

27
20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

UTILIZACION DE ESCUDO DE FRENTE ABIERTO
9.15 m Ø EN LA CONSTRUCCION DEL TUNEL
PATRIOTISMO-TACUBAYA PARA LA LINEA 9
PONIENTE DEL METRO DE LA CIUDAD DE
MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JUAN MANUEL CADENA SOTO

Director de Tesis: Ing. Fernando Favela Lozoya



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

I N D I C E

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
I.- ANTECEDENTES Y ASPECTOS GENERALES	4
- REFERENCIAS HISTORICAS	4
- TRANSPORTE Y PASAJEROS EN LA CIUDAD DE MEXICO	6
- OBJETIVO Y JUSTIFICACION DEL METRO EN LA CIUDAD DE MEXICO	7
- EL PROBLEMA DE COMUNICACIONES VIALES Y TRANSPORTE COLECTIVO EN LA CIUDAD DE MEXICO	9
- ORIGEN Y NECESIDAD DE LA CONSTRUCCION DEL METRO EN LA CIUDAD DE MEXICO	11
- ASPECTOS TECNICOS DE LA CONSTRUCCION DEL METRO EN LA CIUDAD DE MEXICO	11
II.- MARCO TEORICO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TUNELES	14
- BREVE REFERENCIA DE LA CONSTRUCCION DE TUNELES Y TECNOLOGIAS EMPLEADAS	14
- LOS ESCUDOS EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES	16
A.- SU APARICION EN LA CONSTRUCCION	16
B.- ESTRUCTURA DE LOS ESCUDOS	18
B,1.- EXTREMO DELANTERO O CACHUCHA	18
B,2.- PARTE INTERMEDIA O TRONCO	19
B,3.- EXTREMO TRASERO O FALDON	20
- EQUIPO DEL ESCUDO	21
A.- GATOS DEL EMPUJE	21
B.- GATOS FRONTALES	21
C.- PLATAFORMAS HORIZONTALES	22
D.- BRAZO ERECTOR	22
E.- HERRAMIENTAS PARA EXCAVACION DEL FRENTE	22
- SEGMENTOS PARA ADEME (DOVELAS)	23
- CICLO DE OPERACION	24
- INYECCIONES	28
- ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO	28
- TOPOGRAFIA	30
A.- ANTECEDENTES	30
B.- INTRODUCCION DEL EJE DE PROYECTO AL INTERIOR DEL TUNEL	30
C.- INTERVENCION DEL GIROSCOPO EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES	34
C,1.- DESCRIPCION DEL EQUIPO	34
C,2.- APLICACION	35
D.- ALTIMETRIA (NIVELACIONES)	35
D,1.- LOCALIZACION DE BANCOS DE NIVEL DE TRABAJO EN SUPERFICIES	37
D,2.- INTRODUCCION DE LA NIVELACION EN EL TUNEL	38

	PAG.
E.- GIRO Y PENDIENTE	41
E, 1.- FUNCIONAMIENTO TEORICO-PRACTICO DE LA - PLACA	43
E, 2.- TABLA DE COMPENSACION Y EQUIVALENCIAS - DE GIRO Y PENDIENTE	46
F.- ALINEACION POR MEDIO DEL SISTEMA LASSER	48
III.- ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO	50
- DESCRIPCION	52
- APLICACION EN MEXICO PARA TUNELES DEL METRO	55
IV.- DESCRIPCION DE LA OBRA LINEA 9 PONIENTE DEL METRO.	68
- ESTUDIO GEOLOGICOS	68
- TRAMO PATRIOTISMO-TACUBAYA	72
A.- LOCALIZACION	72
B.- LUMBRERA DE VENTILACION	74
- CARACTERISTICAS DE LOS TUNELES	75
A.- TUNEL PRINCIPAL DEL METRO	75
B.- TUNEL DE TRANSICION DE LUMBRERAS A CABECERAS - DE ESTACION	75
C.- TUNEL DE VENTILACION	75
D.- NICHOS PARA SUBESTACION ELECTRICA	77
E.- NICHOS PARA PUESTO DE RECTIFICACION (P.R.)	77
V.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL CON ESCUDO DE- FRENTE ABIERTO.....	78
- RANURA PERIMETRAL	79
- MEDIDAS A TOMAR POR EL PERSONAL DE TOPOGRAFIA - PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL ESCUDO	79
- ADEME DEL FRENTE DE EXCAVACION	91
- ELIMINACION DEL MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVA- CION	91
- COLOCACION DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO (DOVE - LAS)	92
- INYECCION DE CONTACTO PARA REDUCIR LOS ASENTAMIE- NOS SUPERFICIALES	94
- INSTRUMENTACION	99
- RECURSOS UTILIZADOS PARA LA EXCAVACION DEL -- FRENTE	110
A.- MANO DE OBRA	110
B.- EQUIPO	113
C.- INSTALACIONES	116
VI.- PROGRAMAS DE OBRA	122
- LUMBRERA 1	122
- LUMBRERA 3	123
- TUNEL PRINCIPAL	124
- TUNEL DE TRANSICION DE LUMBRERA 1 A CABECERA PO- NIENTE DE LA ESTACION PATRIOTISMO	125

	PAG.
- NICHOS PARA SUBESTACION ELECTRICA	126
- LUMBRERA 2 (VENTILACION)	127
- TUNEL DE VENTILACION	128
- NICHOS PARA PUESTO DE RECTIFICACION (P.R.)	129
- TUNEL DE TRANSICION DE LUMBRERA 3 A CABECERA NORTE DE LA ESTACION TACUBAYA	130
VII.- PROBLEMAS PRESENTADOS Y SOLUCIONES DADAS EN LA - EJECUCION Y DESARROLLO DE LA OBRA	131
- DESVIACIONES TOPOGRAFICAS DEL ESCUDO	131
- MATERIALES NO INDICADOS EN EL PERFIL ESTRATIGRAFI- CO DE PROYECTO	136
A.- GRANDES BOLEOS	136
B.- ESTRATOS ARENOSOS INESTABLES	138
- FILTRACIONES DE AGUA	140
VIII.- CONCLUSIONES.....	143
 BIBLIOGRAFIA.....	 153

I N T R O D U C C I O N

I N T R O D U C C I O N

La intención del presente trabajo, es describir todas las experiencias técnicas, y las implicaciones que tiene el realizar un proyecto, que inicialmente planteaba un reto inalcanzable; así como también la suma de una gran cantidad de esfuerzos realizados para resolver y controlar todas aquellas situaciones que se iban presentando en el momento de llevar a cabo la construcción del túnel Patriotismo-Tacubaya correspondiente a la línea 9 poniente del metro de la Ciudad de México, ya que fue en este tramo donde pude obtener gran cantidad de los datos que conforman este documento el cual obedece en mucho a una inquietud, no solo individual, sino a la de un conjunto de personas, en cuanto a dejar plasmado de alguna manera, la secuencia y elementos de la ingeniería requeridos en la construcción de este tipo de obras.

Es también, un motivo importante el citar en esta parte, que si bien este trabajo describe solo un punto de un gran proyecto, la realización del mismo, fue resultado de una enorme inversión en recurso humano, técnico y material; lo cual me lleva al compromiso de dejar una pequeña aportación, con el deseo de que sirva de utilidad, en cuanto a una fuente de información a quienes tengan interés sobre este tópico.

La secuencia que se le ha dado a este trabajo -- inicia con una breve descripción del desarrollo y trazo de las vías de comunicación y transporte en la Ciudad de México y sus alrededores, y como el crecimiento de --

población y transporte se fueron convirtiendo en un problema que requería una solución acorde con los recursos existentes, en este capítulo se cita como se va elaborando la génesis de lo que es hoy el sistema de transporte colectivo y sus ventajas, así como los proyectos y estudios que se realizaron para la aprobación de su construcción.

A continuación se presenta la aparición y desarrollo tecnológico que se ha dado en cuanto a la construcción de túneles, llegando a la descripción de lo que son los escudos, como herramienta para este tipo de obras.

El siguiente capítulo tiene como objetivo describir la estructura y finalidad de un escudo de frente abierto, y las ventajas que ofrece para la excavación de túneles en ciertas zonas geológicas características de la ciudad, haciendo referencia a sus componentes y formas de operación, así como las herramientas auxiliares y procedimientos complementarios para la excavación de túneles.

Posteriormente en el capítulo IV, se describen los estudios y ubicación de la línea 9 poniente del metro, así como la localización del tramo Patriotismo Tacubaya, mencionando las lumbreras, túneles y nichos que lo conforman.

A continuación se menciona al detalle el procedimiento constructivo empleado para la excavación del

túnel Patriotismo-Tacubaya utilizando el escudo de frente abierto, haciéndose referencia a los aspectos, de control topográfico, ademe en el frente de excavación, colocación de dovelas, inyecciones de contacto, y mencionando también los requerimientos necesarios para la operación del escudo en lo referente a mano de obra, equipo e instalaciones.

El capítulo subsiguiente presenta los programas que corresponden a lumbreras, túneles y nichos de estramo y sus conexiones a las cabeceras de estación precisando que a la fecha de concluir este trabajo, existe algunos de estos programas que se siguen efectuando, esperando que se concluyan totalmente en un futuro próximo.

En el último capítulo que comprende este trabajo, se hace referencia a los problemas y soluciones propuestas en la ejecución de la obra en cuanto a desviaciones topográficas del escudo, materiales no contemplados en el perfil estatigráfico, así como en filtraciones de agua.

Para finalizar en el apartado de conclusiones se anotan una serie de aspectos que a nuestra consideración resultan relevantes, como producto de la construcción de este tramo.

Para dar apoyo a la consulta de este trabajo citamos en la bibliografía, aquellas fuentes de información que sirvieron de base para la realización del presente documento.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y ASPECTOS GENERALES.

ANTECEDENTES Y ASPECTOS GENERALES

Referencias Históricas

En una ciudad como la de México, que ha ido creciendo en forma anárquica a un ritmo en extremo vertiginoso, se plantean problemas de índole social, laboral educativo, etc.; los cuales plantean el dar soluciones para la población que ahí se aglutina.

Es un hecho irrefutable, que el Ingeniero desempeña un papel preponderante en algunas de las alternativas para dar solución a los problemas antes mencionados, por lo menos en lo que se refiere a los aspectos de infra-estructura necesarios para el desarrollo de cualquier grupo social.

Por citar solo algunos de los campos en los cuales contribuyen en forma definitiva el profesional de la Ingeniería, podríamos mencionar edificación de casas habitación; locales industriales y escolares, instalaciones de agua potable y drenajes, diseño y estructura en vías de comunicación, entre otras. Y es precisamente dentro de este último punto, donde se pretende desarrollar el presente trabajo.

Partiendo de que en una ciudad que tiene una superficie de 550 Km² y donde se concentra una población de 18 millones de habitantes, encontramos que uno de los problemas que cobran prioridad es el de vías de comunicación y el transporte de grandes masas de población; debido a que este punto se ve directamente vinculado con aspectos de productividad; inversión en transportes combustible, degradación del ambiente, horas - hombre

perdidas en traslados y todos aquellos aspectos que se derivan de lo anterior, surgió la inquietud de elaborar algunos estudios, de los cuales se cita a continuación una reseña:

Aproximadamente en la década de los 60' el gobierno federal dispone la realización de un estudio en cuanto al problema del transporte del D.F., en donde se señala lo siguiente:

- Una gran urbe de trazo anárquico, resultado del trazo que originalmente tuvieron el centro de la Ciudad y los pueblos vecinos, de los desarrollos urbanos -- construidos durante la colonia, de los derechos de vía creados por los tranvías, de los cauces de algunos ríos entubados y transformados en grandes avenidas, etc. Este desarrollo se llevó a cabo sin una planeación y un control adecuado.
- El uso de la tierra mostraba una irracional y desordenada distribución de centros habitacionales, comerciales, industriales y de otras actividades, lo que obligaba a los habitantes a realizar grandes recorridos en todas direcciones.
- El área urbana comprendida anteriormente, fijaba límites de 372 Km², con longitudes máximas de 25 Km. de Norte a Sur y 20 Km. de Oriente a Poniente, lo cual se iba convirtiendo en un dato inexacto debido a que la mancha urbana crecía en todos sentidos a un ritmo acelerado año con año.

En cuanto a los aspectos de Población-Demografía-Crecimiento se encontró:

- A).- A la población del D.F. en 1965, (tomando como base los censos de 1930, 1940, 1950 y 1960) de seis millones y medio, se le agregaba un millón más de habitantes de las zonas periféricas.
- B).- La tasa de crecimiento demográfico en las últimas décadas era superior al 5% mostrando una tendencia a irse incrementando.
- C).- La población para las décadas subsiguientes a 1970 extrapoblando el crecimiento de los últimos años - sería 7 millones de habitantes, más 2 millones que se le sumaban en las zonas adyacentes.

TRANSPORTE Y PASAJEROS EN LA CIUDAD.

En 1965 la Dirección General de Tránsito tenía registrados 310,000 vehículos los cuales transportaban un total de 8'500,000 pasajeros, a dichos vehículos hablan que sumar los transportes de carga, remolques, motocicletas y bicicletas, lo cual incrementaba la cifra a -- medio millón aproximadamente.

Otro punto importante mostrado por las estadísticas era el referente a que el 76 % de la población se transportaba en medios masivos y el 24 % restante lo hacía en automóviles particulares y taxis.

En el estudio mencionado se encontró que de las 91 líneas de autobuses urbanos y transportes eléctricos -- que hablan en la ciudad, 65 de ellas circulaban por el primer cuadro y zonas aledañas, lo que se traducía en enormes embotellamientos, lo cual se acrecentaba considerando el espacio limitado ocasionado por los cerca de 150,000 vehículos estacionados en las vías de circulación; a lo anterior habría que sumar que entre el 40 y

50 % diario de viajes en esta ciudad, se realizaban hacia el centro de la misma.

Tales condiciones hacían del transporte un problema indecifráble, y por lo tanto irresoluble ya que se encontró que la velocidad de autobuses y transportes eléctricos, era menor al de una persona caminando.

A través de un análisis por demás elemental para el año de 1965 se determinó que la población empleaba en transportarse cuatro millones de horas por día en exceso.

De lo anteriormente descrito se desprende que como era lógico y por los resultados de los estudios realizados, era prioritario el atender el problema de comunicaciones viales y transportes colectivos en una forma urgente, pero avocándose a una planeación que vislumbrara no solo soluciones inmediatas sino con proyección a largo plazo, esto generó que se diera forma a varios proyectos en este campo, siendo uno de ellos el de transporte colectivo de la población; motivo de estudio del presente trabajo.

OBJETIVOS Y JUSTIFICACION DEL METRO EN LA CIUDAD DE MEXICO.

Tomando en consideración algunos de los puntos que se han mencionado anteriormente y considerando los elementos con los que cuenta tanto la ciudad como su población; así como la necesidad de buscar una solución viable y eficaz; se concluyó que como punto de partida se habría de buscar:

- Capacidad de transporte (Volumen)
- Rapidez.

- Economía.
- Posibilidad de realizarse a través de la ciudad sin afectar la vialidad existente al momento de dar inicio a los trabajos.
- Aprovechamiento de los técnicos e insumos con los que contaba el país.
- Así como un proyecto cuyo desarrollo fuera acorde con las necesidades de crecimiento de la ciudad.

Dado lo anterior y a partir de la experiencia que se obtenía de otros países, en ciudades con problemas similares a la nuestra, se consideró que una alternativa de solución era el proyecto conocido como Ferrocarril Metropolitano ó "METRO".

Los objetivos que este proyecto pretende son los siguientes:

- Satisfacer la demanda excesiva de transporte de pasajeros, tanto de la ciudad como de la población propia del D.F.
- Reducir el número de autobuses y transportes eléctricos que operan en la ciudad sin una coordinación adecuada.
- Evitar congestionamientos severos de tráfico.
- Lograr una continuidad en el servicio.
- Brindar un transporte con:
 - a) Mínimo de riesgos.
 - b) Economía.
 - c) Rapidez.
 - d) Optimización de recursos técnicos y experiencias de los cuadros profesionales y tecnológicos del país.

- Entre otros, estos puntos son los que a nuestra consideración se muestran como los más interesantes sin que por esto deje de considerarse la importancia de otros objetivos.

EL PROBLEMA DE COMUNICACIONES VIALES Y TRANSPORTE COLECTIVO EN LA CIUDAD DE MEXICO.

Para 1965 la ciudad contaba con una red vial, formada por una cantidad considerable de avenidas importantes y tres arterias de tránsito rápido: El Viaducto, el Periférico y la Calzada de Tlalpan, así como numerosos pasos a desnivel para solución local de problemas viales.

Sin embargo varias avenidas presentan falta de continuidad en uno de los extremos, ubicando principalmente aquellas que llegan al primer cuadro, lo cual les hace perder todas las ventajas de vía rápida, por citar algunos ejemplos se puede mencionar: Calzada Zaragoza al llegar a Morazán, Vallejo en la Raza, Oceanía en su extremo sur entre otras.

El atender el problema vial para satisfacer las necesidades de circulación de los automóviles había demostrado por lo menos estas condiciones:

- A) Los Viaductos y Periféricos, no constituyen la solución más recomendable en materia de transporte masivo ya que en cierta medida estas vías solucionan las necesidades de propietarios de automóviles, no así la de las grandes mayorías.

- Cabe recordar las proporciones citadas en el primer apartado de este capítulo, en cuanto a personas que se transportaban en automóvil particular y taxis.
- B) El aumento progresivo y sin planeación del número de autobuses y transportes en general, conduce a incrementar y con esto a agravar más los problemas de tránsito, las pérdidas de tiempo, los consumos y desgastes excesivos de las unidades, contribuyendo así a elevar el problema de la contaminación.

En lo que se refiere a transporte de pasajeros se concluyó que este era uno de los principales problemas de la ciudad, el intenso movimiento de personas en transportes urbanos era la causa de congestionamientos que se agravaba en la zona denominada primer cuadro, siendo esta la de mayor afluencia y caracterizada por la gran movilidad que ahí se origina como área de comercio, habitación y laboral para una gran cantidad de capitalinos.

Las causas que originaban este problema eran :

- Ausencia de continuidad en un gran número de avenidas y calles importantes.
- Número elevado de ciudadanos, demandado transporte.
- Gran cantidad de líneas de autobuses que traslapaban sus rutas.
- Dualidad y falta de coordinación entre líneas de autobuses y transportes eléctricos.
- La falta de planeación en el recorrido de las líneas de transporte generaban que el 75 % tuvieran como un punto común, el primer cuadro de la ciudad, ocasionando graves congestionamientos.
- Falta de terminales adecuadas para transportes urbanos,

suburbanos y foráneos.

- Equipos anticuados ó excesivamente usados de operación lenta y deficientes.
- La competencia desleal de las líneas de autobuses que duplicaban y en ocasiones triplicaban las rutas establecidas de transportes eléctricos.

ORIGEN Y NECESIDAD DE LA CONSTRUCCION DEL METRO EN LA CIUDAD DE MEXICO.

La solución fundamental para el transporte masivo - de pasajeros, no podía estar orientada hacia el núcleo - central de la ciudad y sus zonas congestionadas a base - de sistemas de superficie.

Ante esta situación y dentro de una planeación racional, se vió la conveniencia de construir el METRO para que constituyera la columna vertebral de un sistema integral de transporte.

Sin embargo, no obstante la manifiesta necesidad de un transporte colectivo de pasajeros, su realización se vió obstaculizada por varios años, por una serie de factores que aparecían como problemas insuperables.

Estos factores se pueden calificar en tres categorías de problemas:

- Técnicos.
- Económicos
- Financieros.

ASPECTOS TECNICOS

En el aspecto técnico se presentaba en forma primordial, lo referente a el subsuelo de la ciudad; tanto por el problema que constituía la construcción de todo tipo de estructuras en superficie, así como el tipo de suelos

y topografía para la ejecución de conductos subterráneos de gran longitud.

El siguiente aspecto se refiere a considerar que el metro requería de una tarifa que estaba en un nivel superior a la capacidad económica del usuario, siendo este dato extraído de estudios realizados en cuanto a promedios de gasto realizado, por concepto de transporte -- por la población.

De los puntos anteriores se desprendía como consecuencia el factor financiero, ya que el fijar una cuota de transporte acorde con las posibilidades de pago del usuario, requería de subsidio gubernamental por otra -- parte en caso de superar los problemas técnicos, la construcción habría alcanzado costos excesivos que requería de altos financiamientos cuyas amortizaciones deberían ser cubiertas por el gobierno.

Sin embargo ante la urgencia de dar solución al -- problema de transporte masivo en la ciudad, así como la inquietud de autoridades, funcionarios y técnicos mexicanos, quienes desde años atrás habían generado una gran -- cantidad de estudios al respecto, los que coincidían en la conveniencia de construir un sistema rápido de transporte colectivo en vía libre, dieron como resultado el -- determinar la construcción del mundialmente denominado -- METRO.

Es así como el estudio preliminar conocido como "RAPIDOS DE MEXICO" es sometido a consideración de las autoridades del Departamento del Distrito Federal en 1966.

A partir de Octubre de 1966 se procedió a actualizar los datos iniciales, profundizar sus contenidos y dar carácter definitivo a diversos aspectos como trazo de las líneas, equipos a utilizar, cuadros técnicos y ejecutivos, cotizaciones de materiales, asesorías institucionales a concenir, así como detalles logísticos de ejecución del proyecto.

El 29 de Abril de 1967 por decreto presidencial se creó el organismo público descentralizado llamado SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO (S.T.C.) cuyas funciones eran la de encargarse en un principio de supervisar el proyecto y la obra, y más tarde en forma definitiva del funcionamiento y operación del Metro.

Por su parte, el grupo de empresas I.C.A. constituyó en Febrero de 1967 la empresa Ingeniería de Sistemas de Transporte Metropolitano (I. S. T. M. E.) que celebró un contrato para llevar a cabo el proyecto completo del Metro de la Ciudad de México.

Para la ejecución de la Obra del Metro se formaron empresas que como objetivo principal tiene el dar atención a los aspectos específicos de un proyecto de este tipo como son : COMETRO, ELECTROMETRO, etc.

CAPITULO II

MARCO TEORICO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TUNELES

MARCO TEORICO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TUNELES

Breve Referencia

La construcción de túneles es una actividad - que se ha desarrollado desde hace varios siglos - en la explotación de yacimientos mineros y carboníferos. Actualmente, es una solución para diversos problemas derivados de la construcción de - vías de comunicación, obras hidráulicas y sanitarias e incluso obras de índole militar.

La rica herencia histórica, que como país minero tiene México, le permitió adquirir sus primeras experiencias tuneleras, dando su contribución posteriormente a la construcción de líneas férreas y carreteras, en las cuales se ha asociado la solución de túnel en sus trayectorias a través de la accidentada orografía del territorio nacional, debido a las restricciones de trazo y pendiente - que gobiernan en dichas obras, disminuyendo a su vez, las distancias en la comunicación de grandes centros de población.

El incesante crecimiento urbano propicia, en cierta medida, la utilización de obras subterráneas, debido a la necesidad de agilizar el transporte, teniendo rutas directas imposibles de localizar en la congestionada superficie, pero disponibles en el espacio generado en el subsuelo, desarrollándose sistemas de transporte subterráneo de gran eficiencia.

Los grandes proyectos hidroeléctricos y de riego, que se han realizado en el país, han per -

mitido acrecentar notablemente las experiencias tuneleras con obras de desvío, vertedores, conductores de presión y cavernas subterráneas para alojar las grandes centrales eléctricas. A partir de la década de los 60's, se inició la construcción de túneles para desagües profundos tanto en México, D.F. como en Guadalajara, Jal. y otras ciudades de la República.

La tecnología mexicana ha tenido un gran avance, que ha permitido la realización de obras subterráneas de diversas dimensiones y prácticamente en todo tipo de materiales y condiciones, desde rocas sanas, fracturadas ó alteradas, hasta suelos granulares, limosos y arcillosos blandos.

En la actualidad, se han presentado adelantos muy importantes en la excavación de túneles, gracias al empleo de máquinas perforadoras de túneles, llamadas usualmente ESCUDOS.

La aparición de estos artefactos mecánicos de autopropulsión en la construcción, es realmente reciente. Aun cuando encontramos referencias del uso de aparatos incipientes, desde el siglo pasado, el perfeccionamiento de los mismos hasta adquirir una forma semejante a los actuales, es de unos 50 años a la fecha, siendo su aplicación tan importante que ha obtenido gran éxito en la industria de la construcción.

Con los escudos se reducen varios problemas inherentes a sistemas convencionales de excavación y se implementan otros factores de gran conveniencia para la construcción de un túnel, tales como rapidez, eficiencia y seguridad.

En lo futuro, la construcción de túneles, que es además el futuro de la construcción de importantes obras de ingeniería, tendrá grandes avances gracias a la implantación de nuevas técnicas y al desarrollo en la fabricación de estos nuevos equipos, representando un reto en la capacitación de técnicos e ingenieros mexicanos, para su aplicación en la realización de obras que beneficien a la sociedad.

LOS ESCUDOS EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES

a) Su aparición en la construcción. - La utilización de las máquinas perforadoras de túneles en suelos, es decir, los escudos, ha estado sujeta al perfeccionamiento de los mismos desde su aparición en la construcción de túneles bajo el Río Támesis en Londres, en el año de 1818. Casi al mismo tiempo, se encuentran también distintas investigaciones y aplicaciones de aparatos similares en otras ciudades de Europa y Estados Unidos, comenzando una nueva etapa dentro de la construcción de túneles en el mundo.

El primer escudo utilizado en Londres por Brunel, estaba provisto de un complicado sistema de -

plataformas de ademe, que sostenían al frente por medio de tornillos, mientras que el escudo se movía hacia adelante, penetrando en el terreno mediante gatos de tornillo apoyados contra el revestimiento final de la excavación. La teoría era que, mediante un mecanismo capaz de moverse hacia adelante a través del curso del túnel y provisto con medios para resistir la presión del terreno en el frente, así como las presiones actuando en ángulos rectos en la periferia del túnel, toda o la mayoría de la madera usada como ademe en los procedimientos convencionales, pudiera ser eliminada.

Anteriormente al uso de escudos, la construcción de túneles en material suave, se hacía por etapas y atacando la sección en partes, para ir adelmando poco a poco, comenzando con la clave hasta terminar con el centro del túnel y el piso del mismo. Este procedimiento sigue y seguirá utilizándose, porque la aplicación de los escudos, para ser económicos, requiere entre otras cosas, longitudes de túneles suficientemente grandes que permitan amortizar esta máquina, la cual es sumamente costosa. Además, se necesita seguridad de contratación en tramos largos, para una sola empresa constructora.

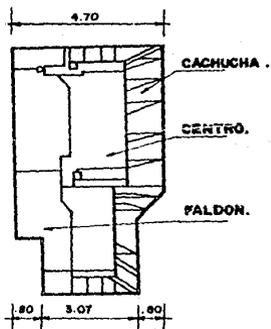
La idea fundamental del escudo es que, el proceso de excavación y el montaje del revestimiento, deben dividirse en etapas lo más pequeñas posible, de manera que ambas operaciones sean lo más concurrentes o simultáneas, permitiendo la defor-

ción del terreno hacia el túnel, mediante una correa de metal, al tiempo que se colocan el revestimiento prefabricado ó dovelas, las cuales sirven como ademe provisional del túnel.

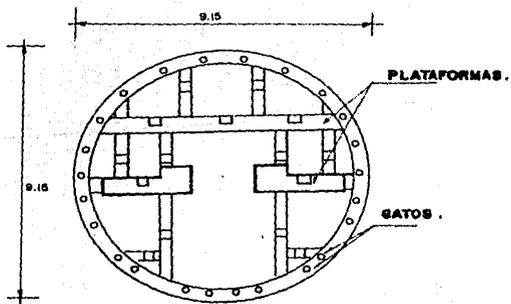
b) Estructura de los Escudos .- El principal elemento de la estructura del escudo es el forro ó camisa, que está construido con placas de acero, roladas de acuerdo a la geometría de la sección del túnel y ligeramente mayores que él, ya que protege toda la zona del túnel que se acaba de perforar y que todavía no tiene ademe.

La camisa puede dividirse en tres partes principales para fines de diseño, en función de su rigidez interior y de su arreglo de acuerdo a su propósito : (Figura 1)

1.- El extremo delantero de la camisa, donde se efectúa la excavación, es sumamente reforzado por ser la cara de corte. Está formando generalmente por placas de acero con soldadura de carburo de tungsteno, pudiendo incrementarse su rigidez interna con anillos atiesados. Su propósito principales facilitar el posible avance uniforme y con reducción del cuerpo del escudo, cortando el frente, amén de proveer una distribución hasta donde sea posible, de las importantes presiones inducidas que lo forzan hacia atrás. Además forma un techo protector en la zona recién excavada, impidiendo un desplome del terreno sobre los trabajadores, en caso de que el escudo sea de " Frente abierto ".



CORTE LONGITUDINAL.



VISTA FRONTAL.

FIG. 1

El diámetro de la cara de corte debe ser ligeramente mayor que el diámetro del escudo, facilitando su deslizamiento.

En caso de que el escudo sea de " frente cerrado ", éste tiene en la parte delantera unas cuchillas que excavan el terreno, al girar cada una de ellas alrededor de un eje y que van desmenuzando el material del terreno para que caiga en la parte inferior de la sección que se está atacando.

2.- La parte intermedia ó tronco, está destinada para el alojamiento de maquinaria de empuje (gatos hidráulicos, tablero de operaciones, etc) Además algunos elementos suplementarios importantes son incorporados en el interior del escudo, la mayoría en combinación con elementos rigidizadores, tales como plataformas de trabajo, montadas sobre atiesadores horizontales y verticales, así como gatos para soportar el ademe del frente, montados sobre las paredes divisorias de las plataformas de trabajo, en caso que el escudo sea de frente abierto. También, es posible alojar en esta sección las guías, que son un elemento auxiliar para dirigir el escudo, mediante el sistema topográfico de rayo laser.

Dentro de esta coraza, pueden existir bandas transportadoras que reciben el material desmenuzado y lo llevan fuera del escudo hasta la zona ya ademada, para descargar en vagonetas y luego ser rezagado en la forma usual.

3.- La parte trasera ó faldón del escudo, está -- diseñada para soportar el túnel mientras se realiza el montaje de los segmentos del revestimiento, mediante un brazo erector instalado en esta parte del escudo. Estos segmentos pueden ser de concreto precolado ó metálicos.

La adecuada construcción del escudo se complementa con máquinaria especial para la excavación, rezaga y transporte del material, montaje e inyección y todo lo indispensable en el tuneleo con escudos.

Existe una gran variedad de escudos, pero los escudos circulares, generalmente son los que ofrecen la mejor resistencia a las presiones externas. La experiencia en el diseño de escudos circulares indica que, para mayor facilidad de manejo, entre menor sea la longitud del escudo, será mayor la - dificultad de mantenerlo alineado, pero será más - fácil desarrollar un giro. Los escudos largos re- quieren presiones más elevadas en sus gatos de em- puje para su operación. Se recomienda respetar la siguiente relación de longitud a diámetro:

$$L \leq 0.75 D.$$

Otra característica común en los escudos es - girar alrededor de su eje longitudinal, debido a - la estratificación oblicua y a presiones externas - asimétricas. Estos giros se llegan a corregir me- diante el uso de estabilizadores ó aletas, cuya -- localización en el perímetro del escudo se hace - por tanteos.

EQUIPO DEL ESCUDO

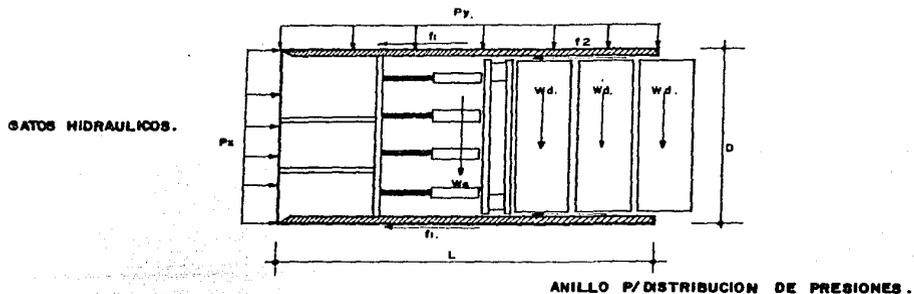
1.- Gatos de Empuje .- Constituyen el sistema de -- autopro pulsión del escudo y se encuentran colocados en la estructura del escudo, reaccionando contra los anillos del revestimiento del túnel previamente erigidos y controlando la dirección de la excavación, - en tangente ó en curva. Para mover el escudo deben tomarse en cuenta las siguientes resistencias : -- (Figura 2)

- a) La fricción del terreno sobre la superficie exterior de la camisa del escudo.
- b) La fricción del anillo de dovelas en el faldón del escudo.
- c) La resistencia del terreno que no ha sido excavado, en el frente del escudo.

En cuanto a la distribución de los gatos de empuje, generalmente es mayor en la mitad inferior del escudo, pues éste tiende a clavarse.

2.- Gatos frontales .- El mejor método para soportar el frente mientras el escudo avanza, es mediante gatos al frente, los cuales ejercen una presión constante y uniforme. Los gatos frontales deben llegar más allá de la cara de corte y su carrera debe ser mayor ó igual al ancho de una dovela. Para accionar los mecanismos hidráulicos se usa un equipo instalado en superficie y el fluido que hace accionar los gatos pasa por mangueras, hasta el frente de la excavación.

FUERZAS RESISTENTES AL EMPUJE DEL ESCUDO .



P_v = PRESION VERTICAL .

P_h = PRESION HORIZONTAL DEL TERRENO .

L = LONGITUD DEL ESCUDO .

D = DIAMETRO DEL ESCUDO .

W_e = PESO PROPIO DEL ESCUDO .

W_d = PESO DE LAS DOVELAS .

f_1 = COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LA CAMISA DEL ESCUDO
Y EL ESCUDO .

f_2 = COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LA CAMISA DEL ESCUDO
Y LAS DOVELAS COLOCADAS .

FIG. 2

3.- Plataformas horizontales. - Este dispositivo -- provee de áreas de trabajo, para atacar el frente -- de excavación con el personal dispuesto en la zona. En el caso de excavar en suelos granulares, estas -- plataformas llegan a estabilizar el frente de ata -- que en función del ángulo de reposo del material, -- evitando derrumbes que alteren el ciclo de opera -- ción del escudo. (Figura 3)

4.- Brazo erector .- Para la colocación de las do -- velas, el escudo cuenta con este dispositivo, el -- cual es accionado hidráulicamente, pudiendo girar -- en ambas direcciones alrededor del eje del escudo -- y desplazarse en la dirección del mismo eje, una -- distancia similar al ancho de una dovela. En su -- extremo, el brazo cuenta con un mecanismo para suje -- tar las dovelas y colocarlas en su posición corre -- cta. (Figura 4)

5.- Herramienta para la excavación del frente .- - Se provee de personal para atacar el frente de la -- excavación con pistolas ó martillos neumáticos rom -- pedores ó bien se puede instalar una máquina de a -- taque selectivo, ya sea por corte o por impacto. -- Un ejemplo de la primera sería la rozadora Westfa -- lia, provista de una cabeza con picas, cuya dimen -- sión es pequeña en relación con la sección del fren -- te. Esta cabeza está situada en el extremo de un -- brazo orientable, que realiza el barrido selectivo, a través de toda la superficie del frente. Las má -- quinas de ataque selectivo por impacto, llevan mon -- tado un martillo neumático en el extremo del brazo --

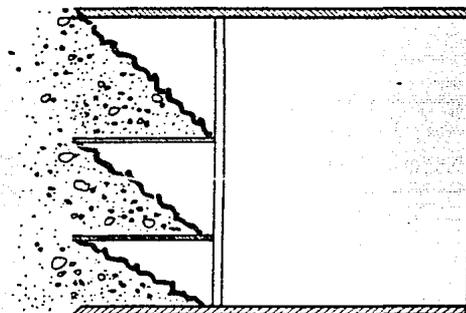


FIG-3

ESTABILIZACION DEL FRENTE DE ATAQUE EN SUELOS GRANULARES MEDIANTE PLATAFORMAS HORIZONTALES.

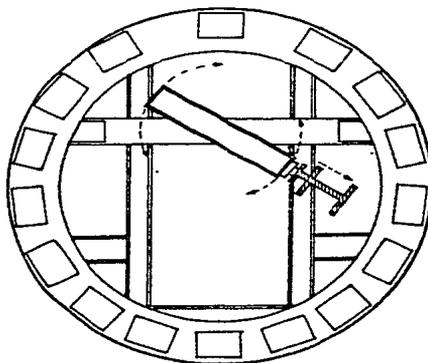


FIG-4

VISTA POSTERIOR DE UN ESCUDO.

de barrido y el arranque del material se produce por el golpeo del útil.

La variante, en el caso de los escudos con frente cerrado, sería el uso de cuchillas cortadas oscilantes que desmoronen el material en el frente de ataque, ó bien la disposición de brazos hidráulicos de perforación, montados en el frente del escudo.

SEGMENTOS PARA ADEME (DOVELAS)

Debe tener las siguientes características :

- 1.- Suficiente capacidad de carga, para soportar la presión total (suelo más agua), sin que exista deformación ó filtración, en función de la clase y condiciones del terreno.
- 2.- Resistencia a los esfuerzos de impacto debido a un manejo brusco, transporte y colocación.
- 3.- Resistencia a altos esfuerzos axiales, producidos por los gatos de empuje, durante el avance del escudo.
- 4.- Resistencia a la humedad y a los efectos del agua del terreno sobre el segmento mismo, así como resistencia a la corrosión.
- 5.- Economía en construcción y mantenimiento.

Los segmentos pueden ser de diversos materiales :

- a) Hierro fundido
- b) Acero
- c) Concreto reforzado

Las dimensiones de un anillo de segmentos -
dependen de :

- a) Capacidad de fabricación
- b) Peso que pueda ser manejado convenientemente
- c) Dimensiones del faldón del escudo.

Deben tenerse en cuenta que, mientras menos -
segmentos tenga un anillo y su capacidad de movi-
lización permita colocarlos con facilidad, el cos-
to será menor. Por tanto, no se puede decir a -
priori el número de segmentos más económicos, ni -
sus dimensiones o su material.

CICLO DE OPERACION

Una de las ventajas de establecer un ciclo de
operación, es la de poder realizar una evaluación -
de los costos dentro de una fase de un proyecto y -
del proyecto completo.

Los registros del ciclo de operaciones tam -
bién permiten conocer cada día, si la productivi -
dad de trabajo está funcionando como se estimó y -

a la vez indican cuáles fases del trabajo necesitan de una atención especial.

Dentro de las operaciones del túnel, el ciclo de operación se compone principalmente de 3 etapas primordiales :

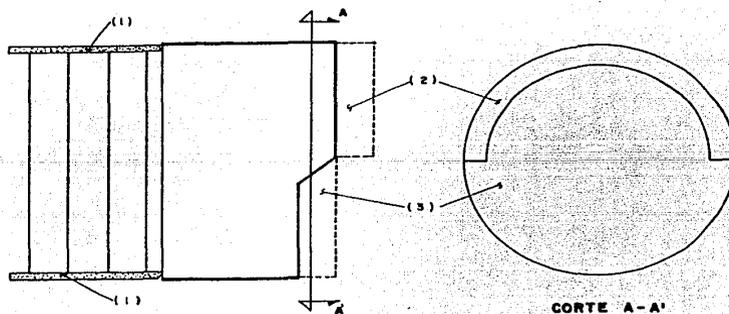
- a) Excavación y soporte temporal del frente, desalojando el material de rezaga.
- b) Avance del escudo, con reacción contra el revestimiento previamente erigido.
- c) Colocación de otro anillo del revestimiento. -- (Figura 6).

a) La excavación tiene lugar en el frente y con relación a la seguridad, es la actividad más difícil en el tuneleo con escudos.

El tuneleo con escudos requiere excavar la sección completa, lo cual no es una tarea fácil, considerando que los escudos se utilizan en terrenos de baja resistencia y que se requiere estabilizar áreas de dimensiones considerables.

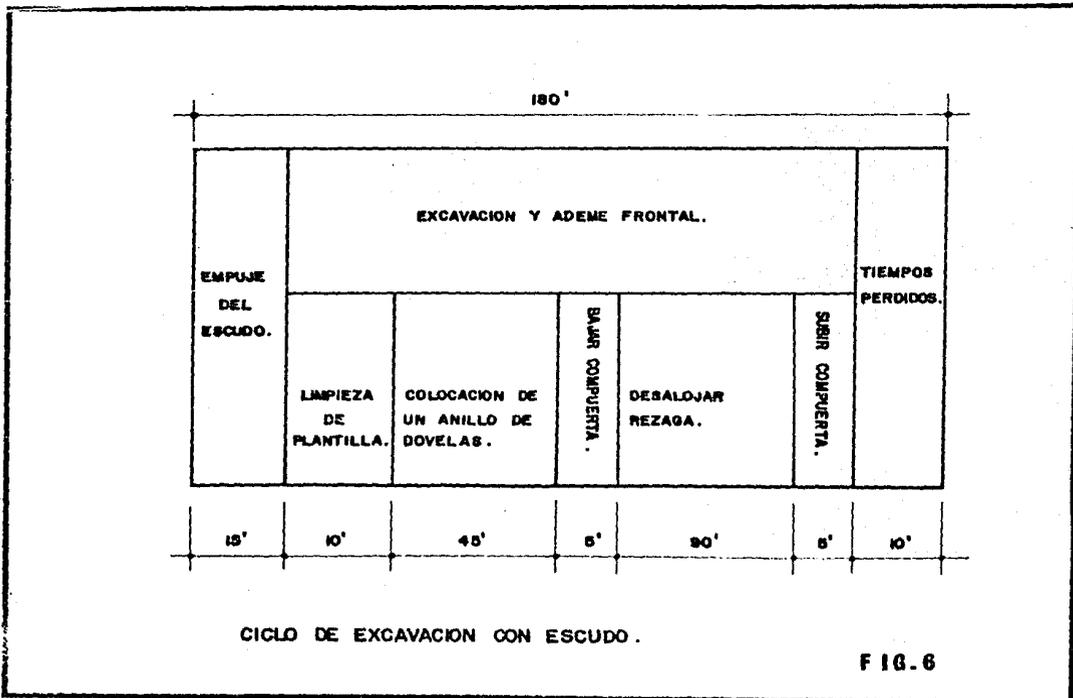
La herramienta empleada para la excavación del frente, es función del grado de dureza del suelo, - siendo común el uso de martillo neumático.

La estabilización del frente se logra a base de tableros de madera, que son detenidos por los gatos frontales.



- (1) - ZONA DE INYECCION.
- (2) - RANURA AL FRENTE DE LA EXCAVACION.
- (3) - ZONA DE CORTE.

FIG. 5



En ocasiones, se utiliza una compuerta en la parte posterior del escudo que retiene el material-producto de la excavación, la cual es bajada, permitiendo el acceso a una máquina rezagadora con banda transportadora después de colocar un pequeño tramo de vía. Se deposita el material en botes ó cajas especiales, que posteriormente se llevan con locomotoras a la lumbrera, dónde son tomados por un malacate para ser vaciados en la superficie a una tolva y ahí, a camiones de volteo.

Al mismo tiempo, se efectúa la inyección de gravilla entre las dovelas y el terreno, detrás del faldón del escudo, relleno el espacio dejado por el espesor de la camisa y de una ranura efectuada al frente de la excavación, en el perímetro del escudo, en forma de flecha y de una profundidad similar al avance del mismo, con objeto de evitar que la camisa encuentre demasiada resistencia del suelo durante el avance. (Figura 5)

Una vez terminada la excavación, rezaga y además del frente se bloquea el paso de rezaga fuera del escudo, subiendo la compuerta, para entonces --llevar a cabo el avance del escudo.

b) El avance del escudo es una operación muy delicada, ya que define los alineamientos y pendientes-proyectados, por lo cual es muy importante realizarlo con los gatos de empuje adecuados, apoyándose en el anillo de dovelas previamente colocado en el propio faldón del escudo y retrayendo los gatos frontales, manteniendo siempre una presión de éstos úl-

timos contra el ademe de madera, al frente de la excavación. La amplitud del avance debe permitir tener un espacio suficiente para la colocación del siguiente anillo de dovelas.

c) Terminado el avance, se limpia la plantilla dentro del faldón del escudo, para realizar el montaje de dovelas. Cada una de las piezas es bajada de una plataforma especial y tomada por un " brazo erector ", que está montado en la parte posterior del escudo y cuya función es tomar cada uno de los segmentos y erigirlo hasta su posición dentro del faldón. Este brazo puede girar alrededor de su eje horizontal a cualquier posición que se requiera y puede extenderse ó retraerse; en su extremo tiene un dispositivo especial para sujetar el segmento.

A medida que el anillo se va ensamblando, los gatos de empuje se van retirando. Hecho ésto se permite nuevamente el traslado de la rezaga, iniciando un nuevo ciclo.

Los anillos ya montados, tienden a adoptar una forma oval y no circular como lo pudiera pedir el proyecto, debido al peso propio de los mismos, por lo que resulta necesario colocar un par de puntales, dotados con gatos mecánicos para su ajuste. Este apuntalamiento se conserva hasta después del inyectado, del cual se hablará a continuación.

INYECCIONES

Como se mencionó anteriormente, es una práctica común en túneles construidos con escudos, el llenar con gravilla el espacio anular entre el ademe y el terreno excavado.

La gravilla de 5 mm es introducida a través de los agujeros de inyección, provistos en los segmentos de ademe. A esto le sigue una inyección de lechada de cemento, que consolida al relleno previo, llenando todos los huecos. Su objetivo inmediato es el de estabilizar el terreno circundante, lo cual reduce la presión del suelo contra el ademe del túnel, actuando además como impermeabilizante.

La inyección de la lechada debe hacerse, una vez que los asentamientos del terreno debidos a la construcción del túnel, hayan alcanzado su condición de equilibrio.

ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO

Para tener una excavación eficiente y segura, cuando el caso lo permita, será conveniente atacar el frente con la menor cantidad ó presión de agua provenientes de los mantos, en los alrededores de la construcción.

Existen métodos de ataque desarrollados para

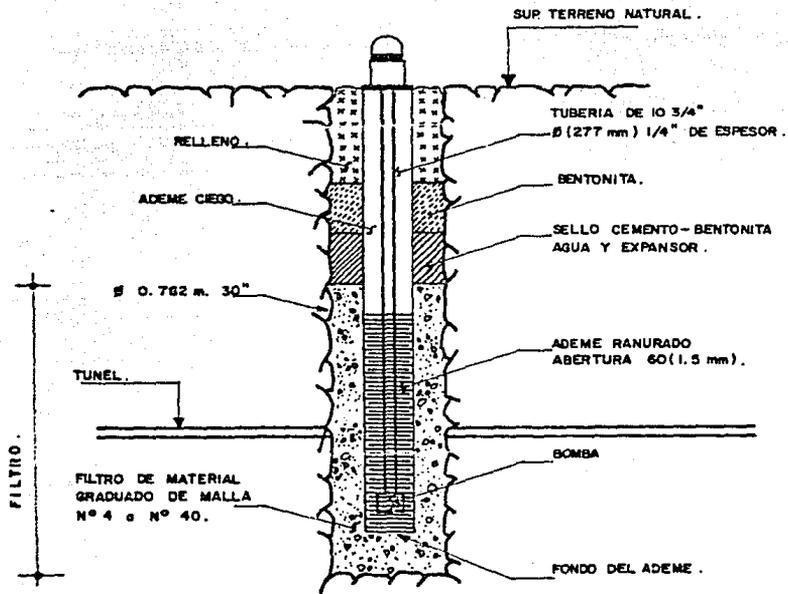
trabajar en frentes saturados utilizando escudos -- especializados, de los cuales se hará mención en el próximo capítulo.

El abatimiento del nivel freático previo al -- paso de un escudo, se logra con la ayuda de pozos -- de bombeo, situados a los lados del eje de trazo y -- a lo largo del mismo.

Las perforaciones se llevan desde la superfi -- cie hasta un nivel bajo la plantilla del túnel, el -- cual es igual a 2 ó 3 veces el diámetro del túnel y -- en ellas se instalan bombas sumergibles.

Cada línea de perforaciones tiene aproximada -- mente 160 m. de longitud, repartida en dos tramos: -- 60 m. atrás del escudo y 100 m. adelante de éste.

Para conocer la presencia de cargas hidrostá -- ticas en lentes aislados, que no pueden ser drena -- das por los pozos, se instalan piezómetros del ti -- po abierto ó Casagrande, a la profundidad de la -- plantilla del túnel. (Ver Figura 7)



ESQUEMA DE UN POZO DE ABATIMIENTO .

FIG.7

T O P O G R A F I A

A N T E C E D E N T E S

La topografía en túneles, por su característica esencial, difiere substancialmente de los procedimientos ordinarios, los cuales, debido a su condición a " cielo abierto ", son más favorables para su ejecución por lo tanto y en consecuencia, la topografía en control de túneles estará más limitada en cuanto a espacio y recursos para el desarrollo ó aplicación de métodos para resolver algún ó algunos problemas topográficos en particular.

La conducción topográfica deberá ejecutarse con procedimientos que por sistemas, garanticen los óptimos de tiempo, economía y precisión.

INTRODUCCION DEL EJE DEL PROYECTO AL INTERIOR DEL TUNEL

Originalmente en la conducción topográfica horizontal de túneles, se emplearon varios métodos algunos de los cuales, por las condiciones de acceso a la obra (Acceso en portales de entrada y salida en tajos a " cielo abierto " ó con lumbrera ó tiros como es este caso).

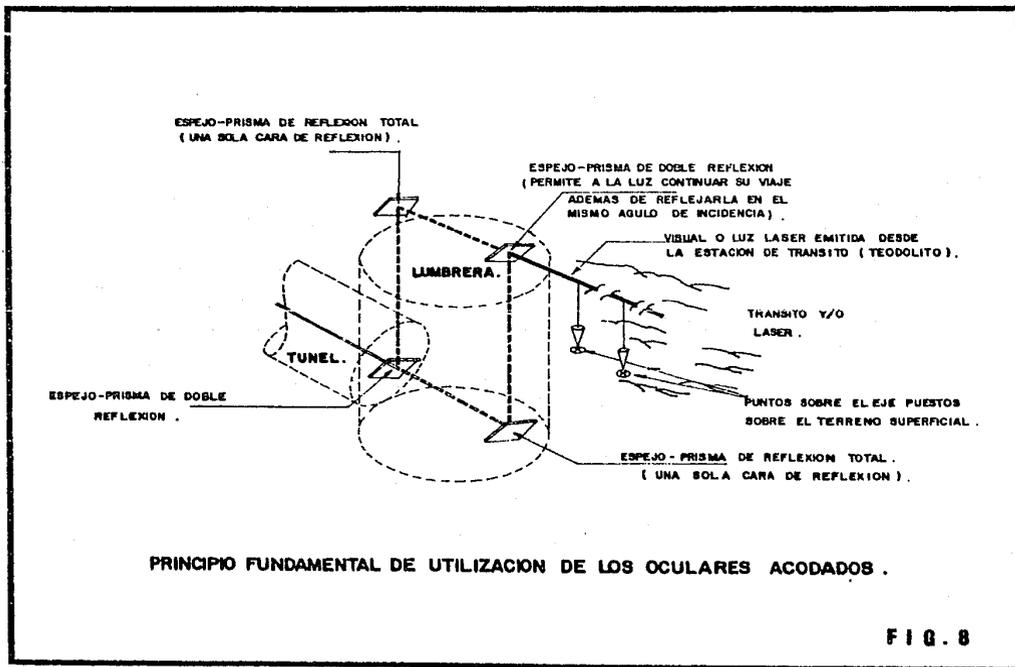
Al ejecutarse, ya sea en la introducción del eje básico de proyecto por los " Portales " ó lumbreras al núcleo de la obra, la precisión lograda no satisfacía las necesidades de exactitud requeridas,-

por su naturaleza exigían instrumental y condiciones de visibilidad y acceso especiales, otro tanto, se requería en los recursos humanos (Topógrafo, auxiliares, etc.) lo suficientemente capacitados para la ejecución en sí de los trabajos, lo cual no siempre era totalmente logrado. Con la creación- construcción de oculares acodados (equipo accesorio de los tránsitos actuales) que no es más que un juego de prismas de 45° convenientemente dispuestos, se evitó la intervención del recurso tradicional de las plomadas; el cuádr en longitudes ó profundidades de lumbreras muy grandes (más de 20 mts.), por la oscilación propia, además del movimiento terrestre (perturbación de la verticalidad, por la rotación de la tierra hacia el Este sobre su eje), obstáculos en el tiro de la lumbrera, etc., era muy limitado su rango de precisión.

Este accesorio de prismas acodados, se monta directamente en el ocular del tránsito, teniendo así una proyección Vertical-Visual de $\pm 2/3$ del movimiento del eje vertical del aparato, es decir la posibilidad de observación hacia el Zenit lo cual en este caso es requerido (Fig 8)

Pasos a seguir para la introducción del eje básico de proyecto al interior del túnel :

a) Se traza convenientemente el eje de proyecto sobre el brocal del tiro de la lumbrera y/o en los paños (caras interiores) de la misma si es factible.



- b) Se coloca un hilo ó. " reventón " apoyandose en estas referencias.
- c) Ya estando en la parte inferior del tiro de la lumbrera (Boca de túnel) se intercepta visualmente este cruce de hilos con la retícula de la visual del aparato en dos posiciones (para evitar un posible desajuste mecánico del aparato en el eje de colimación) y se traza la proyección visual-vertical del promedio de las dos punterías (aparato directo e inverso) en dos puntos.
- d) Se cambia la ubicación del aparato, a una posición $\pm 90^\circ$ en relación al primer eje visual obtenido, ejecutandose los mismos pasos que en la primera línea por interceptar.
- e) Obtenida la intersección de las dos visuales, presumiblemente se tiene la intersección de la proyección vertical del cruce de los hilos en el brocal de la lumbrera.
- f) Se concentra el tránsito en esta intersección y se visualiza nuevamente a la parte superior de la lumbrera para comprobar que se está en la proyección vertical del eje-intersección. Comprobando ésto, se toma puntería dentro del campo visual de la lumbrera al desarrollo del hilo sobre el eje principal (que es el eje horizontal de proyecto) para proceder así al trazo del mismo en la zona inferior y/o interior de la lumbrera y/o túnel por construir.

En el caso, en el que de la primera comprobación de la intersección la visual, al elevarse no coincida con el cruce de los hilos, se efectúa un tanteo moviendo el aparato en el sentido transversal del eje hacia el lado y desviación estimada. Esto se ejecuta tantas veces como sea necesario, hasta que se logre la coincidencia.

dencia en forma exacta.

Aun cuando este sistema, por experiencias pasadas, ha logrado precisiones casi perfectas; al ya tenerse ejecutada una longitud tal de túnel; se efectúa una orientación GIROSCOPO-ASTRONOMICO para garantizar que el rumbo de la línea introducida al túnel sea el mismo al correspondiente en superficie.

INTERVENCION DEL GIROSCOPO EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES.

El giroscopo es un equipo que, aunque creado ó descubierto en la época de las Guerras Mundiales, - ha podido ser aplicada dentro del campo de la Ingeniería en el aspecto de orientaciones astronómicas diversas.

En lo que a este caso corresponde, es el de - certificación de los AZIMUTES de las líneas de proyecto de apoyo en construcciones.

DESCRIPCION

Este equipo es en sí un Busca-Meridiano de Sistema-Mecánico, el cual por fabricación y diseño es td exento de perturbaciones ajenas al propio aparato en el medio de trabajo.

Trabaja por efecto dinámico producido por un - Biromotor que al actuar mueve un sistema de cintas sobre el cual va suspendido el giroscopo.

Su diseño teórico es la aplicación inversa del efecto de una peonza (perinolo), la cual al realizar el movimiento rotatorio propio producido por efecto mecánico ó manual, siempre mantiene en su - eje por principio de INERCIA la proyección vertical de la gravedad, así en este caso, la rotación - del motor anexo, le produce al giroscopo la velocidad necesaria (22000 RPM) para lograr también -- por INERCIA, la posición Norte-Sur del meridiano - del lugar de asiento del aparato.

Este equipo por diseño en su aplicación en la --
INGENIERIA, va montado sobre un tránsito (Teodoli -
to) con el que se obtienen las mediciones angulares
o azimutes de la línea respecto del meridiano en for
ma directa y leyendo el limbo y vernier en la forma
convencional.

Cabe hacer notar también, que por construcción -
el dispositivo de Montaje del giroscopo, esta fabri -
cado con Hierro-Dulce, lo que lo mantiene ajeno a -
atracciones o perturbaciones magnéticas exteriores.

APLICACION

La aplicación en la guía de túneles consta en sí
de tres partes básicas :

- 1a. Medición del Azimute Astronómico de la línea su
perficial de proyecto.
- 2a. Medición del Azimute Astronómico de la línea in
troducida al interior del túnel.
- 3a. Corrección del rumbo (si existiera diferencia)
entre el Azimute medido en superficie y el obtenido
en el interior del túnel.

ALTIMETRIA (NIVELACIONES)

Antecedentes

El control altimétrico (elevación) de cons ---
trucción de túneles, difiere sensiblemente por siste
mas del Convencional o " a cielo abierto " dado que-

el primero esta limitado en su ejecución en áreas de menor espacio y visibilidad; no así el segundo.

Al establecerse por razones de proyecto original, la utilización de un banco de nivel, muestra u origen, queda por lo tanto condicionado, que todos los puntos que abarca el Control Topográfico-Altimétrico estan siendo regidos por la elevación origen del estudio básico.

En el caso del Sistema de Transporte Colectivo METRO, el cual es nuestro Tema, se utiliza en sus varias etapas el banco de nivel profundo localizado en ATZACOALCO, D.F. que tiene una elevación nominada media de 2245.478 mts. SNM.

Este banco en su construcción básica consta de 3 tubos de acero galvanizado, dispuestos telescópicamente (a manera de camisa-ademe) de aproximadamente 87 mts de profundidad ó sea hincado en la corteza hasta su tope con estratos de naturaleza basáltica lo cual por sus características y localización no sufre los fenomenos telúricos del Valle de México (hundimiento, movimientos transversales y verticales, etc.) ó por lo menos no en grado notable.

Para el traslado de la elevación desde este banco hasta los bancos de trabajo en las zonas de Lumbreras, se utilizó el sistema Francés (doble ó varias alturas del aparato), que aunque aparente mente lento por sus cualidades de lecturas a " doble altura " (ó varias según el caso) de aparato, ofrece, sin embargo, la situación de checar ó com -

probar si la primera lectura ó desnivel entre los P.L. (puntos de liga) fué efectuada correctamente.

Dicho sistema consta en sí de los siguientes pasos:

- a.- Lectura del Estadal de atras (B.S.)
- b.- Lectura al Estadal de adelante (F.S.)
- c.- Cambio de posición ó altura del aparato (nivel)
- d.- Lectura al Estadal de atras (B.S.)
- e.- Lectura al Estadal de adelante (F.S.)
- f.- Comprobación aritmética del desnivel entre los dos P.L. situados.
- g.- En caso de no existir coincidencia aritmética - en el 6o. paso, se cambio a otra posición ó alturas el aparato (nivel) hasta la obtención de la coincidencia correctamente.

LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE NIVEL DE TRABAJO EN SUPERFICIE.

En las zonas de trabajo (campamento) de lumbrera se construyen " mojoneras " de concreto y varilla de acero, en los lugares que tanto por su ubicación (fuera de área de movimientos de equipo y material pesado) y visibilidad (control visual desde varios puntos) garantizaron que la determinación original, de su elevación es su utilización posterior fuera fidedigna.

También para efectos de control de movimientos verticales, se establecieron B.N.⁴ en puntos estratégicos sobre el eje superficial de túnel, ---

sobre los cuales se observaron lecturas contra el avance de la obra en forma periódica. Su ubicación también dependió directamente (en cuanto a su frecuencia) en la cercanía ó alejamiento de los paramentos de las construcciones (casas, edificios, -- etc.) respecto al eje del túnel en su desarrollo -- tanto transversal como longitudinalmente

Se localizó también en forma inamovible un B.N. sobre el Brocal de las lumbreras, mismo que -- sirvió de apoyo en cada caso para la introducción -- de elevación (niveles) al interior de la lumbrera ó túnel.

Este B.N. también fué observado con periodicidad para efecto de control en posibles movimientos verticales.

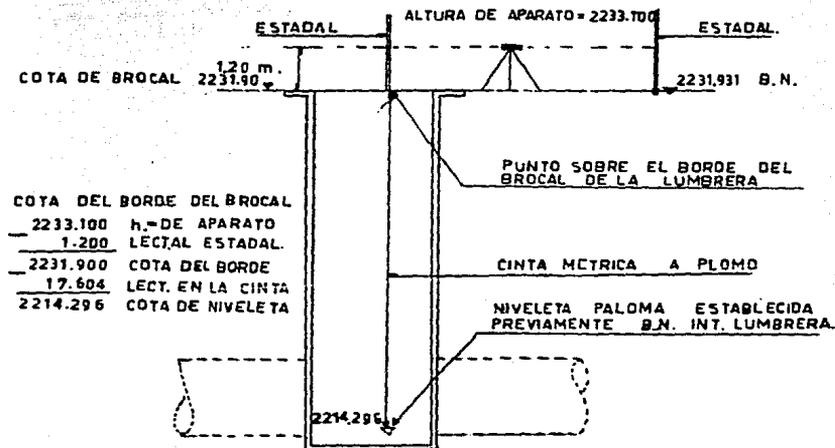
INTRODUCCION DE LA NIVELACION EN EL TUNEL

Partiendo de la elevación tomada como base en el banco del brocal (previamente checada), se procedió a la introducción de la elevación en el interior de la lumbrera ó túnel, ejecutandose para este fin los siguientes pasos :

1.- Se determinó convencionalmente la cota ó elevación al borde del brocal de la lumbrera, en un sitio tal que garantizara la visibilidad sin obstaculo y " a plomo " sobre el paño de la lumbrera hasta el fondo de la misma.

2.- Se ubicó lo más al fondo de la Lumbreira (ó cerca del piso de la misma) y en un lugar asignado previamente para tal efecto un punto ó niveleta (paloma) - en su caso, que pudiera ser utilizado formalmente como B.N.

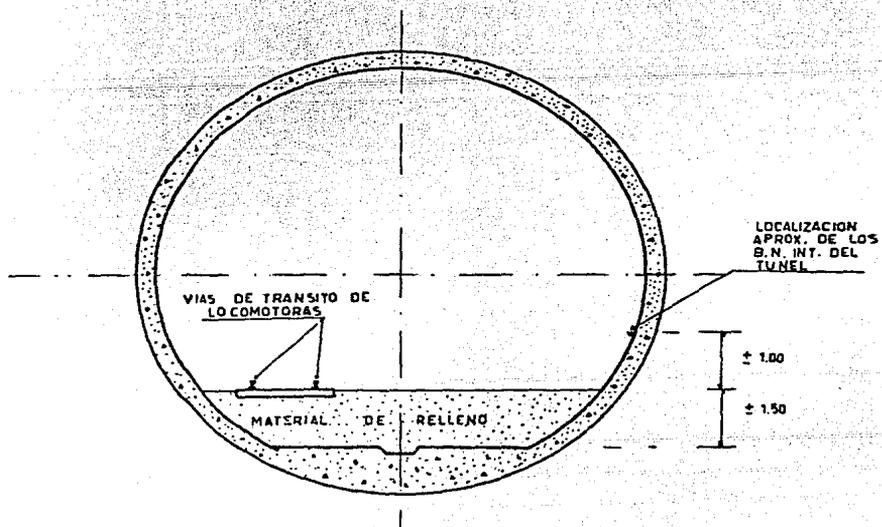
3.- Se midió con cinta directamente desde el borde del brocal hasta la parte superior de la niveleta, para así en consecuencia y aritméticamente determinar la elevación del B.N. interior del túnel de acuerdo a la siguiente figura : (EJEMPLO)



4.- Ya determinada la elevación del B.N. interior de Lumbreira, se prosiguió en liga con la nivelación para establecimiento de B.N.S. a lo largo del túnel y a la distancia entre uno y otro lo más adecuadamente cerca ó lejos posible que provea así mismo la visibilidad necesaria.

5.- La ubicación de los B.N. de trabajo en el interior del túnel fué también restringida ó supeditada a la geometría tanto de la sección del túnel -- como a la del trazo de proyecto, ya que en zonas -- de curva la frecuencia de la instalación fué más -- continua debido a que, por razón lógica al ir --- " curvando " en el túnel, los B.N.S. anteriores -- quedaban ocultos a la visibilidad en tramos rela -- tivamente cortos (\pm 40 mts.) de acuerdo al radio -- de curvatura en cuestión.

La posición en relación a la sección de túnel -- regularmente fué la misma, es decir: se ubicaron -- los Bancos a una altura accesible en relación al -- piso de túnel, pero lo suficientemente lejos de la -- zona de paso de personal y equipo (ver figura y -- ejemplo).

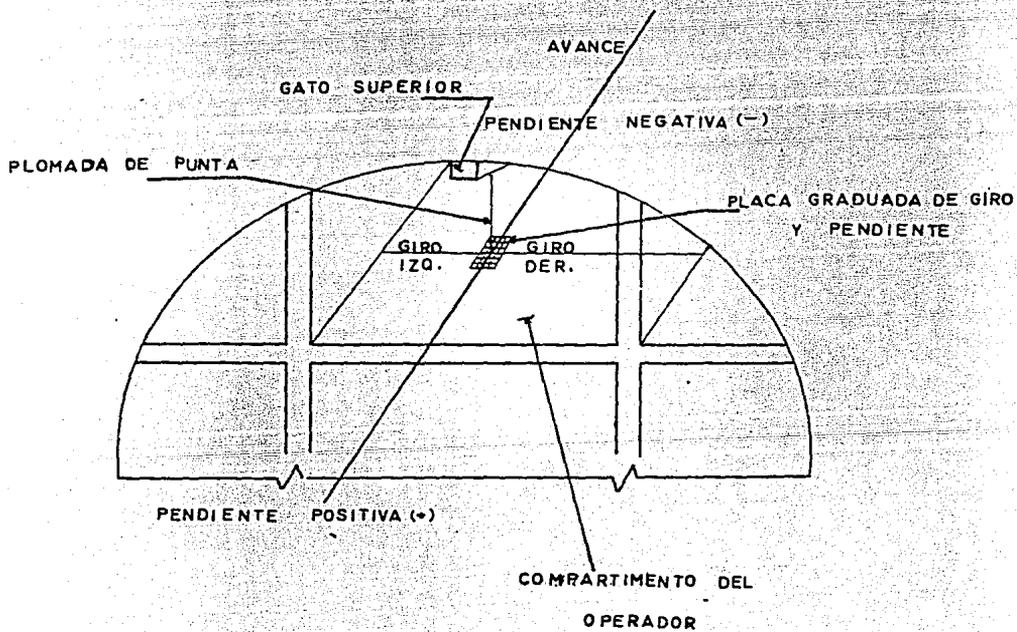


Otro punto que se consideró para la localización de los B.N. en su posición ó distancia respecto del frente excavándose, fué la limitación a colocarlos en una distancia no menor a 150 mts. atrás del mismo, para evitar la exposición a movimientos propios del asentamiento de los anillos, recuperación del terreno excavado, tránsito de locomotoras y vagonetas cargadas, inyección de contacto, etc.

GIRO Y PENDIENTE

El procedimiento para conocer la pendiente y el giro del escudo consta de los siguientes pasos :

a).- Con una plomada pendiendo libremente del gato superior (punto asignado para este propósito), hacia la placa graduada colocada en el piso del comportamiento del operador ó en el lugar más adecuado de acuerdo a las características del escudo, con el cual se este perforando, se toman medidas en sistema coordinado, para lo cual, en la placa misma, se ubica el centro de este sistema; siendo en este caso considerado como eje de las abscisas el eje de las ordenadas consecuentemente como el eje de control del giro.



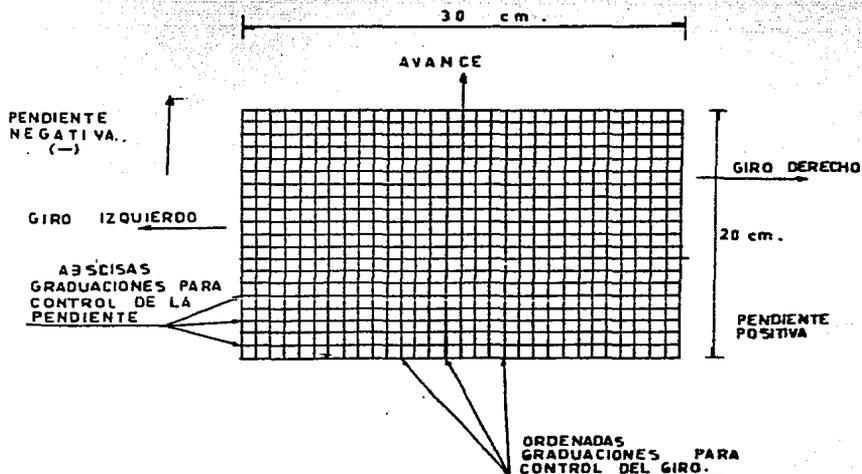
" FUNCIONAMIENTO TEORICO-PRACTICO DE LA PLACA "

Dimensiones y características de la placa de control :

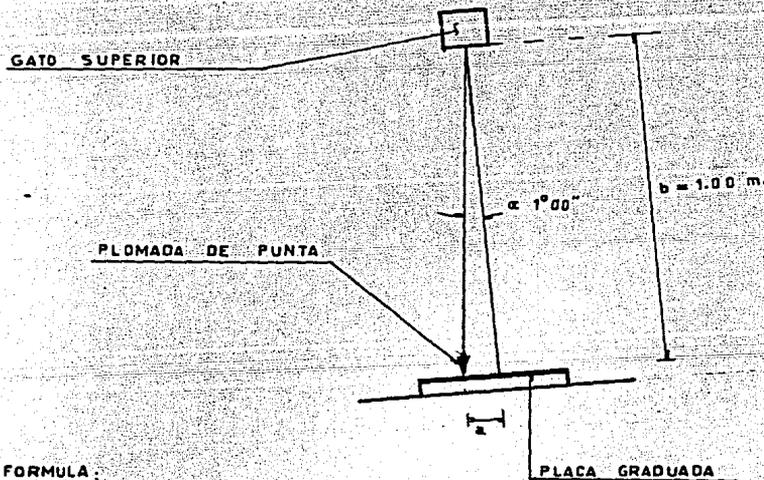
Placa de 1/2" de espesor; de aluminio, bronce ó cobre.

Longitud = 30 cms.

Ancho = 20 cms.



Las dimensiones de las graduaciones para el giro, obedecen la base trigonométrica de la tangente, es de cir, para el caso de una longitud de plomada de 1 m. - y un giro en el escudo de $1^{\circ} 00'$ sobre su eje se --- obtiene:



FORMULA:

$$\text{TAN } \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\therefore a = \text{TAN } \alpha \cdot b = 0.017453 \cdot 1.00 = 174$$

Para el caso de las pendientes (inclinaciones longitudinales del escudo), en el cual el desplome porcentual es requerido; para esto, se advierte que obedeciendo así a la gravedad, la plomada en un metro de longitud (1.00 mt.), al inclinarse el escudo una unidad de por ciento (1.00 %), el desplazamiento a observarse de la plomada en la placa, de acuerdo a su longitud es :

$$\frac{1}{100} = 0.01 \text{ mts.} = 10 \text{ m.m.}$$

b) Durante y después del empuje:

La medición de los datos de la placa (giro y pendiente), se ejecutará midiendo, ya sea, desde el centro de la placa ó bien desde la graduación más cercana al punto de proyección de la plomada en reposo.

Realizada la medición directa, se procede a evaluarla de acuerdo con la tabla-proporción de las equivalentes de giro y pendiente, elaborada previamente en base al raciocinio teórico explicado anteriormente. (Tabla No. 1).

De los datos de giro y pendiente, ya evaluados, el Ingeniero responsable tomará las consideraciones pertinentes para la programación de " Los empujes " subsecuentes del escudo, para lo cual, tomará como base, la posición del escudo actual en relación a la elevación del escudo, ya que de mantener una pendiente negativa en el escudo, la obligaría a " Bajar " -

TABLA DE COMPENSACION Y EQUIVALENCIAS DE GIRO Y PENDIENTE DEL ESCUDO EN BASE A LOS PRINCIPIOS - TRIGONOMETRICOS APLICADOS AL DESPLAZAMIENTO DE LA PLOMADA SOBRE LA PLACA EN EL ESCUDO AFECTA - DA POR LA GRAVEDAD.

UNIDADES DE CONVERSION:

GIRO (GRADOS) = 0° 00' 00"
PENDIENTE (PORCIENTO) = 1

VALOR MEDIDO EN PLACA (M.M)	EQUIVALENCIAS		VALOR MEDIO EN PLACA (M.M)	EQUIVALENCIAS	
	GIRO	PENDIENTE		GIRO	PENDIENTE
1	0° 02' 00"	0.058 %	28	0° 55' 57.8"	1.628 %
2	0° 03' 59.8"	0.116 %	29	0° 57' 57.7"	1.686 %
3	0° 05' 59.8"	0.174 %	30	0° 59' 57.6"	1.744 %
4	0° 07' 59.7"	0.233 %	31	1° 01' 57.6"	1.802 %
5	0° 09' 59.6"	0.291 %	32	1° 03' 57.5"	1.860 %
6	0° 11' 59.5"	0.349 %	33	1° 05' 57.4"	1.919 %
7	0° 13' 59.5"	0.407 %	34	1° 07' 57.3"	1.977 %
8	0° 15' 59.4"	0.465 %	35	1° 09' 57.2"	2.035 %
9	0° 17' 59.3"	0.523 %	36	1° 11' 57.1"	2.093 %
10	0° 19' 59.2"	0.581 %	37	1° 13' 57.1"	2.151 %
11	0° 21' 59.1"	0.639 %	38	1° 15' 57"	2.209 %
12	0° 23' 59.1"	0.698 %	39	1° 17' 56.9"	2.267 %
13	0° 25' 59"	0.756 %	40	1° 19' 56.9"	2.326 %
14	0° 27' 58.9"	0.814 %	41	1° 21' 56.8"	2.384 %
15	0° 29' 58.8"	0.872 %	42	1° 23' 56.7"	2.442 %
16	0° 31' 58.7"	0.930 %	43	1° 25' 56.6"	2.500 %
17	0° 33' 58.7"	0.988 %	44	1° 27' 56.5"	2.558 %
18	0° 35' 58.6"	1.047 %	45	1° 29' 56.5"	2.616 %
19	0° 37' 58.5"	1.105 %	46	1° 31' 56.4"	2.674 %
20	0° 39' 58.4"	1.163 %	47	1° 33' 56.3"	2.733 %
21	0° 41' 58.3"	1.221 %	48	1° 35' 56.2"	2.791 %
22	0° 43' 58.2"	1.279 %	49	1° 37' 56.1"	2.849 %
23	0° 45' 58.1"	1.339 %	50	1° 39' 56.1"	2.907 %

(sigue página # 2)

(2)

24	0° 47' 58.1"	1.395	%	51	1° 41' 56"	2.965	%
25	0° 49' 58"	1.453	%	52	1° 43' 55.9"	3.023	%
26	0° 51' 57.9"	1.512	%	53	1° 45' 55.8"	3.081	%
27	0° 53' 57.9"	1.570	%	54	1° 47' 55.7"	3.140	%

TABLA 1.

respecto a la elevación establecida o viceversa.-

ALINEACION POR MEDIO DEL SISTEMA LASER

La obtención de datos de alineamiento del escudo se logra midiendo la proyección de la luz de un equipo laser pre-orientado sobre un par de tarjetas transparentes montadas en el escudo convenientemente para este propósito, las cuales tendrán a su vez un sistema de ejes coordenados que indican en su centro (cruce de los ejes: abscisas-ordenadas) la elevación y alineamiento físico actual del escudo.

Pre-orientación del equipo laser :

El establecimiento de un equipo laser, el cual en un momento es " La personificación visual del topógrafo ", es regido teóricamente por los ejes tanto horizontal como vertical del diseño de la obra, en proyecciones auxiliares X, Y, Z ya que por los movimientos y acciones propios de la construcción, se hace necesario ubicar ejes paralelos a los ejes teóricos de proyecto; dado que el eje físico natural del túnel generalmente esta obstruido por ductos varios (tuberías, vías de tránsito de locomotoras, etc.) se optó para tal fin establecer estos ejes paralelos.

El establecimiento de estos ejes auxiliares, se ejecuta mediante la aplicación convencional de trazo; con tránsito montado, etc. para lo cual, obviamente se siguen los lineamientos comunes básicos, apoyando

se, como se explicó en su caso, a partir de los puntos introducidos a través de la lumbrera y prolongando su proyección longitudinal-línea hasta los sitios o lugares del túnel más convenientes para su empleo futuro.

Cabe hacer notar que durante los trabajos de excavación del túnel eventualmente se utilizaron simultáneamente ambos sistemas (Directo; tránsito montado y rayo laser) con objeto de obtener información del alineamiento del escudo (posición longitudinal) y lograr con ello, comprobar la veracidad y orden de precisión brindado por los dos sistemas.

CAPITULO III

ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO

TIPOS DE ESCUDOS

En la actualidad, se han desarrollado diversas tecnologías en la fabricación de escudos para la excavación de túneles, dependiendo principalmente del tipo de suelo por atacar. Países como: Japón, Inglaterra, Alemania Federal y Estados Unidos, están construyendo estos equipos en diámetros que superan los 10 m.

Los escudos perforadores de túneles se pueden clasificar en dos grupos, dependiendo del sistema de excavación que se utilice:

a) ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO

b) ESCUDOS DE FRENTE CERRADO

Tanto los escudos de frente abierto como los de frente cerrado, se pueden diseñar con diversos dispositivos para atacar con mayor eficacia al frente de excavación e implementan los sistemas de colocación de dovelas y rezaga de material, principalmente, aunque ambos conservan las características primordiales de diseño, de las cuales se hizo mención en el capítulo anterior.

La diferencia más significativa entre los escudos de frente abierto y los de frente cerrado, consiste en que los primeros están formados por un anillo abierto en sus dos caras, con objeto de tener acceso al frente de ataque y realizar la exca -

vación con el personal y equipo especializados para tal efecto, cuando el frente es regularmente estable.

Si el frente de trabajo es inestable, como ocurre algunas veces en arcilla de extrusión rápida ó en arenas que fluyen, se requiere un escudo de frente cerrado. Este tipo de escudos poseen una cabeza cortadora en forma de disco en su cara frontal, que cubre toda el área de la sección y en ella se encuentran los elementos cortadores del terreno, mediante el giro de la cabeza donde se encuentra el sistema de estabilización del frente, que es de diferente índole según el procedimiento aplicado.

ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO

Este tipo de escudos cuentan con plataformas de trabajo, que pueden estar ubicadas a diferentes niveles, para atacar el frente por zonas con medios manuales. Es factible que se puedan utilizar diversos métodos de excavación, debido a la accesibilidad que se tienen en estos equipos, por consecuencia del tipo de suelo que se atraviese.

Es recomendable el empleo de escudo de frente abierto, en suelos muy consolidados como : arcillas, aluviones, cohesivos, arenas, arcillas consolidadas, arenas y gravas compactas; así como para suelos medianamente consolidados como: turbas, arcillas arenosas, arenas húmedas medianamente consolidadas.

Existe la modalidad de inyectar aire comprimido con uso de un escudo de frente abierto, cuando se trata de excavar suelos con gran cantidad de agua, que propicia la inestabilidad del mismo. Este sistema será descrito más adelante.

En el caso en que se tengan suelos muy firmes ó rocas, es más conveniente el uso de otro tipo de máquinas perforadoras de túneles llamadas comúnmente " topos ", los cuales tienen un sistema de excavación diferente al de los escudos, sin necesidad de colocar los anillos de ademe, utilizando en su lugar un soporte temporal de concreto lanzado ó un sistema de apuntalamiento para, posteriormente, colocar el revestimiento definitivo, cualquiera que éste sea.

Un escudo de frente abierto se puede fabricar ó reconstruir, para permitir el acceso o la instalación de maquinaria especializada para el corte del material en el frente de ataque. Esta maquinaria puede variar entre: pala excavadora, cucharones tipo draga, cargador frontal, traxcavo, brazos cortadores giratorios ó cabezas rozadoras que desmoronen el material y quede a disposición del mecanismo de rezaga que puede ser un sistema de bandas transportadoras ó tornillos helicoidales, que lleven el material hasta la lumbrera, en el caso de tramos relativamente cortos ó que lo depositen en los medios de acarreo --- (tren de vagonetas ó camiones de volteo), para llevarlo a lo largo del túnel, especialmente para distancias largas entre el frente y la lumbrera, para realizar posteriormente el manteo del mismo hasta la superficie.

Las máquinas de ataque selectivo por corte ó rozadoras disponen por lo general de una cabeza provista de picas, cuya dimensión es pequeña en relación con la sección del frente. Esta cabeza está situada en el extremo de un brazo orientable, el cual realiza el barrido selectivo a través de toda la superficie de ataque, alternando movimientos verticales y horizontales, haciendo de ésta una máquina muy versátil. Este tipo de máquinas van montadas generalmente sobre un tren de orugas que les permite una gran facilidad de desplazamiento.

Más adelante se hará una descripción más amplia

*acerca de los escudos de frente abierto, utilizados
en la excavación de túneles para el Metro.*

APLICACIONES EN MEXICO PARA TUNELES DEL METRO.

El plan Rector de Vialidad y Transporte Urbano del Distrito Federal prevé dentro del Plan Maestro del Metro, que las futuras líneas serán construídas en zonas muy transitadas y en avenidas ó calles relativamente estrechas, por lo cual una solución superficial, elevada ó en cajón, será cada vez más difícil de aplicar, dando lugar a la posible realización de líneas en túneles profundos, minimizando afectaciones al tráfico, reduciendo las obras inducidas y afectaciones a instalaciones de Servicios Públicos.

Las primeras líneas del Metro, alojadas en túneles profundos, corresponden a la prolongación hacia el sur de la línea 3 a partir de la estación Viveros y a la totalidad de la línea 7.

Estas dos líneas se ubican en zona de transición, dónde se encuentran suelos firmes, usándose en su construcción, métodos convencionales de perforación ó un escudo de frente abierto.

Este escudo se ha empleado en la prolongación hacia el poniente de la línea 1, de la estación Tacubaya a la terminal Observatorio; en un tramo de 981 m. entre las estaciones de Constituyentes y Tacubaya de la línea 7; en un tramo de 1,048 m. de longitud de ambas cabeceras, norte y sur, de la

estación Tacuba en la misma línea 7, estación de correspondencia con la línea 2, y en un tramo de la línea 7 norte-norte entre las estaciones El Rosario y Aquiles Serdán.

El tramo excavado con escudo en la línea 1 atraviesa, además de construcciones, el anillo periférico y a la Vía del Ferrocarril de Cuernavaca, en abanicos aluviales del río Tacubaya. El escudo usado, es de frente abierto de 9.15 m. de diámetro y relativamente corto, de 4.70 m en sentido longitudinal, con aproximadamente 180 toneladas de peso.

El procedimiento constructivo fué similar al descrito posteriormente para el tramo de la línea 9 poniente.

Actualmente, se lleva a cabo la construcción del túnel de la línea 9 poniente, que irá de la estación Patriotismo a la estación Observatorio de correspondencia con la línea 1, pasando por la estación Tacubaya.

El tramo entre Patriotismo y Tacubaya, será excavado con el mismo escudo usado para los tramos anteriores. A este escudo se le hicieron algunos implementos para usar dispositivos para la excavación mecanizada en el frente y aumentar así el avance por día, el cual era del orden de 6 m. lineales-diarios; en los tramos en que se atacó el frente manualmente, con herramientas neumáticas.

Las mejoras hechas al escudo, permiten el acceso al frente de ataque a una máquina rosadora marca Westfalia con capacidad de $40 \text{ m}^3/\text{hr}$, un cargador frontal de descarga lateral izquierda, que vacía la rezaga en vagonetas de 4 m^3 , y con un sistema implementando para la rezaga, descrito posteriormente, - se espera tener un rendimiento entre 8 y 10 m. lineales por día laborable. Se trabajará en dos jornadas de 12 horas cada una, deteniendo el avance los Domingos, para realizar el mantenimiento preventivo de las partes hidráulicas y del equipo del escudo.

Este avance considera que el equipo esté trabajando normalmente y con la fábrica de dovelas produciendo, conforme al programa constructivo.

Es interesante resaltar que, en el primer tramo excavado con este escudo, en México, se tuvo un avance promedio de 1.2 m. por día, en un lapso algo menor a tres meses. Este rendimiento tan bajo se debió a varias circunstancias, como la novedad del uso de un escudo de tales dimensiones, la implementación del método de rezaga utilizado y el comportamiento del terreno arriba del túnel, que sufrió fuertes asentamientos y paralizaban el ritmo del avance.

Utilizando los métodos convencionales en la excavación de los túneles del Metro, se han llegado a tener avances promedio de 3 a 4 m. lineales por día.

Para escoger el tipo de escudo conveniente, -- sustituyendo en partes el empleo del método convencional de excavación, el Departamento del Distrito Federal, por medio de COVITUR, realizó un estudio de factibilidad sobre su utilización en diversas zonas de la Ciudad de México. En dicho estudio se definen como potencialmente útiles para la zona de arcillas blandas, los escudos de frente cerrado y para la zona de transición, en donde encontramos suelos bastante más estables, se recomendó el uso de escudos de frente abierto.

Con el fin de escoger el escudo idóneo para cada caso, se concentraron, entre otros datos, los rendimientos de diversos escudos en el mundo, las ofertas de suministro de éstos, comparaciones de costos con métodos convencionales, así como los costos por unidad de longitud excavada por modelos diferentes y variadas condiciones del subsuelo. Dichos datos se obtuvieron del estudio realizado en Octubre de 1982.

- En cuanto a los rendimientos de los escudos, se tienen los siguientes datos :

<u>PROYECTO</u>	<u>DIAMETRO DEL ESCUDO</u> (m)	<u>AVANCE</u> (ml/día)
Metro de Caracas (poniente)	5.60	4.04
Metro de Caracas (oriente)	5.60	6.15
Sistema de drenaje, San Fco., Cal.	3.66	9.14

Metro de Amberes	6.40	5.85
Metro de Berlín	6.40	10.05
Túnel Vracar, Belgrado	7.30	12.00
Alcantarillado de Tokio	6.65	6.25
Ferrocarril Nacional Japonés.	7.24	8.50

- Con relación al costo para diferentes diámetros --- de túnel, utilizando escudos de frente cerrado, tenemos :

<u>FABRICANTE</u>	<u>DIAMETRO (m.)</u>	<u>PRECIO</u> <u>(\$ U.S. DLS.x10⁶)</u>
Bade and Theelen	8.50	3.96
Bade and Theelen	6.65	3.07
Hitachi	6.53	3.23
Zokor	6.40	3.36

- Relación de costos de construcción de túneles excavados con escudo y el método convencional, en suelos firmes de la Ciudad de México:

<u>CONCEPTOS</u>	<u>CON ESCUDO</u>	<u>CONVENCIONAL</u>
Excavación	1.00	0.95
Ademes: Temporal: -concreto lanzado	0.00	0.30
-marcos de acero	0.00	0.13
Definitivo:	1.00	0.94
	2.00	2.32

A este respecto, cabe señalar que la comparación se hizo entre el uso del escudo de frente abierto, sin medios mecánicos para la excavación en el frente, en una pequeña parte de la línea 7 y el empleo del método convencional, utilizando cortadoras giratorias frontales, para una mayor longitud de la misma línea y para algunos tramos de la línea 3 sur.

De la tabla, se puede comparar que la excavación con el escudo es 5% mayor en costo que la correspondiente al método convencional; pero en lo que toca al ademe de los túneles, resulta 37% más costoso el método convencional que para el caso del escudo, en el cual, siendo el túnel circular, se tienen ciertas ventajas en cuanto a su comportamiento estructural. La ventaja económica que refleja la comparación anterior no puede tomarse como definitiva, debido a las particularidades de cada caso, además que el análisis se realizó con base a la situación económica prevaleciente en el país, a tal fecha.

De hecho, en la mayoría de los casos, las diferencias de costos entre ambas técnicas, no sobresale tanto para la toma de decisiones, como la diferencia de rendimientos, los cuales resultan bastante más altos en el caso de los escudos, justificando su aplicación, aunado esto a las múltiples ventajas que estas máquinas ofrecen.

- Los costos por metro lineal de túnel excavado, varían dependiendo de las características de la obra, así como del país donde se realice la misma. Entre ellas destacan :

- El costo de mano de obra, en relación con el costo de la maquinaria.
- La longitud de los túneles excavados con un mismo escudo, lo cual depende para la amortización de la máquina.
- Problemas geotécnicos de cada región que puedan causar retrasos de la obra.
- Diámetro del túnel por excavar
- Tipo de escudo
- Tipo de revestimiento
- Método de rezaga, utilizado

Los análisis muestran una dispersión acentuada de costos en función de los antecedentes anteriores, -- aunque se ha establecido una media en que sobresalen los escudos de frente abierto, resultando un costo -- del orden de \$ 20,000 U.S. Dls. por metro lineal, cifra que resulta congruente con el costo para métodos convencionales en túneles construidos en México.

Las características geométricas del túnel, como son : diámetro, ubicación del trazo y profundidad, -- son algunas condicionantes para la construcción y operación del metro.

- En primer lugar, el diámetro está en función del número de vías que deban alojarse y de la distribución de los andenes en las estaciones. Asimismo, se verá sujeto a las deformaciones inducidas permisibles, las cuales serán mayores a medida que el diámetro aumente.

El diámetro conveniente del escudo para la excavación de los túneles, se calculó para que se alojen las dos vías del metro, o sea 9.15 m. de diámetro exterior.

- El trazo del túnel está influenciado por aspectos de construcción de las estaciones en sitios propios y por las deformaciones del terreno sobre la clave del túnel, que no deben causar daños en superficie, por lo cual se ha buscado ubicar los ejes del túnel a lo largo de vialidades o bajo construcciones que no tengan cimentaciones profundas.

Cabe señalar que, en excavaciones con métodos convencionales, se han registrado deformaciones de hasta 4 cm. con un promedio de 1.7 cm. y que la excavación con escudo logra tener menores movimientos.

- La profundidad de los túneles se liga a la profundidad de las estaciones de acceso, siendo ésta la menor posible por cuestiones de comodidad para los usuarios y de costo de construcción, buscando reducir al mínimo las deformaciones inducidas y lograr la menor presión de estabilización en el frente, facilitando y economizando su construcción.

La profundidad de desplante de la plantilla varía entre los 20 y 30 metros, quedando ubicado el túnel por debajo de los servicios municipales y de las cimentaciones que pudieran encontrarse en su recorrido.

En cuanto al procedimiento constructivo utilizado, en la excavación y construcción del túnel con escudo de frente abierto, según especificaciones elaboradas por COVITUR para la línea 9 del Metro, se podrían mencionar las siguientes consideraciones aunadas con la explicación del funcionamiento de los escudos, descrita anteriormente y en particular de los escudos de tipo de frente abierto:

- El túnel tendrá un diámetro interior de 8.64 m. y 9.15 m. de diámetro exterior, correspondiente al diámetro del cilindro de acero que forma al escudo.

- El revestimiento del túnel será a base de dovelas de concreto. Cada anillo está formado por 3 dovelas: a, b y c. Las 2 primeras forman los costados y la clave; la dovela c forma la cubeta. Su ancho será de 0.80 m. si se trata de las del tipo normal y de 0.750 a 0.725 m. para las dovelas correctivas derecha e izquierda, las cuales darán la curvatura del túnel.

- Para iniciar la perforación del túnel, el escudo se apoyará en semianillos formados por dovelas a y b, en posición invertida, las cuales se apoyarán sobre un anillo colado en sitio, en la pared de la

lumbreira, opuesta al frente de ataque del escudo, - constituyendo en conjunto la estructura de ataque que transmitirá el empuje de los gatos a dicho muro.

Cuando el frente del escudo esté en contacto con el muro de la lumbreira que será demolido, se iniciará la colocación del primer semianillo dentro del faldón del escudo mediante los 2 brazos erectores del mismo.

A continuación, se realizarán los avances en tramos de 0.80 m. medidos en la carrera de los vástagos de los gatos de empuje, una vez hecha la excavación del frente y la ranura perimetral, para facilitar el avance del escudo.

La colocación de anillos completos, se hará una vez que éstos estén fuera del área de la lumbreira, es decir, dentro del túnel.

- Cuando la presión de los 28 gatos de empuje exceda los 3700 lb/in^2 (260 kg/cm^2), se inyectará una mezcla de lodo bentonítico y aceite, a través de los barrenos de 2", ubicados en el capuchón del escudo, con objeto de reducir la fricción generada entre la camisa y el suelo circundante, evitando que los gatos dañen los anillos previamente colocados.

- En la colocación de anillos, se seguirá un orden que consiste en colocar la dovela o δ cubeta con -

el cargador frontal, sujetandola con cables en las preparaciones de la misma dovela. A continuación, se colocarán las dovelas a y b, acoplándolas a los brazos erectores del lado respectivo.

Las dovelas son llevadas de la lumbrera al escudo por medio de trucks ó carros transportados sobre rieles, con una locomotora.

- Posteriormente, se coloca un troquel horizontal en los insertos de las dovelas a y b, y un puntal vertical de 6" de diámetro, el cual, una vez salida la dovela del faldón del escudo, transmitirá una carga a las dovelas mediante gatos de expansión, colocados en el puntal y en los espacios entre las dovelas a-c y b-c, provocando una expansión para ocupar el espacio del espesor del faldón quedando las dovelas en contacto con el terreno circundante.

Terminada la expansión, se colocan dos tramos de tubo de 3" de diámetro en los espacios entre las dovelas a-c y b-c, retirando los gatos y colocando dicho hueco con concreto de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$, quedando ahogados los tubos.

Los troqueles permanecerán un mínimo de 24 hrs en la posición indicada.

- El control hidráulico del escudo se llevará en superficie hasta que se tenga un avance de 400 m., después de lo cual será bajado al túnel.

Asimismo, el escudo tiene instalado en su plataforma superior, un p nel que indica el funcionamiento de los gatos y permite su manejo.

- La excavaci3n en el frente se realizará con pistolas neumáticas, empezando por la ranura perimetral y la parte superior del túnel; posteriormente, se realizará el ataque del frente con una máquina rosadora desde la parte posterior del escudo, con un brazo -- que en su extremo más lejano posee una cabeza giratoria, con insertos de tungsteno para desgregar el material del frente.

- La rezaga se desalojará por medio de un cargador frontal de descarga lateral izquierda, el cual depositará el material en los trucks para vía. Una vez que los trucks con la rezaga lleguen a la lumbrera, depositarán el material en 2 skips 6 cajones de 5 m³ de capacidad cada uno, que serán izados con un malacate de 20 toneladas, instalado en la torre de manteo, de manera alterna para descargar en la tolva reguladora. Este sistema de manteo de rezaga es comúnmente llamado alcancía.

- Con objeto de reducir los asentamientos superficiales que puedan presentarse durante la excavaci3n y reducir las filtraciones de agua, se harán inyecciones a través de cada anillo en 3 fases, con distintos proporcionamientos cada una: de cemento, arena, bentonita, agua y acelerante de fraguado, a medida que el escudo se vaya alejando.

- Se deberá respetar la frecuencia de lectura en las secciones de control de niveles y diámetros del túnel, así como el trazo mediante rayo laser después de cada empuje.

CAPITULO IV

DESCRIPCION DE LA OBRA LINEA 9 PONIENTE DEL METRO.

ESTUDIOS PRELIMINARES

ESTUDIOS GEOLOGICOS

El objeto de realizar los estudios geológicos para la construcción del túnel principal, es conocer las propiedades y características del material en que se realizará la excavación subterránea, y con ello poder determinar el procedimiento adecuado, y el tipo de soporte para mantener estable la excavación, tanto durante su etapa constructiva, como durante la operación del sistema.

ANTECEDENTES GEOLOGICOS

Es de vital importancia en el campo geológico conocer los antecedentes que se tienen de la zona donde se llevará a cabo la obra. Para esto, una gran ayuda representa tener en cuenta dentro de los antecedentes, los puntos que a continuación se mencionan:

- 1.-) Localización y conocimiento de zonas de fallas y contactos que puedan representar problemas de estabilidad
- 2.-) Clasificación, profundidad y extensión de los materiales que se encontraron.
- 3.-) Ubicación y descripción de estructuras geológicas que puedan estar sujetas a esfuerzos tectónicos importantes.
- 4.-) Indicaciones de las características geológicas como:
 - Nivel de aguas freáticas
 - Tipos de acuíferos
 - Valuación de la recarga por lluvias
- 5.-) Descripción del fisuramiento en formaciones, -- disposición (rumbos y echados), frecuencia, aberturas y relle nos, continuidad, etc.

EXPLORACION DEL SUBSUELO

Esta actividad es esencialmente importante porque comprende la coordinación de trabajos de campo, y ensayos de laboratorio que definen y cuantifican la estatigrafía y propiedades mecánicas del subsuelo en cuestión.

La interpretación de la información obtenida de exploraciones previas, y de la evaluación hecha por el Ingeniero especialista, permitirán aportar la base necesaria para enfocar la posible solución al problema, e integrar un programa adecuado de exploración del subsuelo y éste a su vez complementándolo con la determinación de algunas propiedades índice y con un factor de seguridad racionalmente amplio.

Posteriormente a la interpretación de la información anterior y como un segundo paso de exploración se tienen los trabajos de campo que incluyen mediciones y pruebas "in situ" - así como la ejecución de sondeos de exploración y muestreo, cuyas características : tipo, número, profundidad y distribución, están sujetas a lo que especifica el proyecto.

Un aspecto muy importante en la exploración del subsuelo, es la determinación de los niveles freáticos y de las cargas piezométricas cuando se trata de abatir mediante bombeo, el nivel piezométrico a ciertas elevaciones.

Las muestras de los suelos pueden ser alteradas o inalteradas en función de las características del mismo y del tipo de información que se requiere. Las primeras involucran una alteración de la estructura del suelo sin cambiar con esto algunas de sus propiedades índice, y en las segundas como su nombre lo indica, no se altera la estructura del suelo ni sus propiedades índice.

Algunos ensayos de campo que se realizan son los siguientes:

- Pruebas de permeabilidad
- Resistencia a la penetración
- Peso volumétrico de suelos superficiales
- Capacidad de carga y determinación de relaciones (carga-deformación)
- Resistencia al corte de suelos blandos (prueba de veleta)
- Profundidad y fluctuación del nivel de aguas freáticas.
- Magnitud y distribución de las presiones de poro (piezometría)
- Investigación de mantos colgados

Algunos ensayos de laboratorio son los siguientes :

- Contenido natural de agua.
- Grado de saturación
- Límites de consistencia
- Distribución granulométrica
- Peso específico relativo
- Peso volumétrico de la masa y relación de vacíos (en muestras - inalteradas)

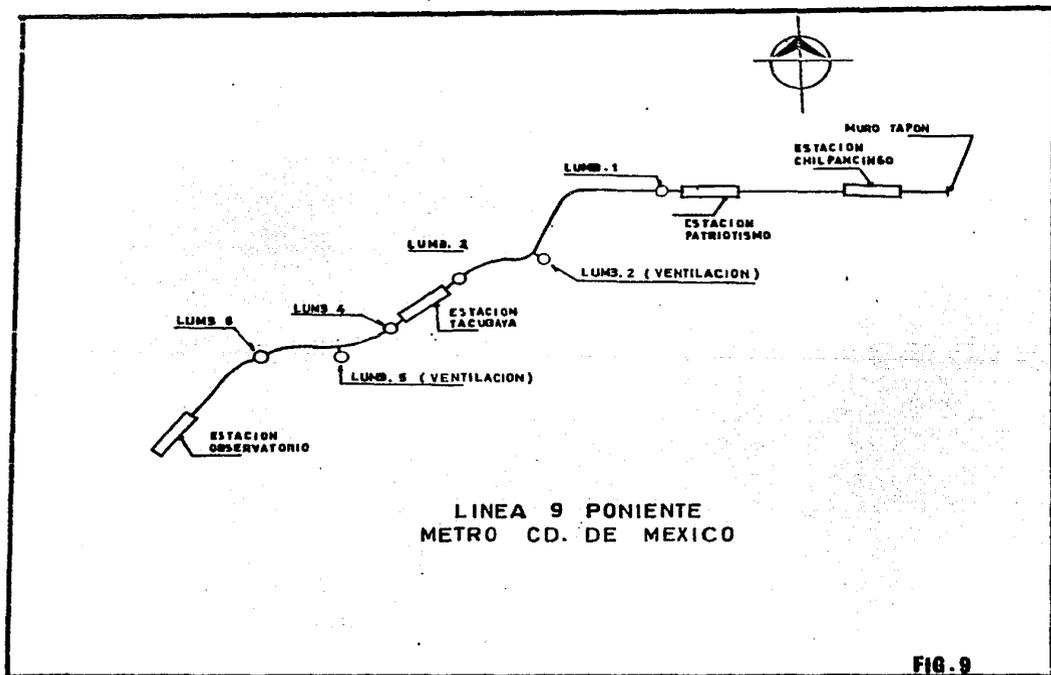
DESCRIPCION DE LA OBRA
LINEA 9 PONIENTE DEL METRO

La línea 9 poniente se construye en la zona-poniente de la ciudad, siendo su dirección oriente-poniente, y tendrá una longitud de 3.847 Kms - desde sus extremos (Estación Chilpancingo y Estación Observatorio).

Para realizar este proyecto se utilizará la construcción de cajón a cielo abierto con muros - milán en las estaciones Chilpancingo, Patriotismo y Tacubaya, así como también en el intertramo -- Chilpancingo-Patriotismo.

Los intertramos Patriotismo-Tacubaya, y Tacubaya-Lumbrera 6 se construirán en túnel utilizando un escudo de frente abierto, y finalmente el intertramo Lumbrera 6-Observatorio se construirá con un túnel convencional en suelos (Método Austriaco).

La zona dónde se construye el intertramo -- Patriotismo-Tacubaya está constituida por materiales areno-limosos y limo-arenosos con gravas compactas y en algunas partes se localizan boleos a profundidad variable de 20 a 25 mts. Se han encontrado también mantos colgados en los sitios - dónde originalmente existieron ríos. La arena - pumítica en particular se encontró en la clave - del túnel. En la figura 9 se indican las estaciones que constituyen la línea 9 poniente.



La línea 9 poniente en su recorrido se aloja en su inicio (Estación Chilpancingo) sobre la - Av. Baja California desde la Av. Insurgentes Sur hasta la Av. Patriotismo, ahí continua sobre la - Av. Benjamín Franklin hasta la calle de Ciencias, en donde despues de desarrollar dos curvas hori - zontales de radio = 200 mts, primero a la izquier - da, e inmediatamente a esta otra a la derecha, -- continúa por la Calle José Martí hasta la Calle - Dr. Joublane; en donde despues de desarrollar una curva horizontal izquierda de $R=150$ mts, continúa por la Av. Jalisco hasta el Viaducto Miguel Ale - mán, en donde desarrolla una curva horizontal - derecha de $R = 200$ mts. Atravesando el Anillo - Periférico hasta el cruce de las calles Cóndon y - Gallareta. A partir del punto anterior continúa - como una línea tangente bajo una extensa zona -- urbana hasta intersectar e incorporarse al trazo - de la línea 1 en la Av. Camino a Belén, y siguien - do finalmente sobre dicha avenida llega a la --- actual estación Observatorio de la línea 1 donde - concluye.

TUNEL PATRIOTISMO-TACUBAYA

Localización

En los extremos del túnel Patriotismo-Tacu - baya se construyeron las lumbreras 1 y 3 respecti - vamente. Dichas lumbreras tienen por objeto per - mitir la entrada y salida de los equipos necesa - rios para la construcción del túnel incluyendo el escudo de frente abierto.

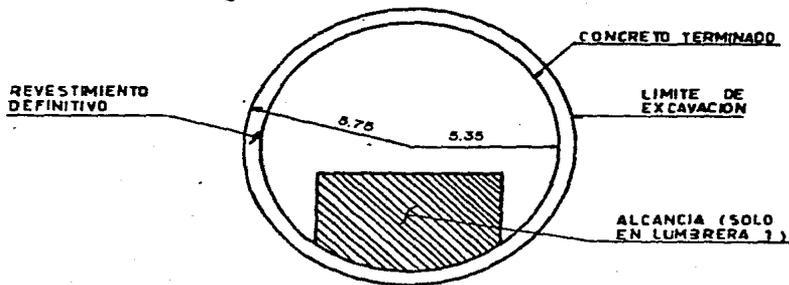
También en la Lumbreira 1 se instalará una Torre de Manteo y un malacate eléctrico de doble tambor -- (cap. 100 ton.) para la extracción del material - producto de excavación.

La Lumbreira 1 se localiza en el cruce de la Av-Benjamín Franklin y la Calle de Ciencias (Col. Hipódromo Condesa), y la Lumbreira 3 se ubica en el cruce de la Av. Jalisco y la Calle de Tordo (Col. Tacubaya). Ver figura 10

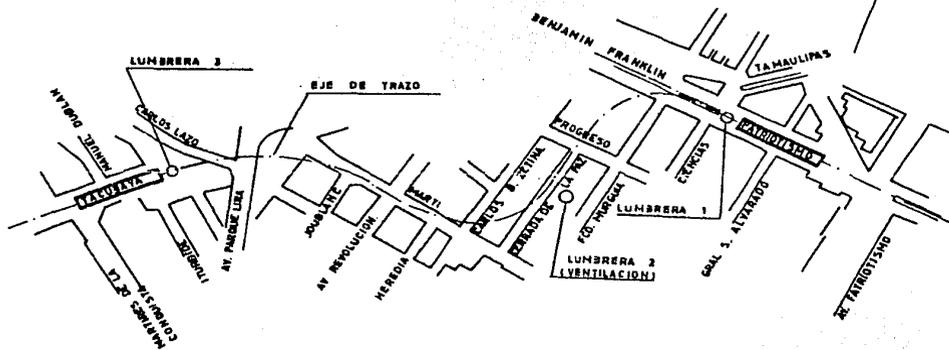
Una de las ventajas de construir las líneas del metro en túnel es no interferir el tráfico vehicular de esta zona de la ciudad, la cual padece de una gran concentración de habitantes.

Características de las Lumbreiras.

- Lumbreiras de acceso a los túneles.- Para dar inicio a la excavación del túnel se construyó inicialmente la Lumbreira 1 y posteriormente se construyó la Lumbreira 3 simultáneamente con la construcción del túnel con escudo. Ambas Lumbreiras presentan la siguiente sección :



TRAMO : PATRIOTISMO — TACUBAYA .

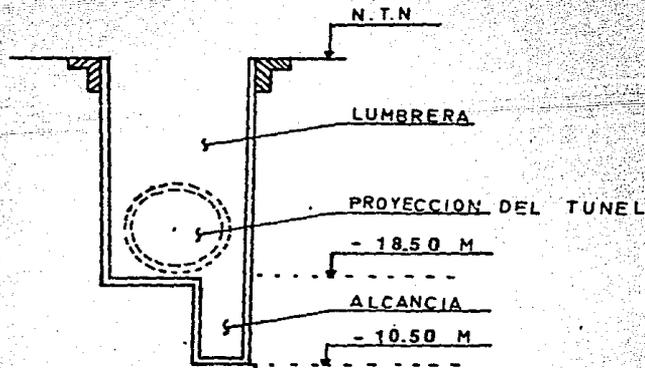


CROQUIS DE LOCALIZACION

FIG. 10

La longitud de profundidad de la Lumbreira 1 es de 18.50 m y la de la Lumbreira 3 es de 20.50 m - consideradas ambas desde el N.T.N hasta la losa de fondo de las mismas.

Cabe mencionar que en el caso de la Lumbreira 1 se realizó una excavación adicional de 10 mts - de profundidad y aproximadamente el 40% de la sección, denominada alcancia y la cual permitía el acceso de los botes de rezaga (SKIP'S) para el desalojo a superficie del material producto de excavación del túnel. Ver figura



Lumbreira 1 (corte)

- Lumbreira de Ventilación .- Esta lumbreira se localiza en el Cad. 18+124.765 del tramo Patriotismo-Tacubaya, tal como se indica en la figura.

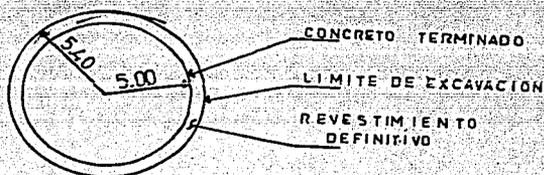
CARACTERISTICAS DE LOS TUNELES

- Túnel principal de Metro .- El túnel tendrá un diámetro interior de 8.64 m y 9.15 m de diámetro exterior, - con una longitud de desarrollo de 1,070 mts. aproximadamente, tal como se indica en la figura 11, y su revestimiento ó ademe consiste en tres segmentos ó dovelas - prefabricadas de concreto armado, las cuales son de tres tipos a, b, y c., las dovelas a y b, forman los costados y la clave del túnel, estas dovelas son similares con excepción de sus extremos superiores donde se forma una rótula y ahí precisamente se efectúa la unión por medio de una viga metálica canal de 8" x 0.70 m. de longitud. La dovela c forma el piso del túnel ó cubeta. - Las dovelas son de concreto $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ y tienen un ancho igual a 0.80 m, y un espesor de 0.25 m salvo las dovelas correctivas que dependen de la curvatura del túnel. Los detalles estructurales de estas dovelas se indican en la figura 12.

- Túnel de transición de lumbreras a cabeceras de estación.- Estos túneles se construirán para conectar las lumbreras con los muros Tapón en las cabeceras de estación. El revestimiento definitivo de estos túneles es a base de concreto lanzado armado, y las características geométricas de la sección, longitudes de cada uno de ellos, así como también su localización se indican en las figuras 13, 14 y 15.

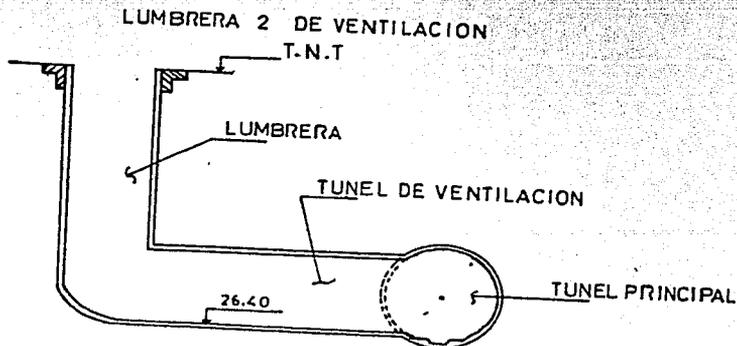
- Túnel de ventilación.- Esta ubicado en el cadenamiento 18+124.765 del tramo Patriotismo-Tacubaya y conecta la lumbreira de Ventilación con el túnel principal.

Como su nombre lo indica su objetivo es proporcionar ventilación al túnel principal durante su operación, y sus características geométricas de su sección son las siguientes:



Lumbra 2
(Ventilación)

La longitud de profundidad de la lumbra de ventilación es de 26.40 m. considerada desde el N.T.N. hasta la losa de las mismas, y se comunica con el túnel de ventilación. -- Ver figura



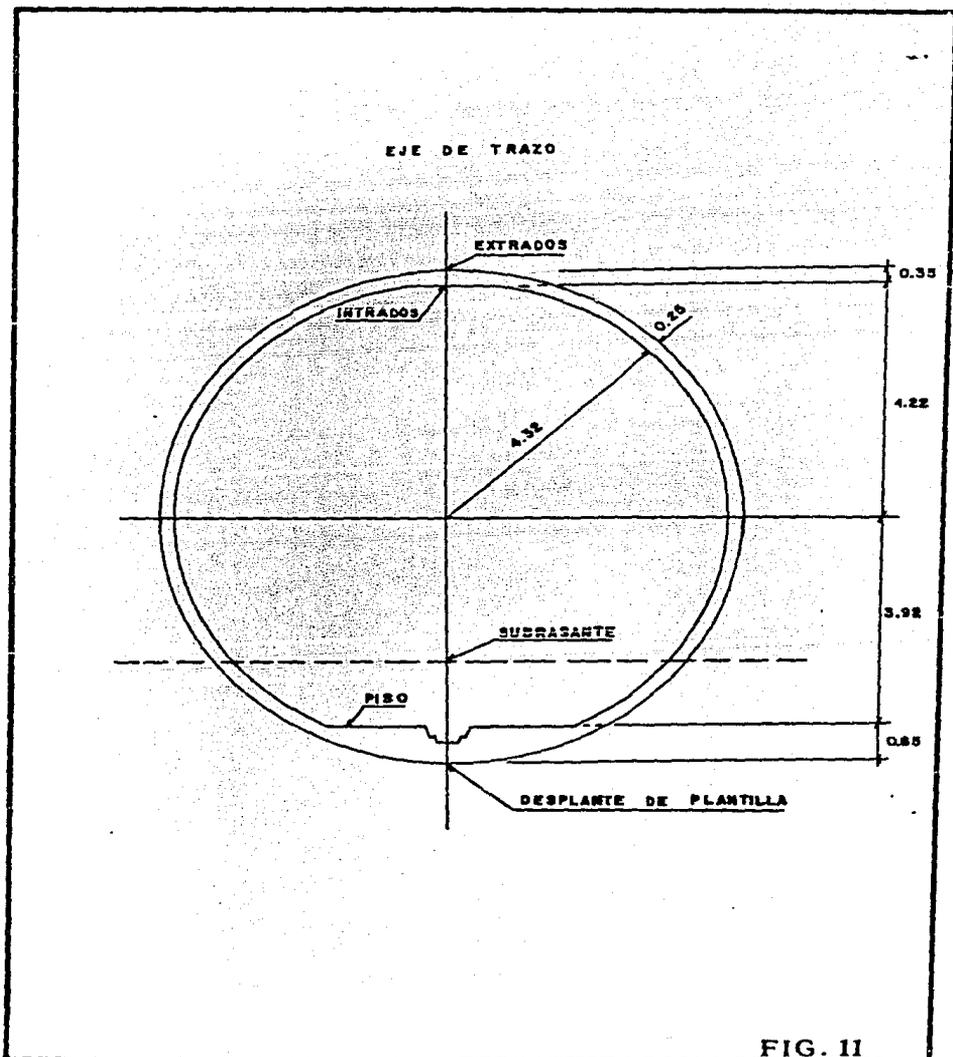


FIG. II

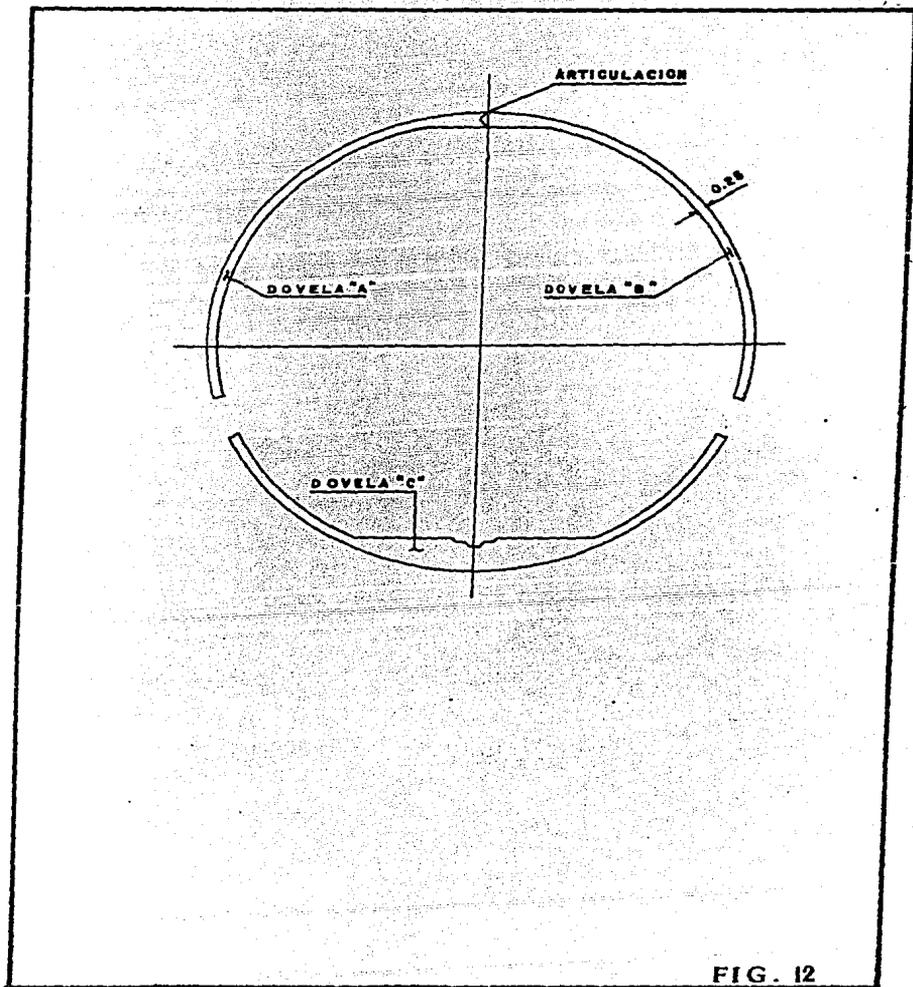
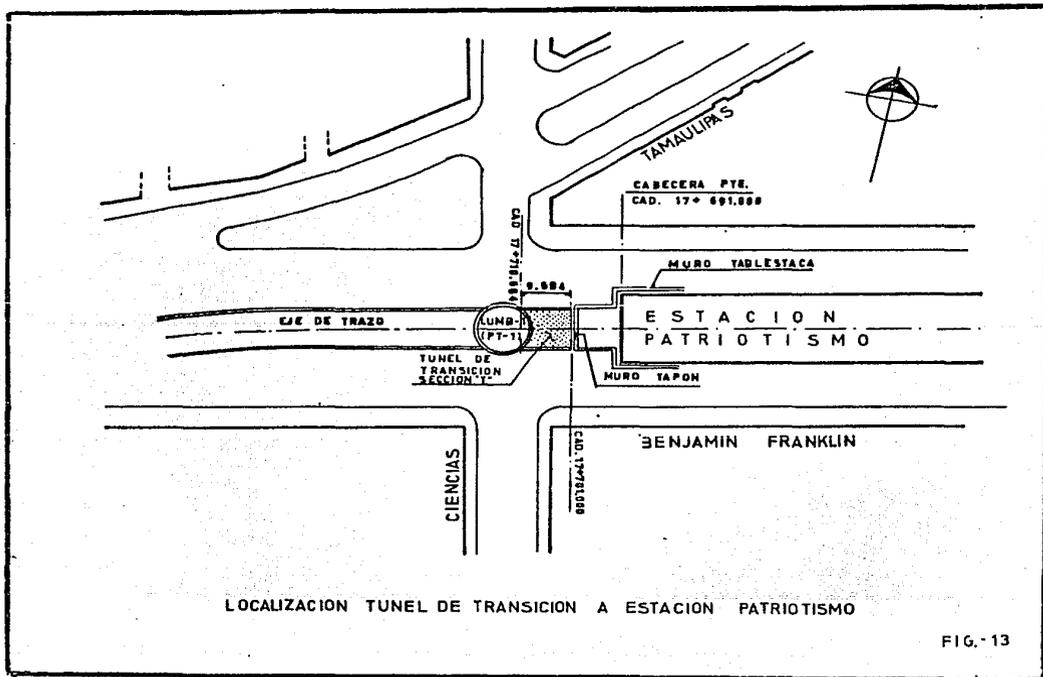
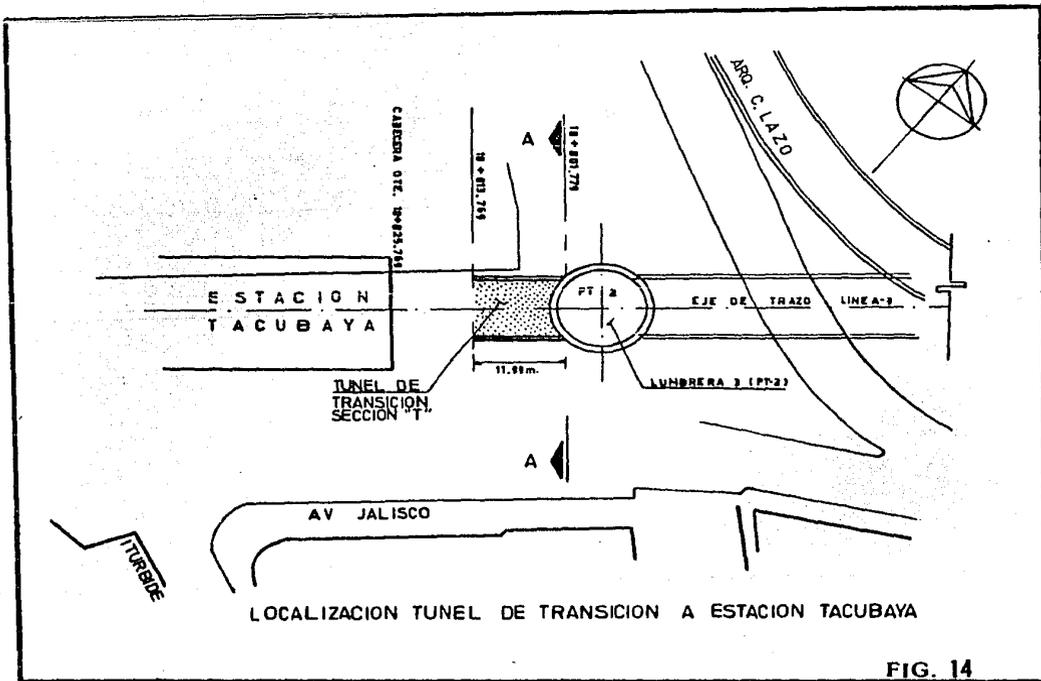
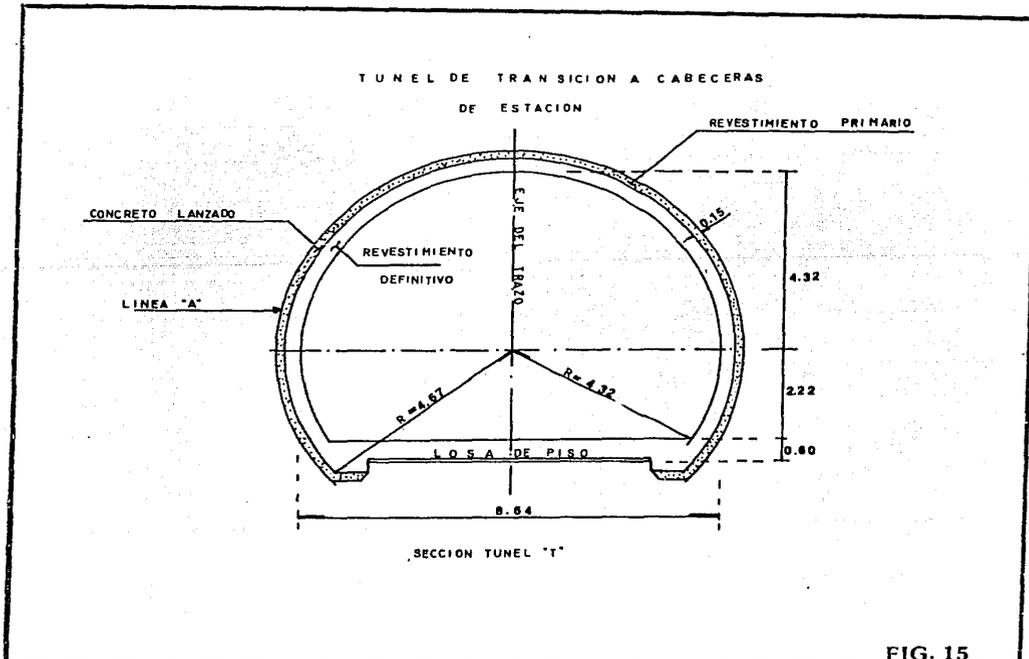


FIG. 12



LOCALIZACION TUNEL DE TRANSICION A ESTACION PATRIOTISMO

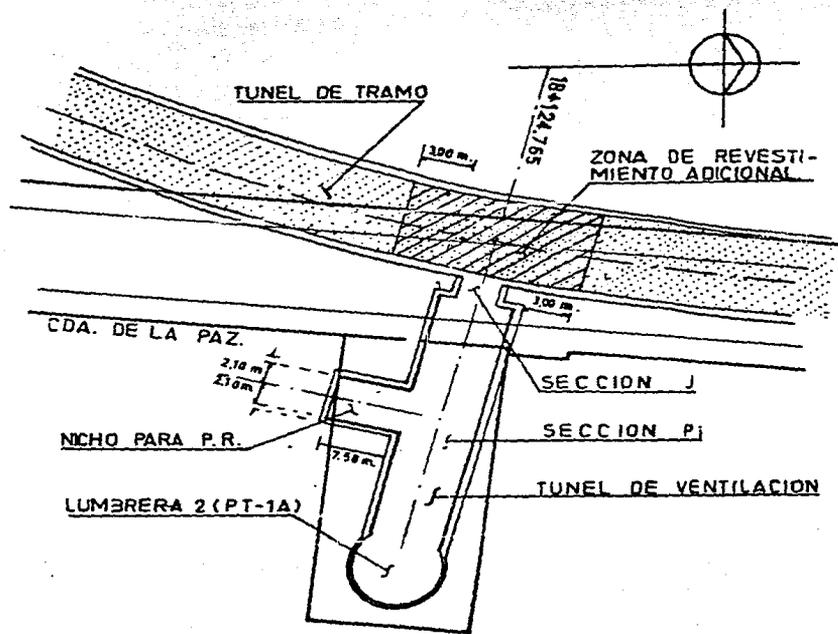




El recubrimiento definitivo de este túnel es a base de concreto lanzado armado. Su localización, longitud y características geométricas de la sección del túnel se presentan en las figuras 16, 17 y 18.

- Nichos de Subestación .- Estan ubicados en los cadenamientos 18+107.918. y 18+141.618 del tramo Patriotismo-Tacubaya y como su nombre lo indica alojarán las subestaciones eléctricas necesarias para la operación del sistema. Cabe mencionar que se localizan uno a cada lado del túnel principal para alimentar independientemente a las dos vías. El revestimiento definitivo de los nichos a base de concreto lanzado armado. y su ubicación, longitudes y dimensiones de la sección de proyecto se indican en las figuras 19 y 20.

- Nichos para puesto de rectificación (P.R.).- Se localiza en una pared lateral del túnel de Ventilación, y su función consistirá en alojar equipos eléctricos que rectificarán ó regularán el voltaje en las líneas de energía eléctrica que alimentan el sistema en operación. El revestimiento definitivo de estos nichos será de concreto lanzado armado, y su longitud, ubicación y características geométricas de la sección de la estructura estan mostradas en las figuras 21 y 22



TUNEL DE VENTILACION
 PLANTA DE LOCALIZACION

FIG. 16

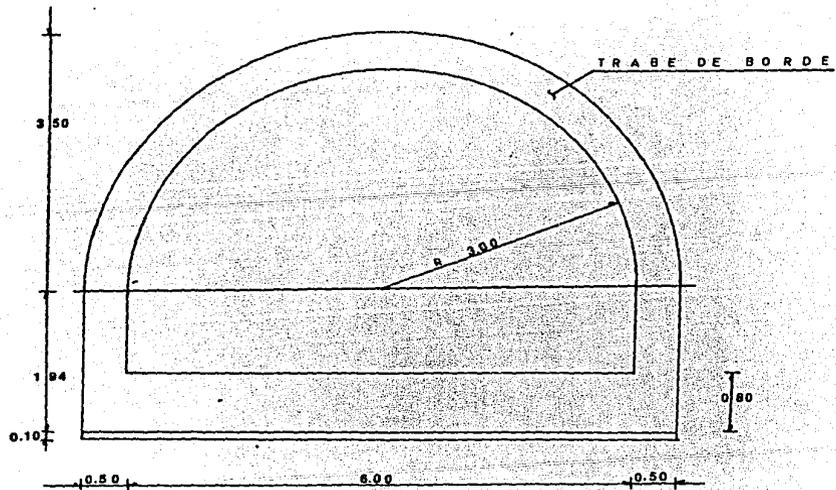


FIG. 17

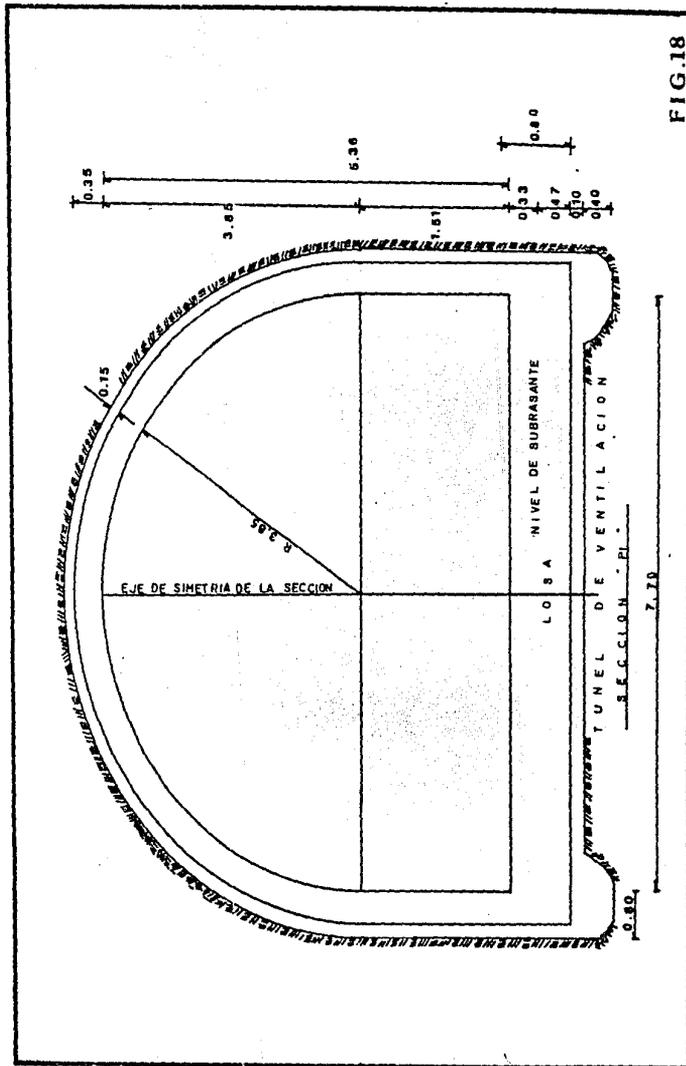
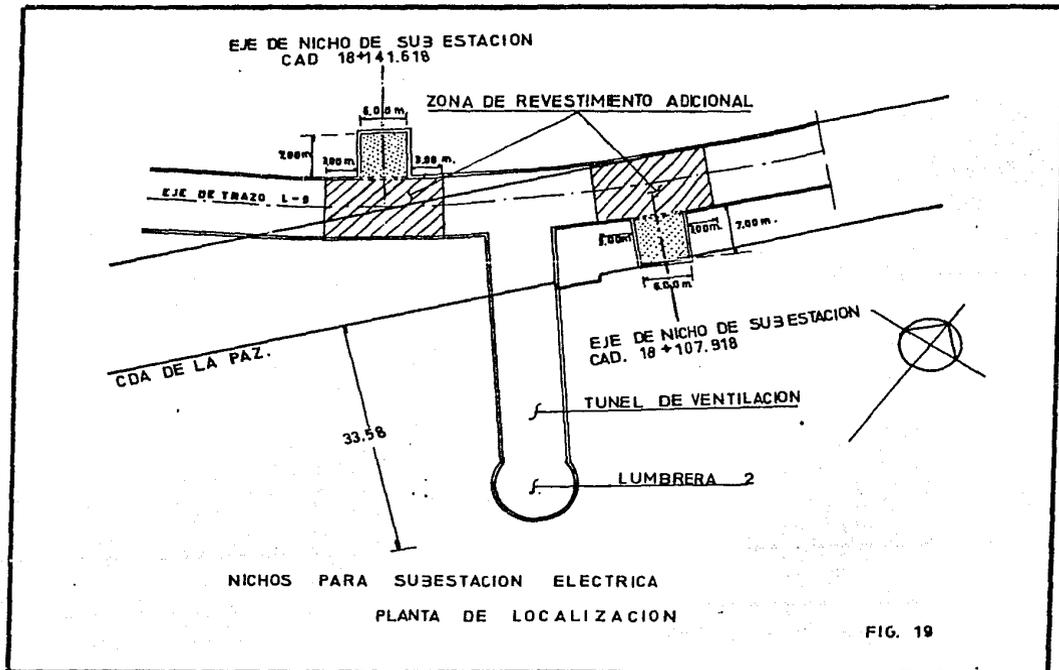
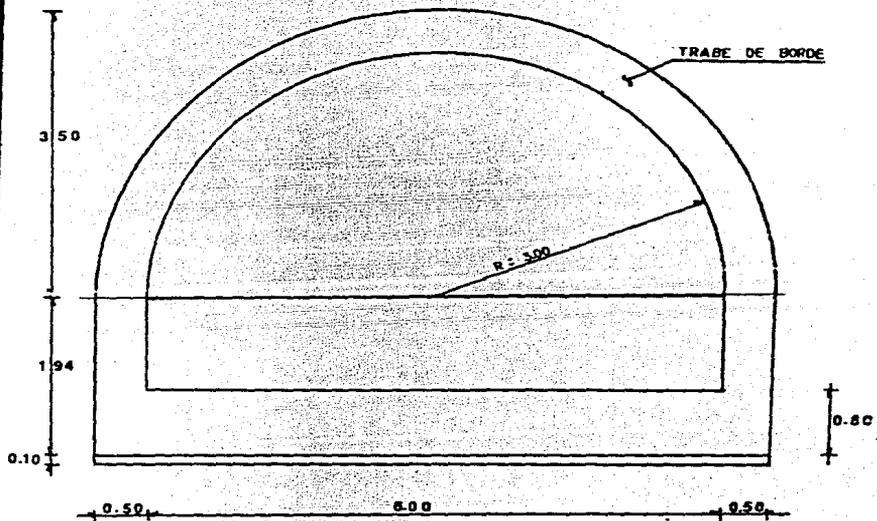


FIG.18





NICHOS PARA SUB-ESTACION ELECTRICA

SECCION "J"

FIG.20

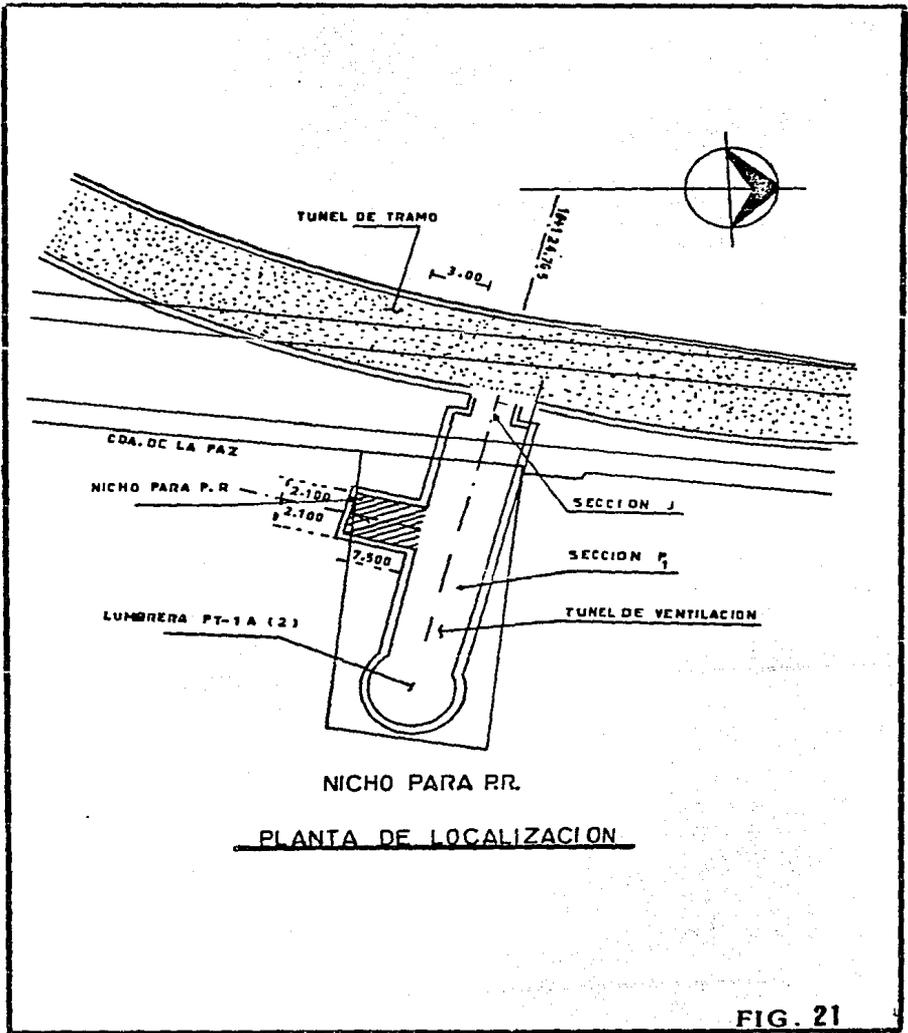
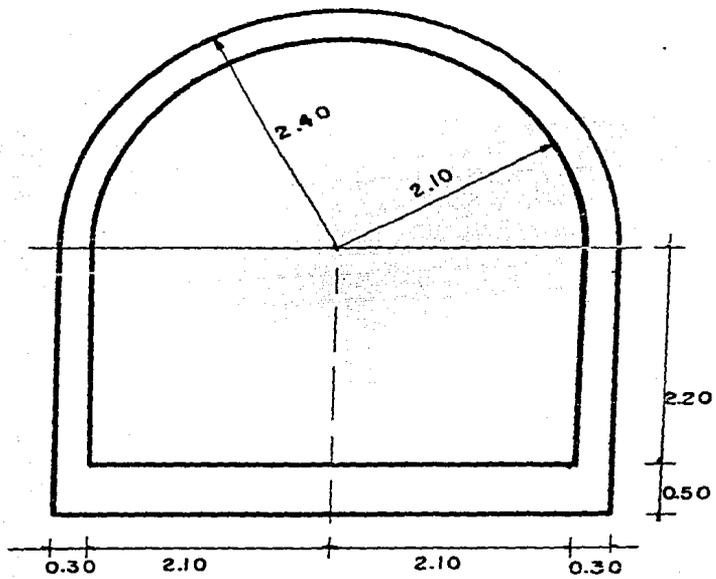


FIG. 21



TUNEL SECCION 'L'

FIG. 22

C A P I T U L O V

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL CON ESCUDO DE --
FRENTE ABIERTO.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL
CON ESCUDO DE FRENTE ABIERTO.

- A).- Ranura para facilitar el empuje del Escudo.
- B).- Medidas a tomar del personal de Topografía para el buen funcionamiento del Escudo.
- C).- Empuje del Escudo.
- D).- Ademe del Frente de Excavación.
- E).- Forma de eliminar el material de la excavación.
- F).- Colocación de Dovelas que forman un anillo.
- G).- Inyección de contacto para reducir los asentamientos superficiales.

A. - RANURA PARA FACILITAR EL EMPUJE DEL ESCUDO.

Antes de hacer el empuje del escudo el Ingeniero de frente se cerciorará si la ranura hecha alrededor del escudo está completamente terminada, esta ranura es con el fin de facilitar al escudo el empuje, la ranura antes descrita se hace con herramienta manual (pico y pala), en forma simultánea, es decir se ataca por ambos costados. La profundidad de la ranura es de \pm 80 cms., ancho que tienen los anillos precolados que forman el revestimiento primario.

B. - METODO DE TRABAJO DEL CADENERO PARA OBTENER LA INFORMACION NECESARIA PARA EL CONTROL DEL ESCUDO.

1. - Antes del Empuje.

a). - Colocar la plomada en el escudo y verificar el giro y la pendiente del reporte anterior. El procedimiento para conocer la pendiente y el giro del escudo, se obtiene con la plomada que se colocó en la parte superior y que pende de un hilo (ver figura 23) y que cae a la placa que se encuentra en el escudo. (ver figura -- 24).

De acuerdo a su posición se toman las medidas y obtenemos la posición del escudo, si la plomada cae atrás de la línea central (\ominus) de la placa, la pendiente será (+) lo cual quiere decir que tiene tendencia a subir y a la inversa si cae adelante la tendencia

será la de ir bajando (ver figura 24.).

Ejemplo : La medida se toma transversal a la línea central de la pendiente (E) en este caso la pendiente del escudo es de 15 mm. (+) si la plomada cae a la derecha de la línea central (E) del giro (ver figura 2b), el giro igualmente será derecho o a la inversa si cae al lado izquierdo.

2.- En el transcurso del empuje.

Cuando se está realizando un empuje es necesario -- suprimir algún (os) gato (s) ó accionar otros gatos extras, para ocasiones en que el Ingeniero de Frente considere necesario, para dirección del escudo. Estos gatos se considerarán " Gatos Usados Ocasionalmente."

a).- Vigilar la presión del manómetro para tomar la mínima y la máxima. En caso de no tener oportunidad de vigilar la presión directamente ó desconocer la misma, se solicitará la información al operador del Escudo --- (ambas presiones).

b).- Medir la longitud de vástagos de los gatos que el Ingeniero de Frente considere necesaria para el control del escudo, y dejar el espacio suficiente para la colocación de la dovela tomando en cuenta el ancho total de la dovela incluyendo la ceja (+ 810 mm.), el vástago -- del gato deberá tener como mínimo 820 mm. de carrera.

ESCUDO

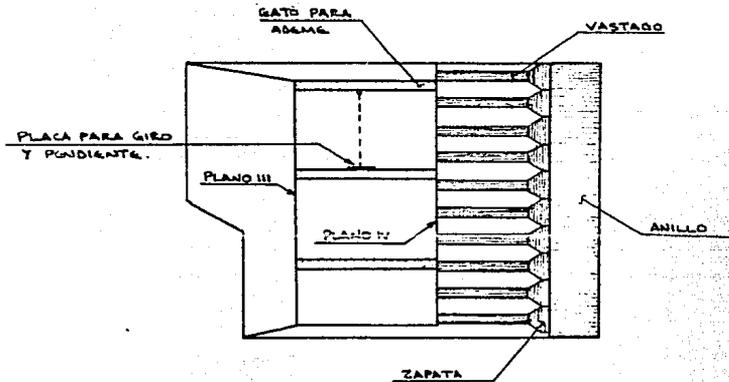
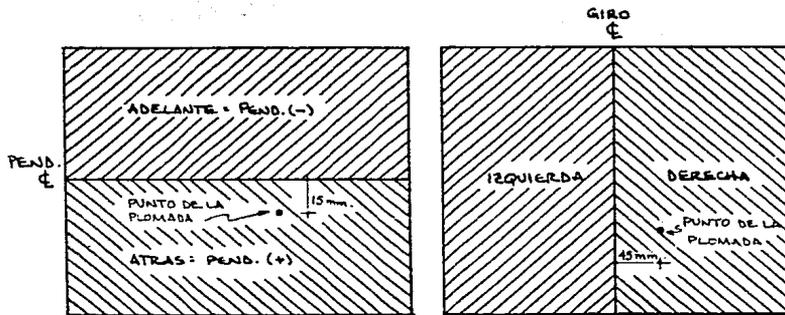


FIG. 23



PLACA PARA GIRO Y PENDIENTE

FIG. 24

3.- Terminado el Empuje.

a).- Medir la longitud de los vástagos de los gatos 13, 9 y 1 izquierdos y derechos.

b).- Medir el GIRO y la PENDIENTE del escudo en la placa.

c).- Conocer el *lasser* y medir en la tarjeta, la posición del escudo.

El procedimiento para obtener las medidas en la tarjeta es la siguiente:

La "y" se mide vertical a la tarjeta, en caso de que la luz del rayo *lasser* quede arriba del eje de las "x" serán positivas y si queda abajo serán negativas (ver figura 25.)

Ejemplo: $y = 95 \text{ mm. (+)}$

La "x" se mide horizontalmente a la tarjeta si la luz del rayo *lasser* queda a la izquierda, serán negativas y si queda a la derecha serán positivas (ver figura 25).

Ejemplo: $x = 70 \text{ mm. (+)}$

4.- Después de la colocación del anillo.

a).- Al terminar de colocar el anillo (completo) se procede a medir la distancia que separa el paño del escudo

(PLANO IV) al paño del anillo colocado a la altura de los gatos con numeración non: 13, 11, 9 etc., la distancia que separa no deberá ser menor de 450 mm., ni mayor de 600 mm. Como se puede apreciar en la figura -- 25.)

b).- TOMAR la hora en que se termina de colocar el anillo.

5.- Procedimiento para pasar la información a los reportes de campo F1 y F2

a).- La hora que debe anotarse en los reportes, es la del inicio del empuje.

b).- La fecha que anota el primer turno, deberá ser la misma en el tercer turno, en las dos hojas de reporte (F1 y F2).

6.- Forma 1

a).- En el renglón donde se indica el giro, deberá anotarse en grados (°) y segundos ("), para conocer el ángulo de giro se consulta la tabla de conversión mm. a grados, minutos y segundos en donde aparecen 4 columnas en el siguiente orden:

Valor en mm. en placa

Pendiente en %

Giro

Compensación en elevación

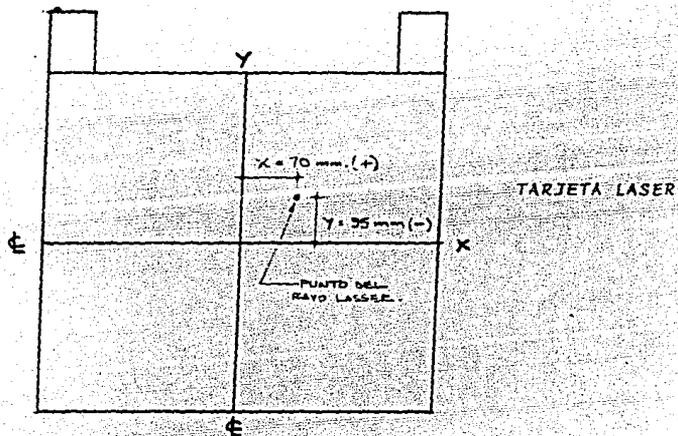


FIG. 25

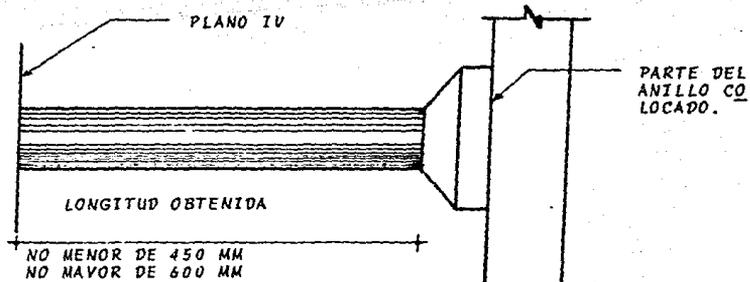


FIG. 26

Al obtener la medida de giro en la placa en mm., se procede a localizar en la tabla (en la columna valores en mm. en placa) y sobre el mismo renglón, se --translada a la columna "GIRO" y obtenemos el valor en grados, minutos y segundos.

Ejemplo:

Valor en mm. en placa 10 mm. (izquierdo ó derecho)

Valor en giro. $0^{\circ}25' 26''$ (IZQ. ó DER.)

b).- La pendiente real se obtiene igual que el giro, --únicamente que se localiza en la columna " Pendiente - en % ".

Ejemplo:

Valor mm. en placa 6 mm. (+) ó (-)

Valor en pendiente 0.462 % (+) ó (-)

c).- En la hoja de reporte en el renglón donde indica Pendiente de Proyecto, se anotará:

0.80 % (+).

d).- En el renglón donde se indica diferencia (en la hoja de reporte) se anotará lo que resulte de la resta de la pendiente real menos la pendiente proyecto.

Cuando la pendiente real sea positiva, se hará la diferencia de la siguiente manera:

0.462 % (+) - Pendiente real
 0.080 % (+) - Pendiente de pro
 ----- yecto.

diferencia 0.382 % (+)

Cuando la pendiente real sea negativa, se sumará a la pendiente de proyecto y se pondrá el signo del porcentaje mayor.

Ejemplo:

0.462 % (-) - Pendiente real.
 - 0.080 % (+) -

Diferencia 0.542 % (-) - Signo del porcentaje.
 mayor.

Obtención de datos de las tarjetas laser.

e).- Cuando el rayo laser y las tarjetas del escudo - se encuentran a una misma distancia, el primero del - eje del proyecto y el segundo al centro del escudo, se procede de la siguiente manera:

Conociendo el valor en mm. en la placa se localiza en la tabla (en la columna de "compensación en elevación") al obtener este valor se aplica a la proyección de "Y" como se indica a continuación:

POSICION DEL ESCUDO.

Y (+) GIRO DER. COMP. (-)

ABAJO

V (+) GIRO IZQ. COMP. (+)	ABAJO
V (-) GIRO DER. COMP. (+)	ARRIBA
V (-) GIRO IZQ. COMP. (-)	ARRIBA

Cuando la proyección V (+) sea positiva, con giro derecho la compensación se resta (-).

Ejemplo:

Giro, Valor en mm. en placa 10 mm. der. compensación - en elevación 10 mm., proyección en "V" medido en la tarjeta 25 mm. (+), por lo tanto tenemos:

V (+) 25 posición del escudo.

COMP. - 18

$V = + 7$ mm. abajo

La compensación está en función de la tangente del ángulo de giro, por la distancia de la tarjeta al centro del escudo.

En algunos casos es posible que la compensación sea mayor que la proyección (V) medida en la tarjeta, cuando esto sucede la proyección (+) pasa a ser (-) negativa, por lo que el escudo se encontrará arriba.

Ejemplo:

Giro, valor en mm. en la placa de 30 mm. der. Compensación en elevación 55 mm. proyección en "V".

Medida en la tarjeta 25 mm. (+) por lo tanto tenemos:

que el escudo se encontrará arriba.

Ejemplo:

Giro, valor en mm. en la placa de 30 mm. der. Compensación en elevación 55 mm. proyección en "Y".

Medida en la tarjeta 25 mm. (+) por lo tanto tenemos:

POSICION DEL ESCUDO

COMPENSACION 55 mm.

PROYECCION "Y" (+) - 25

$Y = (-) - 30$ mm. 30 mm. arriba.

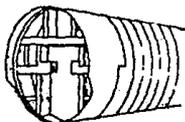
f).- Las proyecciones en "Y" nos da la posición horizontal del escudo, con respecto al eje de proyecto en la siguiente forma:

Cuando: X (+) EL ESCUDO SE ENCUENTRA A LA IZQUIERDA.

X (-) EL ESCUDO SE ENCUENTRA A LA DERECHA.

g).- En el recuadro que indica localización del escudo, IZQUIERDA Y DERECHA, se anotará la proyección "Y" (+) - ó (-) medida en la tarjeta trasera, donde indica arriba ó abajo, se anotará el resultado obtenido de la proyección "Y" (-) ó (+) de la tarjeta trasera.

h).- A la izquierda del recuadro arriba indicado, se encuentran unos renglones que como ahí se indica se deberá anotar la posición del escudo de las tarjetas de - lanternas, traseras y el promedio de ambas.



COMETRO

**INFORMACION DE ALINEAMIENTO, ELEVACION,
GIRO Y PENDIENTE DEL ESCUDO**

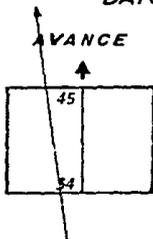
FORMA No. 1

LUBRERA PT-1 **REPORTO** 2o. TURNO
FRENTE LUMB. 1 A LUMB. 3 **HORA** 21:35
No. ANILLO 399 **TIPO** 75 I (IZQUIERDO)
CADENAMIENTO 18+0.34.410 **FECHA** 17/JUNIO/86.

DATOS DE LA PLOMADA EN EL ESCUDO

H= 8.720 **GIRO** 0° 11' 59" 3 " DERECHA " **EXP. DE GATOS LATERALES**
 V= 8.300 **PENDIENTE REAL** + 1.628 % **IZQ.** 280 **DER** 250
PENDIENTE PROYECTO - 0.200 % **770** **810**
DIFERENCIA + 1.828 %

DATOS DE NIVEL Y TRANSITO (SISTEMA DIRECTO)



ELEVACION REAL LI

ELEVACION PROY. LI

LOCALIZACION DEL ESCUDO

IZQUIERDA	DERECHA
ATRAS	ATRAS 34 mm.
ADELANTE	ADELANTE 45 mm.
ABAJO	ARRIBA
40 mm.	

NOTAS:

i).- En la parte inferior izquierda del reporte, se encuentra dibujado con un cuadro con una línea divisoria al centro, representando en esta forma un croquis de planta del escudo con su eje geométrico.

Con los datos obtenidos en (X) de las tarjetas traseras y delantera, se traza una línea que representará el eje del proyecto.

Datos del nivel y tránsito (Sistema Directo).

j).- En este cuadro se anotará la localización del escudo.

Con la diferencia del laser, la compensación se aplica en alineamiento o distancia del escudo respecto al eje de proyecto.

7.- Forma 2

a).- En longitud izquierda, se anota la que tenga el vástago No. 9 derecho.

En el renglón donde dice diferencia se anotará la diferencia de ambas longitudes.

Distancia del Anillo al Plano IV.

b).- En el cuadro izquierdo se anota la diferencia que resulta de las medidas obtenidas después de colocado el anillo.

Como el gato No. 13 se encuentra instalado en la parte superior y el gato No. 1 se encuentra instalado en la parte inferior del escudo, la diferencia de los gatos, nos indica la posición (arriba o abajo).

Es decir, si la diferencia del gato No. 13 es mayor que la del gato No. 1, se anotará en la columna de arriba, y si el gato No. 1 tiene mayor distancia se anotará en la columna de abajo.

En 9 izquierdo, 9 derecho, se anota la diferencia más larga, izquierda o derecha.

c).- En el recuadro de la derecha, aparecen las siguientes columnas:

No. de gato, izquierda, derecha, adelante izquierdo, - adelante derecho.

En la columna izquierda y derecha se anotan las distancias, obtenidas físicamente de los gatos que se indican.

En adelante IZQUIERDA - DERECHA, se anota la diferencia de la distancia más larga IZQUIERDA o DERECHA.

Datos complementarios del Empuje.

d).- En presiones empleadas, se anotan las utilizadas durante el empuje, mínima y máxima.

En pendiente se anota la mínima y máxima en porcentaje (%), en comparación al reporte anterior.

En la longitud de vástagos, se anota el promedio obtenido físicamente de los gatos 1, 13 y 9.

c).- El croquis que aparece en el reporte, es una representación esquemática de la posición de todos los gatos del escudo, los cuales se diferencian en base a su eje vertical, en izquierdos y derechos y se numeran de abajo hacia arriba, a partir del 1 al 13.

En el esquema se hará la siguiente marca:

- En los gatos usados ocasionalmente, se marcará con -- una "X".

- En los gatos usados en el empuje, no se hará ninguna marca.

- En los gatos no usados, se marcará con un * (asterisco).

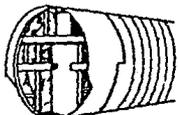
f).- Se anotará la hora en que se terminó de colar el anillo.

g).- Se anotará la tendencia del escudo en porcentaje (%) obteniéndose de la siguiente forma:

$$\frac{X_1 - X_2}{2.60} = \% \text{ izq. ó der.}$$

Si (X_1) tarjeta delantera es mayor que (X_2) tarjeta trasera, la tendencia es izquierda y viceversa.

El factor 2.60 m. es la distancia entre ambas tarjetas.



COMETRO

INFORMACION DE ADELANTO LADEO Y ENDOVELADO

FORMA No. 2

REPORTO 2a. TURNO

HORA 21:35

FECHA 17/JUNIO/86.

ANILLO 399

ESTACION 15+034.410

LONGITUD IZQUIERDA 870

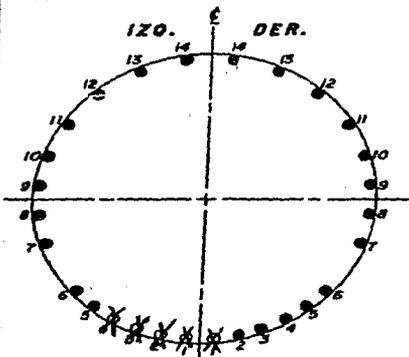
LONGITUD DERECHA 900

DIFERENCIA 30 DERECHA

DISTANCIAS DEL ANILLO N. AL PLANO IV

	ARRIBA	ABAJO
14 IZO. 1 IZO.	-----	-----
14 DER. 1 DER.	-----	-----
	IZQ.	DER.
9 IZO. 9 DER.	-----	30

GATO No.	IZQUIERDA	DERECHA	ADELANTE IZO.	ADELANTE DER.
14	890	880	10	-----
13	880	890	-----	10
11	870	900	-----	30
9	870	900	-----	30
7	870	910	-----	40
5	870	910	-----	40
3	890	900	-----	10
1	860	880	-----	20



● GATOS USADOS EN EL EMPUJE

⊗ GATOS USADOS OCASIONALMENTE

○ GATOS NO USADOS

DATOS COMPLEMENTARIOS DEL EMPUJE

PRESIONES EMPLEADAS:

MINIMA 2,000 Lbs/in²

MAXIMA 2,500 Lbs/in²

PENDIENTES:

MINIMA _____

MAXIMA _____

LONGITUD DE VASTAGOS:

14 880 , 860

9 IZO. 870 9 DER. 900

h).- Se numeran los anillos colocados.

C).- EMPUJE DEL ESCUDO.

Cuando se ha finalizado con la ranura, se procede a hacer el análisis de la posición del escudo como quedo en el empuje anterior, si se encuentra arriba ó abajo, si tiene giro izquierdo ó derecho, ó bien si está fuera del eje izquierdo ó derecho, esta serie de posiciones se pueden normalizar de la siguiente manera:

- Si el escudo se encuentra abajo ó arriba se procede a hacer el empuje con los gatos superiores ó inferiores respectivamente.
- Si el escudo tiene giro (izquierdo ó derecho), se hace la instalación de la (s) aleta (s) en la posición que la pida el escudo, para hacer la instalación de las aletas en ambos costados del escudo, se dejo una preparación en forma de "X".
- Cuando se va a introducir la aleta primeramente antes del empuje se hace una caverna a la altura dónde se encuentre la preparación y de profundidad de: ± 1 m. x 1 m. de espesor, que a la hora de empujar -- quedará en posición de la preparación lista para ser introducida la aleta.
- Cuando el escudo se encuentra fuera de su eje de trazo, ya sea izquierdo ó derecho, se procede a empujar con los gatos laterales contrarios al desplaza miento.

D).- ADEME DEL FRENTE DE EXCAVACION.

Cuando ha finalizado el empuje del escudo, se procede a retirar los gatos frontales, junto con las plataformas de trabajo, para que los perforistas puedan eliminar el banco del material, a base de pico y pala, y en algunas ocasiones utilizan los martillos neumáticos, para eliminar el limo arenoso en estado compacto, & en algunos casos cuando el material que se presenta en el frente de excavación es bastante compacto.

Cuando se ha terminado de hacer la excavación, la parte superior (de la mitad del escudo hacia arriba), se deja en el frente de excavación, una pared completamente vertical para luego colocar el ademe formado por tablonés y polines, que serán sujetados por los gatos frontales. En igual forma eliminan la parte inferior del banco.

E).- FORMA DE ELIMINAR EL MATERIAL DE LA EXCAVACION.

A medida que se va eliminando el banco de material se abre la mampara del escudo, la cual sirve para retener el material y de inmediato el traxcavo procede a -- desalojar el material, depositándolo en vagonetas montadas sobre vía. Cuando se ha llenado una corrida de vagonetas se lleva jalandola con una locomotora hasta la lumbrera, en dónde es vaciada a los "Skips" de la Torre de Manteo para inmediatamente ser sacado el material a la superficie, que serán vaciados a una tolva receptora

que a su vez, cargará los camiones de volteo, los cuales llevan el material al tiro (lugar para depositar el material de rezaga).

F).- COLOCACION DE DOVELAS QUE FORMAN UN ANILLO.

El revestimiento del túnel estará constituido por anillos de concreto formado por dovelas, las cuales son de tres tipos: a, b, c; cada anillo está formado por tres dovelas una de cada tipo, las a y b, forman los costados y la clave, estas dovelas son similares con excepción de sus extremos superiores, donde se forma una rótula, donde se efectúa la unión por medio de un canal de 8" x 0.70 m., el cual irá soldado a los insertos "H" en los que se colocará previamente tubo de 2 1/2" ϕ cédula 40 x 0.10 m. de longitud; la dovela c forma la cubeta. Las Dovelas son de concreto y tendrán un ancho igual a 0.80 m. y un espesor de 0.25 m., salvo las correctivas que dependen de la curvatura del Túnel.

El orden de colocación de las Dovelas es indistinto, pero con el objeto de plantear una secuencia de -- colocación ascendente se transportará en primer lugar la dovela "a" al pie del escudo en donde se acoplan a los brazos erectores y se izará para colocarla en su posición definitiva dentro del faldón del escudo, posteriormente se transportará la dovela "b", para ser -- izada y colocada en su posición en igual forma que la dovela "a"; por último, se transportará y colocará en su posición la dovela "c" (Cubeta). Esta secuencia de

colocación de las dovelas se muestra en la figura ---
No. 27

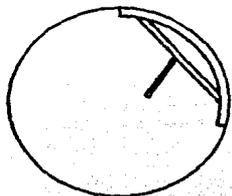
Las dovelas "a" y "b", traen insertos en la clave para ser unidos mediante un canal de 8" x 1.70 m., ---
ver figura No. 27

Posteriormente se transportará hasta la parte posterior del escudo un troquel que se ensambla en dos --
insertos que para tal fin traer las dovelas "a" y "b"-
(Troquel Horizontal) ver figura No. 28

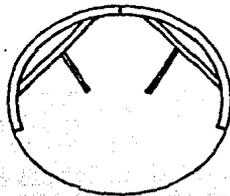
Una vez que el anillo haya salido de la camisa --
del escudo, se deberá colocar un puntal vertical de --
acero, cédula 40 y 6" de diámetro; el cual, mediante -
un gato hidráulico, ayudará a los gatos de expansión -
a levantar la clave del anillo. La colocación de este
puntal vertical, se muestra en la figura No. 28

Habiendose colocado el puntal vertical antes men-
cionado, se procederá a aplicarle la precarga corres-
pondiente y a expandir el anillo mediante los gatos de
expansión, los cuales se colocan en los extremos de -
las dovelas a-c y b-c; debiendo realizar estos eventos
en forma simultánea. La precarga que se aplicará al -
puntal vertical, será de 15 tons. y la correspondiente
a los gatos de expansión será de 30 tons.

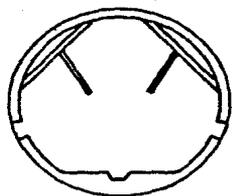
Terminada la expansión se colocan dos tramos de -
tubo de 3" de diámetro, cédula 80 con placas de 3/8" -



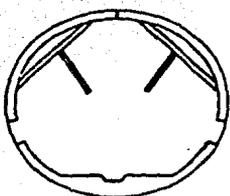
COLOCACION DE LA DOVELA "a"



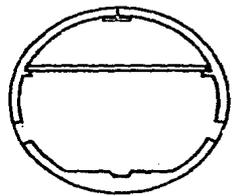
COLOCACION DE LA DOVELA "b"



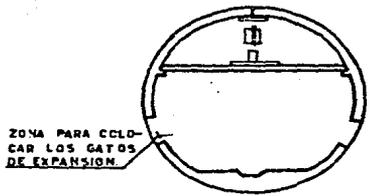
COLOCACION DE LA DOVELA "c"



COLOCACION DEL CANAL EN LA CLAVE.



COLOCACION DEL PUNTAL HORIZONTAL



COLOCACION DEL PUNTAL VERTICAL

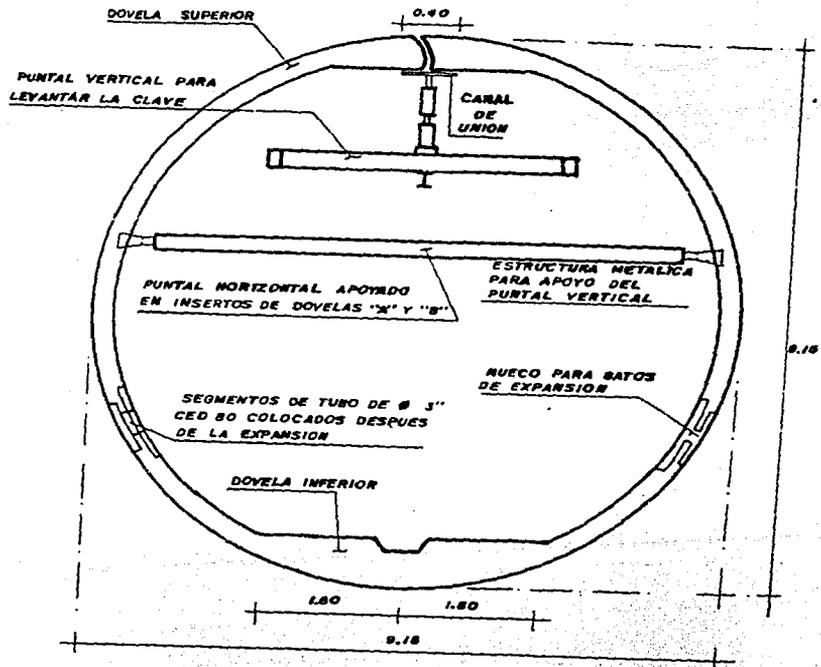


FIG. 28

de 10 x 10 cm., para recibir las dovelas; hecho esto se retiraran los gatos de expansión y se ligarán las dovelas a-b y b-c. Ver figura No. 28

Concluido lo anterior, se colará el hueco ocupado por los gatos de expansión con concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo estabilizador de volúmen, después de lo cual se podrá retirar el puntal vertical, dejando ahogados en este colado los tramos de tubo de 3" de diámetro.

El puntal horizontal colocado en los insertos de las dovelas "a" y "b", deberá permanecer en su posición por lo menos 8 horas contadas a partir del momento de su colocación hasta el momento en que se retira.

G).- INYECCION DE CONTACTO PARA REDUCIR LOS ASENTAMIENTOS SUPERFICIALES.

Con objeto de reducir los asentamientos superficiales que puedan presentarse durante la excavación del túnel y reducir las filtraciones de agua freática hacia el interior de este. Se hará una inyección de acuerdo con lo siguiente:

Con la finalidad de que cada anillo presente una inyección satisfactoria en su perímetro, se utilizarán los insertos para maniobras existentes en cada dovela, realizando perforaciones adicionales de 2" de diámetro tanto las perforaciones adicionales como las que se efectúan a través de los insertos, deberán penetrar en el suelo circundante 15 cm.

Las perforaciones adicionales serán 3 en los anillos que se inyectarán en 2a. fase y una en los anillos que se inyectarán en 3a. fase; estas perforaciones adicionales podrán efectuarse durante la construcción de las dovelas ó una vez colocadas estas en el interior del túnel la secuencia de inyección y distribución tanto de insertos como de perforaciones adicionales, se muestra en la figura No. 29

Cada anillo deberá contar con una inyección de dos fases cuyos proporcionamientos se indican en la tabla al final de este inciso, la inyección de primera fase se realizará en todos los anillos y las inyecciones de segunda y tercera fase, se efectuarán en anillos alternados tal como se muestra en la figura No. 29

INYECCION DE PRIMERA FASE:

Antes de iniciar el proceso de inyección de primera fase, será necesario calafatear las juntas de unión entre las dovelas colocadas, con el fin de impedir la pérdida de la inyección.

Este calafateo se efectuará con una mezcla formada por dos partes de cemento y una de yeso.

Una vez calafateadas las juntas se iniciará la inyección de primera fase, la cual se llevará a cabo en cada uno de los insertos que se muestran en la fi -

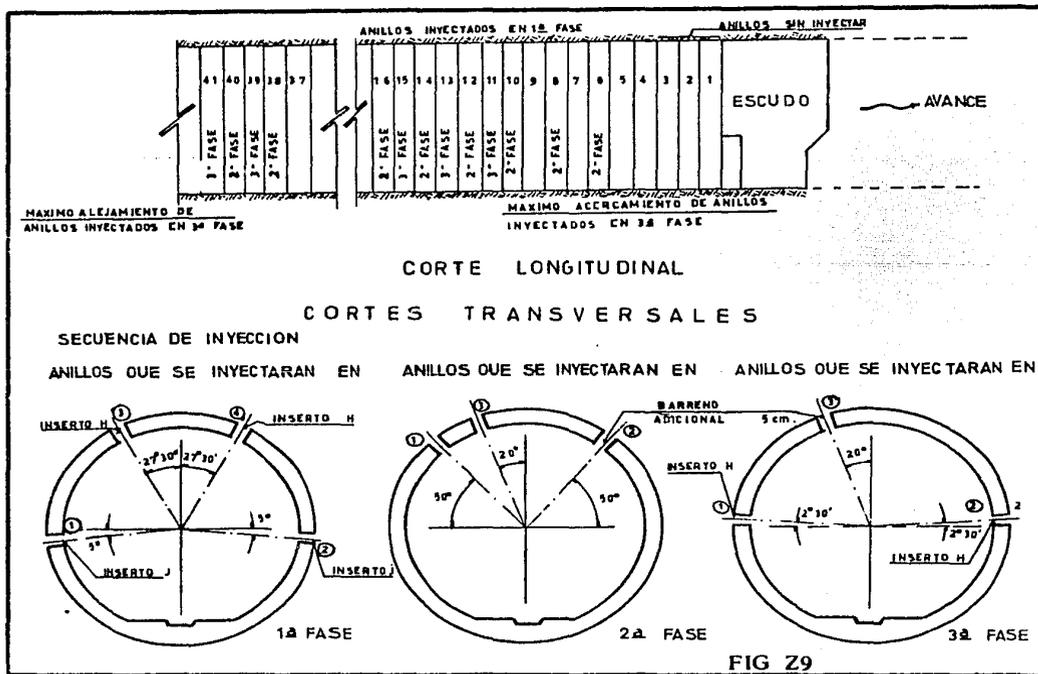


FIG 29

gura No. 29 y se efectuará una vez que el anillo por inyectar, cuente con tres anillos como mínimo ó cinco como máximo entre el y el faldón del escudo, ó bien no deberá transcurrir un lapso mayor de 24 horas entre la colocación de cualquier anillo y su inyección de primera fase.

El volúmen a inyectar por barreno será de 0.5 m^3 a una presión de 1.0 kg/cm^2 . La Inyección se suspenderá cuando se haya alcanzado la presión de 1.0 kg/cm^2 , lo que ocurra primero. También deberá cumplirse que la mezcla que se inyecte tenga las características y proporcionamiento tal que se obtengan resistencias como mínimo de 50 kg/cm^2 a los siete días.

INYECCION DE SEGUNDA FASE.

Para la realización de la inyección de segunda fase, el anillo por inyectar, deberá contar con la inyección de primera fase y tener entre este anillo y el faldón del escudo, una distancia variable entre cinco y siete anillos, es decir, el sexto u octavo anillo localizado atrás del faldón será el que se este inyectando en segunda fase.

El volúmen a inyectar por barreno será de 0.5 m^3 , a una presión de 1.5 kg/cm^2 . La Inyección se suspenderá cuando se haya inyectado un volúmen de 0.5 m^3 por barreno ó cuando se haya alcanzado la presión de 1.5 kg/cm^2 , lo que ocurra primero.

INYECCION DE TERCERA FASE.

Para efectuar la inyección de tercera fase a un anillo, este deberá contar con la inyección de primera fase y tener entre el y el faldón del escudo una distancia variable entre 10 y 12 anillos, es decir, el máximo acercamiento de la inyección de tercera fase al faldón del escudo, será de 10 a 12 anillos así como la distancia al anillo más alejado de dicho faldón en que se realice la inyección de tercera fase no deberá exceder de 40 anillos.

El volumen máximo a inyectar por barreno será de 0.5 m^3 a una presión de 1.5 kg/cm^2 . La inyección se suspenderá cuando se haya inyectado un volumen de 0.5 m^3 por barreno o cuando se haya alcanzado la presión de 1.5 kg/cm^2 , lo que ocurra primero. Además, deberá verificarse que la mezcla que se inyecte tenga una resistencia de 30 kg/cm^2 como mínimo a los siete días.

LAS PROPORCIONES DE CADA UNA DE LAS INYECCIONES, SE INDICAN A CONTINUACION:

	<u>1a. Fase</u>	<u>2a. Fase</u>	<u>3a. Fase</u>
Agua (Lts)	136	160	152
Cemento (kgs)	250	250	250
Lodo Bentonítico (Lts)	67	42	50.2
Arena (kgs)	160	150	-----
Acelerante de fraguado	2.5	-----	-----

El lodo Bentonítico deberá tener una proporción de agua bentonita de 10:1. El lodo bentonítico deberá cumplir con el proporcionamiento indicado para cada fase y además la bentonita deberá cumplir con un tiempo mínimo de hidratación de 8 horas.

La arena que se utilice para la elaboración de la mezcla de inyección, deberá estar constituida por partículas redondeadas, preferentemente de río, con dimensiones máximas de 1.5 mm., los límites granulométricos serán los siguientes:

MALLA	% QUE PASA
8	100
10	90-100
30	50-85
50	20-25
100	10-30

INSTRUMENTACION

Con el objeto de conocer la magnitud y variaciones de los movimientos horizontales y verticales, en la zona inmediata a la excavación y en las áreas adyacentes, que pudieran ser provocados en el subsuelo, antes, durante y después de la excavación del túnel, será necesario instalar secciones de instrumentación que permitan determinar la magnitud y variación de dichas deformaciones, de acuerdo a lo que se indica a continuación:

I. TIPO DE INSTRUMENTOS QUE SE COLOCARAN EN LAS SECCIONES

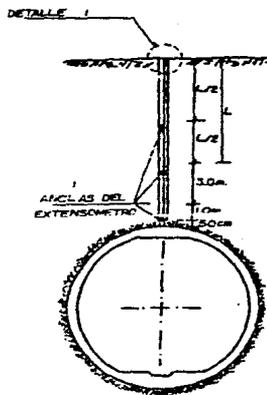
1.- Movimientos del subsuelo hacia la excavación del túnel.

Los movimientos del subsuelo que se producen en forma convergente hacia la excavación del túnel se medirán desde la superficie por medio de extensómetros, este instrumento se colocará en forma vertical sobre el eje del trazo del túnel.

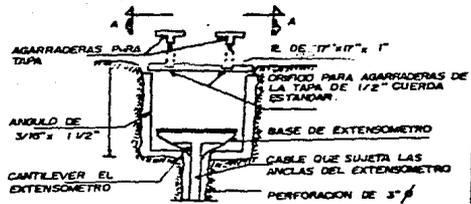
La perforación para la colocación de las anclas del extensómetro deberá ser de 3" de diámetro, la cual se llevará hasta una profundidad tal que la parte más profunda de la perforación quede a 50 cm. de la clave del túnel la colocación de los cuatro puntos de medición se realizará de la siguiente manera: el más profundo se colocará en el tope de la excavación, el segundo a un metro del primero, el siguiente a tres metros a partir del segundo y el cuarto se colocará a un medio de distancia que resulte entre el tercer punto y la superficie del terreno, ver figura No. 30

2.- Movimientos verticales.

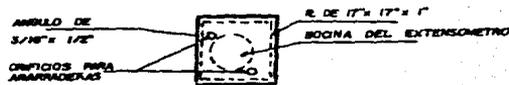
Para registrar los asentamientos del subsuelo en las áreas adyacentes a la excavación del túnel, será necesario realizar nivelaciones topográficas, para esto se colocarán secciones de nivelación transversales al eje, los puntos de estas secciones se ubicarán a cada 10 m. a partir del eje del túnel a ambos lados del mismo hasta una distancia entre 50 y 100m.



SECCIONES DE INSTRUMENTACION
CON EXTENSOMETRO Y PUNTOS DE
NIVELACION



DETALLE 1



CORTE A-A

FIG 30

ver figura No. 31 según lo permita el sitio en obra; en los extremos de estas líneas de nivelación se colocará un banco de nivel a 1 m. de profundidad. Además de las secciones transversales, se tendrá nivelación sobre el eje de trazo, donde los puntos de nivelación se colocarán a cada 30 m. a partir del cadenamiento 17 + 725.00 y hasta llegar a la lumbreira 3, a excepción de aquellos lugares donde se tenga alguna construcción. Adicionalmente se colocarán puntos de nivelación sobre cada uno de los extensómetros, la ubicación de estos puntos se indica en el inciso V. Con el fin de que las lecturas en los puntos de nivelación indicados en el párrafo anterior no se vean afectados por los movimientos superficiales provocados por el paso de vehículos, será necesario que dichos puntos se ubiquen dentro de perforaciones de 1.00 m. de profundidad y del diámetro necesario para introducir el equipo de medición. En el fondo de la perforación se colocará un bloque de concreto pobre en el cual se fijará el punto de control.

Las paredes de la perforación se deberán

ademar con un tubo de acero ó con cualquier otro elemento; así-mismo la perforación deberá protegerse mediante una tapa.

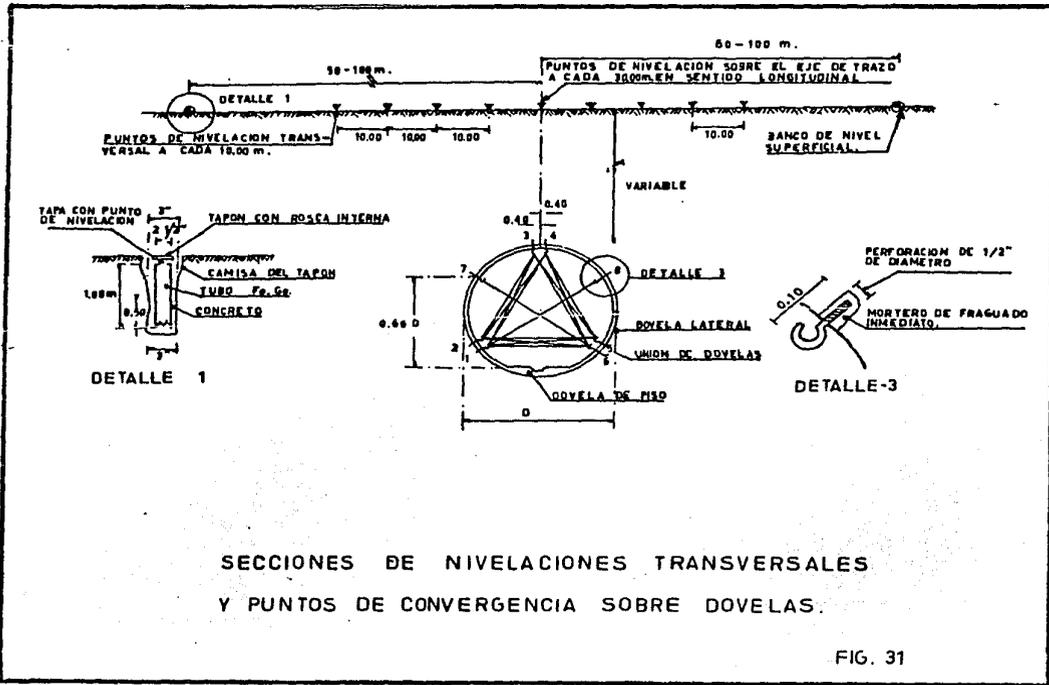
3.- Movimientos convergentes.

Para determinar los movimientos de las paredes del túnel hacia el interior del mismo, con mediciones realizadas desde el interior del túnel, será necesario instalar puntos de referencia con la distribución que se muestra en la figura No. 31

II. PERIODICIDAD DE LAS MEDICIONES

Las nivelaciones topográficas sobre los extensómetros y puntos de referencia deberán ser realizadas con la siguiente periodicidad.

- 1.- Todos los instrumentos que se instalen en la superficie del terreno deberán estar colocados y leídos cuando el frente de excavación se encuentre a una distancia mínima de tres díame



tros del túnel antes de cruzar la sección de instrumentación.

2.- Los puntos de referencia internos deberán colocarse inmediatamente después de que la excavación pase por el cadenamiento señalado para la ubicación de los mismos.

3.- Las lecturas de los instrumentos colocados desde la superficie del terreno se tomarán por lo menos una vez al día, mientras el frente de la excavación del túnel este entre los diámetros anteriores y tres diámetros posteriores a la estación de instrumentación; una vez cada semana en el siguiente avance de tres diámetros; una vez cada quince días en los siguientes tres diámetros y una vez cada mes hasta que las gráficas tiempo-deformación tengan una franca tendencia a la estabilidad

4.- Las lecturas en las secciones de puntos de convergencia en el interior del túnel se tomarán por lo menos una vez al día durante las primeras dos semanas posteriores a la instalación. Una vez que las convergencias indiquen

una tendencia franca a la estabilidad (velocidad menor de 0.04 mm/día), la periodicidad puede ampliarse a dos veces por semana. Si la tendencia continua, el espaciamiento puede ampliarse a una vez por semana hasta que la velocidad de deformación sea menor a 0.10 mm/semana. Cuando esto ocurra, las mediciones podrán suspenderse.

5.- Las nivelaciones en el punto superior de los extensómetros instalados, así como en los bancos de nivel, se realizarán una vez al día mientras el frente de excavación del túnel esta entre los tres diámetros anteriores y los tres posteriores a la sección de instrumentación; una vez cada semana en el siguiente avance de tres diámetros; una vez cada quince días en el siguiente avance de tres diámetros y una vez cada mes hasta el momento en que durante cuatro semanas consecutivas no se aprecien variaciones de consideración en las lecturas.

6.- Todas las lecturas en los instrumentos y dispositivos se interrumpirán tres meses después de haber terminado las labores de construcción -

en la ubicación de la zona instrumentada.

III. INSTALACION, OBSERVACIONES E INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES

1.- INSTALACION

Los instrumentos serán instalados por personal especializado en estas actividades. Es fundamental que el constructor colabore con el instrumentista en el cuidado de los instrumentos para evitar que sean dañados desde el momento en que son colocados en la obra hasta la entrega de esta al cliente.

2.- OBSERVACIONES

Todos los instrumentos que se instalen, deberán ser observados para vigilar su estado y tomar lecturas en ellos desde el momento en que se termine su instalación.

3.- INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES

El instrumentista deberá interpretar los

registros de las mediciones a fin de reportar solo la magnitud de los parámetros que se especifica medir. La interpretación completa requiere de la colaboración del proyectista y trabajo conjunto con el instrumentista para establecer la final comparación entre las magnitudes predichas en el análisis y diseño y aquellos registrados en las mediciones.

IV. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS DE LA MEDICION.

La información resultante del análisis de las lecturas realizadas en los diferentes instrumentos y dispositivos, se dará a conocer oportunamente por la compañía instrumentista al personal encargado de la dirección, construcción, supervisión, y al proyectista de la obra, para tal efecto, se enviarán informes diarios, semanales y mensuales.

IV.1. INFORME DIARIO.

En el informe diario se dará a conocer en forma resumida, a las residencias de las organizaciones antes mencionadas, la información de todos los instrumentos que a juicio de la compañía instrumentista, presenten alguna deformación o velocidades de deformación importantes.

IV.2. INFORME SEMANAL.

Se deberán presentar cada semana gráficas tiempo-deformación con los resultados actualizados de las condiciones realizadas en los instrumentos.

IV.3. INFORME MENSUAL.

Se presentará un reporte mensual de la información recabada en campo debidamente correlacionada, procesada y analizada, con conclusiones y recomendaciones.

V. UBICACION DE LAS SECCIONES DE INSTRUMENTACION.

Las secciones que se deberán instrumentar se localizarán en sitios que se han seleccionado a lo largo de los tramos, de tal manera que al efectuar las mediciones se cumpla satisfactoriamente con el propósito de esta instrumentación, de esta manera las secciones de instrumentación se localizarán en los cadenamientos que a continuación se enlistan :

SECCIONES DE CONVERGENCIA

No. DE SECCION	CADENAMIENTOS
1	17+730.000
2	17+760.000
3	17+830.000
4	17+850.000
5	17+910.000
6	17+995.000
7	18+200.000
8	18+240.000
9	18+290.000
10	18+400.000
11	18+440.000
12	18+630.000
13	18+702.000
14	18+770.000
15	18+107.918

16	(A LA MITAD DE LA LONGITUD DEL TUNEL DE NICHÓ DE SUB-ESTACION). 18+141.618
17	A LA MITAD DE LA LONGITUD DEL TUNEL DE NICHÓ DE SUB-ESTACION). (A LA MITAD DE LA LONGITUD DEL TUNEL DE NICHÓ PARA -- P.R. UBICADO EN EL TUNEL DE VENTILACIÓN LOCALIZADO EN EL CAD" 18+124.765).

EXTENSOMETROS.

No. DE EXTENSOMETRO

CADENAMIENTOS

E-1	17+730.000
E-2	17+830.000
E-3	18+000.000
E-4	18+417.000
E-5	18+725.000

NIVELACIONES SUPERFICIALES.

No. DE PUNTO

TIPO DE SECCION

CADENAMIENTOS

-	SOBRE E-1	17+730.000
-	TRANSVERSAL	17+735.000
-	TRANSVERSAL	17+760.000
1	LONGITUDINAL	17+760.000
2	LONGITUDINAL	17+790.000
-	TRANSVERSAL	17+820.000
-	SOBRE E-2	17+830.000
-	SOBRE E-3	18+000.000
-	TRANSVERSAL	18+002.000
3	LONGITUDINAL	18+030.000
4	LONGITUDINAL	18+060.000
5	LONGITUDINAL	18+090.000
6	LONGITUDINAL	18+120.000
-	TRANSVERSAL	18+263.000
7	LONGITUDINAL	18+340.000
8	LONGITUDINAL	18+370.000
9	LONGITUDINAL	18+400.000

No. DE PUNTO	TIPO DE SECCION	CADENAMIENTOS
-	SOBRE E-4	18+417.000
-	TRANSVERSAL	18+420.000
-	TRANSVERSAL	18+440.000
10	LONGITUDINAL	18+460.000
11	LONGITUDINAL	18+490.000
12	LONGITUDINAL	18+520.000
13	LONGITUDINAL	18+550.000
14	LONGITUDINAL	18+580.000
15	LONGITUDINAL	18+600.000
16	LONGITUDINAL	18+650.000
-	TRANSVERSAL	18+700.000
-	SOBRE E-5	18+725.000
17	LONGITUDINAL	18+760.000

Además de la instrumentación indicada en los párrafos anteriores, se deberán colocar palomas en los paramentos de las construcciones aledañas al tramo, con el fin de controlar los posibles movimientos que pudieran sufrir las excavaciones. Estas palomas se colocarán a cada 10.0 m de distancia entre sí y a 1.0 m de altura sobre el nivel de banquetas; la ubicación exacta se indica en las figuras Nos. 32, 33, 34, 35, 36, 37 y 38.

La frecuencia de lecturas en las palomas será una vez al día, mientras el frente de la excavación del túnel este entre los tres diámetros posteriores a la ubicación de las palomas; una vez cada semana en el siguiente avance de tres diámetros; una cada quince días en los siguientes tres diámetros y una vez cada mes hasta que las gráficas tiempo-deformación tengan una franca tendencia a la estabilidad.

RECURSOS UTILIZADOS PARA LA EXCAVACION DEL TUNEL.

De suma importancia resultan los recursos humanos y mecánicos que se utilizan en la excavación y revestimiento definitivo del túnel.

MANO DE OBRA.

El personal de campo o mano de obra que se requiere para la realización de los trabajos se divide por cuadrillas, cada una de las cuales desarrolla una actividad específica para que se cumpla el ciclo de avance del escudo.

Las cuadrillas de trabajo utilizadas por turno son -- las siguientes:

Excavación del Túnel:

- 1 Cabo de excavación.
- 1 Operador de escudo con su ayudante.
- 6 Perforistas con sus ayudantes.
- 2 Operadores de traxcavo 955-L con sus ayudantes.
- 3 Operadores de locomotora, con sus ayudantes.

Colocación de dovelas en el escudo:

- 1 Cabo de maniobras.
- 4 Maniobristas con sus ayudantes.
- 3 Soldadores con sus ayudantes.

Suministros al túnel, manto del producto de excavación desde superficie, y acarreo del mismo tiro.

- 1 Cabo de maniobras.
- 3 Maniobristas.
- 6 Ayudantes de maniobrista.
- 1 Operador de motogrúa hidráulica con su ayudante.
- 1 Operador de Malacate eléctrico con su ayudante.
- 10 Operadores de camión de volteo.

Recepción de suministros y manto de producto de excavación bajo Lumbrea :

- 1 Cabo de maniobras.
- 3 Maniobristas con sus ayudantes.

Colocación de instalaciones en el túnel (Vías y Tuberas):

- 1 Cabo de maniobras.
- 4 Maniobristas con sus ayudante.
- 1 Soldador con su ayudante.

Colado en la zona de expansión de las dovelas :

- 1 Cabo de Albañilería.
- 4 Albañiles
- 1 Operador de revoladora de concreto
- 3 Ayudantes generales.

Inyección de contacto :

- 1 Cabo de maniobras.
- 1 Operador de motogrúa hidráulica con su ayudante.
- 2 Maniobristas con sus ayudantes.

Como apoyo a las cuadrillas de producción antes mencionadas se necesitan otras cuadrillas de servicios, las -- cuales son las siguientes :

Taller Mecánico :

- 1 Cabo de mecánicos.
- 2 Mecánicos diesel con sus ayudantes.
- 2 Mecánicos de aire comprimido con sus ayudantes.
- 1 Electromecánico.
- 1 Soldador con su ayudante.

Taller Eléctrico:

- 1 Cabo de electricistas.
- 2 Electricistas con sus ayudantes.

Taller de Carpintería:

2 Carpinteros con sus ayudantes.

Taller de Soldadura:

1 Cabo de soldadores.

1 Soldador con su ayudante.

1 Herrero con su ayudante.

Topografía en Túnel (Control del escudo):

1 Auxiliar de topógrafo.

3 Cadeneros.

Topografía en superficies (Nivelaciones):

1 Auxiliar de topógrafo.

3 Cadeneros.

Operación de equipos para servicios generales:

2 Operadores de camión plataforma (Transporte de -
dovelas) con sus ayudantes.

1 Operador de camión plataforma con grúa HIAB (ser
vicios varios y maniobras) con su ayudante.

1 Operador de camioneta 3.5 tons. (servicios varios)

1 Operador de camioneta 1.5 tons. (servicios varios)

1 Operador de compresor estacionario.

1 Operador de bombas hidráulicas.

El personal técnico que se encarga de controlar y di-
rigir al personal de campo es el siguiente:

1 Superintendente de Obra.

1 Jefe de Obra Civil.

1 Jefe de Obra de Máquinaria.

1 Jefe de Frente Civil.

1 Jefe de Frente de Máquinaria.

1 Topógrafo General.

- 1 Sobrestante General.
- 1 Sobrestante de Túnel.
- 1 Sobrestante de Inyecciones.
- 1 Sobrestante Mecánico.
- 1 Sobrestante Eléctricista.
- 1 Sobrestante Soldador.

MAQUINARIA.

El equipo necesario para el buen desarrollo de los trabajos en las diferentes etapas del procedimiento - constructivo es el siguiente:

Excavación del Túnel:

1 Escudo de frente abierto	9.15 m Ø
6 Martillos neumáticos.	Tex - 11
2 Cargadores sobre orugas con descarga lateral	CAT 955-L
3 Locomotoras diesel	PLYMOUTH
12 Vagonetas montadas sobre truck	6 yds. ³

Colocación de dovelas en el escudo:

3 Trucks para dovela (Góndola)	
3 Plantas de soldar eléctricas	CHAMPION
3 Gatos Hidráulicos.	50 TON.

Suministros al túnel, manteo del producto de excavación, desde superficie y acarreo del mismo al túnel.

1 Motogrúa hidráulica.	22 TONS.
1 Malacate eléctrico.	100 TONS.
2 Skip's	6 yds. ³

1 Torre de Manteo Inglesa	h-25 ml.
2 Tolvas de almacenamiento.	50 m ³ .
10 Camión de volteo.	8 m ³ .

Recepción de suministros y manto del producto de -
excavación bajo lumbrera :

1 Malacate neumático.	1.5 TONS.
2 Vagonetas sin truck.	3 Yds. ³
2 truck's para vagoneta.	

Colocación de instalaciones en el túnel (vías y tuberías) :

1 Planta de soldar eléctrica.	CHAMPION
8 Ventiladores para túnel.	36 " 0

Colado en zonas de expansión de las dovelas:

1 Revolvedora de concreto.	2 sacos.
4 Vibradores de inmersión neumáticos.	1 1/2" 0

Inyección de contacto:

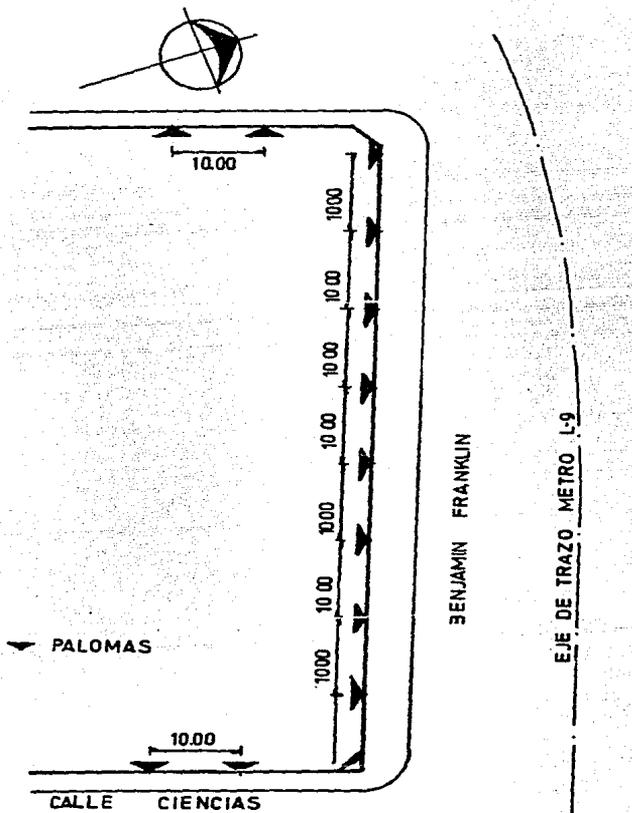
4 Agitadores de lechada.	
4 Bombas de gusano.	MOYNO 3L-10
1 Tanque para bentonita	10,000 Lts.
1 Tanque para agua.	15,000 Lts.
1 Bomba centrífuga	BARNES.
1 Criba vibratoria	

Suministro de dovelas desde la planta de fabricación:

1 Motogrúa hidráulica	22 TONS.
2 Camiones plataforma	20 TONS.

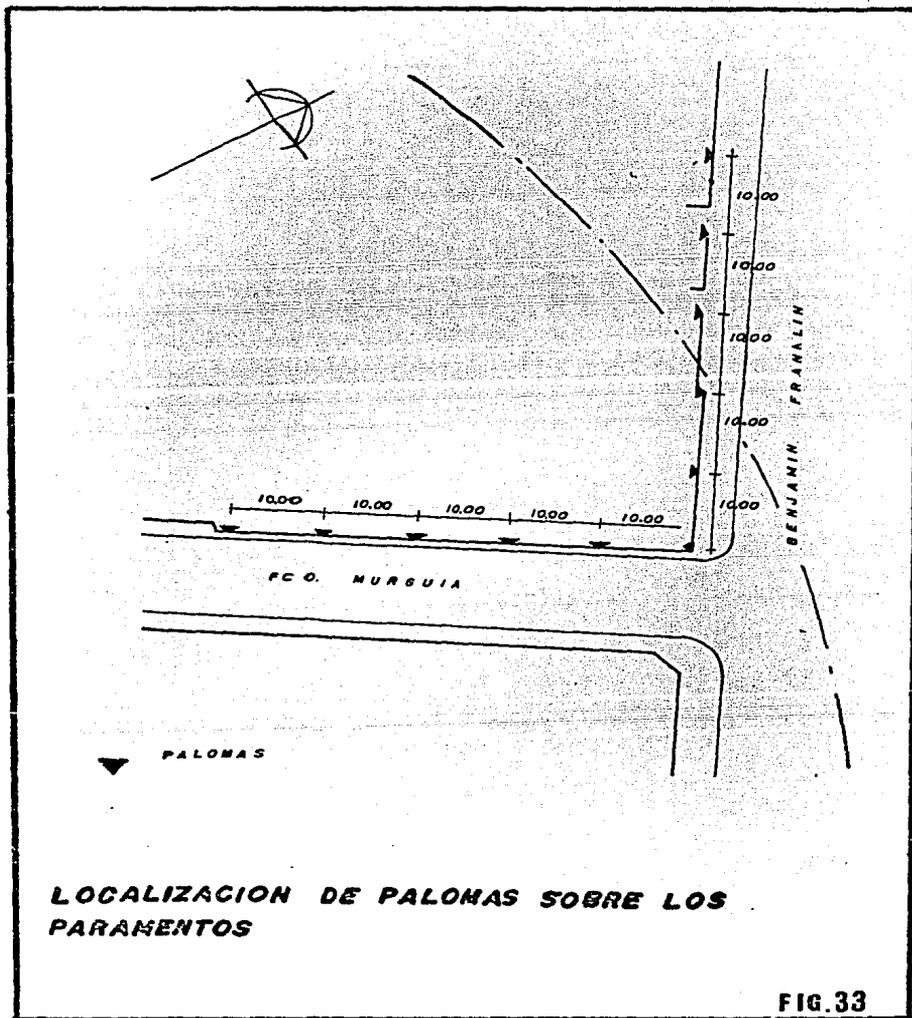
Servicios de apoyo a la producción:

2 Plantas de soldar eléctricas.	CHAMPION
1 Sierra circular eléctrica.	
1 Camión plataforma con grúa HIAB	15 TONS.
1 Camioneta estacas	3.5 TONS.
1 Camioneta Pick-up	1.5 TONS.
3 Compresores estacionarios	600 PCM.
4 Bombas hidráulicas	5,000 lbs-plg ²
1 Planta generadora	310 KVA.
1 Subestación eléctrica	



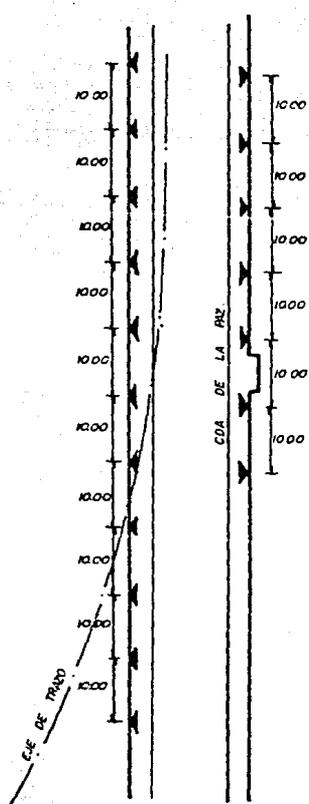
LOCALIZACION DE PALOMAS SOBRE LOS PARAMENTOS

FIG. 32



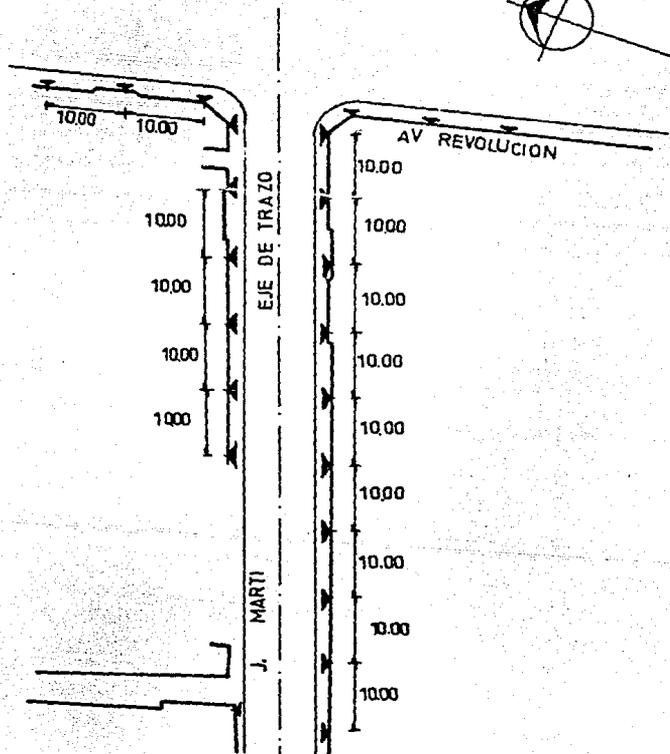
**LOCALIZACION DE PALOMAS SOBRE LOS
PARAMENTOS**

FIG.33



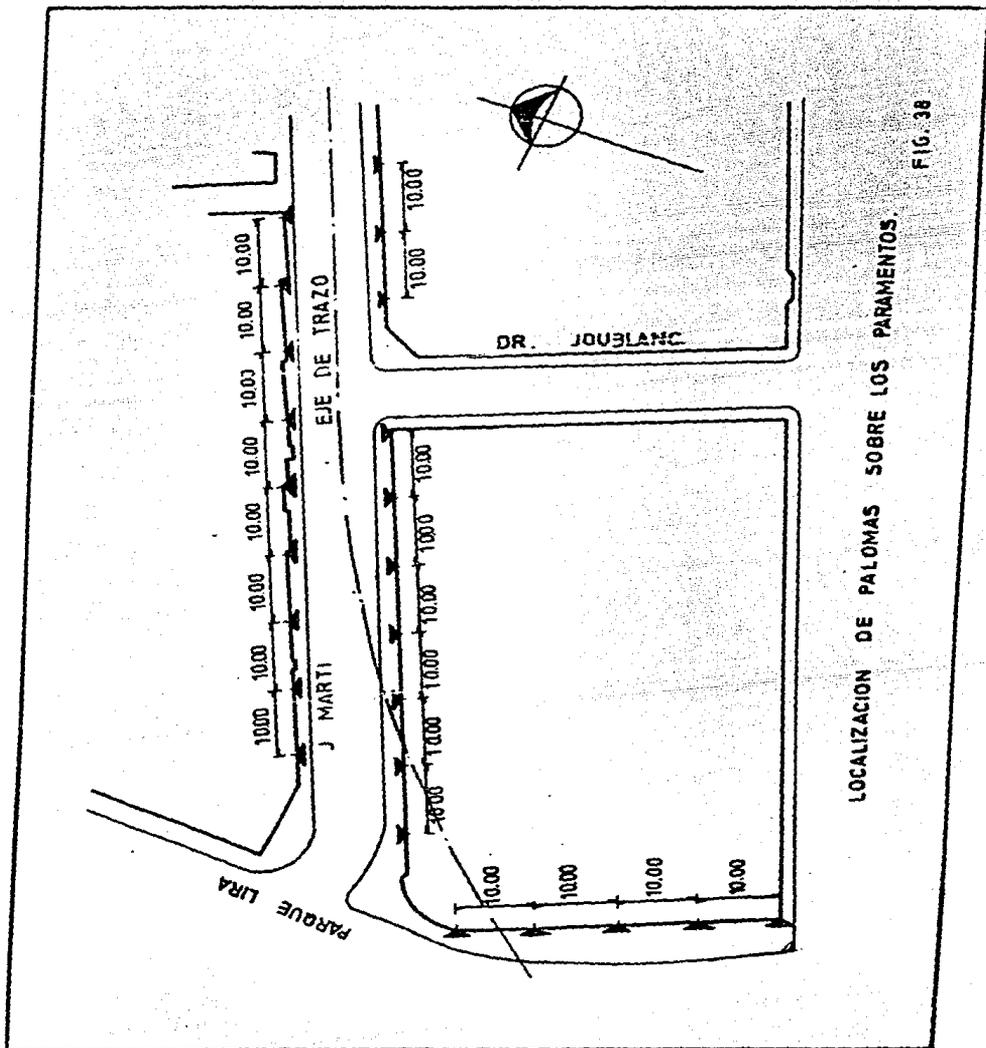
LOCALIZACION DE PALOMAS SOBRE LOS PARAMENTOS

FIG. 35



LOCALIZACION DE PALOMAS SOBRE LOS PARAMENTOS

FIG. 37



LOCALIZACION DE PALOMAS SOBRE LOS PARAMENTOS.

FIG. 38

INSTALACIONES

Las instalaciones necesarias para el buen funcionamiento de los trabajos de excavación de túnel con escudo de frente abierto; pueden dividirse en dos tipos: exteriores e interiores.

Instalaciones Exteriores.

3 compresores estacionarios con motor eléctrico de 600 ft³/min. de capacidad c/u.

Estos compresores se conectan a un manófull de 25" de diámetro, el cual a su vez se conecta a un tanque regulador (recipiente) de 4 m³ de capacidad. La presión de trabajo del aire comprimido es de 90-110 lbs/in².

Del tanque regulador, después de una válvula de compuerta, sale una línea de 6" de diámetro de tubería de acero que va al túnel.

Subestación eléctrica que recibe corriente a 23,000 volts y la transforma a 440 volts para los motores y a 220 volts para el alumbrado.

Torre de Manteo inglesa y malacate eléctrico de doble tambor con capacidad de 50 ton. para izar dos Skip's alternadamente de 4.5 m³., los cuales extraen el material producto de excavación del túnel a la superficie. Incorporadas a la torre de Manteo se cuenta con dos tolvas de almacenamiento de la rezaga de 50 m³ c/u. Dichas tolvas cuentan con un mecanismo de compuerta pa-

ra permitir la carga del material a los camiones de volteo, los cuales transportan la rezaga a las zonas de tiro.

4 bombas hidráulicas marca ELGOOD con capacidad nominal de 10,000 lbs/in². accionadas con motor eléctrico de 20 H.P.

Estas bombas alimentan a todos los sistemas hidráulicos del escudo en el túnel. Desde la caseta de bombas en superficie se instalan 2 líneas de tubería de acero - cédula 80 hasta el frente de trabajo. Una de ellas es de alimentación al escudo de 2" de diámetro y la otra de retorno a las bombas de 1" de diámetro.

Planta generadora estacionaria de 125 KVA, de capacidad, la cual opera cuando sucede un corte de energía en la red municipal que alimenta a la subestación eléctrica. Cabe mencionar que la capacidad del equipo se determinó para que funcione como mínimo el alumbrado y la ventilación del túnel.

Tanque de almacenamiento para agua con capacidad de 15,000 lbs., para ser utilizada en la preparación de mezclas para la inyección de contacto en túnel.

Tanque de almacenamiento para bentonita hidratada con capacidad de 10,000 lbs. para ser utilizada en la preparación de mezclas para la inyección de contacto en túnel.

Tanque de almacenamiento para diesel con capacidad de 10,000 lts. para el suministro de los equipos de combustión empleados en la obra.

Artezas cubiertas para el almacenamiento de agregados (grava y arena) utilizados en el colado de la zona de expansión de los anillos colocados como revestimiento definitivo en el túnel.

Planta de dosificación y preparación de las mezclas para la inyección de contacto en túnel. Se cuenta con un agitador de lechada y una bomba MOYNO 31-10 accionadas por motores eléctricos. Desde la bomba se instala una línea de tubería galvanizada de 2" de diámetro que transporta la mezcla al túnel a través de la lumbrera de acceso. Anexo a la planta de mezclado se instaló el almacén de cemento y bentonita envasado en sacos.

Motogrúa hidráulica de 22 ton. de capacidad, la cual suministra dovelas y materiales en general al interior de la Lumbrera, para su posterior utilización en el túnel.

2 ventiladores para túnel de 36" de diámetro, las cuales suministran aire puro a presión al interior del túnel, a través de la lumbrera para mantener adecuado el ambiente de trabajo en el frente

Talleres de soldadura, carpintería, mecánica y electricidad, los cuales prestan los servicios necesarios a la obra.

Vestidores para el personal de campo, acondicionados con los servicios sanitarios que se requieran para el gran número de trabajadores existentes.

Almacén general de materiales varios y refacciones para los equipos de la obra. Cuenta con un patio techado y cercado en el cual se almacenan lubricantes y materiales que por su tamaño no se pueden guardar en el interior del almacén.

Oficinas técnico-administrativas de obra.

Oficina técnica y laboratorio para el personal de Supervisión de la Obra.

Instalaciones Interiores

Alcancías y tolvas en el fondo de Lumbrera, para la carga de los Skip's del sistema de manteo, de la rezaga producto de la excavación del túnel.

Estructura metálica para el volteo de vagonetas en la zona de las alcancías y tolvas en el fondo de la Lumbrera. El volteo se efectúa utilizando un malacate neumático de 2 tons. de capacidad y una polea fija en la estructura metálica.

Vías con riel de 58 lbs./yda. a lo largo de todo el túnel, para la movilización de la rezaga del frente de trabajo a la lumbrera, así como también se utiliza va-

ra llevar las dovelas y materiales varios de la Lumbre-
ra al frente de trabajo.

Líneas eléctricas de fuerza para los motores de los
equipos de túnel (ventiladores, revolvedora de concre-
to, agitadores de lechada, bombas MOYNO, etc.), y el a-
lumbrado del mismo.

2 líneas de tubería de 36" de diámetro para la venti-
lación del frente de trabajo. Se comunican con los ven-
tiladores instalados en superficie y a lo largo del tú-
nel se instalaron parejas de ventiladores a cada 150 mts
para mantener constante el volúmen y la presión del aire
inyectado al frente.

Línea de tubería de acero de 6" de diámetro que con-
duce el aire comprimido necesario para los martillos --
neumáticos en el frente de trabajo.

Líneas de aceite hidráulico (alimentación y retor-
no) para el funcionamiento de los sistemas del escudo
en el frente de trabajo. Cuando la longitud de dichas
líneas rebasa los 500 mts. se produce una gran pérdida
de presión, y por lo tanto es necesario instalar las -
bombas en el interior del túnel aproximadamente a los -
500 mts. de la lumbre.

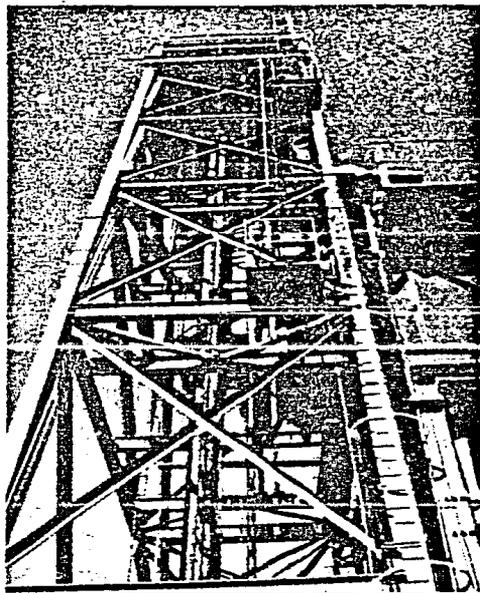
Línea de tubería galvanizada de 2" de diámetro que -
conduce las mezclas para la inyección de contacto del -
túnel. Con el fin de evitar que los sólidos de las mez-

clas se sedimenten, es necesario instalar estaciones de rebombeo a cada 300 mts. en el interior del túnel.

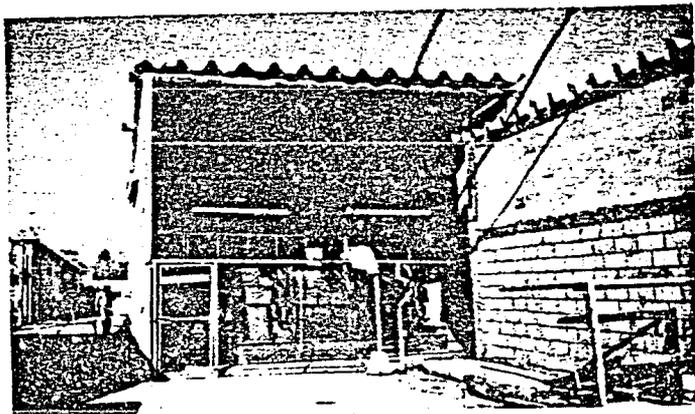
Línea de tubería galvanizada de 2" de diámetro que conduce agua potable, necesaria para la elaboración del concreto para el colado de las zonas de expansión de los anillos colocados en el túnel. Esta línea se deriva directamente de la red municipal hasta la lumbrera y de ahí al interior del túnel.

Estación para la elaboración del concreto necesario para el colado de las zonas de expansión de los anillos colocados en el túnel. Se cuenta con una revolvedora de concreto con capacidad de 2 sacos de cemento, accionado por motor eléctrico.

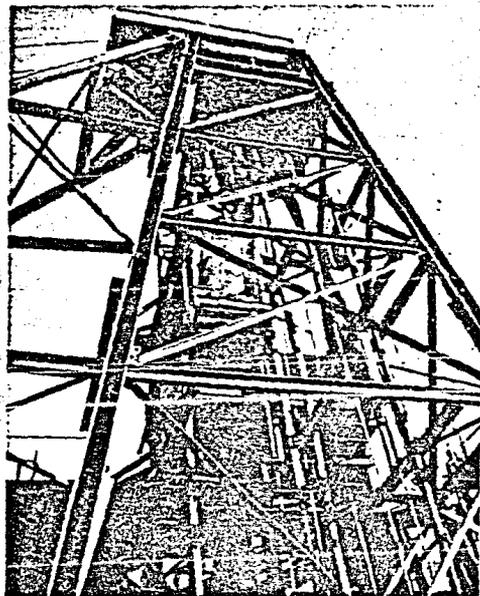
Lámparas fluorescentes tipo industrial a cada 8 mts. para el alumbrado. Cada lámpara cuenta con 2 tubos de 74 watts a 220 volts.



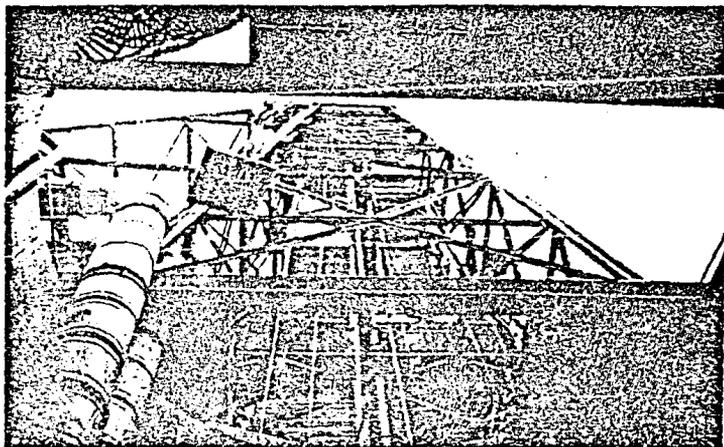
TORRE DE MANTEO.



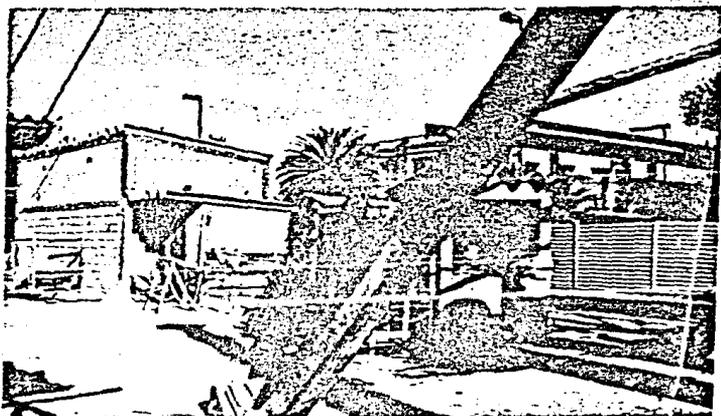
MALACATE DE MANTEO.



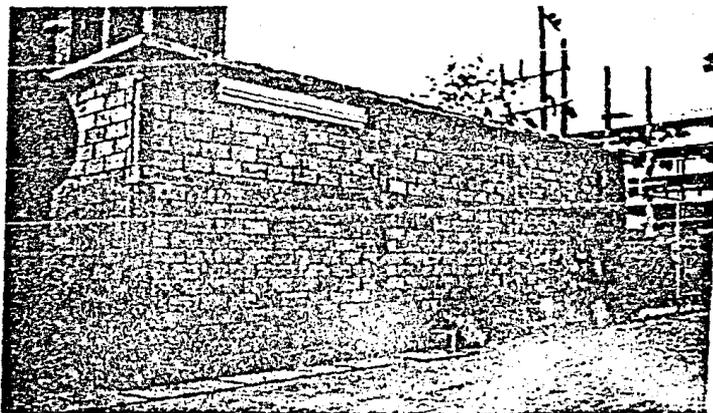
TORRE DE MANTEO, NOTESE UN SKIP.



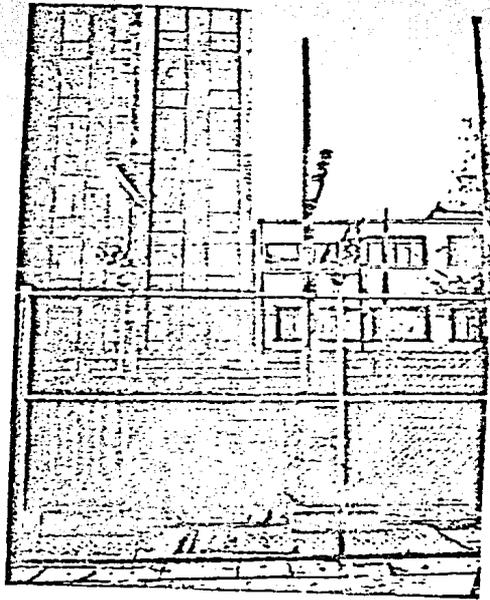
TORRE DE MANTEO, NOTESE LAS LINEAS DE VENTILACION.



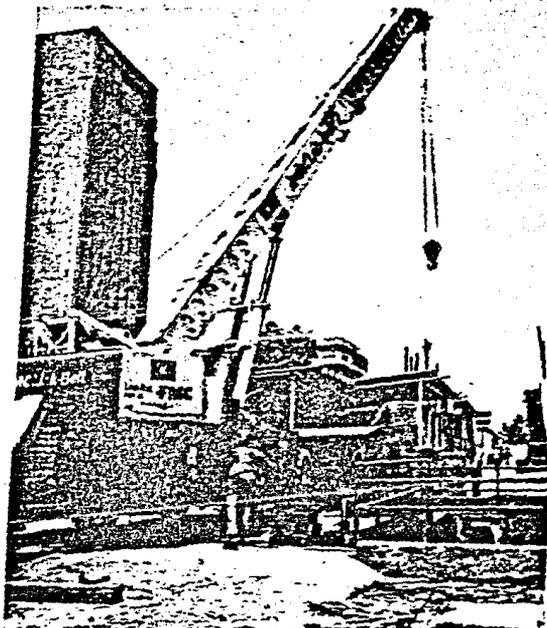
CASSETAS DE PLANTA GENERADORA Y VIGILANCIA.



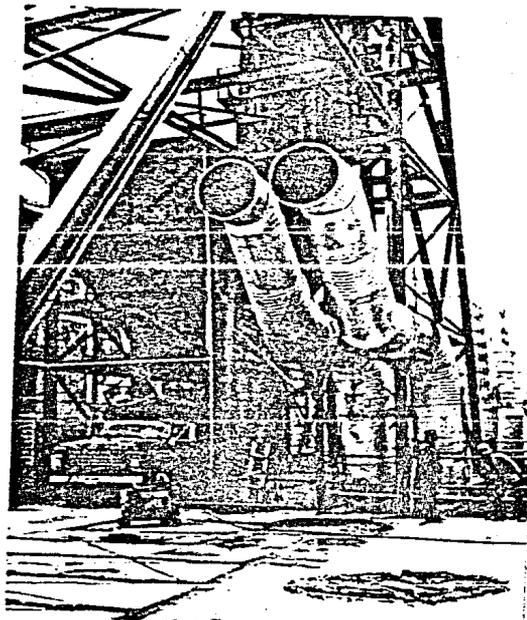
SALA DE COMPRESORES ESTACIONARIOS.



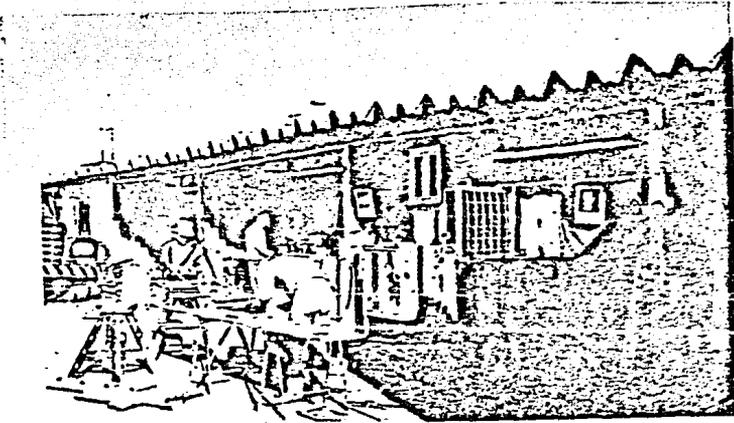
SUBESTACION ELECTRICA.



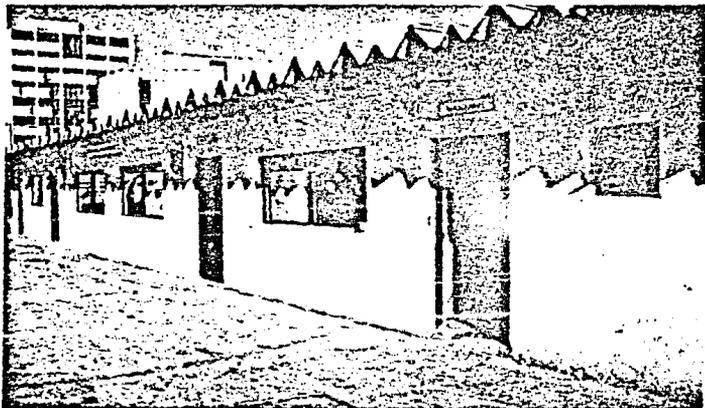
MOTOGUÍA HIDRAULICA PARA EL SUMINISTRO
DE DOVELAS Y MATERIALES EN GENERAL.



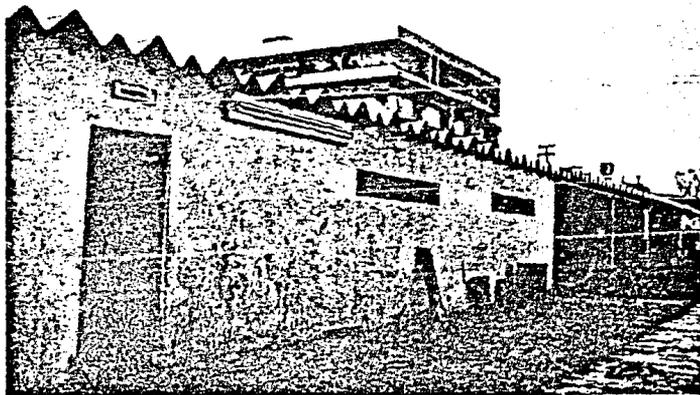
TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE REZAGA Y
TUBERIAS DE VENTILACION 36" Ø EN SU-
PERFICIE. APARECE TAMBIEN LA TORRE
DE MANTEO.



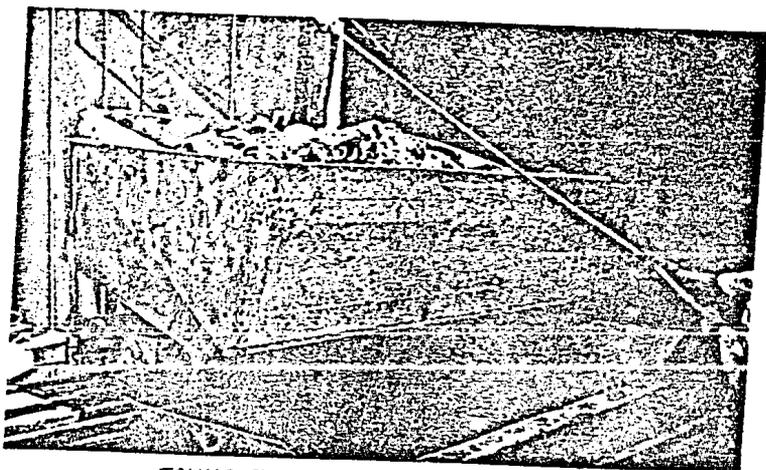
TALLERES DE ELECTRICIDAD, MECANICA, SOLDADURA Y CARPINTERIA.



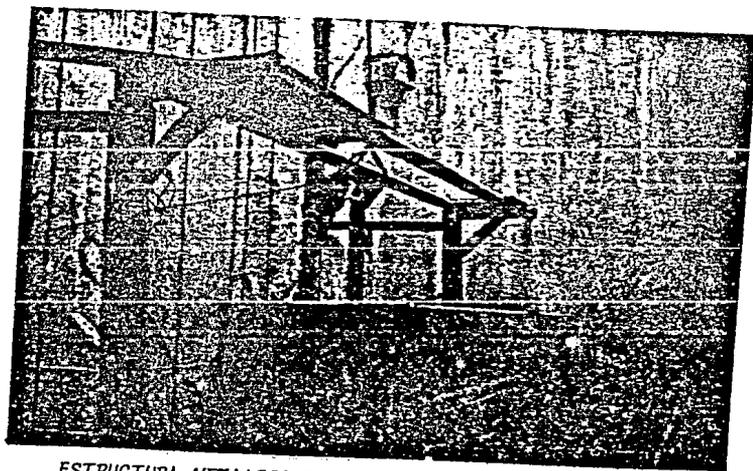
OFICINAS TECNICO - ADMINISTRATIVAS.



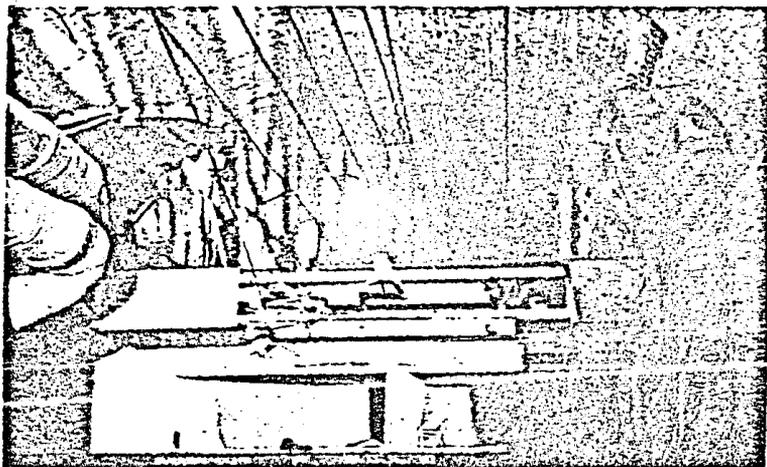
VESTIDORES DEL PERSONAL DE CAMPO Y PATIO DE
ALMACEN TECHADO Y CERCADO.



TOLVAS EN EL FONDO DE LUMBRERA.



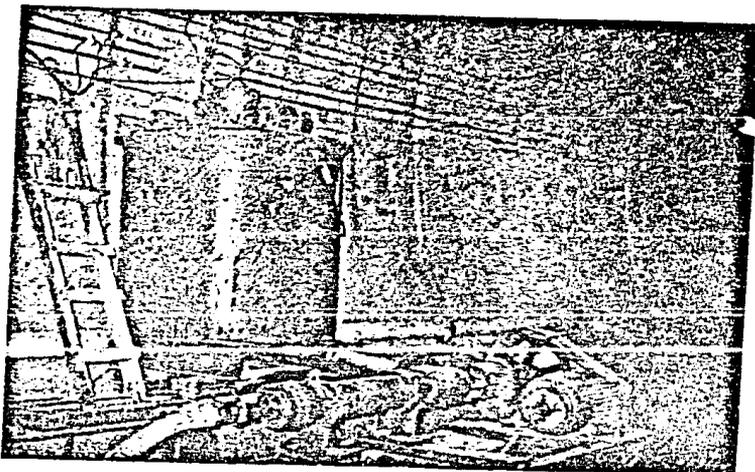
ESTRUCTURA METALICA PARA EL VOLTEO DE VAGONETAS
EN FONDO DE LUMBRERA.



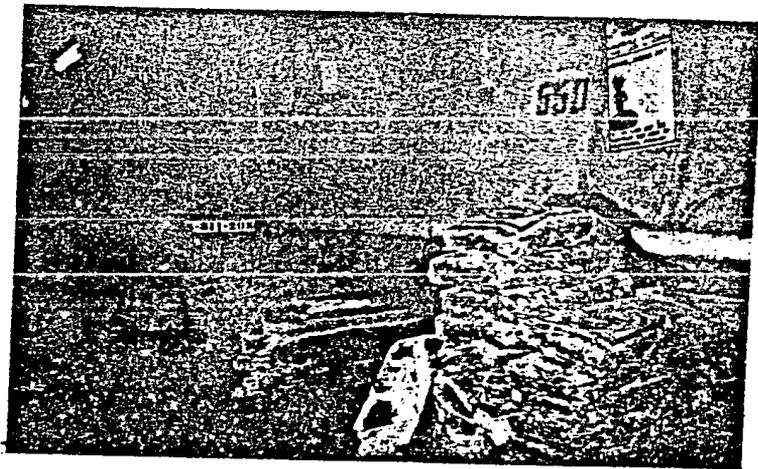
ALCANCIAS Y TOLVAS BAJO LUMBRERA.



LÍNEA DE 6" Ø PARA AIRE COMPRIMIDO Y DE 2" Ø
PARA LAS MEZCLAS DE INYECCIÓN Y AGUA POTABLE
EN EL INTERIOR DEL TUNEL.



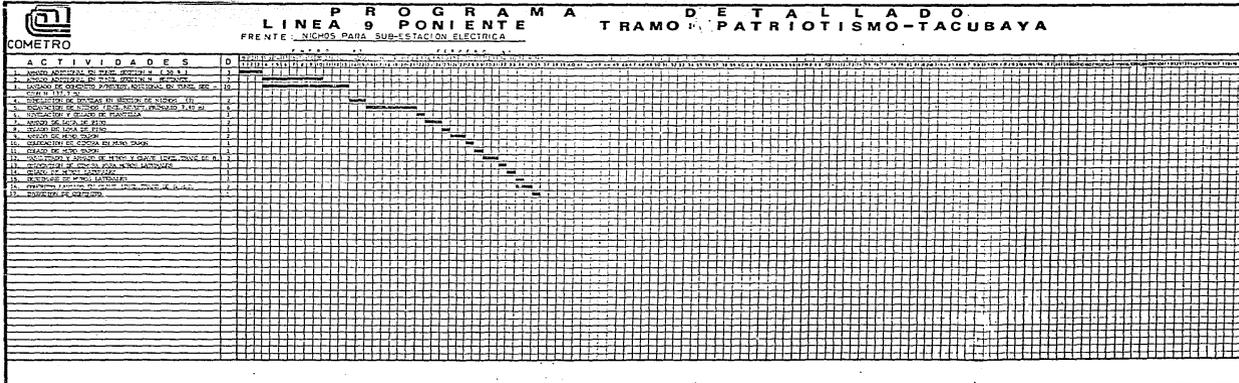
ESTACION PARA REBOMBEO DE LAS MEZCLAS PARA
LA INYECCION DE CONTACTO.

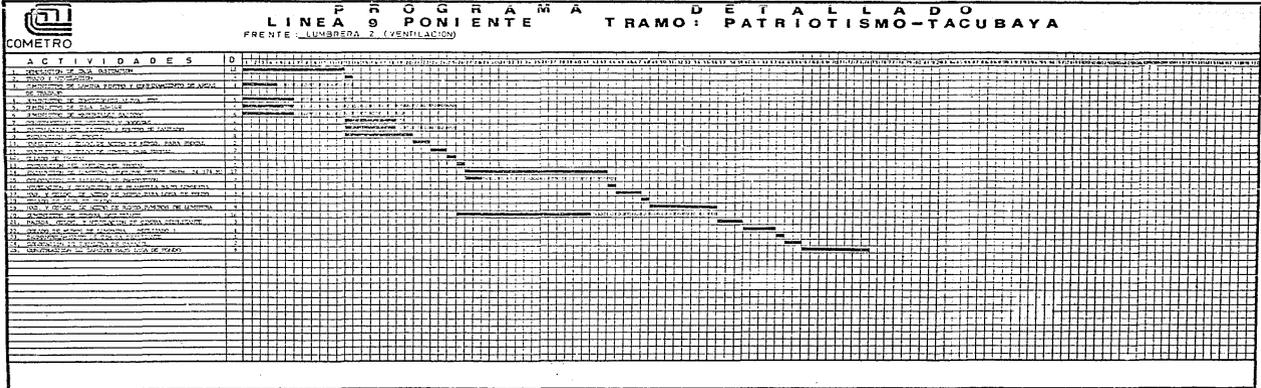


ESTACION PARA LA FABRICACION DE CONCRETO EN
ZONAS DE EXPANSION.

CAPITULO VI

PROGRAMAS DE OBRA.





CAPITULO VII

PROBLEMAS PRESENTADOS Y SOLUCIONES DADAS EN LA EJECUCION
Y DESARROLLO DE LA OBRA.

PROBLEMAS PRESENTADOS Y SOLUCIONES DADAS EN LA EJECUCION
Y DESARROLLO DE LA OBRA.

DESVIACIONES TOPOGRAFICAS.

Para tener referencias en el interior del túnel, que facilitan la verificación del trazo y elevación reales del mismo, por el método directo (tránsito y nivel), se construyeron "mojoneras", las cuales deben cumplir con un empotramiento mínimo en el terreno de apoyo, de aproximadamente 1.00 m, lo anterior es con el fin de que sean inamovibles al paso del tránsito de los equipos de carga y acarreo del producto de la excavación.

Por error, una de estas "mojoneras" se construyó con un empotramiento de solo 0.30 m, lo cual provocó que dicho elemento se moviera sin que el personal de topografía se percatara de ello, y por lo tanto continuará utilizando ese punto como apoyo al control topográfico del túnel.

Al efectuar una orientación giroscópica en el interior del túnel para ubicar el rumbo real del trazo y así compararlo con el de proyecto, resultó que el túnel sufrió una desviación gradual a la derecha del eje de proyecto entre los cadenamientos 18+401.989 y 18+459.307 de 0.60 mts., lo cual obligó a plantear una solución inmediata para incorporar el trazo real al de proyecto, sin causar problemas al proyecto de implantación de vías de rodamiento de los convoy's, el cual

tiene limitaciones en cuanto al radio de curvatura de trazo, que esta directamente relacionado con la velocidad de desplazamiento de los trenes del metro.

La solución a este problema consistió en desarrollar en una longitud de 88.793 metros dos curvas simétricas y de sentido contrario.

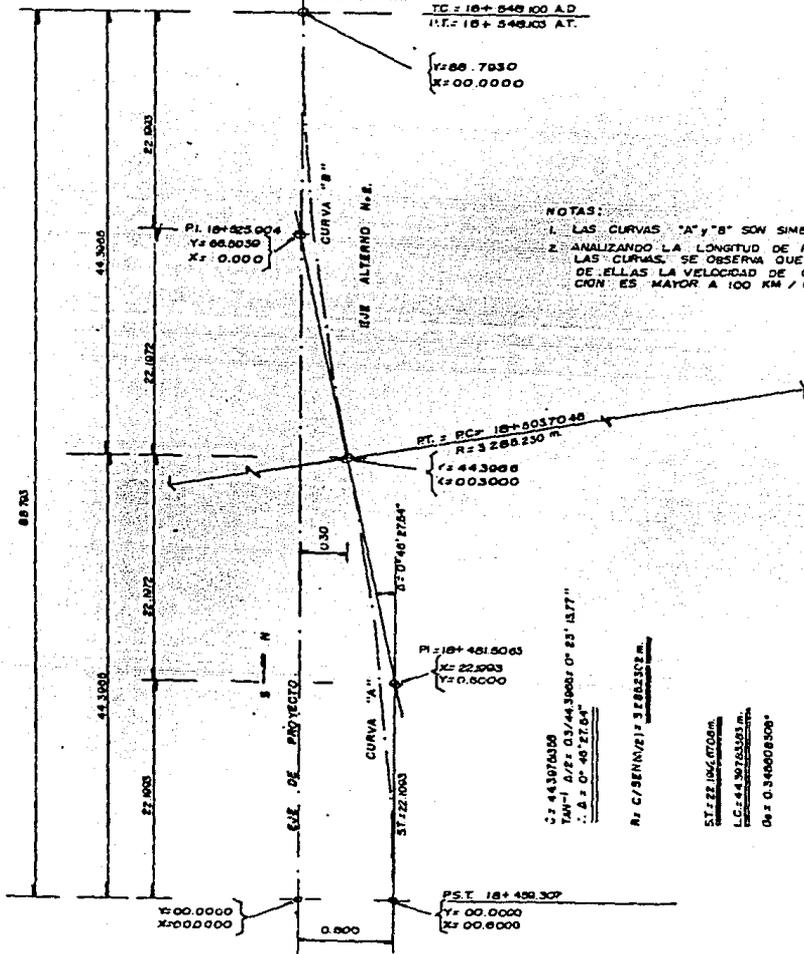
La curva "A" fué de sentido izquierdo con un radio de curvatura de 3,285.23 metros, una Δ de $0^{\circ}46'27.54''$ y una $ST= 22.1993$. Esta curva corrigió 0.30 metros del error en el alineamiento, en 44.3965 metros a partir de cad. 18+459.309

La curva "B" fué de sentido derecho, ocurriendo el cambio de sentido de las curvas en el cad. 18+503.7048. Esta curva se proyectó con un radio de curvatura de 3,285.23 metros, una Δ de $0^{\circ}46'27.54''$ y una $ST= 22.1993$, con lo cual se corrigieron los otros 0.30 metros del error en el alineamiento en una distancia de 44.3965 metros, terminando dicha curva en el cad. 18+548.100

Para controlar en campo la incorporación al trazo de proyecto en cada empuje del escudo, se elaboró una tabla de desplazamientos teóricos, la cual se cumplió al pie de la letra, recuperando en forma adecuada la desviación cometida. Cabe mencionar que al analizar la longitud del radio de curvas propuestas, resultó que en ellas la velocidad de operación es de más de 100 kms/hora, con lo cual se logró el objetivo de no causar problemas a la implantación de vías de rodamiento del Metro.

El análisis para determinar las curvas, así como la tabla de desplazamientos teóricos en cada empuje del escudo se muestran en las figuras siguientes:

INCORPORACION CORRECTIVA AL TRAZO DE PROYECTO
 UTILIZANDO UNA BAYONETA CCV UN RADIO MAX. DE
 3285.23 m.



NOTAS:
 1. LAS CURVAS "A" Y "B" SON SIMÉTRICAS
 2. ANALIZANDO LA LONGITUD DE RADIO DE LAS CURVAS, SE OBSERVA QUE CENTRO DE ELLAS LA VELOCIDAD DE OPERACION ES MAYOR A 100 KM / HR.

TABLA DE DESPLAZAMIENTOS
TEÓRICOS

ESTACION	V	DESPLAZAM.	RESP. E. PROV. X	ESTACION	V	DESPLAZAM.	RESP. E. PROV. X
18+459.307	0.000		0.600	18+488	28.693		0.475
18+460	0.693		0.600	489	29.693		0.466
461	1.693		0.600	18+490	30.693		0.457
462	2.693		0.599	491	31.693		0.447
463	3.693		0.598	492	32.693		0.437
464	4.693		0.597	493	33.693		0.427
18+465	5.693		0.595	494	34.693		0.417
466	6.693		0.593	18+495	35.693		0.406
467	7.693		0.591	496	36.693		0.395
468	8.693		0.588	497	37.693		0.384
469	9.693		0.586	498	38.693		0.372
18+470	10.693		0.583	499	39.693		0.360
471	11.693		0.579	18+500	40.693		0.348
472	12.693		0.575	501	41.693		0.335
473	13.693		0.571	502	42.693		0.323
474	14.693		0.567	503	43.693		0.309
18+475	15.693		0.563	18+504	44.100		0.296
476	16.693		0.558	505	43.100		0.283
477	17.693		0.552	506	42.100		0.270
478	18.693		0.547	507	41.100		0.257
479	19.693		0.541	508	40.100		0.245
18+480	20.693		0.535	509	39.100		0.233
481	21.693		0.528	18+510	38.100		0.221
482	22.693		0.522	511	37.100		0.209
483	23.693		0.515	512	36.100		0.198
484	24.693		0.507	513	35.100		0.188
18+485	25.693		0.500	514	34.100		0.177
486	26.693		0.492	18+515	33.100		0.167
487	27.693		0.483	516	32.100		0.157

DISTANCIAS DEL EJE DEL ESCUDO RESPECTO DEL EJE DE TRAZO DE PROYECTO PARA CONFORMAR LA GEOMETRIA PROPUESTA EN LA ALTERNATIVA DE INCORPORACION.

ESTACION	y	DESPLAZAM.	RESP. E. PROV.	ESTACION	y	DESPLAZAM.	RESP. E. PROV.	
			X				X	
18+517	31.100	DISTANCIAS DEL EJE DEL ESCUDO RESPECTO DEL EJE DE TRAZO DE PROYECTO PARA CONFORMAR LA GEOMETRIA PROPUESTA EN LA ALTERNATIVA DE INCORPORACION.	0.147	18+525	23.100		0.081	
518	30.100		0.138	526	22.100		0.074	
519	29.100		0.129	527	21.100		0.068	
18+520	28.100		0.120	528	20.100		0.061	
521	27.100		0.112	529	19.100		0.056	
522	26.100		0.104	18+530	18.100		0.050	
523	25.100		0.096	531	17.100		0.045	
524	24.100		0.088	532	16.100		0.039	
				TC= 18+548.100		0.000	----	----

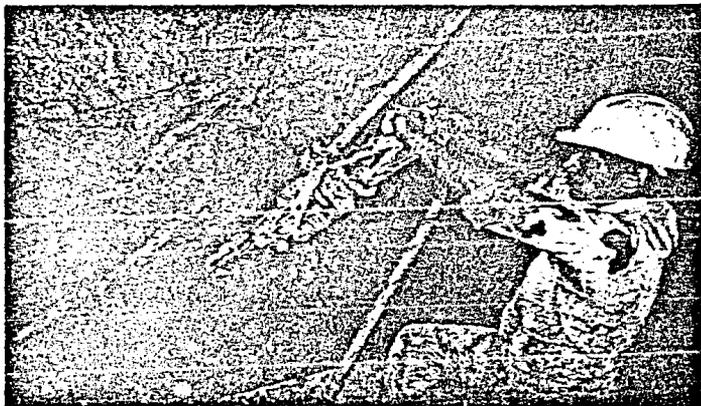
MATERIALES NO INDICADOS EN EL PERFIL ESTRATIGRAFICO DE PROYECTO.

A. - GRANDES BOLEOS.

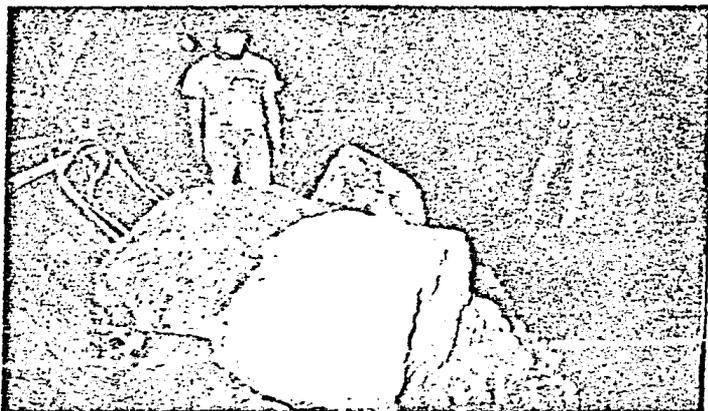
Entre los cadenamientos 18+308.00 y 18+624.00 aparecieron en la sección de excavación grandes bloques de roca, las cuales variaban en tamaño de 10 a 60 pulgadas de diámetro. Dichos bloques de roca se encontraron empacados en una matriz limo-arenosa bastante compacta.

Las condiciones de dureza que presentó el material obligaron a incrementar el número de martillos neumáticos utilizados en la excavación del frente de 6 a 8 máquinas, incrementándose también los costos, por el uso y operación de los equipos adicionales.

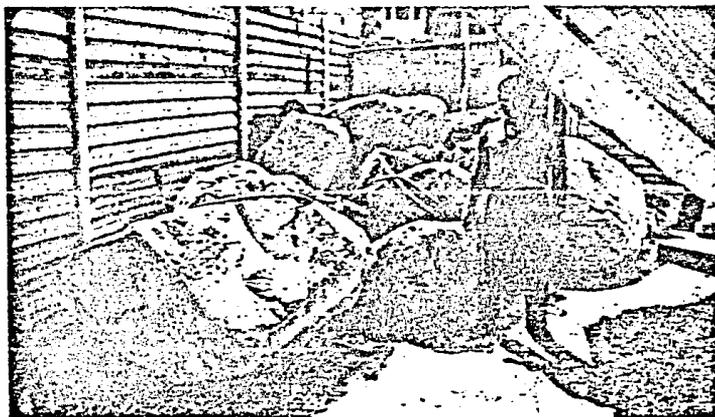
Cuando las rocas se encontraron dentro de la sección de excavación del túnel, se extraían completas lo que provocó ciertos problemas con las de gran tamaño (entre 40 y 60 pulgadas de diámetro), ya que la maniobra que debía realizar el traxcavo para cargarlas a las vagonetas era muy difícil. Inclusive hubo necesidad de amarrar con cable de acero las rocas, para retirarlas del frente de trabajo y posteriormente en una zona más libre hacer la maniobra de carga a las vagonetas.



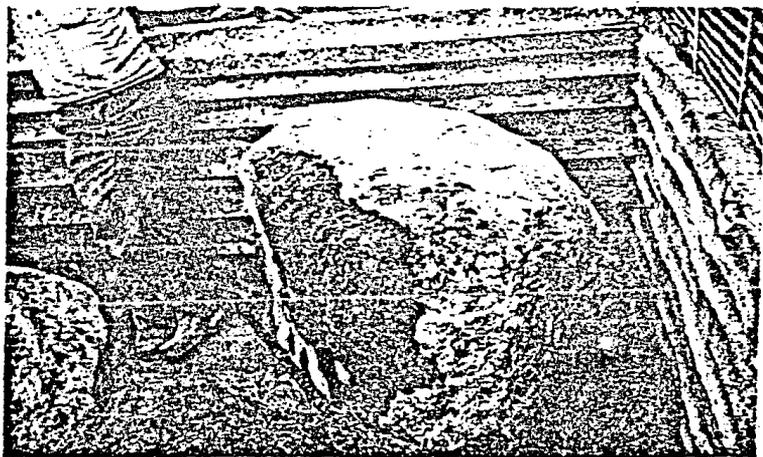
GRANDES BOLEOS ENCONTRADOS DURANTE LA EXCAVACION DEL TUNEL.



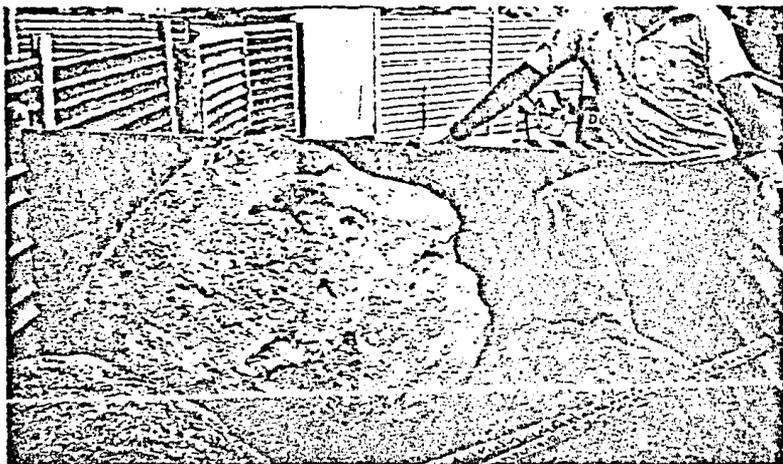
GRANDES BOLEOS ENCONTRADOS DURANTE LA EXCAVACION DEL TUNEL.



GRANDES BOLEOS ENCONTRADOS DURANTE LA EXCAVACION DEL TUNEL.



GRANDES BOLEOS ENCONTRADOS DURANTE LA EXCAVACION DEL TUNEL.



GRANDES BOLEOS ENCONTRADOS DURANTE LA EXCAVACION-
DEL TUNEL.

Como consecuencia de lo anteriormente descrito - la producción en la excavación del túnel decayó notablemente, ya que solamente se lograron colocar en promedio 4 anillos (3.20 ml. de excavación) por día, -- cuando la producción promedio antes y después de la zona problemática fue de 6 anillos (4.80 ml. de excavación).

En las páginas siguientes se muestran algunos - boleos encontrados durante la excavación del túnel.

ESTRATOS ARENOSOS INESTABLES

Aproximadamente desde el cadenamiento 18 + 400 hasta la terminación del túnel en el cadenamiento 18 + 778 se presentó gradualmente en la clave de la sección de excavación, un estrato de arena fina suelta, la cual tenía un nulo valor de soporte.

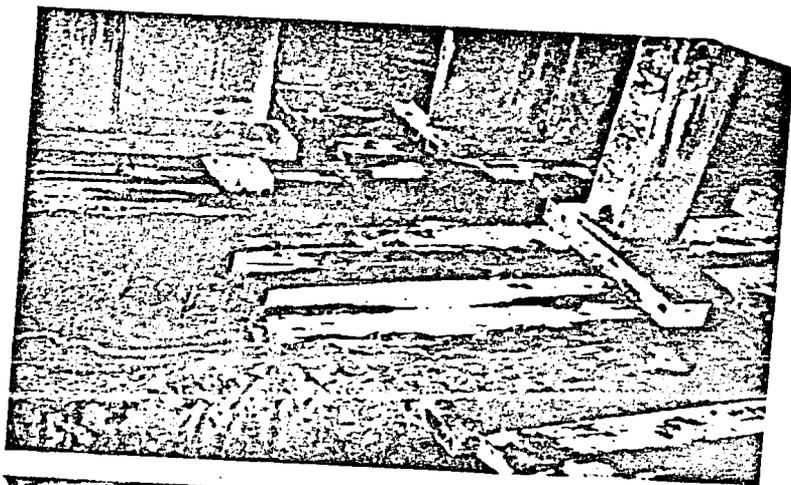
El espesor del estrato varió de cero en el cadenamiento 18 + 400 a 4 metros en la terminación del túnel, y su formación se debió probablemente a depósitos aluviales. Cabe mencionar que la cohesión en el material era de tal forma nula, que no era necesario el empleo de martillos neumáticos para la excavación de dicha sección, la cual se realizaba utilizando barras de acero y/o picos con mango.

La solución implementada para controlar la inestabilidad del frente del ataque, consistió en mantener totalmente cerrado el ademe de madera en la zona que comprendía el estrato arenoso, inclusive en los espacios que quedaban entre tablón y tablón se formaron tapones con papel de las bolsas de cemento a fin de evitar cualquier fuga de material que pudiera provocar que el frente se vaciara, y pusiera en peligro la seguridad de la obra.

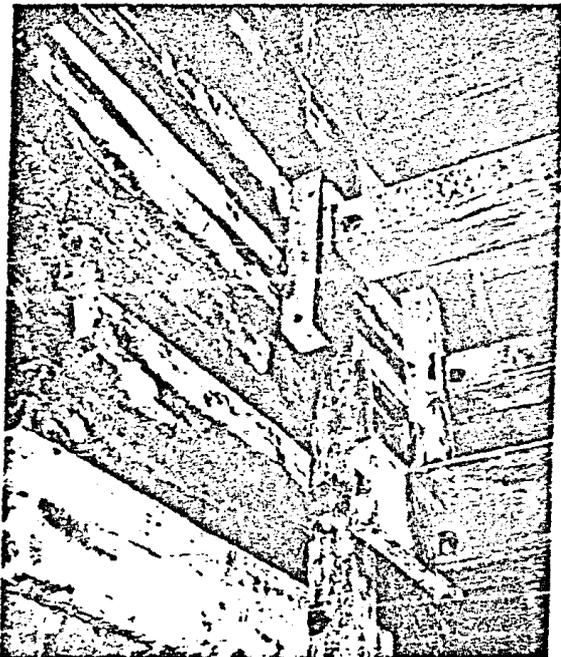
En algunas ocasiones, a pesar del cuidado que se tuvo de cerrar el ademe de madera y taponar con el pa-

pel del envase de cemento las juntas entre tablonés, la arena se lograba filtrar, produciéndose grandes oquedades en el frente, lo cual obligó a colocar madera rolliza formando un "enhücalado" que permitiera contener el frente de la excavación.

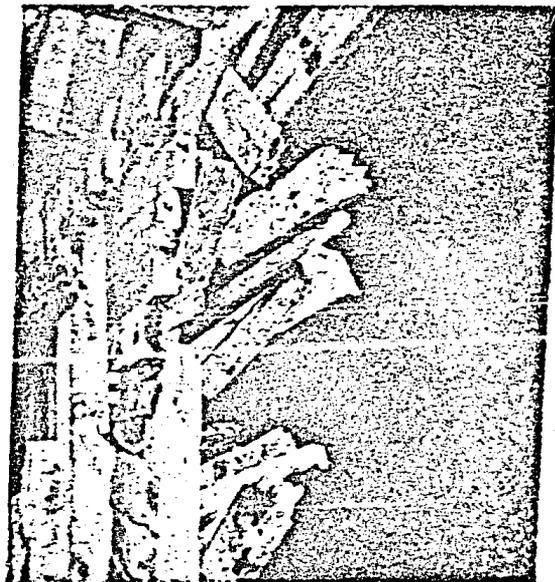
Para ilustrar lo anteriormente descrito se muestran algunas fotografías a continuación.



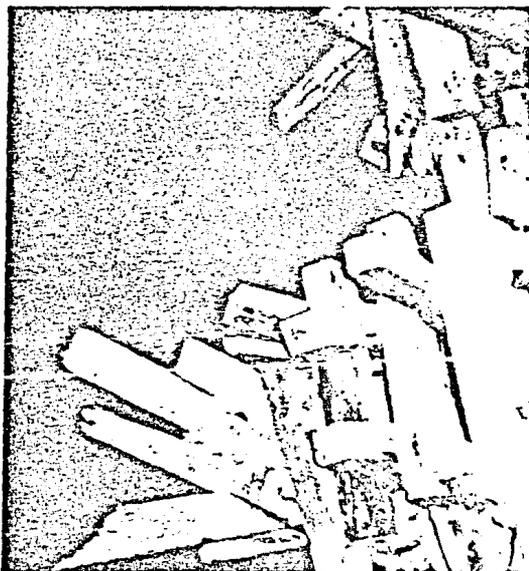
ADEME CERRADO PARA CONTENER EL ESTRATO ARENOSO ---
INESTABLE.



ADEME CERRADO PARA CONTENER EL ESTRATO ARENOSO INESTABLE.



"ENHUACALADO" PARA APUNTALAR AL FRENTE DE ATAQUE, DESPUES DE PRODUCIRSE UN "CAIDO" DEL ESTRATO ARENOSO INESTABLE.



"ENHUACALADO" PARA APUNTALAR EL FRENTE DE ATAQUE, DESPUES DE PRODUCIRSE UN "CAIDO" DEL ESTRATO ARENOSO INESTABLE.

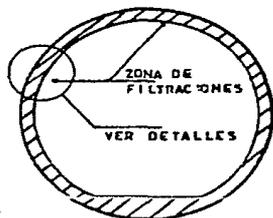
FILTRACIONES DE AGUA.

Aproximadamente desde el cadenamiento 18 + 200 hasta la terminación del túnel en el cadenamiento 18 + 778 hubo presencia de filtraciones de agua en el frente de ataque, las cuales se controlaban mediante bombeo de achique con bomba neumática.

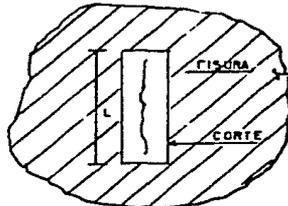
Debido a que en el túnel, se dejó como piso de trabajo un relleno compactado del mismo material producto de la excavación, con la presencia de agua dicho material estaba saturado, habiendo necesidad de agregarle calhidra en un porcentaje que varió de 3 al 6% con relación al peso del material saturado para reducir la humedad y permitir la compactación del mismo.

El principal problema que provocaron las filtraciones ocurrió posterior a la colocación del revestimiento definitivo formado por las dovelas de concreto armado, ya que al no existir un sello impermeable entre los anillos colocados, el agua producto de las filtraciones del terreno natural se introducía al túnel en forma de goteras o chorros dependiendo de la intensidad de las mismas.

El problema antes mencionado se resolvió mediante un tratamiento de sellado de impermeabilización a base de AQUAPLUG, el cual es un cemento hidráulico de fraguado instantáneo. El procedimiento utilizado se describe a continuación:

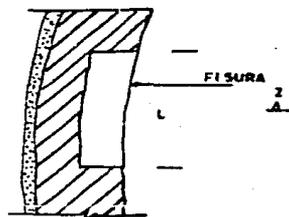


CORTE TRANSVERSAL
EN TUNEL DE TRAMO

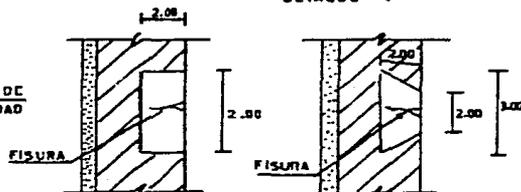


VISTA FRONTAL 1-1

L = LONGITUD DE LA
FISURA (VARIABLE)



DETALLE 1



CORTE 2-2

TIPOS DE CORTE EN ZONA
DE FISURA

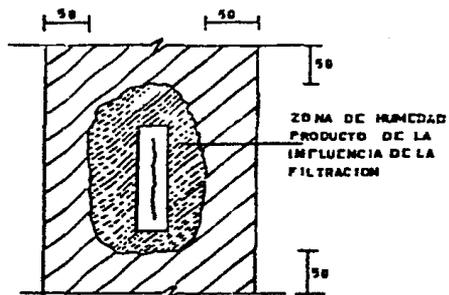
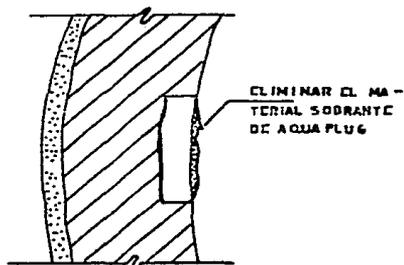


FIG. 39

1.- Una vez localizado el orificio por donde fluye - el agua, se procedió a realizar cortes en el concreto - ya sea sesgados o cuadrados, tal como se muestra en la figura 39 , hasta tener una base de concreto sano, a lo largo de toda la zona con aportación de agua.

2.- Para llenar el espacio de los cortes realizados en el concreto, se utilizó un cemento hidráulico del - fraguado instantáneo llamado " AQUAPLUG " , para lo -- cual se mezclaron de 100 a 150 grs. de dicho producto - con agua limpia, hasta obtener una mezcla pastosa y uniforme, procurando no amasar ni mover demasiado el material, ya que de esa manera el producto pierde sus pro - piedades. Realizada la mezcla, se debe mantener en las manos por espacio de un minuto y medio, hasta sentir - que ésta se empieza a calentar; inmediatamente, se colo có la mezcla en el hueco para rellenar, presionandola - con la mano y sin moverla por espacio de dos minutos y medio, repitiendo la operación hasta llenar por comple - to los cortes realizados en el concreto.

3.- Realizado lo anterior se preparó la superficie - para recibir el recubrimiento impermeable, limpiandola con cepillo de alambre, hasta dejar una superficie áspera. El área por limpiar estará limitada de tal manera que cubra hasta 0.50 m., a cada lado de la humedad pro - ducto del efecto de la filtración. La superficie ya - lista, se humedeció con agua limpia justamente antes - de la aplicación de recubrimiento.

4.- El recubrimiento impermeable que se utilizó fue

" SELLO TEX G ", el cual se prepara de la siguiente manera : verter 25 kgs. de Sellotex en una cubeta con 8 - Lts. de agua limpia agitando por espacio de 5 minutos - en dos ocasiones, con un período de reposo del material de 3 minutos.

5.- Se aplicó el " SELLOTEX G " con brocha de ixtle a razón de 1 kg/m^2 , sobre la superficie previamente humedecida. La aplicación se debe realizar presionando - el material hacia la superficie y esparciendolo con la brocha en todos sentidos hasta cubrir perfectamente el área en cuestión.

6.- Cuarenta minutos despues de la aplicación del -- " SELLOTEX G " se humedeció nuevamente la superficie -- tratada.

7.- Transcurridas seis horas, se aplicó una capa de refuerzo, compuesta por "SELLOTEX UH" (uso hidráulico)- a razón de 2 kgs./m^2 , solo que en este caso la aplicación se hizo con llana metálica. El material se prepara vertiendo 30 kgs. del producto en una cubeta con 8 - Lts. de agua limpia y agitando la mezcla. Previamente a la aplicación del material, se humedeció la superfi - cie.

8.- Finalmente, cuarenta y cinco minutos despues de la aplicación de la capa de refuerzo, se deberá humedecer nuevamente la superficie.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La parte correspondiente a las conclusiones de este trabajo, pretenden señalar las ventajas que se obtienen en un tipo de obra realizada con una máquina como el escudo, y señalar algunos de los aspectos que consideramos, pueden ser mejorados para una realización más eficiente en la excavación de túneles con dicho equipo. Es necesario citar que el empleo de escudos como auxiliar de excavación en México, es una tecnología relativamente reciente (Data de los setentas a esta fecha) que si bien se constituye en todo un logro y avance en el campo de la Ingeniería, ha requerido un ajuste continuo en su operación a fin de lograr una mayor precisión en la obtención de los resultados que de este se esperan, así como de la adecuación que se hace necesaria al irse adaptando a las características concretas que presenta el lugar y las condiciones en donde habrá de emplearse.

Es por esto, que aún considerando que los escudos son un portento técnico, resultante de la suma de una gran cantidad de elementos tecnológicos, experiencias tanto de campo como de laboratorio y una enorme dosis de ingenio de todos aquellos que han contribuido en su desarrollo, creemos pertinente enunciar que este tipo de trabajos, requieren de que se considere todos aquellos factores que influyen en su operación, lo cual nos lleva a observar todo un universo de elementos, que deben ser atendidos con el mayor cuidado, ya que de lo contrario se minimiza, el potencial que ofrece cualquier tecnología, amén de que paralelamente se obstruye la

oportunidad de capitalizar todas las experiencias --- obtenidas para contribuir al mejoramiento y avance del campo técnico y profesional al que aspira todo especialista de la construcción; por lo que nos permitiremos - anotar una serie de sugerencias que en nuestra opinión - y como consecuencia de mi experiencia en este tipo de - proyecto, podría contribuir a elevar la excelencia de - trabajos en este campo.

Hechas las anotaciones anteriores, a continuación mencionaremos las ventajas que ofrece el uso de escudos en la excavación de túnel en el proyecto del Sistema - Colectivo de Transporte de la Cd. de México (Metro).

Los aspectos sobre los cuales se han encontrado estas, los hemos dividido en tres rubros: técnicos, eco nómicos y de seguridad.

TECNICOS:

- El riesgo de asentamientos generados durante la excava ción se reduce al mínimo por el soporte dado por el escu do mismo, así como la instalación realizada del revestimiento definitivo formado por Dovelas prefabricadas de - concreto armado, y la inyección de contacto correspon - diente; logrando de esta manera la estabilización de la - masa de suelo.

- El control que se logra en cuanto a las mediciones con tínuas de orientación topográfica, a fin de minimizar --- cualquier tipo de desviación considerando que en este - tipo de obras estas resultan de un elevado costo y ries-

go debido al trazo y dirección que deben guardar en su diseño las vías por las cuales transitarán los vagones.

- La implementación simultánea con la operación del escudo de un procedimiento continuo de manejo y extracción de rezaga generando al realizar el avance de la obra.

- Reduce en forma sensible los daños que pudieran ocasionarse a construcciones cercanas, ya que se trabaja a niveles de profundidad en los cuales la afectación a estructuras y cimentaciones no son de gravedad.

- Los daños a vialidades son menores que en otro tipo de excavaciones como por ejemplo las realizadas a cielo abierto.

- Ligado al punto anterior las interferencias que se realizan al tránsito vehicular son en segmentos más pequeños y por espacios limitados de tiempo.

- Las facilidades que brinda su montaje y desmontaje al inicio y terminación de su uso en las obras.

- La operación del equipo del escudo se realiza de una manera sistemática, lo que representa relativa facilidad en su operación, por parte de los trabajadores.

- Ofrece la garantía de un equipo que ha sido utilizado y aprobado en otras ocasiones garantizando con esto, estándares de rendimiento que permiten un cálculo más adecuado en la planeación, programación y presupuestos del proyecto.

- En relación con el punto anterior se cuenta con la implementación de una serie de medidas correctivas que coadyuvan a incrementar el control del proyecto.

ECONOMICAS:

- Un equipo que ya existe en el mercado, por que no genera gastos de implementación.

- Proporciona la ventaja de ser un equipo de una alta rentabilidad por su gran resistencia al desgaste.

- Se cuenta con la infraestructura de apoyo, para la elaboración de partes y refacciones a utilizar.

- Existen stock's de refacciones en almacén, lo que limita la influencia en costos provocados por eventos como inflación y compra en moneda extranjera.

- La facilidad que ofrece el escudo en trabajo de construcción se traduce directamente en un índice económico-favorable.

- El procedimiento sistemático de este tipo de tecnología permite la realización de presupuestos más reales, ya que se puede pronosticar su costo al reducir la incertidumbre de gastos imprevistos en su operación.

- Se reduce la cantidad de mano de obra empleada en comparación con otros métodos.

- El costo de inversión en el diseño e instalación del es cudo es recuperable.
- Su costo es comparable al de otros métodos observando un resultado de mayor rendimiento.
- En el campo de avance, este se realiza con mucha más rapidéz que en método convencional.
- Las instalaciones auxiliares que se realizan para su funcionamiento son empleados posteriormente por lo que no significan pérdida.
- Ofrece la ventaja de un sistema económico no gravoso en el manejo de desechos.
- El contar con un procedimiento de control adecuado reduce las fugas de tiempo y recursos materiales.
- Su operación en promedios establecidos permite una sincronización del número de horas-hombre requeridas, lo que ayuda a una mejor planeación de requerimiento de mano de obra.
- El ser un método que genera poco daño a construcciones aledañas, disminuye el costo provocado en este tipo de obras.
- Se cuenta con el personal directivo, técnico y operativo con la preparación y experiencia necesaria, para la más adecuada operación de este tipo de proyectos y uso de tecnología.

- Reduce de acuerdo a lo anterior, la importación y por lo tanto gastos derivados de la presencia de técnicos - extranjeros.
- Aporta la oportunidad de ser un tipo de obra, que siendo una fuente de trabajo, para un segmento de la población, ofrece a la par, al trabajador el ir adquiriendo una experiencia que le lleve a desarrollar habilidades - especializadas, contribuyendo con esto, a un ingreso personal y a la formación de recurso humano calificado, lo cual es una contribución al costo-social; que se genera en el país por concepto de implementación de sistemas - educativos acordes con la población de escasos recursos - económicos incorporados al sistema productivo y con un nivel mínimo de escolaridad.

SEGURIDAD:

- El método de excavación con escudo reduce el riesgo de deformaciones excesivas del terreno por lo que no existen asentamientos en la superficie, que pusieran en peligro ni construcciones ni habitantes de las mismas, tanto en el momento de la obra como cuando entra en funcionamiento el Metro.
- Las condiciones de ventilación y oxigenación dentro de los túneles son rigurosamente vigiladas para la seguridad del trabajador.
- Existen campañas permanentes de seguridad e higiene entre los trabajadores a fin de sensibilizarles, en la observación de uso de equipo y medidas que eviten accidentes.

- En un territorio de un alto grado sísmico, como la Cd. de México, la excavación con escudo ha demostrado su enorme índice de confiabilidad, en cuanto a la presencia de derrumbes o colapsos dentro de los túneles.
- En comparación de obras similares y en otros campos de construcción, la excavación de túnel señala estadísticas inferiores a las demás en el renglón de accidentes.
- El control del método propio del escudo ayuda a no contribuir a la contaminación ambiental, con los desechos de la excavación.
- Ofrece, al culminar el proyecto, la dirección más controlada de instalación de vías para operación del metro, ya que son revisadas las orientaciones del escudo al milímetro, lo cual representa la seguridad del usuario.
- En terrenos demasiado blandos o sueltos permite el ademe del frente de excavación, mediante tableros de madera, presionados con los gatos y plataformas hidráulicas instaladas en la parte anterior del escudo, protegiendo la integridad física de los trabajadores así como también los equipos empleados para el ataque de la excavación.
- Los proyectos que se realizan en forma preliminar a la ejecución de estas obras, son elaborados por especialistas altamente calificados y que consideran al darles realización los cálculos más estrictos en cuanto a la seguridad que ofrecen, para, proponerlos como obras a desarrollar.

Con lo anterior hemos citado algunas de las ventajas que ofrece la excavación con escudo, sin embargo, en

un afán de ser objetivos, es necesario que citemos los puntos en los cuales se podría aportar mejoras; para lo cual enlistaremos algunas de las más importantes:

- Equipos de apoyo para obra civil más adecuados y modernos.

- Estudios topográficos, que se realicen con precisión más acorde en todos los tramos en los cuales se trabajara.

- Selección de personal técnico, con conocimientos de acuerdo a la demanda de las necesidades reales del proyecto.

- Cuadros de asesores técnicos que realicen estudios, que se requieren con celeridad al momento de surgir problemas en obra.

- Debido a que el éxito de estas obras depende en gran medida del trabajo realizado en conjunto por diferentes organismos gubernamentales y empresas privadas; la falta de comunicación y coordinación entre ellas obstaculizan su realización, dañando los intereses de ambos por igual.

- La improvisación y carencia de recurso humano con conocimientos adecuados y experiencia acreditada, por parte de las áreas de Supervisión, ocasionan con mucha frecuencia interrupciones en la Obra, con las derivaciones en pérdidas que esto significa por, decisiones inadecuadas carentes de fundamentación, lesionando finalmente el desarrollo de un sistema, que se realiza para beneficio social.

- Desafortunadamente los problemas derivados de la economía del país resultan un obstáculo continuo en factores determinantes; en estos proyectos.

- La continua rotación de personal ocasiona el dar en --
entrenamiento continuo, pero no siempre es posible capita-
lizar la experiencia.

- La falta de conocimiento de este tipo de obras, por -
parte de los estudiantes de Escuelas Profesionales gene-
ra que sean pocos los recién egresados que solicitan la-
borar, ocasionando con esto poca oportunidad para elegir
a los mejores candidatos.

- La relación estrecha entre las áreas de construcción -
y administración sugiere que al existir deficiencias en
comunicación y fluidez en los trámites se obstaculizan -
los avances.

- La programación en tiempos demasiado ajustados, impide
en ocasiones el fomentar un intercambio adecuado, entre
todos los trabajadores para garantizar el trabajo coordi-
nado, en todas las áreas y niveles.

- Es definitivo que el bajo nivel de escolaridad caracte-
rístico de la población trabajadora en la Industria de -
la Construcción, va en detrimento directo del rendimien-
to que se desea obtener, sobre todo cuando se trata de -
personal de nuevo ingreso.

El haber señalado que el escudo es una herramienta que
brinda múltiples ventajas, no elimina que se vea como un
método factible de mejoras e implementaciones para su em-
pleo ante condiciones que han ido surgiendo en la expe-
riencia cotidiana, así como los avances técnicos formula-
dos por los investigadores de este campo. Como se men-
ciono al incio de este apartado nos permitiremos citar
una serie de sugerencias que de acuerdo a nuestra expe-

riencia podrían contribuir a una mayor eficiencia en la ejecución de este tipo de proyectos.

- Insistimos en un énfasis acerca de la necesidad de Recurso Humano más capacitado.

- Instrumentar el intercambio y oportunidades de desarrollo en nuevas áreas, que garanticen la actualización de conocimientos.

- Mayor relación entre los aspectos teóricos y prácticos impartidos en escuelas a fin de vincularlos con lo que es la realidad en el campo de trabajo.

- Sugerimos que se de un mayor apoyo por parte de autoridades en escuelas y en empresas, para que las nuevas generaciones adquieran una visión del trabajo de campo.

- Creemos conveniente que se de una mayor difusión a este tipo de trabajos en los campos de la Ingeniería Civil.

Consideramos que el fomentar y apoyar una línea de Investigación científica y técnica en diversos aspectos, ayudaría a hacer de cada obra un laboratorio del que pudieran surgir aportaciones de conocimientos técnicos, sociales y económicos, que tenemos la seguridad enriquecería el desarrollo ascendente que derivaría en contribuir en el incremento de la capacidad y calidad del trabajo desarrollado en el campo constructivo, y que ha caracterizado por muchos años a nivel internacional, a la Ingeniería Mexicana.

B I B L I O G R A F I A

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Acéves Mayllen Francisco Javier. EL USO DE ESCUDOS EN TUNELES. 1985 U.N.A.M.
- 2.- Anguiano Lozada Juan Manuel. EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS DE LA CIUDAD DE MEXICO BAJO AMBIENTE HIPERBARICO. 1980 I.P.N.
- 3.- Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas A.C. Colegio de Ingenieros Civiles. CURSO VICTOR HARDY 1986.
- 4.- Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas A.C. Sept. 1983. TRASCENDENCIA - FUTURA, ESTADO DEL ARTE Y DESARROLLO HISTORICO DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS EN MEXICO.
- 5.- Cravioto J. M. y A. Villareal (1969). EXPERIENCIA EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS EN LA CIUDAD DE MEXICO.
- 6.- D.D.F. COVITUR, Dirección de Construcción, Subgerencia de Proyectos. ESTUDIO SOBRE EL USO DE MAQUINAS PERFORADORAS PARA TUNELES EN LA CIUDAD DE MEXICO.
- 7.- Farjeat Páramo Daniel. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TUNELES, EXCAVACION CON ESCUDOS. DECFI 1984.
- 8.- ISTME. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA LINEA 9 - DEL METRO.
- 9.- Limón Patiño J. PONENCIA No. 31 CNIC. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE TUNELES EN SUELOS : LA UTILIZACION DE LOS ESCUDOS EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES EN MATERIAL SUAVE.

B I B L I O G R A F I A

- 10.- López Rodríguez S. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS CON EL USO DE ESCUDOS - DE FRENTE ABIERTO Y AIRE COMPRIMIDO. 1982 U.A.Z.
- 11.- Merritt S. Frederick. MANUAL DEL INGENIERO CIVIL VOL. III Mc. GRAW HILL.
- 12.- Montes de Oca M. TOPOGRAFIA. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.
- 13.- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C. TUNEL EN SUELOS BLANDOS Y FIRMES.

* Gran parte de la información obtenida para la realización de este trabajo, fué obtenida directamente en el lugar dónde se construyó el túnel con escudo de frente abierto, para el tramo Patriotismo Tacubaya de la Línea 9 Poniente del Metro de la Cd. de México.