberar el cuerpo del escudo de fricciones adicionales.

El proceso para la instalación de estos dientes es el siguiente:

- Expandir el gato de la cabeza cortadora los 40 cms. de carrera.
- Girar la cabeza cortadora, con pequeños impulsos, para que las preparaciones de los dientes queden cerca de una de las puertas de inspección de la cámara presurizada.
- Colocar los dientes de sobre-excavación.

Nunca se debe retraer la cabeza cortadora con los dientes de sobre-excavación colocados.

2.1.2 PRESURIZACIÓN DE LA CAMAR DE MEZCLADO Y AVANCE DEL ESCUDO.

Una vez que se instalaron los dientes de sobre-excavación, se procede al llenado de la cámara presurizada (Con agua tratada proveniente de la cámara de tratamiento) y del espacio que existe entre el cuerpo del escudo y sello de salida de la lumbrera, hasta alcanzar una presión de 1.0 kg/cm². El aire atrapado es expulsado por la válvula colocada en la parte superior del sello de salida). Posteriormente se operan la cabeza cortadora y los gatos de empuje (Apoyándose en los anillos de atraque) para iniciar el movimiento del escudo. Una vez que el escudo tiene un metro de avance, se procede a la colocación de los anillos de dovelas y así sucesivamente.

Al cruzar la zona de mejoramiento del suelo, es frecuente que se presente taponamientos en la tubería de extracción de lodo. El procedimiento para destapar la línea, es desconectar las mangueras flexibles para intercambiar los ductos de suministro y extracción de lodo. El flujo de lodo en dirección opuesta debiera liberar la línea del obstaculo existente. Si el taponamiento continua, se debiera buscar el obstaculo, desacoplado la tubería de otros puntos, tales como cambios de dirección, etc.

El avance del escudo, durante su penetración en el terreno, se debe efectuar en zona horizontal para eliminar la posibilidad de que el cuerpo del escudo, pueda golpearse con el marco metálico del sello de salida.

Una vez que la cabeza cortadora cruza la zona tratada, se deben retirar los dientes de sobre-excavación.

Así mismo, se debe ajustar la presión frontal, de acuerdo a lo indicado en el estudio de mecánica de suelos se puede determinar aumentando, en 0.2 kg/cm² la presión señalada en el manómetro instalado

en la mampara metálica. Este segundo procedimiento, se efectúa manteniendo el lodo, de la cámara presurizada en reposo, con las válvulas de suministro y extracción cerradas.

Cuando el escudo se introduce totalmente en el sello de salida de la lumbrera, se deben cerrar las placas perimetrales del marco metálico, para evitar que el sello de hule se regrese.

La primera inyección entre dovelas y terreno, que normalmente se efectúa durante el empuje para el cuarto anillo de túnel, no se limita en volumen, debido a que es necesario inyectar el espacio entre dovelas y sello de salida de la lumbrera, siendo la presión (1.0 kg/cm²) lo que gobierna.

2.1.3 EXCAVACIÓN DE LOS SIGUIENTES 45 MTS.

La instalación en túnel del tren de equipo, se efectúa de acuerdo al avance de la excavación. La longitud del tren de equipo es de 40 mts., con la carrera de la tubería telescópica retraída.

Como se ha mencionado, el tren de equipo consta de 4 módulos y una unidad de tubería telescópica, que van instalándose en el túnel a medida que se tiene el espacio para cada módulo. A continuación se indica la secuencia de instalación del equipo en túnel:

- El modulo No. 1, se instala al tener 8 mts. de avance.
- El modulo No. 2, se instala al tener 15 mts. de avance.
- El modulo No. 3, se instala al tener 21 mts. de avance.
- LA UNIDAD DE TUBERIA TELESCOPICA, se instala al tener 45 mts. de túnel, lo que permite avanzar hasta 51 mts. antes de iniciar la colocación de las tuberías de suministro y extracción. (ver Fig. VII.6)

EXCAVACION DE LOS PRIMEROS 50 METROS

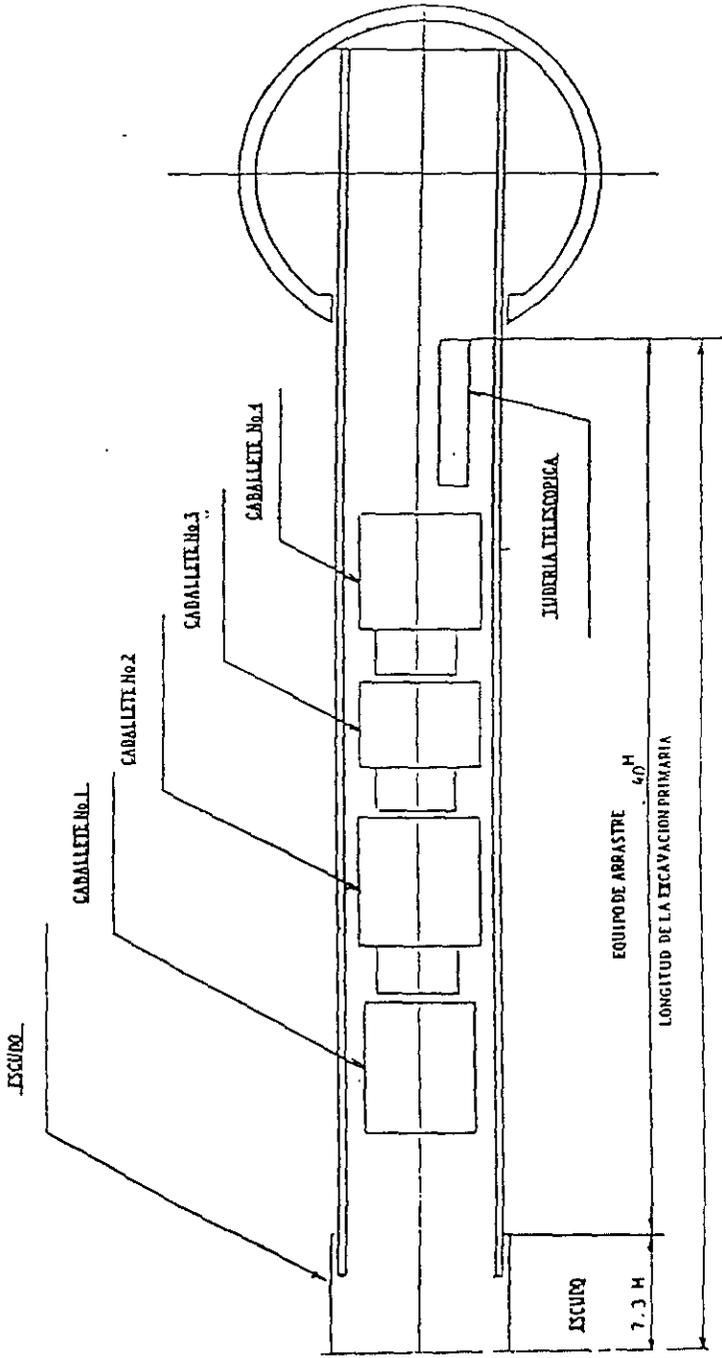


FIGURA VII 6

2.1.4 RETIRO DE ANILLOS DE ATRAQUE

Cuando el túnel tiene una longitud de 60 mts. aproximadamente, se pueden retirar los anillos de semiatraque, ya que esta longitud permite absorber la fuerza de los gatos de empuje del escudo, sin desplazar los anillos instalados. Los anillos de atraque deben almacenarse para usarse nuevamente en otro tramo de excavación.

Para facilitar el suministro de dovelas y materiales al túnel, en la zona de clave de los semianillos de atraque se coloca una estructura tubular, para sustituir las dovelas faltantes.

2.1.5 PROCEDIMIENTO PARA TERMINACIÓN DE EXCAVACIÓN

Al finalizar la excavación de un tramo, el escudo debe cruzar por una zona de mejoramiento del suelo, similar al de la salida de la lumbrera.

A continuación se indica el procedimiento requerido para terminar la excavación de un tramo, así como la colocación del escudo de la lumbrera de llegada:

1.- Cuando la cabeza cortadora se encuentra a 1.0 mts. del muro de la lumbrera, se despresuriza la cámara de mezclado, debido a que ya no es necesario utilizar el sistema de circulación de lodos. Así mismo se suspende la inyección de contacto.

2.- Se realiza la demolición de una parte del muro de la lumbrera, y se descubre parcialmente la cabeza cortadora, para ubicar físicamente la posición del escudo y definir el área total que se demolerá.

3.- Al finalizar la demolición de muro, se avanza el escudo sin girar la cabeza cortadora, para empujar el material del frente al interior de la lumbrera, de donde es extraído posteriormente. El escudo se avanza hasta que la cabeza cortadora llegue al paño de la lumbrera.

4.- El escudo es recibido en la lumbrera en una cuna, que puede ser de concreto o metálica. Una vez verificando el nivel de la cuna, el escudo avanza hasta quedar sobre dicha cuna.

5.- Cuando el escudo termina su desplazamiento, se procede a retirar los anillos que no forman parte del túnel, pero que se requieren para apoyo y colocación del escudo en el centro de la lumbrera. Estos anillos son reutilizados.

6.- El espacio perimetral entre dovelas y muro de lumbrera, se calafatea para efectuar la inyección entre dovelas y terreno, que había sido suspendida, terminando con esta actividad la excavación.

2.1.6 CASOS DE EMERGENCIA.

Para solucionar eventuales inestabilidades en el frente, el cuerpo del escudo cuenta con 12 preparaciones, localizadas junto a la mampara. Cada preparación cuenta con una válvula.

Por medio de estas preparaciones, se pueden encar hacia al frente tuberías y a través de ellas efectuar un tratamiento de inyección para mejorar el suelo y poder continuar con la excavación del túnel. El tipo de mezcla y volumen por inyectar deberá estudiarse previamente.

La inyección debe efectuarse con las compuertas de control de excavación cerradas totalmente.

VIII.- SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE LODOS

A) DESCRIPCIÓN GENERAL

El sistema de circulación de lodos está compuesto por el siguiente equipo:

- Bomba de suministro (Velocidad Variable)
- Bomba de descarga (Velocidad Variable)
- Bomba de traspaleo (Velocidad Constante)
- Medidores de flujo y suministro de descarga.
- Medidores de la densidad de suministro y descarga
- Válvulas de compresión de suministro y descarga
- Válvulas de bola de derivación.
- Unidad neumática para válvulas de compresión y la válvula de bola de derivación.
- Unidad de tubería telescópica.

BOMBA DE SUMINISTRO: Esta bomba se encuentra instalada en superficie en el compartimiento destinado a la planta de tratamiento de lodos donde se verifica que la intensidad del lodo se encuentre dentro de los rangos permisibles que son de 1.0 a 1.06 Gr./DM³, para estar en condiciones de uso del lodo, en caso de que la densidad no este dentro de los límites indicados anteriormente, se adicionara agua tratada para bajar la densidad de manera que esta cumpla.

BOMBA DE DESCARGA: La bomba de descarga se encuentra instalada en el tren de equipo que arrastra el escudo durante los empujes que dependerán de la presión del frente para variar su velocidad de descarga a la planta de tratamiento de lodos que se encuentra en superficie.

BOMBAS DE TRASPALAO: Estas bombas son instaladas a lo largo del túnel, con una separación de 500 m. en promedio general y son estas las que ayudan a

desplazar el lodo producto de la excavación hasta superficie.

MEDIDORES DE FLUJO DE SUMINISTRO DE DESCARGA: Se encuentran instalados en las tuberías de suministro (8" ϕ) y descarga (6" ϕ) en el tiro de la lumbrera, para registrar los volúmenes de lodo de suministro y descarga, mismo que al ser comparados, determinan el volumen excavado.

MEDIDORES DE LA DENSIDAD DE SUMINISTRO Y DESCARGA: Esta instrumentación como la de medidores de flujo, se instalan en el tiro de la lumbrera para medir las densidades de suministro y descarga durante la operación del sistema de circulación de lodos y nos indica la densidad del lodo que se emplea en la excavación a través de la consola central de control.

VÁLVULAS DE COMPRESIÓN DE SUMINISTRO Y DESCARGA: Se encuentran instaladas en el interior del túnel en el tren de equipo adelante del BY PASS, con la finalidad de efectuar una recirculación del lodo antes del inicio de la excavación, para homogeneizar el lodo que se encuentra dentro de las lumbreras.

SERVOMECANISMO DE LA UNIDAD DERIVADORA: Propiamente permanece cerrado durante el proceso de excavación y abierto cuando se hace una recirculación del lodo.

UNIDAD NEUMÁTICA PARA VÁLVULAS DE COMPRESIÓN Y EL SERVOMECANISMO DE LA UNIDAD DE DERIVACIÓN: Esta unidad cumple con el funcionamiento de poder en un momento, cerrar el sistema mediante la inducción de aire y es controlada a distancia por válvulas solenoides, la cual se encuentra instalada en el tren de equipo.

UNIDAD DE TUBERÍA TELESCÓPICA: Esta unidad permite que el tren de equipo se desplace sin contratiempos por contar con un sistema de engranajes y cremalleras que permiten aumentar la

carrera de la tubería sin hacer cambio alguno en cada empuje, este cambio se efectúa en cada espacio suficiente para instalar el siguiente tramo de tuberías, cerrando las válvulas más cercanas que son instaladas a cada 200 m., para evitar la descarga de la misma; esta unidad se encuentra instalada en el tren de equipo.

Las tuberías de suministro y de energía que se encuentran conectadas al escudo aquí se invierten los diámetros de las tuberías de lodos, es decir; la de suministro será de 6" ϕ y la de descarga de 8" ϕ y cada una cuenta con una válvula manual, cabe aclarar que en fallas de energía eléctrica, el sistema frontal es pasado automáticamente al modo de derivación que permite mantener la presión en la cámara de mezclado durante el periodo de la excavación, es decir; automáticamente se cierra el sistema, manteniendo la presión frontal. Como se aprecia en la figura.

CABEZA CORTADORA

CÁMARA DE MEZCLADO

De acuerdo a la figura las válvulas de compresión C y D y la válvula de bola de derivación E, fueron provistas para los cambios de modo que la circulación de lodo, durante el proceso de excavación las válvulas C y D se abren y la válvula

E permanece cerrada, durante el proceso de recirculación de lodos sin excavación del frente, las válvulas se colocan en posición contraria, es decir; se cierran para evitar que la recirculación de lodo llegue a la cámara de mezclado. Estas válvulas son accionadas por aire y controladas por solenoides para minimizar la posibilidad de un golpe de ariete durante la circulación de lodo debido a un cambio brusco en su modo de circulación, se puede controlar la velocidad de la válvula de derivación, fijando la velocidad de la válvula instalada en el sistema neumático y luego operar desde la consola de control central, operando el selector " control de válvula de derivación" en posición "lento".

B) PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS.

Los estanques o fosas para el manejo de lodos, son construidos en superficie de acuerdo a las necesidades del manejo de los mismos y tienen como función principal, separar por medio de sedimentación los lodos más densos del producto de excavación del lodo de menor densidad que se utiliza en la excavación del frente. Su localización debe estar cerca de la boca de la lumbrera, esta planta de tratamiento de lodos, cuenta con el siguiente equipo:

- Bomba sumergible
- Bomba P-1 para suministro al túnel
- Bomba centrífuga para suministrar agua tratada al tanque compensador o tanque de suministro.

BOMBA SUMERGIBLE: Esta bomba tiene como función principal, desalojar el lodo producto de la excavación que se deposita a través de una tubería que viene desde el escudo, hasta el tanque de sedimentación y este lodo es desalojado mediante la bomba sumergible a través de una tubería a los camiones pipa para su traslado.

BOMBA P-1 PARA SUMINISTRO DEL TÚNEL: La bomba P-1 para suministro (velocidad variable) es operada desde la consola de control instalada en superficie, para mantener la presión en el frente de excavación, esta se regula de acuerdo a la velocidad del flujo de suministro, variado de 3.4 m³/min. a 4.0 m³/min. dependiendo de la necesidad propia de la excavación.

BOMBA CENTRIFUGA: Esta bomba se encuentra instalada en el tanque de almacenamiento de agua tratada, para el suministro de agua al tanque compensador para bajar la densidad de suministro de lodo, que será utilizada para la excavación del túnel, la cual varía de 1.0 a 1.06 GR./MIN. de lo descrito anteriormente, se concluye que la planta de tratamiento de lodos debe cumplir con los siguientes requerimientos para que esta sea funcional:

A) El lodo proviene del frente de excavación, inicia su proceso de sedimentación de los grumos de arcilla que han sido acarreados por el lodo de suministro a través de la tubería de descarga, cuya densidad de descarga varía dependiendo de la de suministro.

Al encontrarse sedimentados los grumos, estos son extraídos mediante una draga y son depositados en los camiones de volteo, para ser transportados al tiro asignado por la dependencia.

B) Carcamo de ajuste y suministro: Una vez tratado el lodo de descarga, es necesario reducir su densidad con la inclusión de agua tratada del estanque respectivo; para que el lodo pueda ser suministrado al frente de la excavación y la densidad para ser usada, debe fluctuarse entre 1.0 a 1.06 GR./MIN.

C) Carcamo de almacenamiento de agua tratada: En esta estructura es donde se almacena el agua para suministrar el estanque de ajuste para bajar la densidad y que el lodo este en condiciones de uso, su dimensión esta en función de las necesidades del agua tratada para ajuste del lodo.

PROCESO DE RECIRCULACIÓN DE LODOS

Del tanque de suministro se envía el lodo una vez que este cumpla con las características necesarias. El suministro se realiza con la ayuda de la bomba centrífuga P-1 de 55 kw de velocidad variable y gasto de 3.4 y 4.0 m³/min. Dependiendo de la presión frontal para contrarrestar los empujes del suelo, la cual esta colocada una tubería de 8" ϕ que conduce el lodo hasta la cámara presurizada que es el sitio donde el material excavado se introduce a través de las ventanillas de la cabeza cortadora, para ser mezclado con el lodo de suministro mediante las paletas que están fijadas en la cabeza cortadora haciendo de esta una licuadora grande, simultáneamente el lodo que se encuentra en la cámara de mezclado es rezagado mediante la bomba P-2 de 90 kw de velocidad variable y un gasto de 3.4 a 4.0 m³/min. A través de la tubería de 6" ϕ , a medida que la longitud de excavación se incrementa, se instalan las bombas auxiliares P-3, P-4, P-5 y P-6 de 75 kw de velocidad constante y de gasto de 3.4 m³/min. Que están conectadas a la misma tubería para retirar el lodo y depositarlo en el estanque o fosa de lodos de desecho, para nuevamente iniciar el ciclo de utilización del lodo, previa revisión de las densidades del lodo de suministro.

A continuación presentamos un calculo teórico del volumen necesario de lodo, para efectuar el empuje del lodo, para la colocación de un anillo de dovelas.

DATOS: DIÁMETRO DE EXCAVACIÓN	= 6.24 M
LONGITUD DE EXCAVACIÓN	= 1.00 M
FLUJO EN EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE LODO (F.S.C.L.)	= 3.4 A 4 M ³ /MIN.
VELOCIDAD DE AVANCE DEL ESCUDO	= 6 CM/MIN.

CALCULO:

TIEMPO DE EMPUJE (T.E.)= 100 CM / 6 CM/MIN.=**16.6 MIN**

VOL. REQUERIDO (V.R.) = (T.E.) (F.S.C.L.)
= (16.6 MIN) (3.7 M3/MIN)
= **61.42 M3**

VOLUMEN TOTAL = (V.R.) (0.15) + V.R.
= (61.42) (0.15) + (61.42)
= **70.63 M3**

PRUEBAS REALIZADAS AL LODO EN LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN: Tomando como base las densidades de descarga obtenidas en el tanque de sedimentación mediante la balanza "BAROY", se realizaron varias pruebas para conocer la relación de agua tratada que hay que adicionar, con el objeto de bajar la densidad del lodo para ser reutilizado nuevamente durante el proceso de excavación, concluyéndose lo siguiente:

A). A un litro de lodo se le adiciona 0.25 lts. de agua y se obtiene su densidad; nuevamente se le agrega al lodo 0.25 lts. más de agua obteniendo nuevamente su densidad, este proceso es repetitivo hasta obtener el incremento teórico que es de 0.60 lts., como se aprecia en las gráficas Nos. 2,3 y 4.

Teóricamente podemos concluir que, después de haber acabado la excavación de un metro lineal de túnel, el producto de la excavación (lodo) se puede utilizar al siguiente porcentaje:

VOLUMEN DE LODO NECESARIO
PARA REALIZAR UN EMPUJE = 70.63 M3

VOLUMEN EXCAVADO POR UN
METRO LINEAL DE TÚNEL = 30.58 M3

VOL. TOTAL EXTRAÍDO = 101.21 M3

VOL. A RETIRAR EN PIPA Y
VOLTEO 57.00 M3

VOL. DE REHUSO = VOL. T.E. - VOL. RETIRADO
101.21 - 57.00
= 44.21 M3

VOL. DE LODO A UTILIZARSE 44.21 M3

ADICIONANDO AGUA TRATADA EN
UN 60% DEL VOLUMEN DE LODO +
A REUTILIZARSE PARA BAJAR
LA DENSIDAD 26.53 M3

**VOLUMEN TOTAL DEL LODO A
REUTILIZARSE CON LA DENSIDAD
APROPIADA DE SUMINISTRO 70.74 M3**

Otro aspecto importante sobre el manejo de los lodos, es el obtenido físicamente en los tramos ya excavados y esto, representa un índice en el manejo de lodos, cabe aclarar que el porcentaje obtenido respecto al volumen acarreado en algunos tramos, es muy elevado y en otros, la diferencia es poca, esto da a entender que depende en gran medida el manejo de las densidades, para evitar acarreos innecesarios y con ellos el incremento de los costos de excavación.

En base a los resultados obtenidos o más bien registrados durante el desarrollo de los diferentes frentes de excavación que se registraron, se pueden concluir varias cosas como son:

1. En el caso de haber lentes de arena en el tramo por excavar, habrá muchas variaciones en el acarreo del material producto de la excavación, pudiendo incrementar el abundamiento de acarreo.
2. En el tramo L4 - L3 del interceptor oriente sur que se excavo, se puede observar que el abundamiento del material excavado, esta muy por debajo de los valores promedios, cabe hacer la aclaración que para llegar a estos resultados es necesario contar en obra con un buen laboratorio de lodos, el cual en un momento podrá determinar la utilidad del lodo en conjunto con lo registrado en la consola de control.
3. Un mal control en el manejo de lodos, provoca grandes diferencias en acarreos.
4. Es importante mantener el equipo de medición de los decímetros ya que de ellos dependemos en el uso del lodo.
5. Una buena utilización de los lodos, hace que se tengan menos volúmenes de acarreo y con ello una significativa economía en la obra.

A continuación presentamos algunas fotografías del sistema de recirculación de lodos, del cual esta compuesto.

IX.- REVESTIMIENTO PRIMARIO.

Los revestimientos son necesarios en la mayor parte de los de túneles y en terrenos blandos lo son siempre en general la instalación de un revestimiento persigue dos fines: primeramente se trata de proporcionar al terreno un soporte inmediato, que constituya el confinamiento natural existente antes de la excavación, reduciendo así la tendencia del medio a la inestabilidad en torno a la cavidad excavada y limitando las deformaciones durante el proceso del túneleo, tanto durante su construcción como durante su vida útil: esta segunda función con frecuencia es proporcionada mediante un revestimiento secundario o definitivo que se coloca en una etapa posterior de construcción. El uso de los términos primario y definitivo es, sin embargo, ambiguo dado que existen casos en los que el revestimiento primario del túnel es a la vez el definitivo. Para el caso en que nos ocupa es necesario contar con ambos revestimientos debido a que se trata de un túnel para la conducción de aguas negras y pluviales, por un lado, y debido a los efectos que induce el fenómeno de hundimiento regional debido al bombeo sobre el túnel y que se manifiesta por incrementar notablemente los momentos flexionantes que debe ser capaz de soportar el revestimiento. Fenómeno evolutivo que se desarrolla en un periodo de varios años.

A.- DESCRIPCIÓN DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO.

Los escudos de lodo a presión de 6.24 m de diámetro fueron diseñados específicamente para poder excavar en los suelos blandos del Valle de México. Por lo cual el revestimiento primario se diseñó en función del equipo y de los requerimientos que impone el tipo de suelo a soportar.

El revestimiento primario se forma de anillos de concreto prefabricados, cada anillo consiste de 6 piezas de concreto ($f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$) denominadas

"DOVELAS", que se ensamblan por medio de pernos de acero, para conformar un anillo completo, los anillos de dovelas se instalan en el interior de la zona protegida por el escudo. Denominada Faldón uniéndose a los anillos ya instalados. Por otra parte los nuevos anillos de dovelas permiten al escudo contar con un elemento de apoyo para su sistema de empuje.

La figura 9.1 muestra un anillo tipo normal del revestimiento primario.

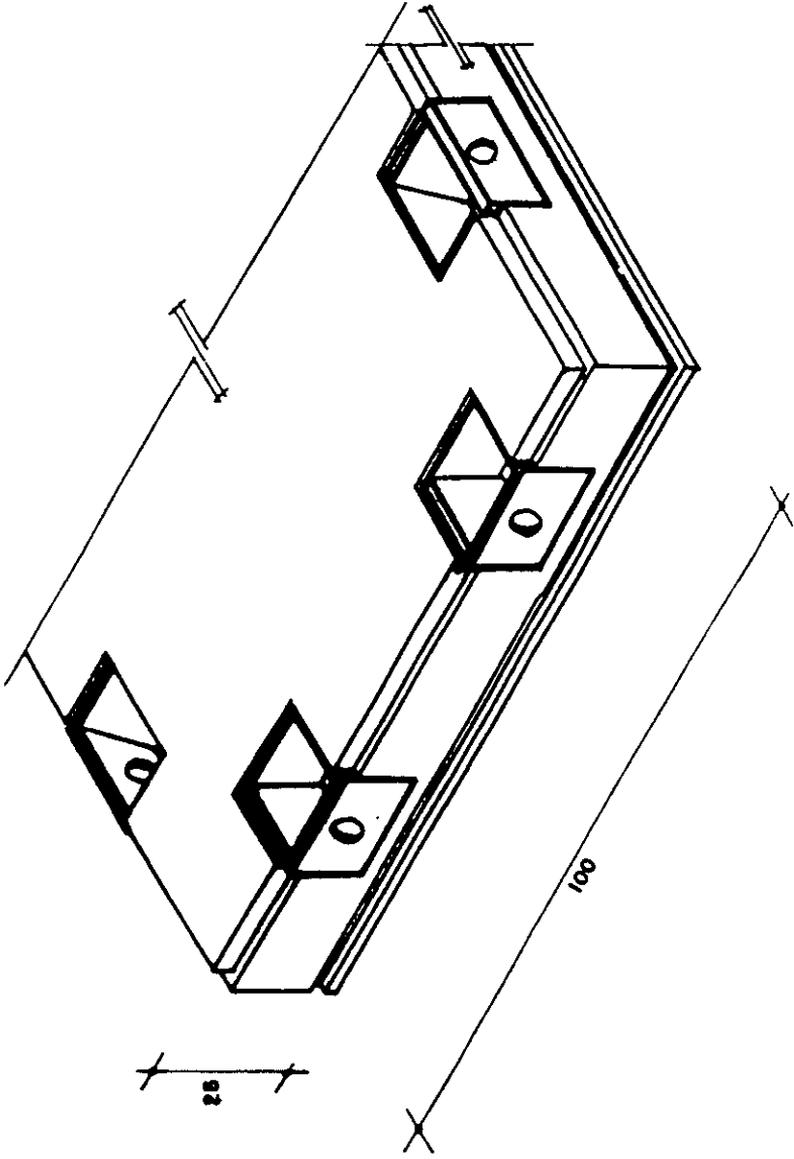
El anillo de dovelas tiene las siguientes dimensiones:

- ESPESOR DE DOVELAS	25 CM
- DIÁMETRO INTERIOR	560 CM
- DIÁMETRO EXTERIOR	610 CM

Cada anillo cuenta con tres dovelas tipo "A" cuya longitud de arco es de 365 cm. dos dovelas tipo "B" con longitud de arco de 370.1 cm y una dovela tipo "K" o de cuña, con longitud de arco de 81.1 cm. La dovela tipo "K" tiene la particularidad de ser la última en ser colocada, de adentro hacia afuera, "acuñando" al anillo colocado, de ahí su forma especial.

Existen por otra parte anillos de dovelas denominados "CORRECTIVOS", que son empleados en tramos de curva, o bien, para facilitar la guía del escudo durante eventuales maniobras de corrección de trazo. Este tipo de anillos se caracterizan por tener 5 cm menos de ancho en uno de sus costados. Dadas las características, cada pieza de un anillo correctivo debe ser identificada previamente a su colocación. Para su colocación se emplean las siglas: AC-1, AC-2, AC-3, para las piezas tipo "A", BC-1 y BC-2, para las tipo "B" y CC-1 para la cuña.

Las dovelas cuentan en todo su perímetro con un espacio en forma de bajo relieve de 2.5 cm de ancho y de 0.23 cm de profundidad. Este permite alojar un



ISOMETRICO DE DOVELA

sello de hule de Neopreno con el que se logra dar al revestimiento la estanqueidad requerida por el hecho de que la excavación del túnel se desarrollara en suelo bajo el nivel freático como arcillas y estratos de arenas de diferente espesor.

B.- FABRICACIÓN DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO.

En general la D.G.C.O.H. proporciona al constructor del túnel los anillos de dovelas que serán necesarios durante la excavación. Sin embargo se anotan a continuación las etapas que se siguen durante la fabricación de los anillos de dovelas.

- 1.- Suministro de acero para armado.
- 2.- Corte y doblado de acero
- 3.- Armado de las parrillas.
- 4.- Almacenaje y transporte del armado.
- 5.- Colocación del armado en moldes de acero, de alta precisión.
- 6.- Colocado de concreto y vibrado en camas especiales de vibrado.
- 7.- Transporte del molde a cámaras de curado a vapor, desensamble de moldes y reinicio del ciclo después de la limpieza, engrasado y ensamble del molde.
- 8.- Inspección y control de calidad.
- 9.- Transporte de dovelas a la zona de almacenamiento donde adquieren la resistencia del proyecto.
- 10.- Transporte al frente de excavación.

Para la fabricación de dovelas se exigen las siguientes tolerancias en cuanto a sus dimensiones:

TOLERANCIAS EN DOVELAS DE CONCRETO

ZONA DE APLICACIÓN	TOLERANCIAS	
	(-)	(+)
LONGITUD	1.0	1.0
ANCHO	1.0	1.0
ESPESOR	1.0	3.0
DIÁMETRO EXTERIOR E INTERIOR	7.0	7.0
POSICIÓN DE BARRENOS DE UNIÓN	1.0	1.0
DIÁMETRO DE BARRENOS DE UNIÓN	1.0	1.0
RANURAS PARA SELLOS:		
a). EN LA DIMENSIÓN MENOR	0.5	0.5
b). EN LA DIMENSIÓN MAYOR	0.0	1.0
SELLO DE NEOPRENO	0.5	0.5

C.- COLOCACIÓN DE DOVELAS E INYECCIÓN ANULAR.

Como se menciona previamente , los anillos de dovelas se instalan en la zona del faldón del escudo. Por lo cual no se tiene, durante la colocación, contacto con el terreno. Para la colocación de dovelas el escudo cuenta con un anillo erector accionado hidráulicamente. Las dovelas se instalan con la siguiente secuencia: se coloca la dovela de la cubeta o piso del túnel. En seguida se colocan las dovelas laterales y por último se instala la cuña. Los anillos se instalan en una disposición por cuatrapeo.

Una vez instalado el anillo, podrá realizarse un nuevo avance del escudo durante el cual uno de los dos anillos protegidos por el faldón entrara en virtual contacto con el terreno. Sin embargo, dado que existe un espacio anular entre anillo de dovelas y terreno (El espacio dejado por el faldón del escudo durante el avance) se realiza. Paralelamente el avance, la inyección de un mortero de BENTONITA-

CEMENTO-ARENA. Para evitar que el terreno llene dicho espacio, con lo cual se limitan los asentamientos en superficie.

Para realizar la inyección de contacto cada dovela cuenta con un orificio con cuerda tipo hembra. Justo al centro de su cuerpo. El cual se mantiene cerrado mediante un tapón roscado de hule duro. Aún cuando es usual realizar la inyección únicamente en el barreno de la pieza que se ubique en la clave del anillo a inyectar.

X.- INSTRUMENTACIÓN.

A.- IMPORTANCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN.

En obras subterráneas, a diferencias de las estructuras de superficie, las condiciones finales de equilibrio correspondientes al estado de esfuerzos y deformaciones que habrán de presentarse en el revestimiento del túnel, no son fácilmente estimables a priori, debido a que existe una serie de mecanismos de interacciones entre el revestimiento y la estructura de soporte del túnel que dependen de muy diferentes factores entre los que se pueden señalar a los siguientes:

- Estado natural de esfuerzos del medio a excavar.
- Procedimiento de construcción.
- Rigidez y/o flexibilidad relativa entre el revestimiento y el terreno circundante.
- Puesto en obra de un revestimiento definitivo.
- Propiedades mecánicas del o de los revestimientos colocados.
- Propiedades mecánicas del medio.
- Tendencias del flujo de agua originados por la excavación.
- Consolidación del suelo (arcilloso) en torno a la cavidad excavada.

Como se puede apreciar, mucho de los factores anteriormente señalados son de difícil evacuación y algunos de ellos son de difícil control durante la ejecución de los trabajos de tuneleo, por tal motivo, la instrumentación de túneles es una herramienta de fundamental importancia durante la construcción. Los objetivos que se persiguen al instrumentar una obra subterránea en general son los siguientes:

- 1.- Evaluar la estabilidad del túnel y determinar la necesidad que realiza cambios en el procedimiento constructivo con objeto de mantener las condiciones de seguridad de la obra.

- 2.- Evaluar el diseño del túnel y los posibles cambios en el diseño de tramos futuros del túnel.
- 3.- Determinar las causas del movimiento del medio en torno al túnel, su magnitud y su posible efecto en las estructuras superficiales y subterráneas próximas a su trazo.

B.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN USUAL EN TÚNELES EN SUELOS.

Para cumplir con los propósitos antes planteados, la instrumentación de túneles debe diseñarse para seguir muy próxima al frente de la excavación, esto obliga al empleo de instrumentos de medición de fácil manejo y que permitan resultados de fácilmente interpretados. La instrumentación se desarrolla en varios aspectos de la obra, como son: asentamientos generados en la superficie del terreno, asentamientos en el medio entre la superficie y la clave del túnel. Movimientos del terreno en torno a la cavidad del túnel. Movimientos del revestimiento en contacto con el terreno, estado de esfuerzos tanto del medio como del revestimiento.

B.- INSTRUMENTACIÓN SUPERFICIAL.

Se basa en la medición de referencias de nivel superficial por medio de aparatos topográficos de precisión. usualmente con precisión nominal de 0.05 mm.

Las referencias de nivel superficial pueden consistir de mojoneras de concreto con una varilla con punta de bala, o bien, cuando las referencias se tienen que instalar sobre banquetas o pavimento se instalan varillas de 50 cm de longitud. Alojadas en un recorte que permite alojar al estadal.

Es conveniente instalar referencias de nivel superficial a todo lo largo del trazo del túnel por excavar, en estaciones a cada 20 mt. Complementadas con la instalación de secciones transversales al eje

del túnel. Abarcando una distancia de al menos 40 m. a cada lado del eje de trazo a cada 80 m.

Por otra parte en la construcción de túneles en zonas urbanas, como lo es el caso de los túneles para el drenaje profundo de la ciudad de México, se requiere instalar referencias en las edificaciones vecinas al trazo. Las referencias sobre edificaciones se instalan con piezas de latón hexagonal de 7 cm de longitud, que tienen cuerda en un extremo para atornillar un perno de cuerda inoxidable, el cual sirve para apoyar al estadal, la pieza de latón se fija con resina epóxica dentro de barrenos practicados en la pared de las edificaciones.

C.- INSTRUMENTACIÓN DE REFERENCIAS DE NIVEL PROFUNDOS Y SEMIPROFUNDOS.

En algunos casos especiales, sobre todo cuando se tienen instalaciones de servicios importantes como pueden ser ductos de agua potable o de drenaje de un diámetro y de profundidad tal que sean necesarios instrumentar, se realizan mediciones en el medio entre el túnel y la superficie del terreno mediante referencias de nivel semiprofundas o profundas.

Las referencias de nivel profundo o semiprofundo se miden con aparatos topográficos con la misma precisión con la que se miden los asentamientos superficiales.

D.- INSTRUMENTACIÓN DE LAS CONDICIONES PIEZOMETRICAS EN TORNO AL TÚNEL.

Con el otro objeto de conocer las modificaciones que se inducen en torno al túnel en el estado de esfuerzos efectivos durante la construcción del mismo. Se instalan estaciones piezometricas consistentes en celdas tipo casagrande que se ubican en capas permeables del suelo (fig. 10.1). En la

zona de influencia alrededor del túnel, o bien, con piezómetros neumáticos en estratos poco permeables, así como tubos ranurados para la observación del nivel freático, es conveniente contar con al menos una estación piezométrica a cada 750 m.

E.- MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS EN EL INTERIOR DEL TÚNEL.

La instrumentación en el interior del túnel se realiza midiendo los movimientos de convergencia-divergencia en el revestimiento primario, empleando un extensómetro de cinta invar. Este instrumento consiste en un dispositivo mecánico de alta precisión (longímetro) equipado con una cinta de acero inoxidable, que se acopla en un extremo a un ancla fija en la pared del túnel, en un punto opuesto, durante la medición, el cable se tensa con una invariablemente con una tracción constante; el dispositivo proporciona los movimientos relativos entre las anclas, con una precisión nominal de 0.01 mm para distancias menores de 10 m.

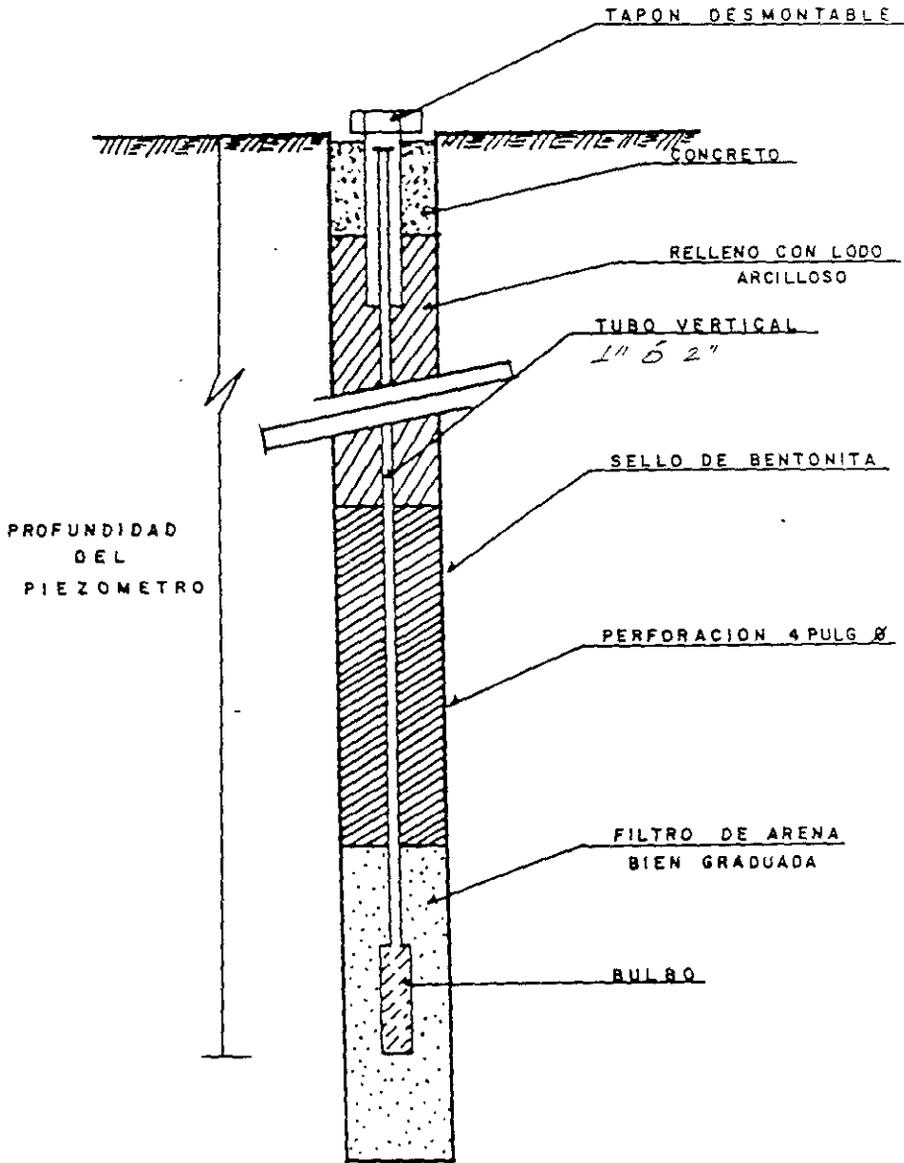
Para medir las deformaciones del túnel se pueden instalar arreglos de 6 líneas de medición.

F.-INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

El proceso de instrumentación, para cumplir integralmente con su finalidad deberá proporcionar, no únicamente los resultados numéricos de las mediciones realizadas, sino una interpretación de las mismas, basadas en empleo numérico de análisis y sobre todo en las hipótesis y modelos teóricos empleados en la etapa de proyecto.

La fig. 10.2 presenta un esquema en el que se presentan las diferentes etapas que llevan a la finalización de una estructura subterránea, dentro de las que se incluye a la instrumentación.

Por ejemplo, en el caso de los asentamientos superficiales, se realiza una comparación entre los



P I E Z O M E T R O

FIG. 10.1

valores calculados y los medidos en obra. Esto permite evaluar los efectos del procedimiento constructivo (eficiencia de la inyección de contacto en el espacio anular entre el revestimiento y el terreno, presión frontal, velocidad del avance y guía del escudo, por señalar algunos de los efectos que puedan influir) y de otros factores que puedan tener influencia en el efecto que se mida (presencia de lentes de material permeable que tienda a producir flujos de agua y material al interior de la zona del escudo en caso de que los sellos del faldón no tengan la eficiencia necesaria ya sea por desgaste u otro efecto); en la excavación con escudo sea podido apreciar que durante la ejecución de curvas se tienden a incrementar los asentamientos superficiales.

La presencia de los resultados de medición debe ser clara y estar apoyada tanto en presentaciones gráficas como tabuladas de los movimientos medidos. Así como de una interpretación adecuada que permita tanto al constructor como al dueño de la obra tomar decisiones necesarias para corregir los aspectos que permitan la ejecución de la obra de la manera más segura y conveniente.

XI.- EXTRACCIÓN, BAJADA Y GIRO DEL ESCUDO.

La excavación de túneles con escudo requiere de maniobras para el movimiento del equipo del punto de terminación de un túnel al punto de inicio de otro. De estas maniobras presentan características especiales cuando se trata de un escudo de frente presurizado de 6.24 m de diámetro.

1.- EXTRACCIÓN DEL ESCUDO.

Para la maniobra de extracción es necesario aligerar el escudo, que tiene un peso total aproximado de 240 toneladas; para tal efecto, se desmonta primero las siguientes estructuras: .

- CABEZA CORTADORA.
- PLATAFORMAS DE TRABAJO.
- FALDÓN.

PESO TOTAL APROXIMADO = 40 TON.

Posteriormente se sueldan en la cara exterior de la camisa del escudo, unos canales de acero estructural, cuya función será de alojar los estrobos con lo que se sujetara la maquina, impidiendo que estos se deslicen a lo largo de su eje.

Con esto, el peso total a levantar se reduce a 200 ton. El movimiento se realiza con dos o tres grúas de 250 a 350 ton. De capacidad cada una, dependiendo del área disponible en superficie, (tomando en cuenta la inclinación de la pluma de las grúas, así como las posibilidades de giro, avance y/o retroceso, etc.) (fig. XI.1)

Una vez en superficie, el transporte del escudo de una obra a otra se efectúa sobre una plataforma autoalineable de 96 llantas.

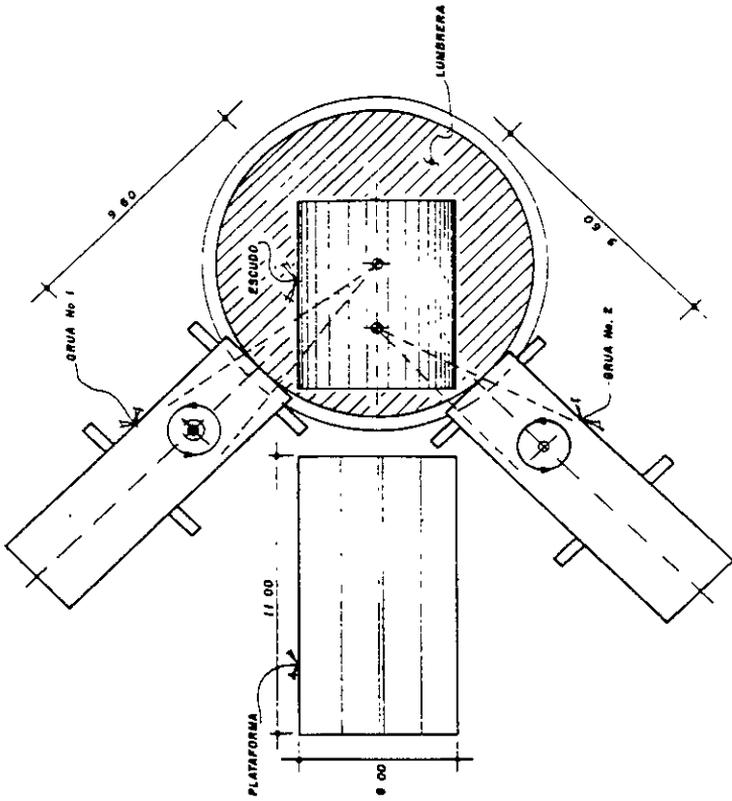


Fig X(-) 1 POSICION DE GRUAS

2.- BAJADA DEL ESCUDO.

Esta maniobra se realiza en forma similar a la extracción, moviendo primero al fondo de la lumbrera el cuerpo del escudo y posteriormente el cabezal y las plataformas.

Es importante tomar en cuenta que no solo se requieren grúas para el movimiento del escudo en si, sino que también son necesarias para las maniobras de retiro o reinstalación del cabezal, aunque de mucho menor capacidad.

3.- GIRO DEL ESCUDO.

En ocasiones es necesario girar el escudo en el fondo de la lumbrera para continuar con la excavación del otro tramo de un mismo túnel, para ello se puede emplear una cuna cruzada o una cuna metálica.

Una cuna cruzada es una cuna convencional, construida en concreto armado y anclada al fondo de la lumbrera, cuya característica especial consiste en tener dos superficies de deslizamiento con diferente dirección: una de ellas es la de llegada del escudo y la otra es la de salida (fig. XI.2). Esto requiere que el escudo sea izado, por medio de grúas, de su posición original y bajado nuevamente en la posición que se requiere para el inicio del nuevo tramo.

La cuna metálica se construye con perfiles estructurales, de acuerdo a la elevación de proyecto (fig. XI.3). Esta no requiere el empleo de grúas; sin embargo, es necesario instalar sobre la losa de fondo de la lumbrera un sistema de rieles sobre el cual se deslizara la cuna metálica, desde la posición de llegada hasta la posición de salida del escudo. Además, deben colocarse varios gatos hidráulicos en la pared de la lumbrera, mismos que al reaccionar contra la cuna, provocaran el movimiento de esta (fig. XI.4).

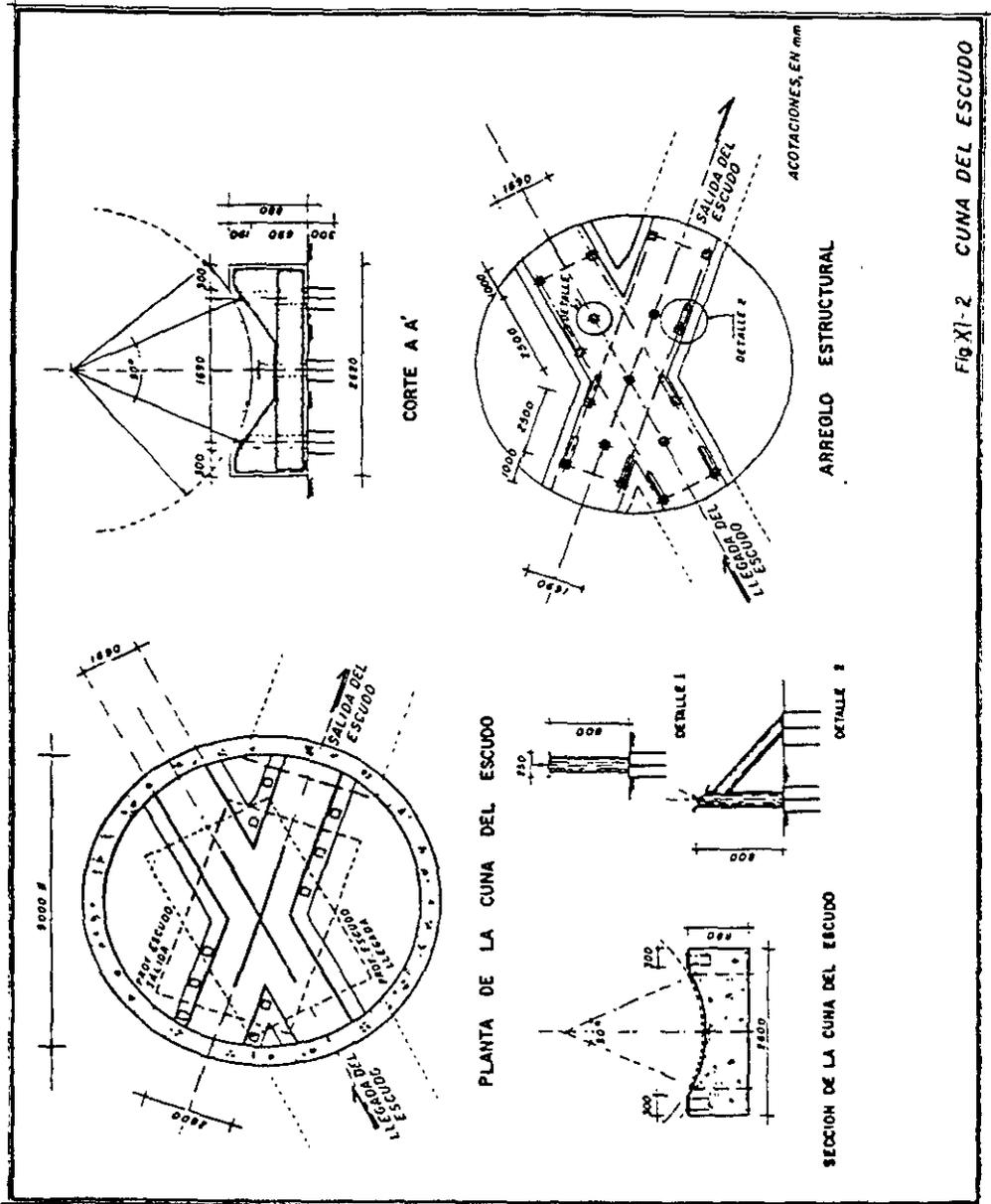


Fig XI-2 CUNA DEL ESCUDO

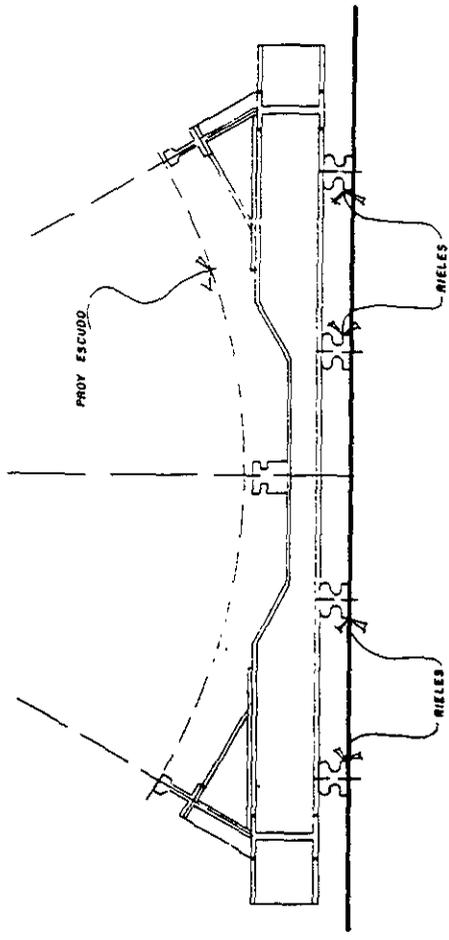


Fig XI-3 CUNA METALICA

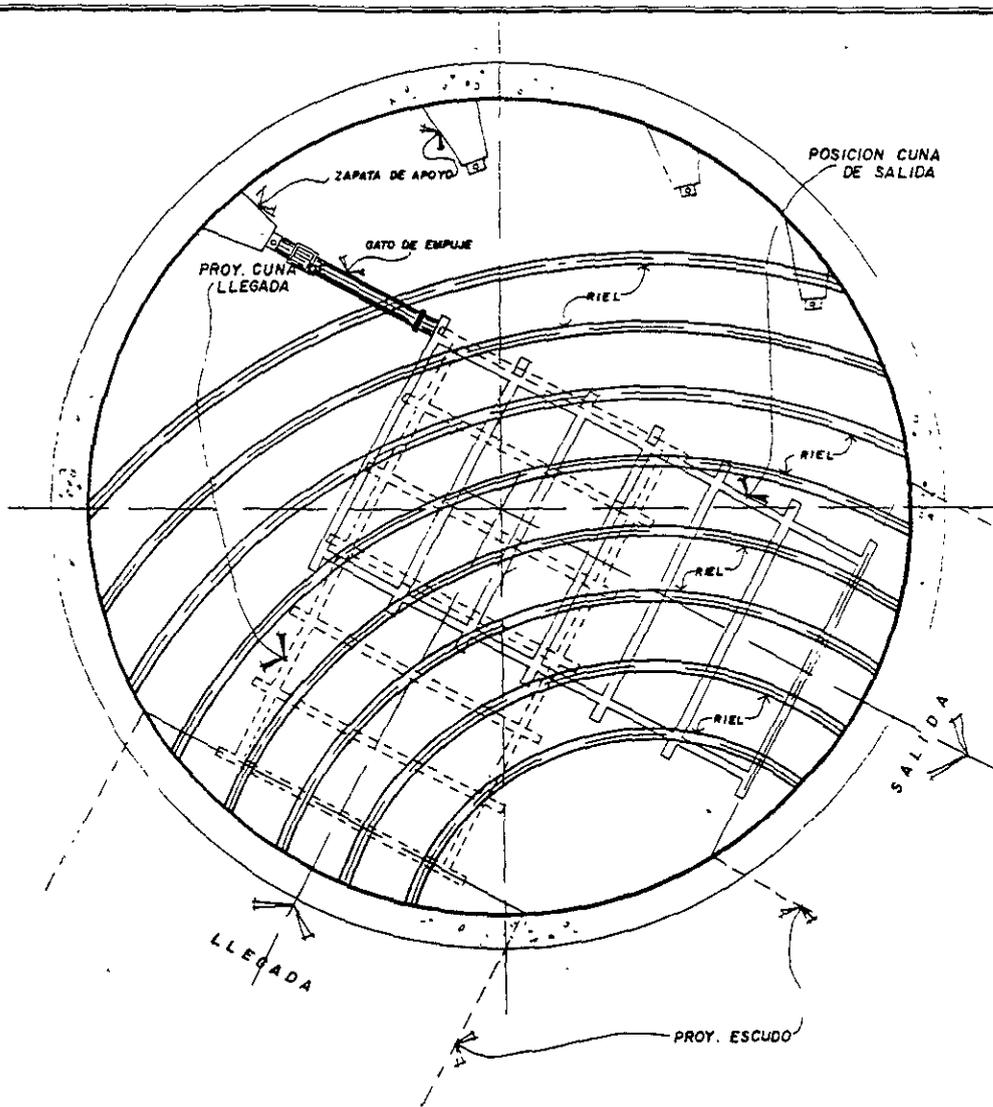


Fig. X-4 POSICION DE RIELES EN LUMBRERA PARA GIRO DEL ESCUDO

XII.- INSTALACIONES EN TÚNEL.

La colocación de instalaciones en túnel, responde a la necesidad de suministrar al frente de trabajo los materiales y equipo requeridos, así como prever un medio de circulación para personal y equipos.

Las instalaciones para la excavación de un túnel con escudo presurizado son las siguientes. (Fig. XII.1.).

1.- PARA CIRCULACIÓN DE EQUIPO Y PERSONAL.

Son durmientes de 8" x 8" colocados a cada metro, vía para circulación del equipo del transporte y tablonés de 2" x 10" como andadores.

2.- PARA SUMINISTRO Y EXTRACCIÓN DEL LODO.

Son tuberías de acero de 8" x 6" de diámetro, que van instaladas sobre los durmientes, del lado izquierdo del túnel en el sentido de avance. En estas tuberías se instalan válvulas de compuerta a cada 100 mts., seccionándolas para facilitar la localización de taponamientos.

3.- ILUMINACIÓN Y ENERGIZACIÓN DEL ESCUDO.

La instalación de la iluminación del túnel, es una línea trifásica de 220 V. Que va instalada en bastidores con siete aisladores, colocados a cada 5 m. Y lámparas de 2 x 74 W. Colocadas a cada 10 mts. La instalación para suministro de energía al escudo, es una línea trifásica de 4160 V. Que pueden ir instaladas en bastidores especiales.

4.- VENTILACIÓN.

El ducto de ventilación, es de lona aulada de 36" de diámetro, el cual es alimentado por ventiladores del mismo diámetro, con capacidad suficiente para proporcionar una condición adecuada

de trabajo en el frente. Va instalada en la clave del túnel.

5.- TUBERÍA PARA AGUA Y AIRE.

El suministro de agua y aire, que se requiere para la limpieza, bombeo neumático, etc., se suministra instalando en la zona lateral derecha, del túnel, dos tuberías de 2" de diámetro, con conexiones rápidas a cada 100 mts. El sistema de sujección es hecho en obra con placa de $\frac{1}{4}$ " de espesor, el cual se fija a los tornillos de las dovelas.

XIII.- EQUIPO COMPLEMENTARIO Y SUS FUNCIONES.

Dentro del proceso constructivo de un túnel excavado con un escudo de frente cerrado y presurizado con lodos, es necesario contar con un equipo complementario que requiere el sistema de excavación, el cual mencionaremos a continuación dividiéndolos en dos grupos y mencionando sus funciones:

1.- EQUIPO EN SUPERFICIE.

2.- EQUIPO EN TÚNEL.

1) EQUIPO EN SUPERFICIE.

A) Grúa Pórtico para 8 toneladas o grúa autopropulsada con capacidad equivalente.

Se requiere para bajar todos los materiales y equipo que se necesitan en la excavación del túnel como son: dovelas, durmientes, rieles, tuberías, bombas, transformadores, etc.

Normalmente, se ha utilizado la grúa pórtico en la excavación de túneles con escudo, tomando en cuenta la visibilidad que se tiene hasta el fondo de la lumbrera, pero queda a juicio del contratista utilizar esta o una grúa autopropulsada de una capacidad equivalente.

B) planta dosificadora o agitadores de 2.0 m³ de capacidad.

Equipo con el que se elabora el mortero utilizado en la inyección de contacto dovela-terreno natural y que sirve para llenar el espacio anular que queda entre la dovela y el terreno.

C) Draga LS-68 (1)

Se utiliza en la planta de lodos para rezagar el material sólido producto de los carcamos, que

reciben el material de excavación, se debe usar como una almeja sin dientes y sin barrenos para evitar que se vacíe el lodo al momento de rezagar.

D) Bombas de lodos de 6" ϕ y 20 H.P. (2)

Se requiere para cargar los camiones pipa con el lodo producto de la excavación del túnel para transportarlo al tiro.

E) Bombas de 4" ϕ y 20 H.P.

Estas se utilizan para el manejo de agua tratada en la planta de lodos, para mantener uniforme la densidad que requiere el escudo en la fosa de suministro y la limpieza general de la planta.

F) Agitador vertical.

Se requiere de este equipo para ajustar la densidad del lodo, después de que esta ha pasado por el proceso de sedimentación y se puede utilizar nuevamente en la excavación.

G) Bomba de lodo 6" ϕ (2)

Equipo utilizado para el traspaleo de lodos del carcamo de descarga al de suministro.

H) Planta generadora de energía eléctrica de 125 KVA)1)

Equipo que se requiere en caso de emergencia , cuando el suministro de la energía eléctrica por parte de la compañía de luz se suspende. La capacidad de la planta debe de ser la necesaria para mantener únicamente la iluminación del túnel, ya que el escudo cuenta con un sistema de seguridad propio que cierra las válvulas del BY-PASS, manteniendo el frente presurizado en el momento del corte de la energía eléctrica.

I) Compresor de 600 a 700 P.C.M. (1)

Suministra el aire comprimido para el escudo neumático que se encuentra tanto en el interior del túnel como en superficie.

J) Equipo para talleres.

Se debe contar con el equipo necesario para cada uno de los siguientes talleres: carpintería, mecánico y eléctrico.

K) Camión pipa

Se utiliza para transportar el lodo de desecho de la obra al tiradero oficial.

L) Camión Volteo.

Equipo que se encarga de llevar el material sólido producto de la sedimentación en los carcamos al tiradero oficial.

2.- EQUIPO EN TÚNEL.

A) Locomotoras (2)

Son las encargadas de transportar los Trucks en los cuales se llevan tanto los materiales como el equipo necesario que será utilizado en el frente de excavación. Pueden ser eléctricas o diesel y con una capacidad de tracción mínima de 25 toneladas.

B) Trucks (3)

Equipo que necesita para llevar al frente los materiales requeridos en la excavación del túnel, es necesario que este equipo este habilitado de tal forma que la plataforma tenga una curvatura igual al de las dovelas para facilitar la carga y el manejo de las mismas.

C) Truck tolva (1)

Es un truck que se debe de equipar tolva de 2.0 m³ de capacidad y una bomba para inyectar mortero a una presión de 1.5 kg/cm², se usa para transportar el mortero que se elabora en la planta dosificadora o en los agitadores y llevarlos al frente de excavación para que el momento de efectuar esta, se lleve a cabo simultáneamente la inyección de contacto en el anillo saliente del faldón del escudo.

D) Polipasto de 3 toneladas con control eléctrico (1)

Aún cuando el escudo cuenta ya con este equipo, es conveniente tener uno como reserva, ya que es de los equipos que mas se deterioran y que pueden para todo el proceso de excavación.

E) Ventiladores auxiliares de 15 H.P.

Se requieren para la ventilación del túnel, con objeto de suministrar aire fresco para sanear el medio ambiente y a la vez expulsar hacia el exterior los gases, producto de la combustión interna de la maquinaria que labora dentro del túnel, actualmente los tramos que se encuentran en proceso de excavación los ventiladores están colocados a cada 400 metros.

F) Bombas de 2" ϕ (2)

Este equipo se usa para traspalear el agua que se acumula en el faldón del escudo y que dificulta la colocación de las dovelas en la cubeta del túnel.

G) Bomba de 4" ϕ y 20 H.P. (1)

Equipo que se instala en la lumbrera y que sirve para bombear al exterior el agua y lodo que escurre a través del túnel.

XIV.- CONTROL TOPOGRÁFICO.

Al terminar la colocación del anillo de dovelas, se procede a obtener la línea y el nivel que guarda el escudo en ese punto, con respecto a los datos de proyecto; los resultados obtenidos sirven de base para seleccionar los gatos a usar en el próximo avance. Para efectuar los empujes programados del escudo se va tomando como guía la longitud de los vástagos de cada gato, comparándolos con los definidos teóricamente.

Se da especial importancia al claro que existe entre la cara exterior de las dovelas y el interior del faldón del escudo (holgura), para evitar que se dañen los sellos de este al producirse una excentricidad entre los anillos y el mismo faldón.

El control topográfico se puede manejar en forma convencional, con tránsito y nivel, o bien con el apoyo de un rayo láser instalado sobre los anillos del túnel y proyectado hacia una s tarjetas previamente calculadas con el trazo a seguir, que se colocan en el interior del escudo. Periódicamente debén efectuarse orientaciones giroscópicas, con el propósito de verificar la veracidad del trazo.

Cabe hacer mención que además de los anillos normales, para lograr las curvas de proyecto así como para la corrección de desvíos en el alineamiento horizontal o vertical, se cuentan con anillos de geometría especial, denominados "CORRECTIVOS".

Otra situación a la que no hay que restarle importancia, es el giro del escudo sobre su propio eje durante el proceso de excavación. Esto nos lo indica la misma maquina en un indicador de la cabina del operador.

Una forma de corregir este giro es cambiar el sentido con el cual se viene realizando la excavación (giro del cabezal cortador). Dependiendo

de la magnitud de giro que tenga el escudo y del procedimiento con el que se este llevando el control topográfico, se tendrá que realizar una compensación

EQUIPO:

- 1).- TRANSITO.
- 2).- NIVEL.
- 3).- DISTANCIOMETRO.
- 4).- GIROSCOPIO.

XV.- CONCLCUSIONES GENERALES

Debido a que la Ciudad de México es una meseta cerrada totalmente por montañas, desde los tiempos muy remotos, presentando dificultades para la salida de sus aguas, tanto pluviales como las aguas negras, es por ello que en los tiempos de la colonia se construyó el primer canal de desagüe.

Este canal se construyo para evitar inundacionea teniendo como salida del valle de México lo que hoy conocemos con el nombre de Nochistongo, este canal cumplía con su objetivo hasta que la población se agrando y rebaso su capacidad, esto llevó a cabo la construcción del sistema de drenaje profundo de la ciudad de México.

Fue en la época de los 60' cuando el gobierno se vio en la necesidad de construir la red de túneles de desagüe en toda la ciudad de México, para tener como objetivo primordial el evitar las inundaciones en la ciudad.

Es necesario dar un panorama general de lo que se conoce como túnel de desagüe para diversos usos.

Un túnel es una estructura subterránea, construida con métodos especiales, generalmente sin afectar la superficie.

Diferentes tipos y usos de túneles, los podemos encontrar como: acueductos, sistema de drenaje, casa de maquinas, carreteros, ferroviarios, etc.

También los túneles se pueden construir en diferentes tipos de suelos por ejemplo: Túnel en suelos duros ó firmes, es cuando se puede excavar y el frente de este es estable y se puede avanzar sin soporte temporal en la clave. Túnel en suelos blandos, este tuvo que ser construido por el crecimiento de la ciudad de México el cual tiene

como finalidad el resolver los problemas del drenaje.

Para diseñar la excavación de túneles en suelos blandos se deben de tomar dos aspectos muy importantes. 1.- La estabilidad del frente de excavación y 2.- Las formaciones inducidas a corto y mediano plazo.

Se conoce como suelo blando, aquel que esta formado por gravas, arenas, limos y arcillas, localizados bajo el nivel freatico, de acuerdo a su profundidad los túneles pueden ser someros y profundos.

Túnel somero es aquel en el cual se cumple la relación $H \geq 1.7D$ y como profundo cuando $H \leq 1.7D$. Dado que H = altura y D = diámetro.

La excavación en suelos duros se puede hacer de sección completa y las formas tradicionales de excavación de un túnel son manuales, pico y pala, semimecanico con la utilización de rompedoras neumaticas, usos de explosivos, metodo típico cuando se encuantra roca.

Hay diferentes tipos de escudo para la excavación de un túnel.

Escudo de frente abierto y semicerrado, método muy seguro y eficiente para la construcción de túneles de diferentes tipos ya que permite la excavación del frente y la colocación de dovelas al mismo tiempo.

Escudo de frente abierto: protege la parte perimetral del túnel, mientras se pone el revestimiento prefabricado (dovelas).

Escudo abierto en ambas partes, aquí se debe de realizar la inyección de contacto que tiene como función rellenar huecos en general.

Escudo frente semicerrado: se usa cuando en el túnel se encuentran materiales inestables, como pueden ser depósitos aluviales saturados, arcillas, etc, estos escudos cuentan con dispositivos que permiten tapar el frente de la excavación y exponer pequeñas áreas de excavación.

Escudo para excavar en terrenos blandos: generalmente la construcción de estos túneles es subterránea es por esto que el escudo es primordial en este tipo de construcción, de lo contrario se haría por medio de tratamientos de inyección de lechadas de cemento y productos químicos, la utilización de estos escudos es relativamente nueva ya que empezó a principios del siglo, su utilización se perfeccionado en los últimos años en ciudades de Europa y los Estados Unidos, cabe mencionar que su utilización se debe de aplicar en túneles de longitudes grandes de tal forma que permita amortizar la maquina, la cual es muy costosa.

Como en otros métodos en México también es necesario que como se va excavando se debe de colocar el revestimiento primario ó definitivo según sea el caso, inmediatamente después la inyección de contacto, para rellenar el hueco que quede entre las dovelas y el terreno natural para poder evitar un posible asentamiento superficial.

La excavación de túnel de frente abierto con aire comprimido: El empleo de aire comprimido en áreas subterráneas sirve para estabilizar el frente de excavación, el uso de este tipo con aire comprimido a baja presión en túneles fue en el año de 1879.

Por último analizaremos la excavación de túneles con escudo de frente presurizado con lodos: Este cuenta con una cabeza cortadora giratoria que le sirve para excavar el frente, estos escudos se utilizan en suelos que presentan problemas de estabilidad, resolviendose mediante el uso de lodos ventoniticos a presión entre frente de excavación y

la mampara. La ventaja de este escudo es que excava y avanza al mismo tiempo, el suministro de los lodos bentoníticos se hace con bomba desde la superficie, así como por medio de bombeo se desplaza el producto excavado a la superficie, para que un túnel salga totalmente horizontal se debe de seguir la siguiente regla. El peso total del escudo (incluyendo el lodo y dovelas) no deberán ser mayor que el peso del volumen desplazado por el escudo, al igual que en los otros procedimientos se debe hacer revestimiento primario, inyección de lechada, para llenar los posibles huecos entre dovelas y terreno natural, para que posteriormente venga el recubrimiento definitivo.

Una vez visto tantos métodos de excavación y escudos que existe para la construcción de túneles, cabe mencionar que sistema que se utilizó para excavar el túnel del drenaje profundo de la ciudad de México es el escudo de frente presurizado con lodos bentoníticos ya que las condiciones del suelo son totalmente inestables, las longitudes máximas de excavación entre lumbrera y lumbrera serán de 2040 mt. También podemos mencionar que para que el túnel del drenaje profundo entre en operación, es necesario realizar trabajos secundarios, mencionaremos algunos: construir interconexiones de colectores (colector superficial y túnel profundo) colocar compuertas de control de gasto, si es necesario construir plantas de bombeo, es indispensable tapar las lumbreras en servicio etc.

Para terminar con estas conclusiones, creo que es conveniente que todos los que tenemos conocimiento sobre el sistema de drenaje profundo de la ciudad de México sepamos el recorrido que hacen las aguas negras para llegar a su depósito final:

Se inicia con la captación de las aguas negras y pluviales de la ciudad de México, después de un recorrido de 80 km. Aproximadamente, desemboca en la presa el Portal en el estado de Hidalgo, parte de las aguas las utilizan en el riego, el resto se

INSTALACIONES EN TUNEL

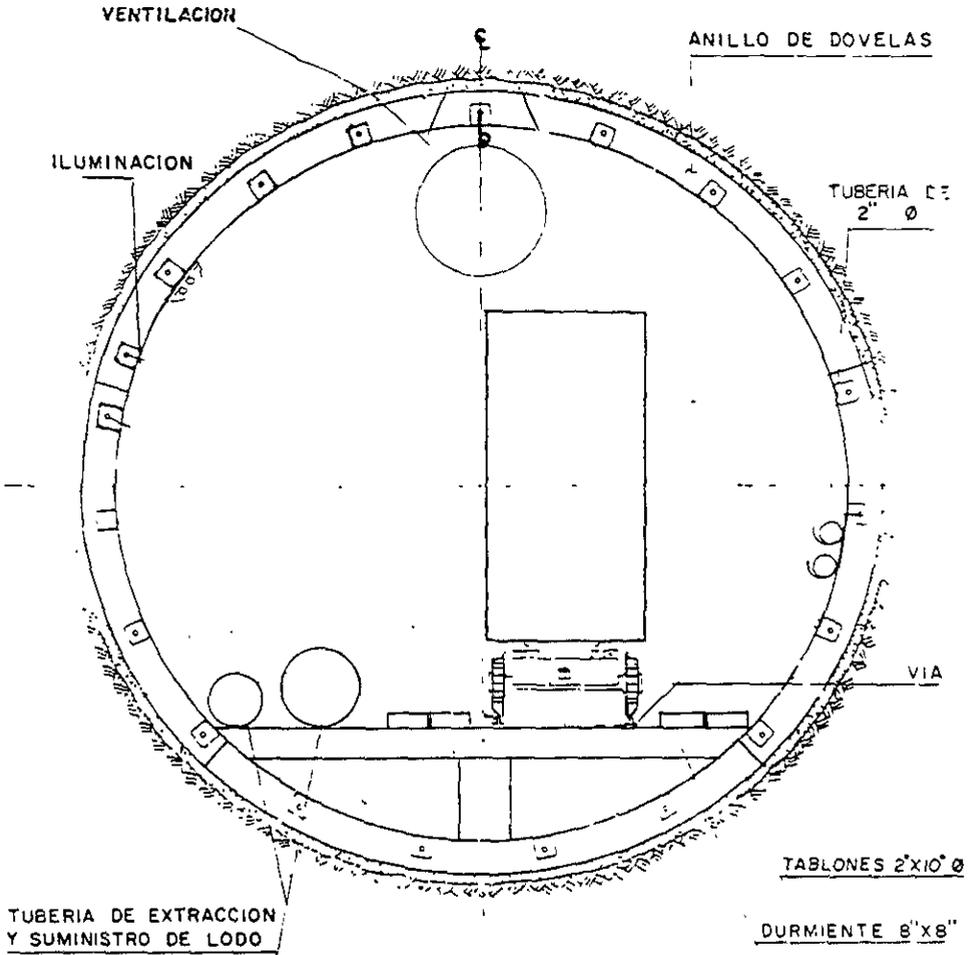


FIGURA XII.1

XVI.- BIBLIOGRAFIA

"CURSO VICTOR HARDY 87"

Túneles y excavaciones subterráneas (2)
Secretaría de agricultura y recursos hidráulicos
Subsecretaría de infraestructura hidráulica,
Comisión de aguas del Valle de México.

"TUNELES Y OBRAS SUBTERRANEAS"

Editores Técnicos Asociados
Barcelona 1977.

"TUNELES EN SUELOS BLANDOS Y FIRMES"

S.M.M.S. Tel. 677-37-30
México, D.F. 1981

"DIMENSIONAMIENTO DEL REVESTIMIENTO DE TUNELES"

Dr. G. Lombardi
Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas 1973.

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE T5UNELES"

Romero Rodríguez Alfredo
Tesis U.N.A.M. Campus Aragón 1992.