

146

24

1971

1972

1973

1974

1975

1976

1977

1978

1979

1980

1981

1982

1983

1984

1985

1986

1987

1988

1989

1990

1991

1992

1993

1994

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025

**NUEVO ESCUDO EXCAVADOR DE FRENTE
ABIERTO PARA LA CONSTRUCCION DEL
METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE MEXICO**

CONSTRUCCION

FELIPE ALBERTO MELENDEZ RUBIO

ENERO 1990

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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

1.-	INTRODUCCION.....	1
2.-	GENERALIDADES SOBRE LOS ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO.....	2
3.-	FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS QUE INTEGRAN EL EQUIPO.	
3.1.-	Objetivos.....	7
3.2.-	Bases de diseño.....	7
3.3.-	Subsuelo.....	8
3.4.-	Geometría del proyecto.....	9
3.5.-	Estructura del escudo.....	11
3.6.-	Sistema excavador.....	13
3.7.-	Sistema de soporte frontal.....	14
3.8.-	Sistema de empuje.....	17
3.9.-	Sistema erector.....	22
3.10.-	Sistema de rezaga.....	24
3.11.-	Revestimiento.....	26
3.12.-	Sistema de inyección.....	30
3.13.-	Sistema de respaldo.....	31
3.14.-	Ciclo teórico de producción.....	32
3.15.-	Fabricación del escudo.....	34
4.-	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	
4.1.-	Lumbrera.....	35
4.1.1.-	Procedimiento constructivo de la lumbrera de arranque.....	37

4.2.-	Procedimiento constructivo del túnel con escudo.....	37
4.2.1.-	Armado del escudo.....	37
4.2.2.-	Procedimiento constructivo de los primeros 180 metros.....	45
4.2.3.-	Proceso constructivo ciclo normal.....	54
4.2.4.-	Control topográfico.....	58
4.3.-	Proceso constructivo para la fabricación de dovelas.....	62
4.4.-	Equipo, instalaciones y personal.....	67
5.-	INSTRUMENTACION.	
5.1.-	Nivelaciones superficiales.....	74
5.2.-	Secciones de convergencia.....	84
6.-	RESULTADOS Y EXPERIENCIAS OBTENIDAS.	
6.1.-	Resultados.....	89
6.1.1.-	Paros por procedimiento constructivo.....	89
6.1.2.-	Paros por fallas en el equipo.....	89
6.1.3.-	Paros por inestabilidad del frente.....	91
6.2.-	Experiencias.....	97
7.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
	BIBLIOGRAFIA.....	111

CAPITULO I
INTRODUCCION.

Actualmente, la Ciudad de México sufre un serio problema ocasionado por la insuficiencia de transporte urbano. En 1980, el Gobierno Federal puso en marcha el Plan Rector de Vialidad y Transporte, que se avoca principalmente a la construcción de líneas del metropolitano, y de proporcionar a la población las facilidades necesarias para su transporte.

La planeación, selección, proyecto y construcción de una Línea del Metro involucra procesos lentos y complejos, por lo que es preponderante optimizar cada uno de estos rubros. En lo que respecta a su construcción y específicamente en túneles, se han desarrollado técnicas que aceleran notablemente su excavación y por tanto su puesta en operación; ésto se ha logrado con la utilización de máquinas excavadoras denominadas "escudos", cuyo principio básico es que las actividades de excavación y colocación de ademe prácticamente se realizan simultáneas. Existen diversos tipos de escudos, cuya aplicación depende básicamente del material a excavar.

Parte de las Líneas a construir se sitúan en la llamada "zona de transición alta" del Valle de México, donde se presentan suelos firmes constituidos predominantemente por estratos limo-arenosos con ausencia de nivel freático, interestratificados con pequeñas capas de arcilla, los cuales son factibles de atacarse mediante métodos convencionales o bien con escudos de frente abierto, manuales, semi-mecanizados o mecanizados.

Desde hace varios años se ha buscado una herramienta de construcción de túneles que logre abatir en tiempo y costo a los procedimientos que actualmente se tienen en el país. En 1985 se organizó una Comisión formada por ingenieros mexicanos para avocarse a la concepción de un escudo rápido de frente abierto totalmente mecanizado, capaz de excavar los suelos de transición del Valle de México.

El presente trabajo abarca aspectos relevantes del equipo, incluyendo desde la concepción preliminar del proyecto y modificaciones posteriores, hasta la aplicación integral. Así mismo, se presenta una serie de recomendaciones que se consideran importantes en vías de mejorar el rendimiento y duración de algunos de los sistemas que lo integran.

CAPITULO 2

GENERALIDADES SOBRE LOS ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO.

2.- GENERALIDADES SOBRE LOS ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO.

Un escudo de frente abierto consiste básicamente de un cilindro de acero rigidizado con traveses y columnas, cuya característica principal es la de soportar al terreno circundante, mientras se realizan las actividades de excavación y colocación de revestimiento. Así mismo, se presenta la posibilidad de observar el comportamiento de frente durante las actividades que involucran los ciclos de excavación, permitiendo de esta manera diversas formas de ataque.

Las actividades principales del ciclo de producción de un escudo, son las siguientes:

- a) Excavación.
- b) Rezaga ó extracción del material producto de excavación.
- c) Empuje ó avance del escudo.
- d) Colocación de ademe o revestimiento.
- e) Inyección.

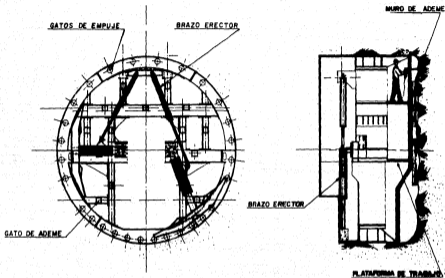
Atendiendo al grado de mecanización logrado, los escudos de frente abierto pueden dividirse en tres grupos:

I).- Escudos Manuales.

Son aquellos que no cuentan con herramienta para ataque del frente (fig. 2.1). Están provistos básicamente de los sistemas de empuje, soporte frontal y colocación de revestimiento. Actualmente su uso es reducido, con tendencia a la disminución, debido a sus limitaciones en cuanto a eficiencia; sin embargo estos escudos se pueden considerar como el soporte de un procedimiento constructivo, seguro y sumamente versátil dentro de su campo de aplicación.

II).- Escudos Semi-Mecanizados.

Son una ligera variante de los manuales (fig. 2.2). Cuentan con herramienta para ataque parcial del frente, cuyo objeto es lograr una mayor eficiencia.



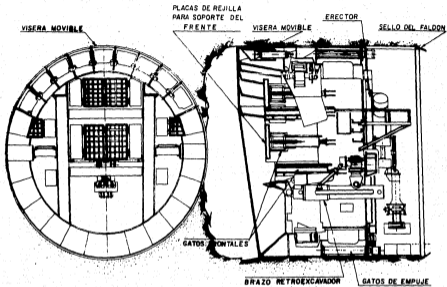
UNAM

D.E.P.F.I.

TITULO:

**ESCUDO MANUAL
(SOLUM-MATHEWS)**

FIGURA No. 2.1



U.N.A.M.

D.E.P.F.I.

TÍTULO:

**ESCUDO SEMI-MECANIZADO
(MITSUBISHI)**

FIGURA No. 2.2

Generalmente, el mecanismo adecuado para la excavación se compone de un brazo retroexcavador o equipo similar en funcionamiento.

Al incrementar la eficiencia en excavación, estos escudos son equipados con la maquinaria necesaria para la rápida extracción del material excavado, así como, para la colocación del revestimiento.

III).-Escudos Mecanizados.

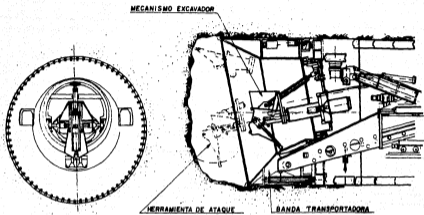
Estos son los de mayor eficiencia. Tienen la particularidad de contar con herramienta para el ataque total del frente, la cual puede tener formas muy variadas, siendo las principales: cabeza cortadora giratoria, brazo retroexcavador articulado, brazo excavador deslizante y brazo rozador (fig. 2.3).

Como resultado de la mecanización total del ataque del frente, estos escudos cuentan con todos los equipos necesarios para optimizar las actividades restantes del ciclo de producción. Para lograr el manejo eficiente del material excavado remolcan una estructura conocida como tren de equipo, la cual consta de plataformas que alojan los diferentes equipos auxiliares para la correcta operación del escudo, así como el sistema de transportadores que descargan el material a las unidades de extracción de rezaga y a su vez se encargan de retirarlo a las lumbreras o a los portales de salida.

Debido al alto grado de mecanización de estos equipos, se permite realizar simultáneamente actividades críticas del ciclo de producción, reduciendo considerablemente los tiempos de ejecución y obteniendo altos rendimientos.

En la actualidad, a nivel mundial se han fabricado una gran variedad de escudos de frente abierto de todos tipos, formas y tamaños para una infinidad de proyectos y en cada caso el ingenio del hombre ha ido concibiendo una serie de aditamentos, cambios y mejoras para resolver problemas específicos, cuya solución paulatinamente ha ido ampliándose a nuevas situaciones.

Los escudos de frente abierto, al igual que el resto de los escudos son diseñados para proyectos específicos, tomando en cuenta un estudio cuidadoso de las propiedades del subsuelo en el que será construido el túnel, además de toda la información relativa a las características del proyecto, con el objeto de evitar una desagradable sorpresa que haga fracasar su uso en el proyecto.



UNAM.

D.E.P.F.I.

TITULO:

**ESCUDO MECANIZADO
(ROBBINS)**

FIGURA No. 2.3

CAPITULO 3

**FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO Y
DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS QUE
INTEGRAN EL EQUIPO.**

3.- **FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS QUE INTEGRAN EL EQUIPO.**

A continuación se expone la serie de procesos que involucró el diseño del escudo en cada uno de sus componentes, así mismo, se presenta el equipo seleccionado por la comisión técnica, mencionando en algunos casos las alternativas que se pudieron haber tomado.

3.1.- **OBJETIVOS.**

En base a la rapidez deseada y conociendo las características generales de los equipos de tuneo existentes en el mundo, se fijaron los siguientes objetivos de diseño.

a).- Tener la capacidad teórica de avance de 20 m./día, conservando en todo momento la estabilidad de las paredes y frente.

b).- Utilizar un sistema excavador de los que actualmente se usan en el mundo y cuyo rendimiento este probado en suelos similares a los de la "zona de transición".

c).- Simplificar las operaciones de tuneo, ensamble del equipo, así como la fabricación de cada elemento que conforma al sistema.

d).- Aprovechar al máximo la capacidad de diseño y fabricación existente en el país.

3.2.- **BASES DE DISEÑO.**

Atendiendo a la premisa de que el escudo debe ser rápido, se debe contar con lo siguiente:

a).- Un mecanismo excavador de alto rendimiento, integrado al propio escudo.

b).- Un sistema de eliminación rápida del material producto de excavación, coordinado con el excavador y que no interfiera con la operación de éste.

c).- Un sistema de colocación de ademe que permita realizar esta actividad en una forma segura, sencilla y rápida.

d).- Un sistema de empuje con la potencia suficiente para un rápido avance.

e).- Un tren de equipo que garantice el rápido desalojo de la reza y a su vez que porte a los equipos auxiliares de operación.

f).- Un sistema de ademe frontal a base de compuertas abatibles, pues en base a la experiencia se sabe que en dicha zona existen interstratificaciones de arena limpia que puede provocar inestabilidad en el frente.

3.3.- SUBSUELO.

Tomando en base la decisión de que el escudo excavará en la Línea 7, se exploró el subsuelo a lo largo de su trazo mediante sondeos mixtos a 30 m. de profundidad y de penetración estándar; adicionalmente, se excavaron dos pozos a cielo abierto ademados con mortero a una profundidad de 35 m. con los cuales se obtuvo la siguiente información.

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 0.0 a 7.0 m. | Depósitos aluvio-lacustres.
Constituidos principalmente por suelos arcillosos, limosos y arenosos de consistencia firme.
El nivel freático se encontró en estos depósitos a 2.6 y 4.4 m. de profundidad. |
| 7.0 a 10.0 m. | Depósitos lacustres.
Constituidos por suelos limo-arcillosos y arenosos de consistencia blanda. Estos materiales actúan como capa impermeable, reteniendo el agua del nivel freático. |
| 10.0 a 13.0 m. | Transición de los depósitos lacustres a los profundos.
Constituidos por suelos limosos y arenosos de consistencia blanda. |
| 13.0 a la máxima prof. de exploración | Depósitos profundos.
Constituidos por suelos areno-arcillosos y limosos con gravilla y boleos aislados, muy compactos con N>50 predominante. En general no se encontró agua, salvo en la estación Aquiles Serdán donde se presenta un manto colgado. |

Nota: Las profundidades mencionadas son con respecto a la superficie del terreno.

Debido a que el túnel se alaja dentro de estos últimos depósitos, se consideró para el diseño del escudo los siguientes valores medios:

Angulo de fricción interna	$\mu=32$
Cohesión	20.00 t/m ²
Peso volumétrico	1.80 t/m ³
Módulo de deformación	470 kg/cm ²
Módulo de reacción del terreno, tomando como superficie de carga un rectángulo de 6.7 cm. de altura y longitud infinita (sentido horizontal).....	0.5 kg/cm ³

3.4.- GEOMETRIA DEL PROYECTO.

La Línea 7 en su prolongación al Norte, parte de la Estación Tacuba hacia el Noroeste, por debajo de la Av. Ferrocarriles Nacionales y continúa bajo la radial Aquiles Serdán (Parque Vía), hasta llegar a la zona denominada El Rosario (fig. 3.1.).

El tramo esta constituido por cuatro estaciones denominadas (Sur a Norte): Refinería, Camarones, Aquiles Serdán y su terminal El Rosario, con una distancia entre ellas de 870 m., 1,316 m y 1,100 m. respectivamente. El escudo en cuestión se encargó de excavar 2,186 m. correspondientes a los inter-tramos Refinería hasta Aquiles Serdán, iniciando en esta última.

Para fines de diseño se consideraron los siguientes datos:

Profundidad al eje del túnel	25 m.
Diámetro interior al túnel	8.64 m.
Radio de curvatura mínimo en trazo horizontal	200 m.
R.C. en trazo vertical	1,000 m.
Pendiente máxima	4 %

Estos datos se rigen principalmente por requerimiento del convoy como son: gálibo estático y dinámico, andadores, efectos de curvas, visibilidad, señalización e instalaciones especiales.

MAPA TERCER CONTRATO F-1084-100

CARECEN "A" ANCHO 74.828.720
CALLE DE LUMBERIA 6 84177.485
CARECEN "B" ANCHO 74.148.720
CALLE DE LUMBERIA 11 71284.820

CALLE DE LUMBERIA 6 84177.485
CARECEN "C" ANCHO 61.960.685
CALLE DE LUMBERIA 8 84158.845
CARECEN "D" ANCHO 62.022.845
CALLE DE LUMBERIA 7 84164.175

ESTACION ADOLFO SERDAN

ESTACION REFINERIA

ESTACION CAMARONES

CALLE DE LUMBERIA 9 41468.875
CARECEN "E" ANCHO 64.868.720
CALLE DE LUMBERIA 5 41364.175

3.5. - ESTRUCTURA DEL ESCUDO.

El escudo constará de tres secciones principales denominadas: cachucha, cuerpo central y faldón (fig. 3.2). Los espesores de la placa exterior, la disposición de las costillas y atiesadores que la refuerzan, así como la posición de postes (columnas) y plataformas (trabes) se determinarán de tal forma que la estructura del escudo resista satisfactoriamente los esfuerzos debidos al peso propio del subsuelo, así como los inducidos por la herramienta excavadora que se instale en el escudo y los generados por el propio sistema de avance de la máquina.

Las dimensiones del faldón deberán ser suficientes para alojar anillos de dovelas de 120 cm. de largo y espesor adecuado, dejando el diámetro interior ya especificado, sin menoscabo de las tolerancias requeridas para su instalación.

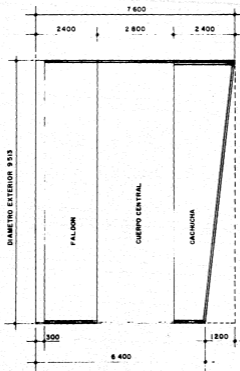
La cachucha deberá sobresalir en su parte superior 120 cm. con respecto a la parte inferior, lo cual tiene tres objetivos: para los casos en que el escudo, por el propio sistema constructivo que esté llevando, tenga necesidad de cortar material no lo haga de tajo sino que en forma gradual. La segunda se refiere a la protección de los equipos que estén más próximos al frente de excavación y la última, que es sin duda la más importante, proteger al personal que en algún momento llegue a estar en contacto con el frente.

El cuerpo central deberá tener longitud suficiente para alojar los gatos de empuje que permitan colocar dovelas de 120 cm. de longitud.

Un parámetro de diseño que es importante tomar siempre en cuenta, es la relación de esbeltez (longitud / diámetro) la cual afecta directamente a la maniobrabilidad; se recomienda, adecuar las dimensiones del escudo de tal manera que el valor se encuentre entre 0.5 y 1.0.

EQUIPO SELECCIONADO.- Para el diseño estructural, la comisión técnica decidió contratar la asesoría de la empresa norteamericana Hamilton, Co. la cual, a través de años se ha dedicado con bastante éxito al diseño de estos equipos.

En conjunto, se determinó que el acero de fabricación sería A-36 con placas de hasta 3" de espesor, rigidizado mediante costillas y refuerzos de acero; además se compondría de once secciones principales que determinan módulos adecuados para su fabricación, transporte y maniobrabilidad. Se acordó también que el ensamble fuera a base de tornillería con lo que se acorta el tiempo de armado y desarmado, así como la vida de las secciones.



U.N.A.M.

DE.P.F.I.

TITULO.
**SECCIONES DEL ESCUDO
 CORTE LONGITUDINAL.**

FIGURA No. 5.2

datos: En forma general, el diseño de la estructura arrojó los siguientes

Diámetro exterior	9,513 mm.
Diámetro interior del faldón	9,361 mm.
Longitud en la parte superior	7,600 mm.
Relación de esbeltez (L/D)	0.80
Longitud en su parte inferior	6,400 mm.
Longitud del faldón	2,400 mm.
Espesor de la placa en el faldón	50 mm.
Tolerancia entre dovelas y faldón	66 mm.
Peso del conjunto	240 ton.

En virtud de que se eligieron dovelas de precisión (conocidas así por su ensamble a base de tornillos) el escudo deja un espacio anular entre el terreno y la dovela equivalente al espesor de la camisa más la holgura de ensamble, el cual se debe rellenar. Por lo tanto y para evitar que el material de relleno se introduzca al faldón, se decidió instalar un par de sellos perimetrales al mismo; uno de neopreno y otro de alambre acerado en forma de cepillo.

3.6.- SISTEMA EXCAVADOR.

El mecanismo seleccionado debe abarcar al 100% del área, teniendo un rendimiento comprobado en materiales similares a los de la Línea 7.

La operación del sistema, no debe impedir que simultáneamente se extraiga el material excavado, ni que se interrumpa la colocación del revestimiento.

Su operación debe ser controlada con el mínimo de personal, asegurando que en ningún momento se provoquen accidentes al resto del personal que labora en el túnel, ni que se dañe el equipo del propio escudo.

El rendimiento de este equipo debe garantizar el avance teórico de 20 m. por día.

EQUIPO SELECCIONADO. - La investigación a nivel mundial realizada para la elección del excavador, detectó básicamente cuatro mecanismos:

- 1.- Fresadoras (rozadoras), Westfalia AEC, Voest Alpine, Paurat.
- 2a.- Brazo excavador articulado, Milwaukee Boiler, Zokor.
- 2b.- Brazo excavador deslizante, Robbins.
- 3.- Disco ranurado cortador, Lovat, Okumura, Mitsubishi.
- 4.- Estrella dentada cortadora, BadesTheelen, Lovat.

Analizadas las alternativas anteriores y teniendo en mente los suelos duros por atacar, se eligió a las fresadoras por su amplia y positiva respuesta en el drenaje profundo de la ciudad y en otros tramos de la misma Línea 7. Así mismo, en su utilización en las minas de carbón del Norte del País, han brindado muy buen servicio.

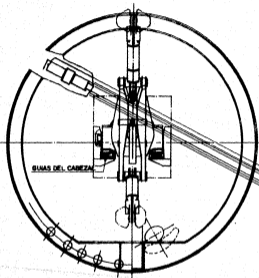
La comisión técnica en conjunto con la firma Austriaca Voest Alpine determinaron instalar dos brazos articulados, provistos cada uno de una cabeza de corte cuya función es la de desgarrar el material conforme gira el sistema al que están fijos. El corte de la sección está diseñado de tal manera que se realiza en forma concéntrica. La fig. 3.3. muestra la ubicación del sistema en el marco central del escudo, apoyado libremente sobre guías soldadas a las columnas, sobre las cuales se logra su desplazamiento en el sentido longitudinal al túnel mediante la acción de tres gatos hidráulicos de 1.30 m. de carrera. Así mismo, el giro del conjunto excavador está dado por tres motores eléctricos sincronizados por un modulador de frecuencia.

La capacidad teórica del excavador es de 70 m³/hr.

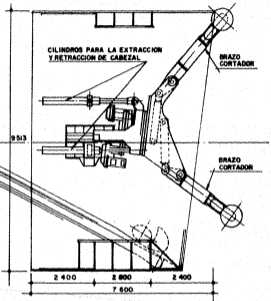
3.7.- SISTEMA DE SOPORTE FRONTAL.

Es poco probable que se encuentran estratos de material granular sin cohesión, que tiendan a invadir el espacio excavado, sin embargo por principio de seguridad es necesario implementar un sistema de soporte que abarque el tercio del frente excavado y que pueda operar en forma sencilla en casos de emergencia.

EQUIPO SELECCIONADO. - Está formado a base de seis compuertas metálicas abatibles que se accionan independientemente y son capaces de ejercer una presión equivalente a 9.30 t/m², estando ubicadas en el tercio superior del frente (fig. 3.4).



BLANAS DEL CABEZAL



CILINDROS PARA LA EXTRACCION Y RETRACCION DE CABEZAL

BRAZO CORTADOR

9513

BRAZO CORTADOR

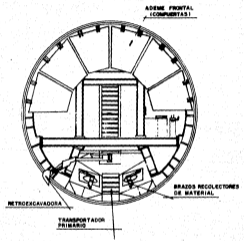
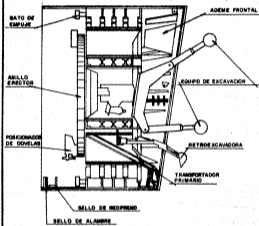
2 400

2 800

2 400

7 600

UNAM.	D.E.P.F.I.
TITULO: SISTEMA EXCAVADOR	
FIGURA No. 3.3	



UNAM.	DE.P.F.I.
TITULO: VISTA FRONTAL Y LATERAL DEL ESCUDO # 9.515 m.	
FIGURA No. 34	

3.8.- SISTEMA DE EMPUJE.

El sistema de empuje estará formado por cilindros hidráulicos alojados en la periferia del escudo, a fin de apoyarse sobre el revestimiento previamente colocado y conforme se extiendan se logre el desplazamiento del escudo en el sentido de la excavación.

El número de elementos será suficiente para garantizar que su capacidad de empuje supere por amplio margen la fricción que induce el suelo sobre la camisa del escudo. También debe ser capaz de vencer los esfuerzos de corte del borde cortador que en alguna ocasión se presenten.

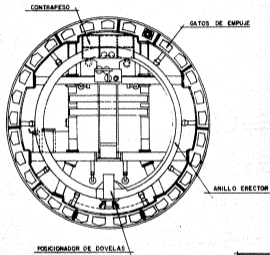
La distribución de los gatos debe modularse a fin de que no queden las zapatas apoyadas en juntas entre dovelas, al mismo tiempo, se buscará una mayor concentración de gatos en la parte inferior del escudo para compensar el efecto de arado, tomando en cuenta para ello las experiencias registradas durante el funcionamiento del escudo manual (Tacubaya) que se ha venido empleando para la construcción del metropolitano desde 1967.

En lo posible, los gatos deben ser suministrados por proveedores locales que cuenten con STOCK de refacciones suficientes. La velocidad de avance de los gatos, bajo carga, no debe ser menor a 12 cm/min., y su presión de operación máxima debe estar acorde con los equipos complementarios como válvulas solenoides, tuberías, conexiones, etc.. Se pensó en principio que dicha presión máxima no fuera mayor a 350 kg/cm².

Basándose también en el escudo Tacubaya, que con bastante éxito ha sido utilizado en otros tramos de la Línea 7 (suelos similares) la capacidad de empuje deberá ser proporcional; es decir que cuando menos se deberá contar con 3,000 ton. adicionando la fuerza necesaria para complementar áreas de fricción por diferencia de diámetros, longitud y arrastre del tren de equipo.

EQUIPO SELECCIONADO.- Para el desplazamiento del escudo y su tren de equipo, se determinó el siguiente conjunto:

No. total de gatos	31 pzas. (fig. 3.5)
Fuerza máxima por gato	177 ton.
Diámetro del pistón	25 cm.
Presión máxima de trabajo ..	350 kg/cm ²
Carrera	1,350 mm.
Velocidad de extensión	12 cm/min.



UNAM

D.E.P.F.I.

TITULO:
VISTA POSTERIOR DEL ESCUDO
 φ 9.513 m.

FIGURA No. 3.3

Fuerza total de empuje 5,487 ton.

La operación de los gatos de empuje originalmente se propuso por cuadrantes, sin embargo al momento de su fabricación se decidió hacerla independiente para cada gato, accionados mediante válvulas solenoides cuyo control es eléctrico.

La fuerza total de empuje se calcula de la siguiente manera:

Con los estudios preliminares y obtención de muestras cúbicas durante la construcción de la primer tumblera de la Línea (finales de 1984), se obtuvieron los siguientes promedios en las propiedades mecánicas y físicas.

$$\bar{c} = 20 \text{ ton/m}^2$$

$$\phi = 32$$

$$\bar{\gamma} = 1,800 \text{ kg/m}^3$$

$$\bar{c} = 36 \text{ ton/m}^2 \text{ (compresión simple)}$$

$$N_c = 40, N_q = 26, N \bar{\gamma} = 26$$

Con estos parámetros, se procede de la siguiente manera:

1.- FRICCIÓN SUELO-ESCUDO.

a).- Criterio friccionante (Ref. 17).

$$\text{Sea } Fr = \frac{1}{2} (1+K_0) \bar{\gamma} H \tan \delta \dots\dots 1$$

donde, Fr = fricción total por unidad de superficie (ton./m²)

$$K_0 = K_a = 0.3$$

$$\bar{\gamma} = 1.8 \text{ ton/m}^3$$

H = 25 m., profundidad promedio del túnel

$$\delta = 2/3 \phi = 2/3 (32^\circ)$$

$$\tan \delta = 0.39$$

sustituyendo valores en I

$$Fr = 11.41 \text{ ton/m}^2$$

ahora bién, calculando el área total del escudo tenemos lo siguiente:

$$Ae = \pi \times D \times Lm$$

donde, $\pi = 3.14159$

$$D = 9.513 \text{ m., diámetro del escudo}$$

$$Lm = 7 \text{ m., longitud promedio del escudo.}$$

Sustituyendo,

$$Ae = \pi \times 9.513 \times 7 = 209.2 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, la fuerza total será:

$$Frt = 209.2 \text{ m}^2 \times 11.41 \text{ ton/m}^2 = 2,387 \text{ ton.}$$

b).- Criterio cohesivo.- Considerando aplicables los criterios para el cálculo de adherencia en pilotes de fricción metálicos, se utilizarán los factores propuestos por Tomlinson (1971), "Diseño y construcción de cimentaciones".

$$\text{Adherencia total} = fa \times c \times Ae$$

donde, $fa = 0.2$, factor de adhesión

$$c = 36 \text{ t/m}^2$$

$$Ae = 209.2 \text{ m}^2$$

Sustituyendo,

$$At = 0.2 \times 36 \times 209.2 = 1,506.24 \text{ ton.}$$

En base a estos resultados, se elige para diseño el valor de a), es decir $F = 2,387 \text{ ton.}$

2.- BORDE CORTADOR.

Esta sección tiene las siguientes dimensiones:

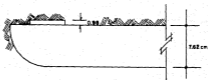


Fig. 3.6.

Considerando el borde como zapata corrida de ancho igual a 8.6 cm. tendremos lo siguiente:

$$Qf = cNc + \gamma DFNq + \frac{1}{2} \gamma BNp$$

Sustituyendo valores:

$$Qf = 20 \times 40 + 1.8 \times 0 \times 25 + \frac{1}{2} \times 1.8 \times 0.086 \times 26$$

$$Qf = 800 + 0 + 2.01$$

$$Qf = 802.02 \text{ t/m}^2$$

El área del borde es de:

$$AB = \pi \times De \times 0.086 \text{ m.}$$

Sustituyendo valores:

$$AB = \pi \times 9.513 \times 0.086 \text{ m.} = 2.57 \text{ m}^2$$

Por tanto, $Qf = 802.01 \times 2.57 = 2,061.17 \text{ ton.}$

Resumiendo:

Consideración A
El borde cortador actuará
al avanzar el escudo.

Consideración B
El borde cortador no actuará

2,387 ton. FRICCIÓN DEL SUELO
2,061 ton. BORDE CORTADOR
193 ton. ADEME FRONTAL

2,387 ton.
0 ton.
193 ton.

4,641 ton.

2,580 ton.

Con un factor de seguridad de 1.15 para la consideración A, tenemos que cuando menos se requieren 5,337 ton. de fuerza de empuje.

Como ya se mencionó, se cuenta con 31 gatos de 177 ton. de fuerza cada uno, por lo que realmente se cuenta con 5,487 ton. totales.

3.9.- SISTEMA ERECTOR.

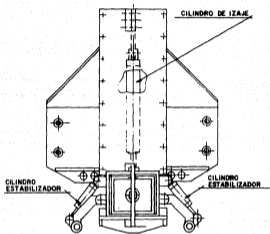
Debe ser capaz de cumplir la función de colocar las dovelas sin interrumpir las actividades de excavación del frente, extracción de rezaga y su colocación en vagonetas.

EQUIPO SELECCIONADO.- Se determinó utilizar un erector del tipo anular dentado con giro en ambos sentidos y dos velocidades (lenta y rápida) cuya operación fuera por medio de control remoto alámbrico. Adosado al anillo se tiene un manipulador de dovelas hidráulico que tiene movimientos radial, longitudinal y tangencial (figs. 3.5, 3.7 a y b).

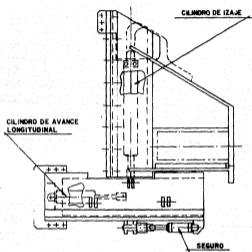
Con el objeto de equilibrar el peso de la dovela se tiene colocado un contrapeso de 3.80 ton. que se ubica del lado opuesto al manipulador (fig. 3.5).

El sistema tiene las siguientes características:

Díámetro del anillo	6,900 mm.
Velocidad de rotación	0-1 r.p.m.
Desplazamiento angular	320°
Motores para giro	2 psas. de 120 H.P.



(a)



(b)

UNAM

DEP.F.I.

TITULO:
DETALLE DEL MANIPULADOR
DE DOVELAS

FIGURA No. (5.7a) y (5.7b)

Gatos deslizantes	2 pzas.
Presión de trabajo	140 kg/cm ²
Peso máximo a manejar	4 ton.
Gato de levante	1 pza.
Estabilizadores	2 pzas.

Debido a que las dovelas se almacenan en la primera plataforma, se tienen dos polipastos con una capacidad de 4.3 ton. que se deslizan a lo largo de dos vigas carril para trasladarlas al pie del manipulador.

3.10.- SISTEMA DE REZAGA.

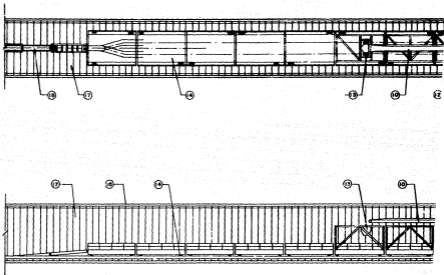
Este sistema se encarga de realizar la actividad más crítica del ciclo del escudo, es decir y como es de suponer, sin la pronta eliminación del material excavado, sería imposible tener un eficaz avance. Su funcionamiento debe coordinarse con el sistema excavador a fin de que operen simultáneamente; la duración de ésta actividad debe coincidir prácticamente con la excavación, aunque con un pequeño defasamiento.

La espina dorsal del sistema puede ser una banda transportadora inclinada, que después de pasar por el agujero central del anillo erector, descarga a otro transportador y posteriormente a una tolva receptora, cuyo objeto es facilitar la carga eficiente a los recipientes en que se transportará la rezaga a la lumbrera para su elevación y disposición final en camiones.

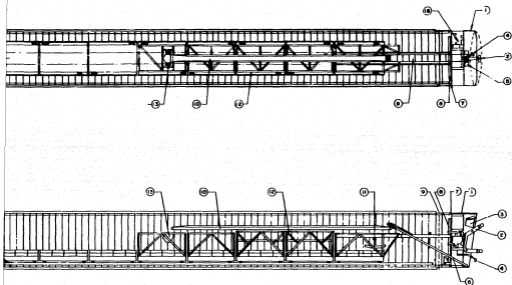
EQUIPO SELECCIONADO.- Se decidió que la rezaga fuera extraída del frente de la siguiente manera:

a) Transportador primario.- Conforme el excavador desgarró el material, éste cae en el delantal del escudo y es conducido por medio de dos brazos cargadores y una rampa central donde va circulando un transportador de cadena y regletas metálicas colocado a 27° con respecto a la horizontal (figs. 3.3 y 3.4). Este transportador es de 17 m. de largo y tiene una capacidad nominal de 400 tn/hr. a una velocidad de 1.14 m/seg., lo que se logra mediante dos motores eléctricos.

b) Transportador secundario.- Este transportador de banda de hule conduce el material horizontalmente durante 40 m., correspondientes a las cuatro primeras plataformas del tren de equipo (fig. 3.8), al llegar a la quinta plataforma lo deposita en dos tolvas de 7.5 m³ de capacidad cuyo control es hidráulico, de ahí, el material se deposita en vagonetas que se encargan de



- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 ESCUDO | 12 PLATAFORMAS CON PORTICOS |
| 2 EQUIPO DE EXCAVACION "ALPINE" | 13 TOLVAS RECEPTORAS |
| 3 ADEME FRONTAL "COMPUERTAS" | 14 PLATAFORMAS SIN PORTICOS |
| 4 RETROEXCAVADORA | 15 RAMPAS |
| 5 BRAZOS RECOLECTORES DE MATERIAL | 16 INYECCION ENTRE SUELO Y REVESTIMIENTO DE TUNEL |
| 6 TRANSPORTADOR PRIMARIO | 17 REVESTIMIENTO DE TUNEL (DOVELAS) |
| 7 GATOS DE EMPUJE | 18 PLATAFORMA DE CONTROL |
| 8 ANILLO ERECTOR | |
| 9 SELLOS | |
| 10 TRANSPORTADOR SECUNDARIO | |
| 11 POLIPASTO ELECTRICO | |



- 12 PLATAFORMAS CON PORTICOS
- 13 TOLVAS RECEPTORAS
- 14 PLATAFORMAS SIN PORTICOS
- 15 RAMPA
- 16 INYECCION ENTRE SUELO Y REVESTIMIENTO DE TUNEL
- 17 REVESTIMIENTO DE TUNEL (DOVELAS)
- 18 PLATAFORMA DE CONTROL

UNAM

DEP.F.I.

TITULO:
ARREGLO GENERAL DEL ESCUDO
Ø 9.513m (PLANTA Y PERFIL)

FIGURA No. 3.8

Llevarlo hasta la lumbrera donde el sistema de manto lo conduce a superficie, para finalmente por medio de volteos llevarlo al lugar de tiro.

Este transportador tiene una capacidad nominal de 460 ton/hr y una velocidad de 1.524 m/seg.

Los transportadores primario y secundario, cumplen con sus capacidades nominales siempre y cuando tengan alimentación constante. En el caso del escudo ésto no sucede realmente, debido a que conforme se excava, solamente una parte del material cae en la zona de influencia de los brazos cargadores, provocando un acumulación excesivo de rezaga en las partes laterales del delante, e impidiendo el cumplimiento de los tiempos del ciclo. Por esta razón, al detectar el problema en obra, se analizó la conveniencia de colocar una retroexcavadora cuya función fuera acercar el material a la zona de influencia de los cargadores. Con la implementación de la retroexcavadora, los resultados fueron satisfactorios. (fig. 3.4)

3.11.- REVESTIMIENTO.

Se usarán anillos formados por dovelas prefabricadas de concreto reforzado de 120 cm. de ancho, como revestimiento primario y único.

Los anillos se formarán por piezas atornillables entre sí y con el anillo vecino. Sus dimensiones geométricas y refuerzo estructural estarán acordes con los esfuerzos que induzca el terreno y que se provoquen por la operación normal del escudo.

Debe permitir la colocación de empaques que en algún punto del tramo de excavación lo requiriese para evitar las filtraciones hacia el túnel.

El tamaño de las dovelas debe seleccionarse para un fácil manejo en el interior del túnel, sin que estorben mayormente las maniobras de rezaga, permitiendo además una fácil y rápida colocación.

Se usarán dovelas correctivas en los tramos de curvas verticales y horizontales.

Para evitar que el cerramiento del espacio anular provoque excesivos asentamientos en superficie, se inyectará una mezcla de mortero, tan pronto como el anillo de dovelas abandone el faldón del escudo.

REVESTIMIENTO SELECCIONADO.- El revestimiento del túnel elegido, consiste en un anillo de ocho dovelas de concreto reforzado, que se coloca después de cada empuje.

Las características principales son:

<i>Díámetro exterior</i>	9,240 mm.
<i>Díámetro interior</i>	8,640 mm.
<i>Ancho de dovelas</i>	1,200 mm.
<i>Espesor</i>	300 mm.
<i>No. de piezas por anillo</i>	7 dovelas y una cuña de cerramiento o llave.
<i>Peso total del anillo</i>	24.3 ton.
<i>Peso de la cuña</i>	0.8 ton.
<i>Peso de cada dovela</i>	3.35 ton.

El ensamble de las dovelas se debe realizar en forma ascendente, así mismo se recomienda intercambiar la posición de la cuña para no formar un plano continuo de falla.

Se decidió también que cada dovela tuviera una perforación roscada de 5 cm. de diámetro, ubicada en su centro geométrico por la cual se introduce la inyección. Asimismo, se determinó colocar una buña perimetral a cada dovela, para la colocación de un sello de neopreno, cuya función sería garantizar la unión de dovelas e impedir el acceso de agua al túnel. Un aspecto importante y que en pocas ocasiones se trata, es el diseño del túnel por lo que a continuación se resume brevemente el procedimiento empleado para el cálculo de cargas actuantes y dimensionamiento del revestimiento para el túnel que nos ocupa:

1.- Determinación de las cargas actuantes:

En base a los sondeos de exploración, primeramente se determina la estratigrafía existente en la zona, obteniendo las propiedades de cohesión, fricción y módulo elástico para cada uno de los estratos.

Para este caso, se obtuvieron los siguientes datos:

Estratos (m)	H (m)	E (t/m ²)	C (t/m ²)	φ (°)
1.5 - 4.0	2.5	1,150	40	20
4.0 - 5.5	1.5	1,300	40	25
5.5 - 6.5	1.0	1,000	10	30
6.5 - 9.0	2.50	250	30	0
9.0 -10.5	1.50	1,250	30	30
10.5 -14.5	4.00	2,300	50	35
14.5 -15.2	0.70	3,500	50	35
15.2 -19.8	4.60	3,000	40	35
19.8 -24.8	5.00	3,000	70	35

Con el objeto de simplificar el análisis se toma un promedio pesado de cada uno de estos parámetros, con los cuales se trabaja el cálculo de cargas.

Existen varios métodos para analizar las cargas en un túnel, entre los que destacan: Bierbaumer, Protodyakonov, Tamez, Terzaghi, criterios empíricos, carga total y el elemento finito, entre otros.

Un método conservador pero que se ha utilizado con bastante éxito en los túneles de la Línea 7, es el de Terzaghi en el que se analiza el equilibrio de una cuña de suelo como la que se muestra en la fig. 3.9.

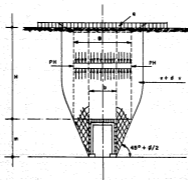


fig. 3.9

CRITERIO DE TERZAGHI

De donde:

$$P_v = \frac{B}{2} \frac{(\sigma' - 2c)}{K \tan \beta} \left[1 - e^{-K \tan \beta \cdot 2H/B} \right]$$

$$B = b + 2m \tan (45^\circ - \beta/2)$$

$$PH = K_0 P_v$$

donde:

$$K_0 = \frac{1}{2} \left[\frac{1 + \sqrt{6/B}}{1 + \sqrt{6/B} + 3 \sqrt{6/B} \frac{\text{Sen } \beta}{\text{Sen } \beta}} - \frac{3 \sqrt{6/B}}{\text{Sen } \beta} \right]$$

La presión en este caso, es función de la geometría del túnel, de las propiedades mecánicas de material en la zona de arqueo ($H = 2.5$ (m)) y de la profundidad a la que se encuentra el túnel.

Los resultados obtenidos, se presentan a continuación:

$$P_v = 17.841 \text{ t/m}^2$$



$$PH = 2.92 \text{ t/m}^2$$



$$PH = 6.81 \text{ t/m}^2$$

Fig. 3.10

2.- Análisis estructural.

Con presiones verticales y horizontales se procede a la determinación de las cargas axiales y momentos flexionantes actuantes en la estructura, para lo cual se utilizó un modelo reológico en el que se consideran dos situaciones:

a).- El suelo perimetral a la sección del túnel no participa en nada para la estabilidad del mismo, analizándose la sección bajo la acción de las cargas de peso propio, peso del relleno (Terzaghi), empuje horizontal del suelo y reacción vertical del suelo.

b).- Se considera la acción suelo-estructura, idealizándose al suelo como un conjunto de barras verticales y horizontales que rodean a la estructura y con una rigidez a la compresión simple igual a la del suelo perimetral.

Los resultados de este último análisis muestran una distribución de la reacción diferente al análisis a), por tal motivo los momentos flexionales llegan a ser 64% menos cuando se considera el fenómeno de interacción.

Como último paso, se procede a la determinación de refuerzo de la sección, para lo cual se emplea el diseño por carga última para piezas de concreto a flexocompresión, siguiendo los lineamientos estructurales establecidos en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

3.12.- SISTEMA DE INYECCION.

Como ya se mencionó, conforme el escudo coloca el revestimiento definitivo del túnel y avanza, deja un espacio anular equivalente al espesor de la camisa que lo forma más la holgura de ensamble, el cual se rellena en dos fases: en la primera se inyecta gravilla a través de las perforaciones centrales con que cuentan las dovelas; la segunda fase corresponde a la de sello y se realiza con lechada, dos anillos atrás del que está saliendo del faldón.

Con el objeto de que el material no se introduzca al escudo, el faldón cuenta con un sistema de protección anular, compuesto por un sello de alambre y otro de neopreno cuyas funciones son detener los sólidos y los líquidos respectivamente, la Fig. 3.4 muestra su ubicación.

Este sistema es de vital importancia para el escudo ya que se encarga de ordenar las actividades propias del ciclo, así como de suministrar energía eléctrica e hidráulica a los diferentes sistemas que lo integran.

Dentro de las alternativas analizadas, se vió la conveniencia de emplear un sistema compuesto de cinco plataformas con pórtico y una para cambio de vía. El sistema de carga de vagonetas, se realizaría mediante un tripper que corre por encima de una banda ubicada sobre las primeras cinco plataformas, encargándose de conducir el material hacia tolvas que se ubicarían a los lados de la banda y de ahí a las vagonetas. Esta alternativa se desechó debido a que la Comisión Técnica consideró que éste sistema presentaría serios problemas de mantenimiento.

EQUIPO SELECCIONADO. - Se decidió utilizar un sistema compuesto por diez plataformas metálicas de 9x4 m. (cinco con pórtico y cinco sin él) y tres secciones de rampa. En la fig. 3.8 se muestra su arreglo, su peso aproximado es de 220 ton. con una longitud de 120 m., adecuada para alojar dos corridas hasta con diez elementos cada una. A continuación se presenta una breve explicación de la función que cumple cada una de las plataformas.

PLATAFORMA	F U N C I O N
1	Conexión del tren de respaldo al escudo #9.51 m.; almacenamiento de dovelas; suministro de dovelas al erector por medio de dos polipastos.
2	Porta los motores eléctricos y bombas hidráulicas que accionan a los diferentes sistemas.
3	Porta los transformadores y tableros de control eléctrico.
4	Porta el equipo de inyección.
5	Tolvas de almacenamiento para carga de vagonetas de rezaga.
6-10	Plataformas sin pórtico que alojan el cambio de vía.
Secciones de rampa	Absorben la diferencia de niveles que

existen entre el túnel construido y el tren de equipo. Tiene una inclinación de 3° y suman 18 m. de longitud.

Cada una de estas plataformas esta ligada con otra por medio de pernos, es decir, conforme el escudo avanza el tren se desplaza junto con él; para el suministro de los materiales de vía se utilizan los polipastos para el manejo de dovelas.

Las plataformas 6 a 10 tienen dos vías laterales, las cuales fueron diseñadas para alojar en una vía, una corrida completa compuesta por una locomotora, 6 vagonetas y 3 carros para transporte de dovelas; esta disposición garantiza el paso de una segunda corrida por la otra vía de tal manera que se tiene prácticamente segura la producción del túnel.

Las diez plataformas tienen un pasillo lateral en ambos extremos, fabricados con rejillas antiderrapantes y baranda metálico cuya finalidad es que el personal que interviene en la construcción del túnel circule sobre el tren con seguridad y puedan verificar en todo momento los procesos involucrados en el ciclo.

3.14.- CICLO TEORICO DE PRODUCCION.

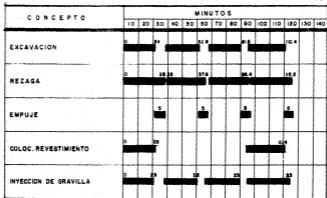
La aplicación en conjunto de los sistemas, da lugar a un ciclo, con el cual teóricamente y como se mencionó en el inciso 3.1 debe generar una producción de 20 m³/día, en la fig. 3.11 se presenta el programa para que en un día de trabajo se cumpla con éste avance. Para cada anillo se requieren 86.4 minutos dentro de los cuales se debe ejecutar la excavación, rezaga, colocación de anillos e inyección prácticamente en forma simultánea.

El ciclo teórico, se divide de la siguiente manera:

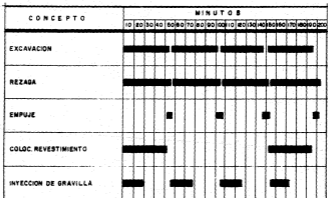
a) Excavación.- Se realiza en tres etapas de 0.40 m. por anillo. Tomando en cuenta la capacidad teórica del excavador (70 m³/h), se requieren 73 minutos para excavar 1.20 m.

b) Rezaga.- Esta actividad se realiza simultáneamente con la excavación, en cada una de las etapas se requiere extraer 34 m³ de material suelto, cuyo peso volumétrico es de 1.40 ton/m³; recordando la capacidad teórica de la banda primaria (400 ton/hr.), se requieren 8.32 minutos por etapa. Como ya se mencionó la capacidad de la banda, es con alimentación continua, lo que con los brazos recolectores de material y los brazos excavadores no se garantiza, por tal motivo se pensó que con un factor de 3.4 sería suficiente para absorber

CICLO DE EXCAVACION PARA AVANCE DE PROYECTO DE 20 m/día



CICLO DE EXCAVACION PARA AVANCE DE 12 m/día



UNAM.

DE.P.F.I.

TITULO:
CICLOS PARA 20 Y 12 m/d DE
PRODUCCION

FIGURA No. 3.11

esta deficiencia, es decir, 28 minutos son suficientes para esta actividad.

c) Empuje. - Esta parte del ciclo se realiza paralelamente con la rezaga. La capacidad teórica de avance los gatos es de 12 cm/min., por lo tanto teóricamente se requieren 3.3 minutos para empujar cada etapa de excavación. Sin embargo en la práctica no es conveniente utilizar la capacidad total del equipo (5,000 lb/in²). Si se parte de la base de que se empujará sin utilizar el total de gatos calibrando el equipo de bombeo a 3,500 lb/in², se requieren aproximadamente 5 minutos; el resto del tiempo que se observa en la gráfica se emplea para la verificación topográfica, selección y retracción de gatos.

d) Colocación del revestimiento. - Se realiza paralelamente a la excavación del siguiente anillo e inmediatamente después del empuje; el tiempo que se requiere es de 26 minutos, pero es básico contar con las ocho dovelas de que consta el anillo cerca del anillo erector.

e) Inyección de gravilla. - Se realiza inmediatamente que la perforación que tienen las dovelas, cuando abandonan el faldón del escudo. El tiempo que toma esta actividad debe ser de 23 minutos en dos etapas por anillo, lo cual obedece a que dentro del faldón caben 1.5 anillos.

Como puede observarse, el cumplimiento de ciclo teórico es sumamente difícil, debido a que no se contemplan tiempos muertos tales como mantenimiento, averías e imprevistos.

La experiencia a nivel mundial con la aplicación de prototipos, indica que la eficiencia puede llegar a ser hasta del 50%, presentándose en general entre 55% y 80%. Con esta base y esperando una eficiencia del 60% que equivale a 12 ml/día, se tiene que se requieren 144 min/anillo lo que origina el ciclo mostrado en la fig. 3.11.

3.15. - FABRICACION DEL ESCUDO.

Una vez concluido el proyecto, se sometió a licitación su fabricación, resultando ganadora la empresa Industria del Hierro, S.A. de C.V. con sede en Querétaro, Qro. Los trabajos tuvieron una duración aproximada de once meses, contratando la mencionada empresa todos los servicios, materiales y equipos necesarios señalados en el proyecto.

Al concluir la fabricación, se envió al lugar de la obra donde se llevó a cabo su ensamble. (capítulo 4)

CAPITULO 4
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

En el presente capítulo se describe el procedimiento constructivo que involucra la utilización del escudo, explicando la construcción de las lumbreras de arranque, el ensamble del equipo y la secuencia de excavación; así mismo, se presenta una breve explicación de las instalaciones y la plantilla de personal para el adecuado funcionamiento de la obra.

4.1.-

LUMBRERA.

Una lumbrera es una estructura vertical (generalmente circular) cuya función es permitir la introducción de aquellos equipos y materiales necesarios para la construcción de un túnel, así mismo se utiliza como medio para extraer el material producto de excavación. Estas estructuras pueden ser provisionales o permanentes; para el caso de la Línea 7 Norte se construyeron 15 lumbreras, de las cuales cinco son de acceso y salida de usuarios (permanentes), tres para la ventilación (permanentes) y el resto sirvieron para la construcción de Estaciones e Intertramos (provisionales).

Un aspecto importante de las lumbreras es su diámetro; tradicionalmente para la excavación de túneles en la obra Metro, empleando métodos convencionales, se construyen lumbreras con diámetro suficiente (5 a 11 m.) para la introducción y extracción de los equipos que se utilizan (camiones, traxcavos, lanzadoras, etc...). Sin embargo, cuando los túneles se excavan con escudo su diámetro aumenta debido a dos razones.

a) El armado y desarmado del escudo se realiza desde la superficie por medio de grúas. Esto implica que se debe contar con la holgura necesaria para el ensamble de las piezas. En el caso particular del escudo de 9.51 m de diámetro, al considerar su dimensión longitudinal (7.60 m.) se forma un rectángulo (fig. 4.1) que se tomó como base para determinar el radio mínimo de la lumbrera. Adicionándole una distancia mínima en las esquinas de 0.65 m. suficiente para el movimiento del personal en el fondo de la lumbrera durante la etapa de maniobras para el ensamble de las piezas del escudo, de como resultado, que 13 m. de diámetro son suficientes.

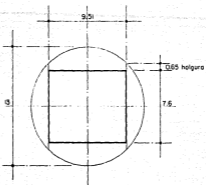


Fig. 4.1

b) las instalaciones que se requieren a lo largo de la lumbreira deben dejar un espacio libre suficiente para la bajada de dovelas, locomotoras, vagonetas y materiales que por sus dimensiones puedan complicar las maniobras. En la fig. 4.2 se presenta una vista en planta de la lumbreira 5, en la cual se observa que las dimensiones determinadas en el inciso a) son suficientes para cumplir con estos requerimientos.

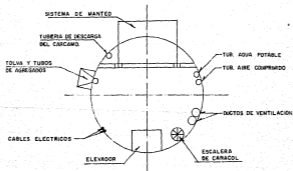


Fig. 4.2

Habiendo iniciado la excavación del túnel a partir de la lumbrera 5, la planeación de las instalaciones en esta lumbrera resultan de suma importancia; se analizó la conveniencia de implementar un adecuado sistema de muestreo ó extracción del material producto de la excavación por medio de botes de descarga por el fondo (SKIPS), para lo cual se requería la construcción de alcancías en el fondo de la lumbrera. También se revisó la construcción de una cubeta de concreto reforzado, con radio similar al radio exterior del escudo y en la que se dejarían embebidas unas guías metálicas a base de rieles, con objeto de brindar apoyo a las piezas del escudo durante su armado y reduciendo al mínimo la fricción del cuerpo del escudo en su avance durante el inicio del proceso de excavación. En la fig. 4.3 se aprecian los detalles de la lumbrera, cubeta y alcancía.

La construcción de la lumbrera se realizó por etapas de 1.50 m. de profundidad revistiendo cada una mediante concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada. Para la excavación se empleó draga con alméjra, rompedoras neumáticas y traxcavo. Para el control de agua producto de filtraciones, conforme se avanzaba la excavación se construía un carcamo donde se almacenaba y desalojaba. Así mismo en la zona lacustre (4 a 7 m. de prof.) se colocaron tubos de 2 1/2" de diámetro los cuales servían para aliviar la presión hidrostática que se generaba en ésta zona.

Alcanzada la profundidad de proyecto, se procedió a colar la losa de fondo, así mismo, se inició la construcción de la alcancía, realizándose en forma similar a la lumbrera. Al término de su construcción se procedió a la colocación del revestimiento definitivo de la lumbrera (25 cm. de espesor) empleando una cimbra deslizante.

Con el fin de facilitar la penetración del escudo en el terreno, no se construyó el revestimiento definitivo en la proyección del túnel sobre el muro de la lumbrera.

Por último, se construyó la cubeta ó estructura de apoyo para el escudo (fig. 4.4).

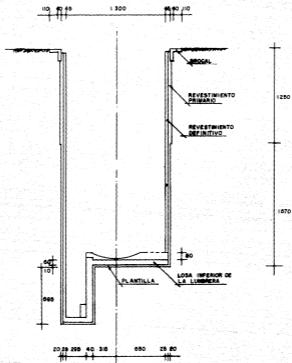
4.2.-

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL CON ESCUDO.

4.2.1.-

ARMADO DEL ESCUDO.

En este caso el montaje del escudo y tren de respaldo se realizó en dos etapas, las cuales se describen a continuación:

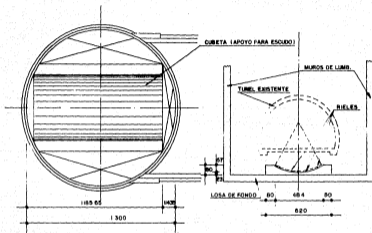


UNAM.

DE.P.F.I.

**TITULO:
LUMBRERA**

FIGURA No. 43



UNAM.

D.E.P.F.I.

TITULO:
CUBETA PARA APOYO DEL ESCUDO

FIGURA No. 4.4

a) Primera etapa: Ensamble del escudo, pórtico hidráulico y eléctrico.

b) Segunda etapa: Ensamble del tren de respaldo.

a) Primera etapa.- Por razones evidentes de espacio no fue posible instalar el tren de respaldo del escudo en esta etapa; su longitud de 130 m. no permitió alojarlo en un túnel de 30 m. de largo que existía al lado opuesto de la Lumbra (túnel de transición de la Estación Aquiles Serdán) y solamente se contó con los pórticos hidráulicos y eléctricos, cuya instalación fue necesaria para el suministro de energía a los diferentes sistemas.

Antes de iniciar con el montaje de las dos plataformas, se construyó una estructura falsa de acero en el fondo de la lumbra, haciendo coincidir su nivel de vía con la subrasante del túnel de transición de la Estación Aquiles Serdán. Esta estructura permitió el fácil deslizado de las plataformas dentro de dicho tramo de túnel (fig. 4.5).

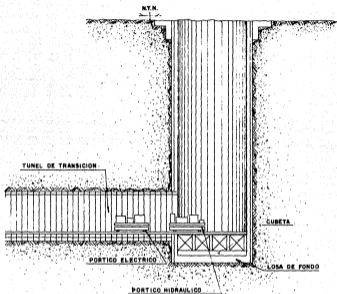
Concluido el armado de la estructura, se procedió a bajar la primera plataforma perteneciente al pórtico del sistema eléctrico (fig. 4.6). Posteriormente se deslizó el pórtico al túnel de transición para dar cabida sobre la estructura falsa a la plataforma siguiente, correspondiente al sistema hidráulico. Una vez concluido el ensamble de este segundo sistema se recorrió la plataforma al túnel de transición, para así poder retirar la estructura falsa del fondo de lumbra y dejar la zona en condiciones de recibir la primer sección del escudo.

La primer sección que se colocó sobre la cubeta fue la S-6, a la que se le soldaron en su parte inferior (apoyándose en la cubeta) vigas IPR (fig. 4.7), con el fin de que quedara fija y no se tuvieran problemas al momento de ensamblar las siguientes:

El ensamble de las 10 secciones restantes que componen el escudo (fig. 4.7), se realizó de manera ascendente en ambos lados con la ayuda de una draga.

En el momento que se tenían ensambladas las secciones S-6, S-7 y S-5 con su delantal, se instaló el transportador primario con tres de sus secciones y los brazos recolectores.

Cuando se tuvieron ensambladas las secciones S-4, S-5, S-6, S-7 y S-8 se procedió a descender el marco central sin la viga superior, posteriormente se colocó el cabezal cortador y la viga superior.

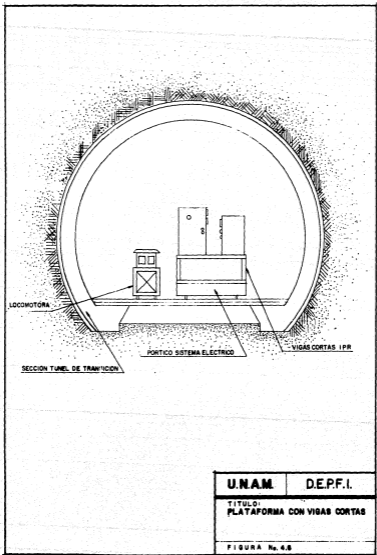


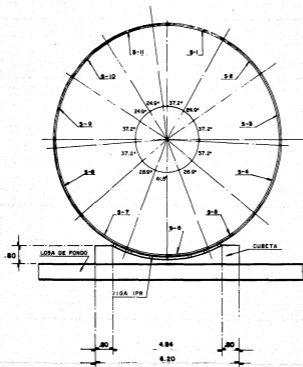
UNAM

DE.P.F.I.

TITULO:
ESTRUCTURA FALSA PARA AD-
SORBER LA DIFERENCIA DE NI-
VELES.

FIGURA No. 4.8





UNAM.

D.E.P.F.I.

TITULO:
SECCIONES QUE CONFORMAN
EL ESCUDO Ø 9.915 m

FIGURA No. 47

Terminando el ensamble del marco central, se instaló el anillo erector; posteriormente se terminaron de ensamblar las secciones faltantes hasta cerrar el cuerpo del escudo excavador, realizándose simultáneamente todas las instalaciones hidráulicas y eléctricas en el escudo y pórticos, concluyéndose así las actividades pertenecientes al ensamble del escudo y tren de equipo en su primer etapa.

b) Segunda etapa. - Excavados los primeros 180 metros de túnel se interrumpieron las actividades en el frente, con objeto de ensamblar el resto del tren de equipo del escudo, teniéndose la siguiente secuencia de actividades.

- Primeramente se desconectaron y retiraron del frente las dos plataformas con pórtico que habían sido habilitadas provisionalmente para los sistemas eléctrico e hidráulico, regresándolas al túnel de transición.

- Después se bajó, ensambló y se llevó al frente la plataforma uno.

- Posteriormente se desmanteló el pórtico del sistema hidráulico, el cual fue ensamblado nuevamente para regresarlo al frente con su configuración definitiva requerida en el proceso normal de excavación.

- Con el pórtico eléctrico se realizó la misma operación.

- Con los tres pórticos en el frente de excavación se iniciaron las interconexiones eléctricas e hidráulicas al escudo.

- Simultáneamente, en la lunbrera se bajaron y ensamblaron los dos pórticos restantes, siguiendo el mismo procedimiento que los anteriores para su traslado al frente.

- Finalmente se bajaron las cinco plataformas y secciones de rampa, ensamblándolas con el resto del tren de respaldo.

El proceso de ensamble total del tren de respaldo resultó sumamente lento y laborioso debido a que se realizaron las interconexiones eléctricas e hidráulicas de cada una de los equipos que componen el escudo y el tren de respaldo, al mismo tiempo que se armaron los pórticos, los dos transportadores, los cambios de vías para maniobras y las vigas monoriel con las que el escudo arrastra el tren de equipo y a lo largo de las cuales deslizan los polipastos que transportan las dovelas al pie del anillo erector del escudo.

Simultáneamente a los trabajos antes descritos y al concluir el ensamble del tren de respaldo, se excavaron dos tolvas para la descarga

directa de la lumbrera en el fondo de las vagonetas a los SKIPS; logrando con esto, dejar el sistema de manteo tal como fue concebido.

4.2.2.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN LOS PRIMEROS 180 METROS.

Este procedimiento fue empleado únicamente en el primer tramo de túnel excavado con el escudo, comprendido entre las lumbreras 5 y 7, con una longitud de 1316.0 m. En el segundo tramo comprendido entre las lumbreras 9 y 11 (870 m. de longitud), la disponibilidad de espacio permitió excavar con el proceso normal, cuya descripción está en este mismo capítulo.

Tomando en cuenta las dimensiones exteriores del escudo (9.513 m.) y las interiores del revestimiento del túnel (8.64 m.), además de la cubeta, se diseñó y construyó una estructura de atraque o de reacción en el fondo de la lumbrera 5, constituida por un semianillo y dados de concreto hidráulico anclados en las paredes de la lumbrera y construidos in situ (fig. 4.8). La forma en que se resolvió el avance del escudo apoyándose contra esta estructura, consistió en la formación de un túnel falso en la zona de lumbrera, mediante el empleo de las mismas dovelas prefabricadas destinadas para el revestimiento del túnel, rematadas en la parte superior con dovelas metálicas de diseño especial y rápido ensamble (fig. 4.9)

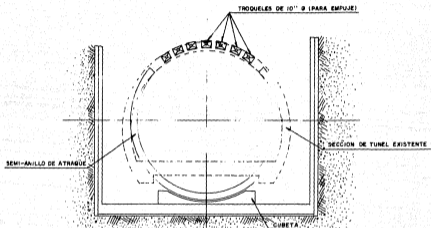
Tratándose de una lumbrera de arranque de forma circular, para el apoyo de los anillos del túnel falso, en su parte superior requirió el uso de troqueles tubulares de acero, los cuales se apoyan en los dados previamente construidos y alineados con los gatos de empuje del escudo.

Conforme el escudo fue penetrando en el terreno y desapareciendo de la zona de lumbrera, las dovelas metálicas fueron quitándose y poniéndose cuantas veces fue necesario para facilitar las labores de extracción del material excavado y el suministro de dovelas, cuyo manejo se hizo con dos dragas sobre orugas.

En términos generales el proceso constructivo puede describirse partiendo de sus actividades principales:

a) EXCAVACION.

Para esta primera actividad del ciclo, como ya se mencionó en el capítulo anterior, el escudo fue equipado con un mecanismo excavador giratorio con desplazamiento longitudinal, en el cual se acoplaron dos cabezas rozadoras Alpine AM-50, articuladas radialmente para abrir y cerrar los brazos de apoyo, limitando el corte de cada una de las cabezas en dos áreas concéntricas. El brazo más largo permitió la excavación hasta de una distancia de 10 cm. Fuera del perimetro exterior del escudo, y debido a su ubicación se encargó del 88%

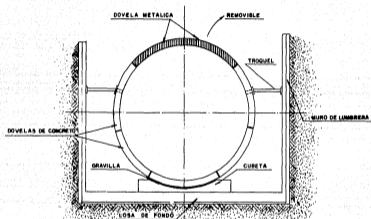


UNAM.

D.E.P.F.I.

**TITULO:
ESTRUCTURA DE ATRAGUE PARA
EMPUJE INICIAL**

FIGURA No. 4.8



U.N.A.M.

D.E.P.F.I.

TITULO:
SEMIANILLOS PARA INTRODUCCION
DEL ESCUDO

FIGURA No. 49

de la excavación de la sección.

Dependiendo de las condiciones de estabilidad del subsuelo, el ataque del frente se ejecutó por etapas cortas; en longitudes variables de 0.4 m. a 1.20 m.

En zonas de curvas se realizaron sobre excavaciones del lado pertinente (lado corto) para encauzar el escudo dentro del trazo de proyecto.

Con el equipo así descrito el corte del frente resultó relativamente sencillo y rápido en la sección superior, presentándose complicaciones en la parte baja, originadas por la acumulación del material cortado. Otras complicaciones se originaron por la presencia de rocas, especialmente en la sección inferior del túnel y para las cuales el equipo no estaba diseñado.

b) EMPUJE O AVANCE DEL ESCUDO.

El empuje del escudo, fue realizado al concluir cada etapa de excavación mediante la operación selectiva de los 31 gatos de empuje.

Las etapas de empuje dependieron directamente de las etapas de excavación efectuadas por cada anillo, un empuje se consideró terminado cuando los vástagos de los gatos, apoyados contra el revestimiento, alcanzaron una extensión mínima de 1.3 m..

Las presiones de empuje normalmente empleadas oscilaron alrededor de 3500 psi. con una fuerza promedio de 3000 tons.

Esta actividad influye decisivamente en el control topográfico del escudo sobre el trazo de proyecto y requiere de una planeación adecuada con un buen método de control por rayo laser y tarjetas, del cual se hablará más adelante.

Por la mecanización del sistema, el empuje podía ejecutarse en forma simultánea con la excavación y la rozaga.

En algunas ocasiones fue necesario realizar inyecciones lubricantes entre la camisa del escudo y el terreno circundante, con una mezcla compuesta por lodo bentonico y aceite soluble al 5% en peso, con objeto de reducir la fuerza de fricción entre el escudo y terreno, evitando el uso de presiones elevadas en el sistema de empuje, que podía traducirse en daños al revestimiento.

c) REZAGA.

Para la extracción del material excavado, únicamente se utilizaron tres de las cuatro secciones que forman el transportador primario, vaciando el material en el piso del túnel; no se consideró necesario ni conveniente instalar el transportador completo debido a la falta de apoyo del mismo atrás del escudo, por no contar con el tren de respaldo. En la zona de lumbrera se usaron dos secciones y cuando el escudo penetró totalmente se acopló la 3a. sección.

Para facilitar las maniobras y el tránsito de equipo, en esta etapa, se aprovechó el material producto de la excavación, para formar con ayuda de un cargador caterpillar 955 con descarga lateral, una plataforma de trabajo en el túnel en proceso, igualando el nivel de piso del túnel de transición existente. Con el mismo cargador se recogía la rezaga del piso del túnel y se llenaban las vagonetas montadas sobre trucks, las cuales se transportaban del frente a la lumbrera y viceversa, por una vía colocada lateralmente sobre la plataforma de trabajo (Fig. 4.10).

En la lumbrera las vagonetas de rezaga se izaban a la superficie y descargaban a las tolvas de almacenamiento, para proceder a su envío a los tiraderos.

Durante la rezaga podían realizarse simultáneamente el empuje del escudo y la excavación del frente.

d) COLOCACION DEL REVESTIMIENTO.

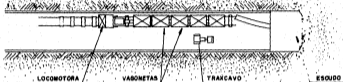
Esta actividad solamente puede realizarse cuando la extensión de los gatos de empuje durante el avance del escudo ha alcanzado su máxima carrera y sus vástagos pueden ser retraídos para dejar el espacio libre requerido en el faldón por el siguiente anillo de dovelas.

Como ya se mencionó, el ensamble de los anillos se hizo siguiendo una secuencia ascendente; colocando primero las dovelas de la cubeta (Normales o tipo "b"), continuando hacia arriba hasta colocar las dovelas tangenciales (tipo "c") y la cuña de cierre o dovela tipo "a" (Fig. 4.11).

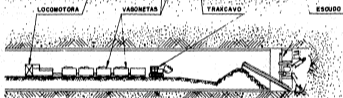
En la generalidad de los casos la posición de la cuña de cierre se ubicó un ángulo no mayor a los 45° a ambos lados de la clave, alternando su colocación en las 3 posiciones proyectadas.

La colocación del revestimiento se realizó simultáneamente con las actividades de excavación y extracción de la rezaga del frente, mediante el

PLANTA



ELEVACION

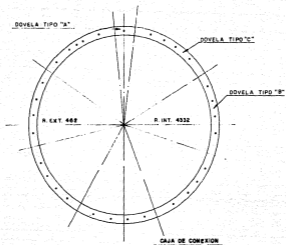


UNAM.

DE.P.F.I.

TITULO:
CONFIGURACION DEL SISTEMA DE
REZAGA PARA LOS PRIMEROS
180 m.

FIGURA No. 4.10



ISOMETRICO



UN.AM.

D.E.P.F.I.

TITULO:
DIAGRAMA PARA ENSAMBLE
DE ANILLOS

FIGURA No. 4.N

mecanismo posicionador de dovelas que se encuentra montado en el anillo erector (del tipo engrane, con dientes interiores). El mecanismo posicionador se compone de 5 gatos hidráulicos que le permiten movimientos longitudinal y radial con respecto al eje del túnel, así como para pescar la dovela en turno y evitar el vaivén de la misma durante su traslado al punto de colocación.

El anillo erector en conjunto permitió de acuerdo a lo proyectado, tomar las dovelas desde la parte baja del faldón del escudo y llevarlas hasta su punto de colocación con rapidez y seguridad, terminando el ciclo hasta la fijación con tornillería a las dovelas del anillo anterior y a las dovelas del anillo en proceso.

La tornillería de unión empleada por cada anillo de dovelas se compuso de 47 pzas. de 1 3/8" de diámetro por cinco pulgadas de longitud, fabricadas en acero de grado cinco.

El suministro de dovelas al pie del anillo erector se efectuó con un polipasto eléctrico de 4 tons. de capacidad, que se encargaba de tomar las dovelas desde los carros montados en la vía lateral y las conducía sobre las viguetas que unen el tren de equipo con el escudo.

e) INYECCION.

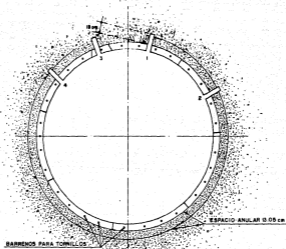
Para rellenar el espacio anular que se forma como consecuencia de la diferencia entre el diámetro exterior del escudo (9.513 m.) y el diámetro exterior del revestimiento (9.24 m.), se aplicó una inyección de contacto inicialmente compuesta de un relleno de gravilla menor a 1/4" de diámetro y mortero en 3 fases, cambiándose por una inyección de lechada en dos fases sin lanzado de gravilla.

La inyección también sirvió para reducir filtraciones al interior del túnel y para disminuir los asentamientos originados por la tendencia de la masa de suelo a ocupar el espacio anular.

A continuación se explica la secuencia de inyección:

Primera fase. - Se realizó a través de los orificios dispuestos en la dovela para su izaje, utilizando los insertos 1 y 3, quedando como testigos los insertos 2 y 4 (fig. 4.12). Se efectuaba inmediatamente después de que el anillo salía del faldón, hasta inyectar un volumen máximo de 1 m³ por inserto o cuando se alcanzaba una presión de 1.5 kg/cm².

Segunda fase. - Se efectuó de manera alternada; el anillo por inyectar debía contar con la primera fase y tener una distancia al faldón de



U.N.A.M.

D.E.P.F.I.

TÍTULO:
INYECCIÓN DEL ESPACIO ANULAR

FIGURA No. 4.12

cuatro anillos atrás. En esta fase se utilizaban los insertos 2 y 4 inyectando hasta un volumen máximo de 0.5 m³ por inserto o cuando se alcanzaba 1.7 kg/cm² de presión.

Los proporcionamientos empleados para la inyección fueron los siguientes:

	1a. Fase	2a. Fase
Agua (lt)	300	198
Cemento (kg)	100	250
Bentonita (kg)	10	4.5
Arena (lt)	270	67
Aditivo acelerante de fraguado (kg)	2.6	----
Volumen por bacha (lt)	500	320

El suministro de las mezclas de inyección se efectuó en carros montados sobre vía, en los que se instalaron recipientes de 4 m³ de capacidad y una bomba noyno 3 L-10.

En cuanto al sistema de soporte frontal integrado por 6 compuertas abatibles, se puede mencionar que a lo largo de los 180 primeros metros no se requirió su uso, salvo para el ademe del frente durante los fines de semana (día domingo).

4.2.3. - PROCESO CONSTRUCTIVO CICLO NORMAL.

Habiendo reiniciado la excavación del túnel después de los primeros 180 metros, se observaron cambios importantes en el desarrollo de las actividades involucradas en el proceso constructivo. Sin embargo, en 3 actividades esenciales mencionadas en la construcción de los primeros 180 metros, su forma de ejecución en el frente de ataque no se modificó.

Para explicar con claridad estas ideas se hace un resumen de los puntos más importantes y las principales diferencias en el proceso:

1.- El tren de equipo arrastrado por el escudo permitió la

optimización de las actividades ejecutadas en el frente:

a) La extracción de la rezaga con los 2 transportadores acoplados permitió la carga rápida y directa a las tolvas de regulación y posteriormente a las vagoneas, eliminando el traxcavo y la formación de relleno.

Con esto se logró limpieza en el túnel, eficiencia y simplificación de actividades.

b) El manejo de las dovelas, de la 1a. plataforma del tren de equipo al pie del anillo erector, se ejecutó con 2 polipastos, montados en la vigueta de arrastre, tal como fue concebido el proyecto. Las maniobras se simplificaron y la eficiencia se incrementó, a tal grado que se podían tener almacenadas todas las dovelas de un anillo en el espacio existente entre la 1a. plataforma y el escudo, previo a su colocación.

c) El movimiento de las corridas formadas por locomotoras, vagoneas, carros para transporte de dovelas y carros para transporte del equipo de inyección, también se pudo realizar en forma fácil para garantizar la continuidad en el ciclo, apoyado todo este movimiento en el sistema de doble vía con cambio para su interconexión, que posee el tren de equipo.

d) Conforme la excavación avanzó no se requirió el movimiento continuo de las líneas eléctricas e hidráulicas desde su frente de alimentación al escudo, permaneciendo totalmente fijas, reduciendo su mantenimiento y evitando problemas generados por falta de seguridad.

e) El control de cada una de las actividades ejecutadas en el frente también se mejoró notablemente.

2.- Las actividades inherentes al escudo y a la excavación en el frente que no sufrieron ninguna modificación en cuanto a su forma de ejecución, fueron: la excavación o corte del frente, el sistema de empuje y la colocación del revestimiento. Dichas actividades solamente se afinaron por la habilidad de los operarios y el personal en general.

3.- La extracción de la rezaga originó problemas por desgaste del transportador de cadena, el cual fue substituido acertadamente por un transportador de banda de hule. Esta medida redujo drásticamente los problemas de mantenimiento del transportador.

4.- Para encauzar hacia el transportador primario el material excavado, se instaló una pequeña retroexcavadora, cuya operación podía combinarse con la de las dos cabezas rozadoras, reduciendo enormemente el trabajo del brazo

largo y optimizando tanto la excavación como la rezaga.

5.- La disponibilidad de espacio, dentro del propio túnel, en la lumbra de arranque y en el túnel de transición permitió la planeación adecuada y el uso de instalaciones para mejorar el ciclo y los rendimientos. Dentro de estas instalaciones podemos mencionar especialmente el cambio California y las espuelas de vía o laderos.

6.- Para esta etapa se puso en operación el sistema de manteo ó eliminación de la rezaga por la lumbra, mediante torre, tolvas y skips, estando a la altura de las necesidades planteadas por la excavación, en sus días de máximo rendimiento.

7.- Se aumentó el volumen de inyección debido a los asentamientos superficiales presentados por el procedimiento constructivo, siendo en primera fase 3.5 m³ y en segunda 0.96 m³ por anillo, con las mismas presiones que en los 180 primeros metros.

De todas las diferencias hasta aquí mencionadas, resulta obvio que los resultados obtenidos en el proceso normal fueron totalmente diferentes, aún cuando existieron problemas de operación con algunos equipos y sistemas que se integraron al escudo en el momento de instalar el tren de equipo.

Por otra parte, conviene mencionar que independientemente de los dos procesos descritos, desde el arranque de la excavación hasta su terminación ocurrieron algunos problemas mecánicos en los diferentes conjuntos que integran el escudo y su tren de equipo, mismos que se fueron solucionando durante la marcha y que afectaron indistintamente los rendimientos en ambas etapas. Los problemas en referencia se presentaron principalmente en los siguientes conjuntos:

- a) Equipo hidráulico del sistema de empuje.*
- b) Equipo hidráulico del sistema erector de dovelas.*
- c) Polpastos.*
- d) Mecanismo excavador.*
- e) Modulador de frecuencia de los motores del excavador.*
- f) Transportador primario.*
- g) Retroexcavadora.*
- h) Equipo hidráulico de los brazos recolectores.*

También conviene hacer mención, que existieron una serie de eventualidades durante la etapa de excavación, ajenas al escudo y su tren de equipo, siendo las más importantes las que a continuación se indican:

1) Caídos en el frente en presencia de arenas sueltas en la clave del túnel; fue necesario emplear las compuertas de ademe del escudo, retraer uno de los brazos cortadores (la sección central) o excavar manualmente en el peor de los casos.

2) Suministro tardío de dovelas al frente.

3) Suministro tardío de vagonetas vacías al frente.

4) Suministro tardío de los carros con la mezcla de inyección.

5) Descarrilamiento de las plataformas del tren de equipo por rotura de los rieles de la vía central, especialmente en las curvas horizontales de trazo, por la poca holgura existente entre las cajas de las ruedas metálicas sobre las que ruedan las plataformas, con respecto al hongo del riel.

6) Fallas en el sistema de manto por descompostura del equipo (malacate, skips, etc.) y por acumulación de rezaga en las alcancías.

7) Fallas en el ensamble de las dovelas por no coincidir los orificios de las placas de unión dejadas expresas para la colocación de tornillos, especialmente en las curvas horizontales del trazo.

Durante el proceso de armado, cada dovela debe ajustarse al anillo anterior, el cual está saliendo del faldón y por tanto sujeto a mayores deformaciones respecto a su configuración inicial, originados principalmente por su gran diámetro. Esta situación obliga a colocar el anillo "colgado" y deformado en el que la más mínima variación ocasiona serios problemas para meter los tornillos de unión. Este problema se agudiza por las curvas y por el "cabeceo" continuo del escudo al ser guiado, propiciando diferencias de paralelismo de las caras de contacto de los anillos.

8) Limpieza en la parte baja del faldón del escudo por presencia de lodo y agua producto de filtraciones.

Adicionalmente hubo algunos problemas de coordinación de equipo en la superficie, particularmente en los camiones que transportaban la rezaga a los tiraderos.

En relación a la excavación de túneles con escudo, se ha visto que uno de los problemas principales en su construcción es el control topográfico, ya que por sus características esenciales, difiere sustancialmente de los procedimientos ordinarios, pues comparativamente con una condición a cielo abierto es más desfavorable para su ejecución, por lo que la topografía en el control de túneles es más limitada en cuanto a espacio y recursos para el desarrollo ó aplicación de métodos. De lo anterior se deduce que la conducción topográfica deberá efectuarse con procedimientos que garanticen logros óptimos de tiempo, economía y precisión, obteniéndose todo esto con la utilización del RAYO LASER.

El rayo láser utilizado en topografía, difiere en potencia de los que se emplean industrialmente para el corte de diamantes o para efectuar intervenciones quirúrgicas delicadas, ya que la potencia es apenas mediable en el rango de los miliwatts, comparable con la luz del sol que llega en ambiente normal a la tierra. Consiste en un tubo de plasma helio-neón que produce una poderosa viga monocromática de luz concentrada.

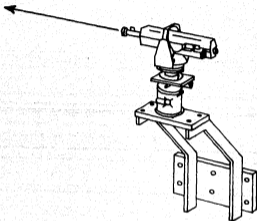
El tubo está sellado de fábrica protegiéndolo así contra basura, polvo, humedad, vibración, y otros problemas asociados con su uso en túnel. Los láser pueden operarse con corriente eléctrica de 12 volts D.C..

Una multitud de láser y montajes se consiguen comercialmente, pero la combinación más conveniente proyecta la luz de láser a través del sistema óptico de un teodolito, de manera que ángulos horizontales y verticales pueden girarse convenientemente con precisión.

La combinación del láser-teodolito se monta en un soporte especialmente diseñado, fijo al revestimiento primario (fig. 4.13). El soporte se diseña de manera que el láser-teodolito se coloque en tres dimensiones y la luz láser precisamente orientada en azimuth (dirección) y deflexión (pendiente). La posición de láser-teodolito y la orientación de la luz láser se calculan con equipo de procesamiento electrónico de datos y es registrado en una computadora.

La luz láser se dirige continuamente a dos tarjetas fijas en el escudo; en las intersecciones de la luz con las tarjetas aparecen puntos rojos brillantes y conforme el escudo se mueve, los puntos rojos trazan trayectorias en las tarjetas. La posición relativa de la trayectoria marcada por el punto, comparada con la trayectoria calculada, indica la desviación del escudo de la posición deseada.

En una sección del túnel en tangente ó en línea recta, la trayectoria calculada es una recta inclinada (fig. 4.14). En la sección del túnel en curva, la trayectoria calculada se aproxima a una hipérbola (fig. 4.15). A

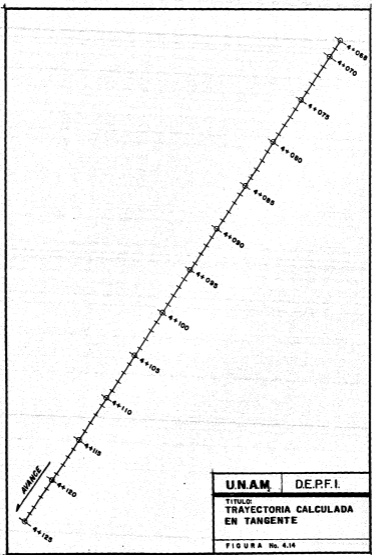


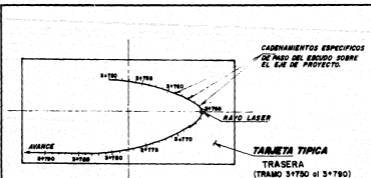
LASER CON CABEZALES DE DESPLAZAMIENTO
Y ELEVACION, FIJO A UNA MENSULA RIGIDA.

UNAM. **DE.P.F.I.**

TITULO:
LASER-TEODOLITO

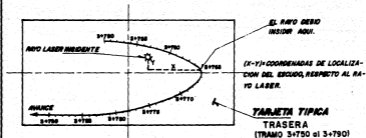
FIGURA No. 4.13





EJEMPLO:

CUANDO EL PLANO Y₁ DEL ESCUDO ESTA EN EL CADENAMIENTO 3+755, EL RAYO LASER INCIDE EN LA POSICION MOSTRADA.



DE LO CUAL SE DEDUCE: QUE EL ESCUDO SE ENCUENTRA AL LADO DERECHO Y ABAJO DE LA POSICION REQUERIDA POR PROYECTO.

UNAM. DE.P.F.I.

TITULO:
TRAYECTORIA CALCULADA
EN CURVA.

FIGURA No. 418

lo largo de la trayectoria graficada, se marcan estaciones a ciertos intervalos para referencia.

En el techo del compartimiento del operador del escudo se montan dos tarjetas (se usan dos tarjetas en lugar de una por la misma razón que un rifle tiene una mira trasera y una delantera), las tarjetas se colocan en soportes con pasadores y pueden moverse lateralmente alrededor del centro del escudo para compensar el giro del mismo.

El movimiento del escudo puede ser verificado fácilmente en forma directa sobre las tarjetas, por el operador o el ingeniero encargado del frente y el turno de topógrafos debe concentrar su atención a comprobar constantemente la colocación del láser, tarjetas y puntos intermedios (o puntos de control), sin presión de ninguna especie y sin interferir con las actividades del ciclo.

Si por alguna razón el láser se mueve debido a movimientos del revestimiento o por accidente, la luz no pasa a través de los puntos de control y el operador no verá el punto rojo. Un punto de control es una placa perforada que se coloca entre el láser y el escudo; la luz del rayo debe pasar en todo momento a través del orificio, normalmente se colocan tres puntos de control.

La fig. 4.16 presenta una perspectiva esquemática del sistema.

Como parte complementaria de evaluación, tanto del giro como de la pendiente real del escudo, se usa la plomada convencional de topógrafo, suspendida en la parte lateral del escudo en el compartimiento del operador, donde previamente se ha fijado una retícula que indica cuantitativamente el desplazamiento que tiene la punta de la plomada, permitiendo calcular analíticamente el ángulo de giro que tiene el escudo y la pendiente real que sigue en su trayectoria.

Como complemento del control topográfico, en superficie se llevaron bancos de nivel sobre la línea de proyecto para determinar las posibles expansiones o asentamientos provocados por el paso del escudo (ver capítulo 5), así como pozos de control topográfico construidos previamente como auxilio para la guía topográfica del escudo durante la excavación del túnel y que posteriormente sirvieron para la bajada de materiales en la construcción del relleno y como pozos para el sistema contra incendio.

4.3.-

PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA FABRICACION DE DOVELAS.

Como ya se mencionó, el revestimiento del túnel está constituido por una serie de anillos de concreto prefabricados, los cuales están integrados por siete dovelas y una cuña. El anillo cuenta con cinco dovelas tipo

"b" con caras radiales, dos dovelas tipo "c" con caras tangenciales y una dovela tipo "a" funcionando como cuña (fig. 4.11).

En base a que la construcción de dovelas, se traduce en una fabricación de elementos en serie, es conveniente destinar una área exclusiva y superficie para su elaboración y almacenaje. Este último aspecto es importante ya que se debe contar con espacio de 28 días de producción más un tanto igual por cuestiones de paro del escudo por falla o cualquier otra razón, así como sobreproducción. Para este escudo se destinó un área de 19,000 m², donde se construyó la llamada "planta de dovelas" ubicada cerca del IPN, atrás de los Talleres Ticomán del metro.

Para la fabricación de dovelas se contó con 5 juegos de moldes metálicos, diseñados lo suficientemente rígidos para estar expuestos a un sistema vibratorio y garantizar los productos terminados sin deformaciones.

A continuación se describe en términos generales el ciclo de producción de dovelas.

a).- *Habilitado, armado y colocación de acero de refuerzo.*

El habilitado y armado del acero de refuerzo se ejecutó en un área específica en la planta, con cuadrillas dedicadas exclusivamente a estas actividades y se llevó a cabo según los planos estructurales correspondientes, empleando acero de resistencia $f_y=4,000$ kg/cm².

En todos los casos se verificó que el armado se apegara a las especificaciones de proyecto y que el acero se encontrara libre de polvo, cemento, oxidación, tierra y grasa, para proceder a su colocación en el molde correspondiente.

b).- *Elaboración y colocación del concreto.*

Antes de elaborar el concreto, se efectuaron pruebas de calidad de los materiales, así mismo, se verificó la dosificación para lograr un concreto de grado "B" de 350 kg/cm² de resistencia a los 28 días de edad.

En el vaciado y vibrado del concreto se ideó un sistema para el traslado de los moldes metálicos a las fosas de vibrado; 2 grúas pórtico con pilpastos de 10 ton. de capacidad de levante se encargaron de esta maniobra.

Adicionalmente a las vibraciones transmitidas por la mesa de vibrado (con vibradores de pared) se emplearon vibradores de inmersión, para garantizar el mejor acabado.

c).- Curado a vapor.

El curado a vapor se realizó una vez que el concreto presentó el fraguado inicial, (dos horas como mínimo después del colado).

Por especificación en el período de ascenso de temperatura no podía excederse de 23°C/hr., por lo que éste ascenso se efectuó en un promedio de 15 a 23°C. por hora.

La temperatura máxima a la que se sometió el concreto fue de 77°C. y no se podía alcanzar antes de 4:00 hrs. a partir del momento en que se iniciaba el proceso de curado. La temperatura alcanzada por el concreto durante el proceso tampoco podía ser inferior a 66°C.

Una vez alcanzada la temperatura máxima en la cámara de vapor se inició inmediatamente con el proceso de descenso de temperatura, el cual se realizó en un período no mayor a 3:00 hrs., con un promedio de 18 $\frac{1}{2}$ ° C/hr. Posteriormente se dió un reposo de dos horas a los elementos.

La resistencia a compresión simple del concreto curado a vapor fue determinado por medio de muestras representativas (cilindros de prueba), muestreadas del concreto utilizado y sometidas al mismo proceso de curado a vapor. Generalmente se prepararon dos juegos de muestras; un juego se ensayó en la planta y el otro en el laboratorio de la Dirección de la Obra.

La resistencia mínima alcanzada al término del curado, después de 15 \pm 3 hrs., fue superior al 60% de $f'c=350$ kg/cm².

d).- Acabado de doveles.

Durante el período del fraguado inicial, al ocurrir el "sangrado" del concreto, se aprovechó para dar el acabado pulido a cada una de las doveles.

e).- Descimbrado.

Después de haber aplicado el curado a vapor y haber alcanzado la resistencia mínima no menor del 60% de $f'c=350$ kg/cm² al término del período, se procedió a efectuar el descimbrado de las doveles cuidando que el "jalón" o fuerza aplicada para ello fuera completamente perpendicular al elemento.

f).- Estibado.

Una vez descimbrada la dovela, se transportó y estibó en el área de almacenamiento para esperar la resistencia última del concreto a 28 días que no debía ser menor a la resistencia $f'c$ especificada, para así poder ser utilizada en el túnel.

g).- Limpieza y preparación de moldes.

Se realizó la limpieza de cada uno de los moldes metálicos, retirando las costras de concreto producto del descimbrado; la superficie de colado de los moldes quedó exenta de impurezas, empleando para tal fin diesel o algún tipo de desmoldante, antes de ser nuevamente utilizados.

h).- Rendimientos.

Tomando en consideración los tiempos para cada una de las actividades que intervinieron en el proceso constructivo de las dovelas, se obtuvo un rendimiento promedio de 6 anillos por día de acuerdo a los siguientes:

CICLO POR ANILLO

Colado de dovelas.....	2.00 hrs.
Fraguado inicial	2.00 hrs.
Curado a vapor	7.00 hrs.
Reposo	2.00 hrs.
Descimbrado	1.00 hrs.
Limpieza de moldes	1.50 hrs.
Colocación de armados	<u>1.50 hrs.</u>
T O T A L	17.00 hrs.

Si sabemos que de un día se trabajan las 24:00 hrs.

$$(24 \times 0.85) - 17 = 1.20 \text{ anillos/día}$$

$$1.20 \text{ anillos/día} \times 5 \text{ juegos} = 6.0 \text{ anillos/día}$$

* 0.85 = Factor de eficiencia en el turno.

4.4. EQUIPO, INSTALACIONES Y PERSONAL.

La base del éxito de cualquier obra de Ingeniería Civil y en específico de un túnel, radica en la correcta selección del equipo, instalaciones y personal que intervengan en su realización.

Para el tema que nos ocupa, el equipo empleado fue el mismo que se previó en el diseño del escudo, siendo los principales los siguientes:

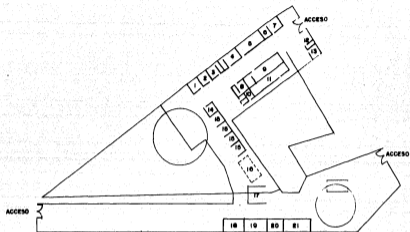
- a) Locomotoras diésel.
- b) Vagonetas de 5.6 m³ de capacidad con descarga lateral.
- c) Torre de manto con doble skip de 5.6 m³. c/u, capaz de almacenar 90 m³.
- d) Carros de inyección de 4 m³ de capacidad con bomba moyno.
- e) Draga.
- f) Camiones de volteo.

Como se puede observar, la capacidad de las vagonetas es compatible con los skip's, lo cual obedece al sistema de vaciado que se aplica. Así mismo, la torre de manto está acondicionada para no tener un número excesivo de camiones en espera, es decir, partiendo de la base de una producción de 20 m³/día, equivalentes a 1,194 m³ de material suelto, se requieren 8 camiones por hora cuyo recorrido al tiradero es de 2.75 horas, por lo tanto 22 camiones de 8 m³ de capacidad son suficientes para garantizar la producción esperada.

En lo que respecta a las instalaciones en superficie, deben ser suficientes y adecuadas para el buen desempeño de la obra. En éste caso y como es obvio se contruyó cerca de zonas habitadas por lo que no se contó con el área deseada, repercutiendo principalmente en las actividades de rezaga y suministro.

Como se mencionó en el capítulo 3, los tramos que se atacaron con el escudo tienen una longitud de 870 m. y 1,316 m. por lo que las instalaciones en superficie tuvieron que ser llevadas de un lugar a otro. Las figuras 4.17 y 4.18 muestran en planta la distribución de los campamentos empleados en los dos tramos; en ellas se observa que para una obra de ésta magnitud se requieren instalaciones fijas para actividades específicas, tanto para equipos, como para el personal técnico, administrativo y de campo. Como complemento a estas instalaciones y en lo que se refiere al túnel, se tienen las siguientes:

- a) Cambio California.
- b) Cambios fijos.

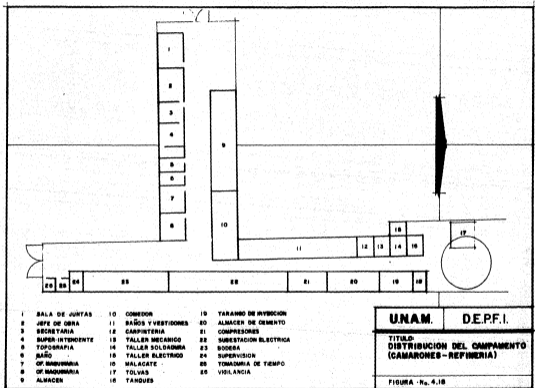


- | | | | |
|----|---------------------|----|------------------|
| 1 | MAQUINARIA | 13 | PERSONAL |
| 2 | JEFE DE FRENTE | 14 | TOPOGRAFIA |
| 3 | JEFE DE OBRA | 15 | TALLERES |
| 4 | SUPERINTENDENTE | 16 | SUBESTACION |
| 5 | SALA DE JUNTAS | 17 | MALACATE |
| 6 | OFICINA | 18 | SALA DE BOMBA |
| 7 | ADMINISTRACION | 19 | COMPRESORES |
| 8 | SERVICIO | 20 | AGUA Y BENTONITA |
| 9 | ALMACEN | 21 | BIYECCION |
| 10 | RESADERAS | | |
| 11 | BAÑOS Y VESTIDORES | | |
| 12 | TOMADERIA DE TIEMPO | | |

UNAM.	D.E.P.F.I.
-------	------------

TITULO: DISTRIBUCION DEL CAMPAMENTO (AGUAS SERCAN-CAMARONES)
--

FIGURA No. 4.17



1	SALA DE JUNTAS	10	COMEDOR	19	TARAMO DE RIVERSION
2	JEFE DE OBRA	11	BAÑOS Y VESTIDORES	20	ALMACEN DE CEMENTO
3	SECRETARIA	12	CARPINTERIA	21	COMPRESORES
4	SUPER-INTENDENTE	13	TALLER MECANICO	22	SUBESTACION ELECTRICA
5	TOPOGRAFIA	14	TALLER SOLDADURA	23	BODEGA
6	BAÑO	15	TALLER ELECTRICO	24	SUPERVISION
7	OF. MAQUINARIA	16	MALACATE	25	TOMADURIA DE TIEMPO
8	OF. MAQUINARIA	17	TOLVAS	26	VIGILANCIA
9	ALMACEN	18	TANQUES		

- c) Tuberías para suministro de agua al frente, aire comprimido, bombeo para extracción de agua producto de filtraciones.
- d) Tubería para ventilación del frente de trabajo.
- e) Red telefónica.
- f) Líneas eléctricas de fuerza e iluminación.

A continuación se presenta una breve explicación de cada una de estas instalaciones.

a.- Cambio California.

Es una estructura consistente de varias plataformas metálicas moduladas de acuerdo a las necesidades del túnel en particular. Sirve para hacer la transferencia de las corridas a una distancia muy cercana al frente, reduciendo el recorrido de las locomotoras al cambiar las corridas vacías por llenas. Funciona en forma similar a las plataformas del tren de equipo; dotada de un sistema de doble vía con dos cambios y dos rampas (una de acceso y otra de salida), se monta y se desliza sobre la vía central del túnel mediante un conjunto de ruedas metálicas con doble caja. Siendo una estructura ligera, puede moverse fácilmente jalándola con la locomotora cuando la distancia al frente ha aumentado.

El cambio California usado en la excavación del túnel que nos ocupa estuvo constituido de seis plataformas de 9 m. de largo y dos rampas de 6 m. de largo, resultando una pieza clave para la optimización de tiempos y movimientos en el ciclo de trabajo.

La instalación de esta estructura fue ejecutada al término de la instalación de las plataformas del tren de equipo, sin causar demoras adicionales a los paros programados.

b.- Cambios fijos o lateros.

Son sistemas de varias vías que se instalan principalmente en las inmediaciones de la lumbrera de arranque del túnel, para facilitar las labores de manto, suministro de dovelas, equipo y materiales varios que se emplean en el túnel. Para este túnel, dichos cambios se hicieron con una longitud variable entre 90 y 120 m. dependiendo de la disponibilidad de áreas que se tuvo para cada lumbrera.

Los cambios fijos también se instalan en el interior del túnel, cuando la longitud excavada es bastante grande y no se cuenta con cambios

california adicionales. De esta manera se reducen los movimientos de las corridas en el ciclo y se optimizan las maniobras.

En el tramo del túnel comprendido entre las lumbreras 5 y 7 solamente se instaló un cambio fijo de 70 m. de longitud.

Generalmente la instalación de estos cambios representan algunas demoras, porque en túneles circulares debe colocarse un relleno y modificar totalmente la vía existente. Su instalación requiere de un paro programado.

c.- Tubería para suministro de agua y aire comprimido.

Una tubería de fierro galvanizado de 2" # fue suficiente para proveer del agua necesaria para limpieza de los equipos. Dicha tubería se instaló dentro de unas ménsulas colocadas en la pared del túnel por tramos de 6.4 m. de longitud, a medida que el frente de excavación progresaba.

Las tuberías para suministro de aire comprimido y bombeo fueron de fierro negro cédula 40 y de 6" #, se colocaron en forma similar a la anterior.

Para el bombeo se requirió instalar cárcamos metálicos con bombas para traslapeo, según la presencia de aportaciones.

d.- Tubería para ventilación del frente de trabajo.

Considerando que el grueso de las actividades se realizan en el frente de excavación del túnel, se optó por suministrar aire fresco a dicha zona.

Analizando el volúmen de aire requerido por el personal laborando, así como por el equipo de combustión interna (locomotoras a diesel) se determinó la instalación de dos líneas para suministro de 36" #, con ventiladores a cada 250 m. de distancia, estas líneas se colgaron de la parte superior del túnel.

e.- Red telefónica para intercomunicación.

De suma importancia para el control de movimiento, esta red contaba con teléfonos ubicados en los puntos clave como fueron:

Frente del túnel (escudo).

- Cambio california.
- Fondo de la lumbrera.
- Caseta de malacate de manteo.
- Oficinas de superintendencia.
- Caseta de inyección en superficie.

f.- Líneas eléctricas de fuerza de iluminación.

Para el suministro de energía al escudo se empleó una línea trifásica de 13,200 volts empalmada mediante interruptores tripolares especiales a cada 250 m. La conexión del pórtico eléctrico al último interruptor se realizó con un cable super flexible (también de fabricación especial), con objeto de evitar inducción en las líneas y algún posible accidente.

Para el suministro de energía al sistema de ventilación y equipos adicionales al escudo, se empleó una línea trifásica a 440 v. con un transformador para evitar la caída de voltaje.

Para el alumbrado se empleó exclusivamente una línea trifásica con lámparas de 2x74 w. a cada 9 m.

El personal de campo que se requiere por turno para el correcto funcionamiento del escudo es el siguiente:

a) En superficie.

- 1 Brigada para manteo.
- 1 Operario de compresores.
- 1 Operario de draga.
- 1 Elevadorista.
- 2 Maniobristas.
- 1 Brigada de limpieza y mantenimiento de campamento.
- 1 Electricista.

b) En túnel.

- 1 Operario del escudo.
- 1 Operario de retroexcavadora.
- 1 Operario del sistema de empuje y erector de dovelas.
- 1 Operario de tolvas de rezaga.
- 1 Operarios de locomotoras.
- 1 Brigada de mecánicos.
- 1 Brigada de soldadores.
- 1 Brigada de colocación de vía.
- 1 Brigada de mantenimiento de vía.
- 1 Brigada de tuberos.
- 1 Brigada para ensamble de dovelas.
- 1 Brigada para inyección.
- 1 Brigada para manto en fondo de lumbrera.
- 1 Brigada de electricistas.

CAPITULO 5
INSTRUMENTACION.

5.- INSTRUMENTACION.

La instrumentación que se utilizó en los tramos excavados con el escudo # 9.51 m. básicamente consistió en lecturas de convergencia y nivelaciones superficiales. A continuación se da una breve explicación de cada uno de estos conceptos, presentando las mayores y menores deformaciones que se registraron durante la construcción del túnel, así como su estimación.

5.1.- NIVELACIONES SUPERFICIALES.

Para registrar los asentamientos en la superficie, inducidos por la construcción del túnel, se colocaron una serie de puntos estables distribuidos en superficie que se nivelaron en forma periódica.

El programa de instrumentación que se siguió se puede dividir en dos etapas; la primera corresponde al Intertramo Aquiles Serdán-Camarones, mientras que la segunda a Camarones-Refinería.

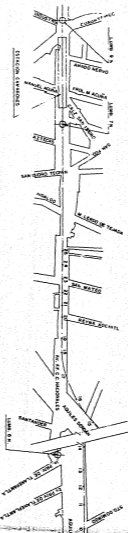
En el primero de ellos se instalaron un total de veinticinco puntos de nivelación y dos secciones transversales, separadas a una distancia de 50 m. en promedio. En el segundo tramo se colocaron cincuenta y cinco puntos de nivelación y veintitres secciones transversales a 20 m. de separación en promedio. La distribución de los mismos se presenta en las figs. 5.1 y 5.2.

La periodicidad de las mediciones se realizó conforme a lo siguiente:

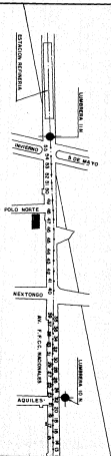
- a) La colocación de los puntos de nivelación se efectuó cuando menos 60 m. antes de la llegada del escudo a la sección.
- b) El inicio de las nivelaciones topográficas se efectuó 40 m. antes de la llegada del escudo a la sección, realizándose una vez al día hasta que el frente excavado estuvo 30 m. adelante; una vez por semana en los siguientes 30 m.; una vez cada quince días en los siguientes 30 m. y por último una vez cada mes hasta la tendencia a la estabilidad. Es conveniente aclarar que en la zona donde se tuvo inestabilidad del frente (cap. 6) las lecturas se hicieron diariamente hasta que se estabilizó la sección.

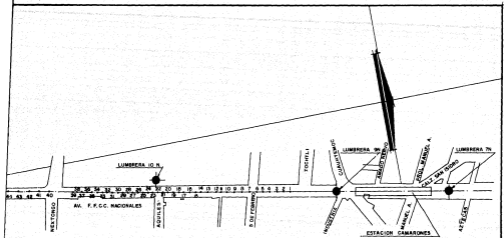
Las figs. 5.3 y 5.4 muestran la variación de los asentamientos superficiales máximos medidos a lo largo del eje del túnel en los tramos de excavación. En ellas se observa que el máximo asentamiento para el primer tramo

No.	CADENAMIENTO
1	4+ 074.000
2	4+ 725.000
3	4+ 775.000
4	4+ 825.000
5	4+ 875.000
6	4+ 925.000
7	4+ 975.000
8	5+ 025.000
9	5+ 075.000
10	5+ 125.000
11	5+ 175.000
12	5+ 225.000
13	5+ 275.000
14	5+ 325.000
15	5+ 375.000
16	5+ 425.000
17	5+ 475.000
18	5+ 525.000
19	5+ 575.000
20	5+ 625.000
21	5+ 675.000
22	5+ 725.000
23	5+ 775.000
24	5+ 825.000
25	5+ 875.000



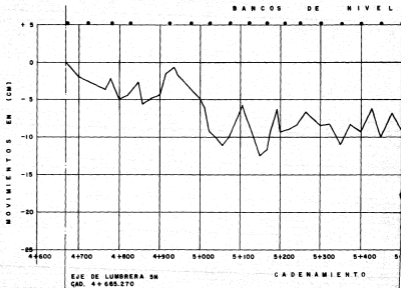
No.	CADENAMIENTO
1	6+311.379
2	6+324.730
3	6+338.139
4	6+351.630
5	6+365.489
6	6+377.769
7	6+393.619
8	6+407.470
9	6+421.779
10	6+437.279
11	6+448.789
12	6+459.289
13	6+476.509
14	6+489.449
15	6+501.180
16	6+513.139
17	6+525.869
18	6+535.709
19	6+545.709
20	6+555.709
21	6+565.629
22	6+575.629
23	6+585.629
24	6+595.789
25	6+605.899
26	6+615.899
27	6+625.259
28	6+635.879
29	6+645.879
30	6+655.979
31	6+665.379
32	6+676.079
33	6+686.029
34	6+696.029
35	6+706.079
36	6+716.129
37	6+725.979
38	6+735.229
39	6+744.589
40	6+752.251
41	6+812.251
42	6+832.251



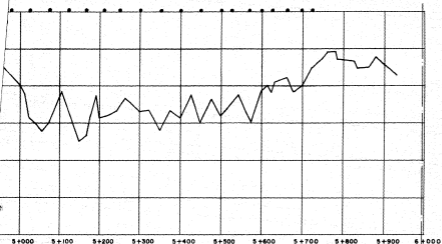


21	6+948.829
22	6+978.829
23	6+985.479
24	6+995.799
25	6+906.899
26	6+913.899
27	6+923.899
28	6+935.879
29	6+946.879
30	6+955.979
31	6+964.979
32	6+976.079
33	6+986.029
34	6+996.029
35	6+906.079
36	6+916.129
37	6+925.979
38	6+935.229
39	6+944.899
40	6+952.291
41	6+961.291
42	6+932.291
43	6+942.291
44	6+972.291
45	6+980.291
46	6+992.291
47	6+932.291
48	6+942.291
49	6+972.291
50	6+980.091
51	6+996.711
52	6+920.491
53	6+930.491
54	6+936.491
55	6+976.991

UNAM.	DE.P.F.I.
TITULO: PUNTOS DE NIVELACION SUPERFICIAL (TRAMO CAMARONES-REFINERIA)	
FIGURA No. 52	



BANCOS DE NIVEL



5+000 5+100 5+200 5+300 5+400 5+500 5+600 5+700 5+800 5+900 6+000

CADENAMIENTO

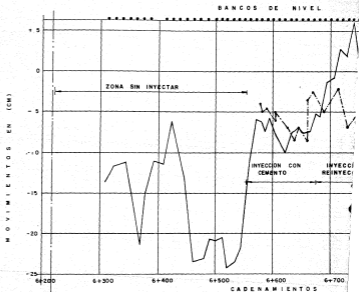
EJE DE LUMBREPA 7N
CAD. 5+994.183

UNAM.

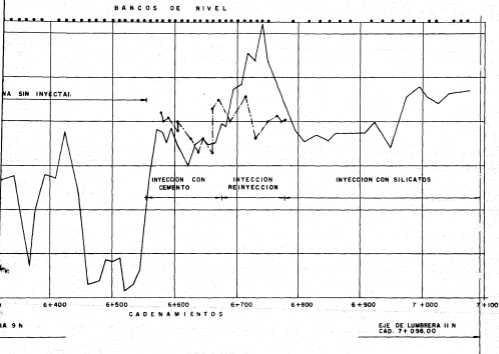
D.E.P.F.I.

TÍTULO:
VARIACION DE LOS ASENTAMIENTOS
(TRAMO AGUILAS SERDAN-CAMA-
RONES)

FIGURA N.º 5.3



- COMO QUEDO EL TERRENO MEDIO
- - - - - ASIENTAMIENTOS DEBIDO AL E



————— COMO QUEDO EL TERRENO MEDIDO POR LA SUPERVISION

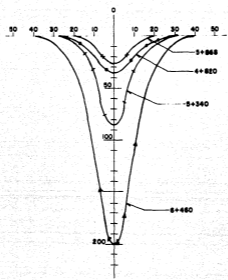
- - - - - ASENTAMIENTOS DEBIDO AL ESCUDO MEDIDOS POR LA CONTRATISTA

U.N.A.M. **D.E.P.F.I.**

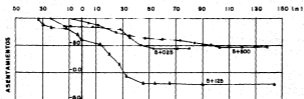
TITULO:
VARIACION DE LOS ASENTAMIENTOS
(TRAMO CAMARONES-REFINERIA)

FIGURA No. 5.4

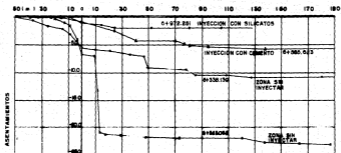
ESTR. CIVIL
UNAM
CARR. PANAMA
ESTR. CIVIL



U.N.A.M.	DE.P.F.I.
TITULO: CURVAS DE ASENTAMIENTO EN SECCIONES TRANSVERSALES.	
FIGURA No. 5.9	



TRAMO AQUILES SERDAN - CAMARONES



TRAMO CAMARONES - REFINERIA

U.N.A.M.

DE.P.F.I.

TITULO:
VARIACION DE LOS ASENTAMIENTOS
CONFORME AL PASO DEL ESCUDO

FIGURA No. 5.6

se presentó en el cadenamamiento 5+135 siendo de 122 mm. mientras que para el segundo sucedió en el cadenamamiento 6+525 siendo 245 mm.

Un aspecto importante dentro de los datos que proporcionan las nivelaciones superficiales, es la variación de los asentamientos conforme al paso del escudo.

En la fig. 5.5 se han trazado curvas de asentamiento superficial en secciones transversales al eje del túnel, las cuales se pueden considerar como representativas de las diferentes etapas del proceso constructivo en relación a la variación de las propiedades del subsuelo atravesado, así como a los problemas originados en el proceso constructivo por la inestabilidad de los estratos del frente. Dichas curvas se complementan con la información referente al asentamiento máximo registrado en puntos superficiales ubicados sobre el eje del túnel (fig. 5.6), en donde puede apreciarse el escaso hundimiento medido antes de llegar el escudo a la sección correspondiente, así como la rápida evolución de los hundimientos después de que el escudo ha pasado por la sección hasta alejarse una distancia razonable permitiendo la estabilización de los puntos.

Observando las figs. 5.3., 5.4, 5.5 y 5.6, se desprenden los siguientes comentarios:

a) La evolución de los hundimientos disminuyó notablemente en la zona tratada con inyecciones desde la superficie, particularmente en la zona tratada con productos químicos, al grado de que antes de llegar a la Estación Refinería se pasó cerca de una fábrica de harina con silos de más de 20 m. de altura, sin causarles daño alguno (ver capítulo 6).

b) El escudo tuvo una influencia en una longitud de 1 a 3 diámetros antes de cruzar la sección y de 4 a 6 diámetros después de su paso.

c) En el tramo comprendido entre las lunbreras 5 y 7 se puede considerar que el rango de asentamientos promedio fue de 5 cm., llegando hasta 12 cm. en un punto ubicado en la zona en la cual se observaron condiciones cambiantes en la estabilidad del frente (cadenamientos 5+000 a 5+500) y en donde se presentó un pequeño caído (cadenamiento 5+150), por la presencia de estratos arenosos sueltos en la zona de clave.

d) En el tramo 9-11 el rango de asentamientos superficiales se incrementó en forma significativa debido a los problemas de estabilidad (cap. 6) generados por los estratos arenosos atravesados a lo largo del trazo, llegándose a presentar un asentamiento máximo de 24 cm. asociado con la presencia de un caído (cap. 6).

e) Interpretando las curvas de probabilidad con las ideas del Dr. R. B. Peck (1969), se observa en la fig. 5.7 que en dos de las secciones dibujadas (cadenamientos 4+820 y 5+340) caen en la frontera entre arcillas y arenas sobre el nivel freático con la región de arcilla blanda a media. La sección en el cadenamiento 5+858 se ubica francamente en la región de arcilla dura y arenas sobre el N.F. y la sección en 6+460, se encuentra en la zona de arcilla blanda a media, pero vecina a la frontera de arenas bajo el N.F..

Para la obtención de los asentamientos superficiales, con el objeto de predecirlos y en su momento compararlos, se utiliza el criterio de Peck, quien establece que la depresión que se forma en la superficie del terreno en una sección transversal al eje del túnel, adopta la forma de una curva de gauss invertida (fig. 5.7).

A continuación se analizan los asentamientos observados en las 8 secciones transversales ya mencionadas, determinando la pérdida de suelo originada por la depresión así como el valor de la distancia al punto de inflexión de la curva (i). Para tal efecto se presenta la tabla I.

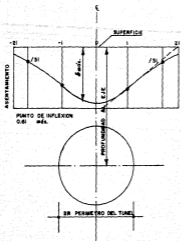
CAD.	§ MAX. cm	Z m	i m	VL m ³	VI/A
4+820	3.8	22.269	9.3928	0.89	1.25 %
5+340	7.9	21.550	9.1494	1.81	2.55 %
5+858	2.8	22.616	9.5097	0.67	0.94 %
6+422	12.7	25.718	10.5396	3.35	4.70 %
6+460	20.7	25.481	10.4618	5.41	7.60 %
6+681	5.6	25.096	10.3352	1.45	2.00 %
6+872	5.9	24.918	10.2765	1.52	2.14 %
7+057	1.8	24.387	10.1009	0.45	0.63 %

TABLA I

Para el cálculo de los valores se emplearon las fórmulas:

$$VI = 2.5 i § \text{máx.}$$

$$\left(\frac{Z}{2R}\right)^{0.8} = \frac{i}{R}$$



f	Z_0
$4 + 820(+17) \text{ m}$	21.50 m
$5 + 340(+17) \text{ m}$	22.00 m
$5 + 858(+16) \text{ m}$	25.90 m
$6 + 460(+112) \text{ m}$	26.90 m

$$R = 4.76 \text{ m}$$

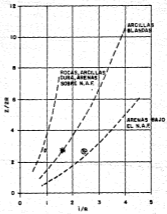


Fig. 5.7

donde:

V_l - Volumen de pérdida de suelo.

i - Distancia al punto de inflexión de la curva.

Z - Profundidad al eje del túnel.

δ_{max} - Asentamiento máximo medido sobre el eje del túnel.

R - Radio del túnel.

A - Área de la sección.

$\frac{V_l}{A}$ - % de pérdida de suelo.

Los valores de la tabla I indican que el valor de i varía para esas secciones entre 9.15 m. y 10.54 m., con un ancho aproximado de la depresión de 22.9 m. a 26.35 m. a partir del eje del túnel. Las pérdidas de suelo proporcionan valores del 0.63% a 7.6%, sin considerar los puntos de mayor hundimiento.

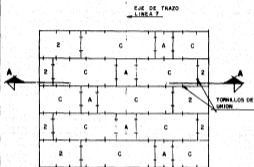
En cuanto al ancho de la depresión se observa que los valores de i son razonablemente parecidos a los observados en las mediciones de campo.

5.2.- SECCIONES DE CONVERGENCIA.

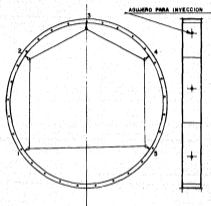
Para registrar las deformaciones que presentó el revestimiento del túnel se utilizaron secciones de convergencia-divergencia, instalándose doce para el primer tramo a 75 m. de separación en promedio; mientras que para el segundo se colocaron quince a 60 m. de separación en promedio. Las líneas de medición que se determinaron, se presentan en la fig. 5.8.

Las figs. 5.9, 5.10 y 5.11, muestran las secciones que mayor movimiento presentaron en los dos tramos. Como se puede apreciar las deformaciones no son de importancia ya que sucedieron con bajas velocidades; 0.01 a 0.3 mm./día para el primer tramo y 0.01 a 0.06 mm./día para el segundo.

Cabe aclarar que desgraciadamente la deformación inicial del revestimiento (que generalmente es la mayor), no fue posible medirse ya que el tren del escudo no permite la inmediata toma de lecturas y no es sino hasta que pasa la última plataforma cuando se puede instalar la sección e iniciar su medición. Sin embargo se puede concluir que el comportamiento del revestimiento fue bastante satisfactorio.



PLANTA



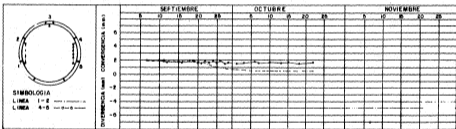
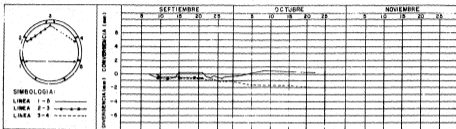
CORTE A-A

UNAM

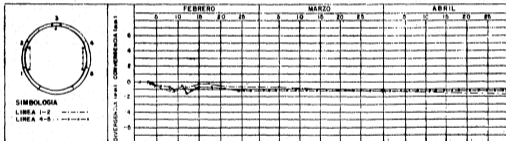
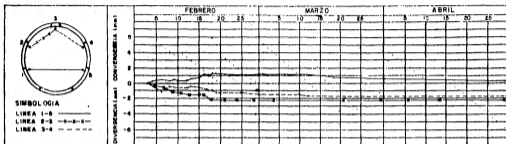
DEP.F.I.

TITULO:
LINEAS DE MEDICION PARA
CONVERGENCIA - DIVERGENCIA

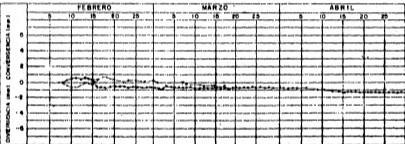
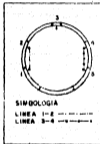
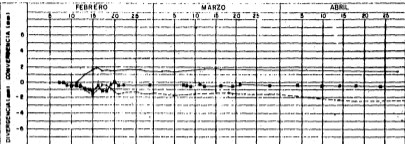
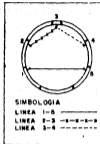
FIGURA No. 9.8



UNAM	DE.P.F.I.
TITULO: CONVERGENCIAS TRAMO AGUILAS - CAMARONES	
FIGURA No. 5.9	



UNAM.	D.E.P.F.I.
TITULO: CONVERGENCIAS TRAMO CAMARONES-REFINERIA	
FIGURA N.º 8.10	



UNAM.	DE.P.F.I.
TITULO: CONVERGENCIAS TRAMO CAMARONES-REFRERIA	
FIGURA No. 5,11	

CAPITULO 6

RESULTADOS Y EXPERIENCIAS OBTENIDAS.

La utilización del escudo # 9.51 m. durante la construcción de los tramos Aquiles Serdán-Camarones-Refinería, ha contribuido a mejorar los procedimientos que hasta ese momento se habían utilizado para la construcción de los túneles en la Ciudad de México. El presente capítulo da a conocer los resultados que se tuvieron con su aplicación, los principales problemas y las experiencias obtenidas.

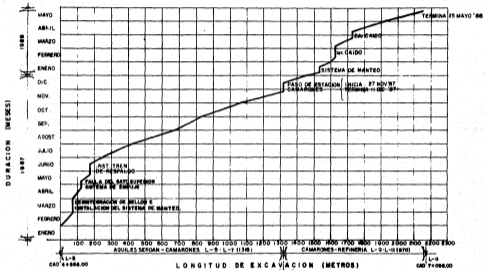
6.1.- RESULTADOS.

En la fig. 6.1 se presenta la gráfica de avance real que tuvo el escudo durante los dos tramos excavados; las líneas verticales de la gráfica corresponden a períodos de paro que se pueden clasificar de la siguiente manera:

6.1.1.- Paros por procedimiento constructivo.- Son sistemáticos y tienen su origen en la construcción de las instalaciones para la extracción del material excavado así como el montaje del tren de equipo que el escudo requiere para que se establezca el ciclo normal de excavación; otra actividad que se puede considerar como paro es el paso a través de la estación Camarones donde el escudo en esta ocasión avanzó sin excavar.

6.1.2.- Paros por fallas en el equipo.- Fueron debidos principalmente a los siguientes motivos:

- a) Al inicio de la excavación ocurrió la desintegración de los sellos que forman parte de los gatos de empuje, lo que dio lugar a la contaminación del aceite hidráulico propiciando fallas en las bombas. Las bombas se repararon pero estos elementos tienen un símil al motor de un automóvil que cuando se ajusta se tienen que rectificar algunas piezas. Cuando esto se hace varias veces, llega el momento en que se debe cambiar.
Por esta razón se consideró pertinente instalar una segunda unidad de potencia que sustituyó a la original.
- b) En un principio el gato superior de los que controlan el desplazamiento del conjunto excavador, chocó con la estructura superior del marco central del escudo ocasionando que se flexionara, con el consecuente paro de obra hasta que se suministró el nuevo; debido a esta situación, se decidió instalar un sistema de guía a base de contrapeso



UNAM. D.E.P.F.I.

**TITULO:
GRAFICA DE AVANCE REAL DEL
ESCUDO # 9.613 m**

FIGURA No. 6.1

con el que en todo momento el operador conociera la posición relativa de cada gato con respecto a los otros dos.

- c) Otro aspecto que ocasionó un paro, fue el desgaste excesivo que sufrió la banda transportadora primaria, debido al material tan abrasivo que se atacó. Como ya se mencionó este equipo fue suministrado por la firma Voest Alpine de Austria, la cual demostró con datos, que en suelos similares la vida útil de la banda es de 1,000 horas de trabajo, asemejándose al comportamiento observado. Debido a que las refacciones no fueron suministradas oportunamente se optó por adaptar un transportador con banda de hule, cuyo resultado de aplicación fue bastante satisfactorio.
- d) El proyecto original para lograr el giro del excavador contemplaba la utilización de tres moduladores de frecuencia, que provocaron problemas de sincronización así como fallas internas en los circuitos de alimentación. Esto fue solucionado por parte del proveedor instalando un solo modulador de mayor capacidad.

Adicionalmente a los 4 problemas anteriores, como ya se mencionó en el capítulo 4, a lo largo de la excavación del túnel se presentaron problemas mecánicos en los diversos conjuntos del escudo, afectando el rendimiento general, cuyo efecto no puede observarse en la gráfica de la fig. 6.1, por consideraciones de escala y por tratarse de paros menores a un día de trabajo o simplemente demoras dentro del ciclo de trabajo.

Algo que es indudable y se debe reconocer, es que el escudo es un prototipo, por lo que algunos paros fueron producto de pruebas y modificaciones que se efectuaron en el arranque de la excavación, así como al adiestramiento de todo el personal que intervino en su operación.

6.1.3.- Paros por inestabilidad del frente.- Como se observa en la fig. 6.1, en la construcción del tramo Camarones-Refinería hubo dos paros de obra, originados por dos fuertes caídos que se presentaron al atravesar estratos de arena suelta a compacta con, bajo o nulo contenido de finos, que fluyeron hacia el frente al eliminarse el confinamiento al que estaban sometidos, así como a las fuertes vibraciones que induce el escudo conforme avanza.

El primer caído, se presentó el día 6-02-89 en el cadenamiento 6-543 que se encuentra a una distancia de 316 m. (anillo 263) de la Tumblera 9. Desde el inicio de la excavación se presentó arena en el tercio superior del frente, siendo en ocasiones necesario pegar el escudo al frente excavando con rompedoras neumáticas, inclusive el día 25-01-88 (anillo 213) se presentó un caído de aproximadamente 10 m³ cuya solución no presentó problemas,

de ahí en adelante hasta la fecha del caído se fueron presentando desprendimientos acompañados de materia orgánica, arena de río y grava, los cuales son producto de acarreo que se asocian a viejos cauces de arroyos que no pudieron ser controlados por el sistema de ademe frontal pues el material fluita entre sus compuertas.

El caído obligó a la suspensión de la excavación, decidiéndose tomar las siguientes acciones:

- a) Ademar el 100% del frente.
- b) Inyección del suelo suelto y remodelado localizado adelante del caído.
- c) Relleno de la oquedad generada por el caído.
- d) Realizar un tratamiento a base de lechada (agua-cemento-bentonita).
- e) Realizar una exploración más detallada del subsuelo.

a).- El ademado del frente se realizó con un tapial de madera castigado mediante tubos de acero apoyados contra las trabes y columnas del escudo.

b).- Para la inyección del suelo suelto se perforaron en el frente 17 barrenos de 2" de diámetro inclinados a 45 con longitud variable entre 2.50 y 13.0 m., la mezcla utilizada fue agua-cemento-bentonita-arena, iniciándose con los de menor longitud (a baja presión) para concluir con los de mayor, con una presión máxima de 3 kg/cm², el volumen colocado fue aproximadamente 90 m³.

c).- Para el relleno de la oquedad se propuso realizar cuatro barrenos localizados por encima del escudo, perforándose desde la superficie hasta 1.0 m. por encima de la clave; al estar perforando el primer barreno se detectó la presencia de una oquedad entre los 4.0 y 7.0 m. de profundidad, se continuó el barreno hasta lo estipulado no encontrándose otra. Posteriormente se inició el segundo barreno detectándose nuevamente la oquedad a la misma profundidad, por tal motivo se indicó su relleno, tomando aproximadamente 260 m³ de lodo fraguante.

Los barrenos restantes no detectaron cavidades, por lo que únicamente se inyectaron 15.50 m³ de lodo fraguante sobre el escudo.

d).- Una vez tratada la zona aledaña al caído y en virtud de que la realidad no correspondía con los resultados de la exploración, se consideró necesario mejorar desde la superficie el subsuelo por atacar,

garantizando la independencia de frentos de ataque cuya ejecución fue posible gracias a que la avenida Ferrocarriles Nacionales no tiene tránsito vehicular y cuenta con un ancho suficiente para llevar a cabo el tratamiento sin entorpecer el paso del ferrocarril.

La inyección que se indicó fue la de progresiones ascendentes, a una profundidad de 23.50 m. (3.50 m. abajo de la clave del escudo) con progresiones de 0.50 m. hasta la profundidad 16.50 m.. La mezcla propuesta fue 2:1 (agua-cemento) con 5% de bentonita y del 2 al 4% de acelerante en relación al peso del cemento, aplicándose a una presión máxima de 7 kg/cm² sin límite de volumen.

Suponiendo un radio de acción de 2.0 m. por progresión y en función al ancho a tratar se determinó realizar líneas de tres barrenos separadas a 4.0 m. en ambos sentidos (longitudinal-transversal), iniciándose a 15.0 m. adelante del escudo.

La secuencia de la inyección seguida fue tratar primeramente los barrenos laterales con lo que se formaba una pantalla que confinaba el barreno central evitando que la inyección corriera fuera de la zona a tratar, ocasionando consumos excesivos.

Con la dosificación propuesta se iniciaron los trabajos, observándose lentitud en su aplicación; por tal motivo se hicieron pruebas llegándose a la conclusión de que la mezcla que mejor penetró fue en proporción 3:1, manteniendo constantes bentonita y el acelerante de fraguado.

Para poder reiniciar la excavación se consideró pertinente reforzar el espacio comprendido entre el escudo y la primer hilera de inyección para lo cual se perforaron dos líneas adicionales de tres barrenos cada una a 7 y 11 m. de distancia de la cachucha del escudo.

Las primeras veinte hileras de inyección se realizaron conforme a lo indicado anteriormente. A partir del barreno 61 y en base a que algunas progresiones tomaban demasiado volumen, se decidió limitarlas a 3 m³. en los barrenos laterales y 4 m³ para los centrales o alcanzar 7 kg/cm². Así mismo la profundidad de tratamiento se modificó, quedando comprendida entre 17 y 22 m. de profundidad.

Al reiniciar la excavación del túnel (8-03-88) no se retrajeron las compuertas y se excavó con medios neumáticos hasta que se alcanzó terreno sano, fue entonces cuando se permitió utilizar el brazo largo para excavar la media sección inferior, mientras que en la sección superior al momento del empuje y al abrir cada una de las compuertas el material se desprendía. Solo requiriendo afine para el mejor acoplamiento del ademe frontal.

c).- Debido a la heterogeneidad observada en los materiales introducidos al túnel por el caído, así como la no detección en los primeros sondeos, se decidió efectuar una exploración adicional entre los cadenamientos 6+543 y 7+096 que consistió en una tendida geoelectrica a base de diez sondeos verticales cuyos resultados se muestran en la fig. 6.2. Adicionalmente se realizaron quince sondeos mixtos, efectuándose diversas pruebas de laboratorio, predominando las de granulometria, ya que la presencia de finos en arenas es determinante en el comportamiento del túnel. Los resultados en esta exploración junto con los anteriores se muestran en la fig. 6.3.

La excavación se realizó en la forma antes expuesta hasta el día 29-03-88, fecha en la que estando en el cadenamiento 6+657 (anillo 357) nuevamente apareció arena poco cementada donde el tratamiento con lechada no penetró desde la superficie, ocasionando un segundo caído de mucho menor consideración que el primero.

Para esta nueva situación de emergencia se tomaron las siguientes acciones:

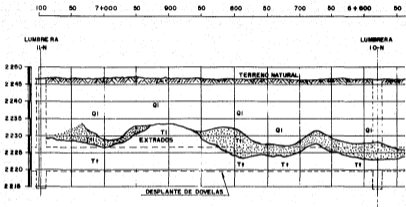
- a) Ademar 100% el frente (inciso (a) primer caído).
- b) Rellenar la oquedad creada.
- c) Modificar el tratamiento de lechadas a productos químicos (silicatos).

b) Para el relleno de la oquedad se siguió un proceso similar al del primer caído perforando barrenos desde el interior del escudo y apoyándose con dos barrenos desde superficie.

c) En virtud de que las lechadas no dieron los resultados esperados y en base a la exploración realizada, se propuso probar la inyección a base de productos químicos cuya función sería impregnar los mantos arenosos mejorando sus propiedades mecánicas.

El proporcionamiento establecido fue el siguiente:

Material	Proporcionamiento
Silicato de Sodio	50 %
Agua	50 %
Acetato de etilo	5 %
Estabilizador (Lydet)	1.5 %



QI DEPOSITOS FLUVIO-LACUSTRES

T1 TOBAS ARENO-LIMOSAS

T1I TOBAS ARENO-LIMOSAS INTENPERIZADAS

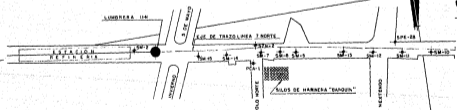
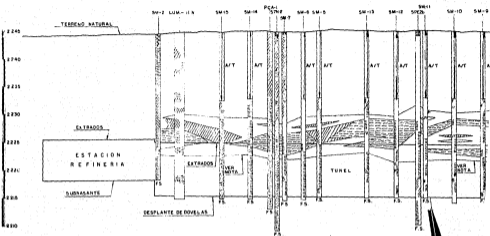
UNAM.

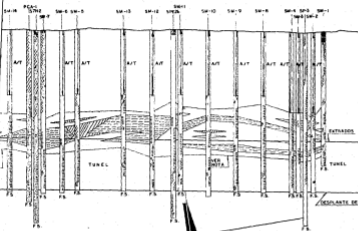
DE.P.F.I.

TITULO:
TENDIDA GEOELECTRICA

FIGURA No. 6.2

ELEVACIONES EN METROS





SIMBOLOGIA

- RELLENO
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA
- FOSILES
- CENIZA VOLCANICA
- AVANCE CON BROCA TRONCA
- FIN DE SONDEO
- SONDEO MIXTO
- POZOS PROFUNDOS A CIELO ABIERTO

NOTA:

* FROSTERA ENTRE MATERIAL CUYA CAPACIDAD VARIA DE COMPACTA A MUY COMPACTA.



UNAM D.E.P.F.I.

TITULO:
EXPLORACION COMPLEMENTARIA
(TRAMO CAMARONES-REFINERIA)

FIGURA No. 8.3

Primeramente se propuso la realización de seis nuevos barrenos de prueba donde se inyectó 0.7 m³. por progresión a una presión máxima de 10 kg/cm². a una profundidad de 19 a 23.50 m.. Los resultados no fueron satisfactorios proponiéndose utilizar 4 m³. por progresión entre 15 y 22 m. de profundidad con la misma presión.

Los resultados fueron excelentes, por fin las arenas tuvieron el comportamiento deseado, con ésta experiencia se decidió reforzar con este producto la zona ya tratada con lechadas, así mismo, en el tramo aún no mejorado (250 m.) se inyectaron únicamente productos químicos con la modificación de 4 a 3 m. en la separación transversal.

El radio de influencia de esta solución fluctuó de 1.50 a 3.0 m. con impregnación total en los primeros 0.80 m. alrededor del barreno, esta condición permitió retraer las compuertas de ademe e incluso utilizar el cortador en forma normal obteniéndose los mejores rendimientos del tramo.

En la tabla I se presentan los rendimientos que se tuvieron en la construcción de los dos tranos, manejándose en días hábiles y días trabajados; también se incluye una columna de observaciones donde se indica la razón principal de los diferentes rendimientos. Como complemento, a continuación se incluyen los mejores rendimientos en días, semanas y meses que se tuvieron en los dos tranos.

TRANO	RENDIMIENTO (m/d)		
	Mejor día	Mejor semana	Mejor mes
Aguiles Serdán-Camarones	16.80	14.20	11.17
Camarones-Refinería	18.00	15.80	12.86

Cabe aclarar que los bajos rendimientos que se tuvieron al inicio, son consecuencia de la puesta en marcha que en cualquier equipo se realiza.

6.2.- EXPERIENCIAS.

De las principales experiencias que dejó la utilización del escudo destacan las siguientes:

- En lo futuro es conveniente prevenir con tiempo la adquisición de las refacciones necesarias, que garanticen que el escudo no detenga su producción por periodos largos.

TABLA 1 ANALISIS DE RENDIMIENTOS OBTENIDOS CON EL ESCUDO ENCAVADOR DE Ø 9.513 mm.
 EN LOS TRAMOS AQUILES SERDIAN-CAMARONES-REFINERIA DE LA LINEA 7 NTE. NTE.

	A V A N C E			DIAS HABILES	DIAS TRAB.	RENDIMIENTO (MCS.)		O B S E R V A C I O N E S		
	ANILLOS	ACUM.	METROS			DIAS HABILES	DIAS TRABAJADOS			
1	ENE.	3	3	3.60	3	3	1.20 m/d	1.20 m/d	SE INICIAN ACTIVIDADES 29-ENE- L5 - L7	
	FEB.	53	56	63.60	67.20	23	19	2.76 m/d	3.35 m/d	SE SUSPENDEN ACTIVIDADES 27-II (GATOS DE EMPUJE)
	MAR.	5	61	6.00	73.20	25	4	0.24 m/d	1.50 m/d	REINICIAN ACTIVIDADES 27-III
	ABR.	36	97	43.20	116.40	23	14	1.87 m/d	3.08 m/d	SE SUSPENDEN ACTIVIDADES 23-IV (MANTENIMIENTO AL - - ESCUDO).
9	MAY.	53	150	63.60	180.00	25	17	2.54 m/d	3.74 m/d	REINICIO DE ACTIVIDADES 11-V (4 AL 8 SE COLOCAN 7 -- ANILLOS DE PRUEBA)
										SE SUSPENDEN ACTIVIDADES 25-V (INST. TRIN DE - - - RESPALDO)
8	JUN.	51	201	61.20	241.20	26	12	2.35 m/d	5.10 m/d	REINICIO DE ACTIVIDADES 17-VI
	JUL.	163	364	193.79	433.99	27	27	7.14 m/d	7.14 m/d	
	AGO.	203	567	242.88	676.87	26	26	9.34 m/d	9.34 m/d	
	SEP.	135	702	158.14	835.01	25	25	6.32 m/d	6.32 m/d	
	OCT.	187	889	224.17	1059.18	27	27	8.30 m/d	8.30 m/d	
7	NOV.	215	1104	256.82	1316.00	21	21	12.22 m/d	12.22 m/d	TERMINAN ACTIVIDADES L5 - L7 27-NOV.-87
					1316.00	251	195	5.24 m/d	6.75 m/d	SUB'TOTAL L5 - L7 PASO DE ESTACION CAMARONES DEL 28-NOV AL 10-DIC.
	DIC.	127	1231	152.40	1468.40	17	17	8.96 m/d	8.96 m/d	INICIAN ACTIVIDADES 11-DIC L9 - L11
1	ENE.	112	1343	134.40	1602.80	25	19	5.37 m/d	7.07 m/d	SE SUSPENDEN ACTIVIDADES DEL 11 AL 16-I (INST. TORRE DE MANTO).
9	FEB.	23	1366	27.60	1630.40	24	5	1.15 m/d	5.52 m/d	SE SUSPENDEN ACTIVIDADES 8-II (CAIDO)
8	MAR.	95	1461	114.00	1744.40	26	19	4.38 m/d	6.00 m/d	REINICIAN ACTIVIDADES 4-III
										SE SUSPENDEN ACTIVIDADES 29-II (CAIDO)
8	ABR.	144	1605	172.80	1917.20	26	19	6.64 m/d	9.09 m/d	REINICIAN ACTIVIDADES 8-VI
	MAY.	225	1830	264.80	2182.00	21	21	12.60 m/d	12.60 m/d	TERMINAN ACTIVIDADES L9 - L11 25-MAYO-88 * 2 SEMIANILLOS 1831 y 1832.
					866.00	139	100	6.23 m/d	8.66 m/d	SUB'TOTAL L9 - L11
					2182.00	390	295	5.59 m/d	7.39 m/d	TOTAL L5 - L9 - L11

- b) En cuanto al personal que intervino en la obra, el aprendizaje del escudo fue notable, tanto en su operación como en el funcionamiento detallado de cada uno de los sistemas que lo componen. Lo anterior fue producto de los múltiples paros que se tuvieron y que no pudieron ser solucionados de inmediato por dos razones fundamentales, la primera se refiere a la falta de experiencia en el uso de estos equipos lo que implicó periodos largos de reparación; la segunda radica en que los fabricantes, por razones obvias no proporcionan a detalle sus listas de partes y para adquirir refacciones se deben desarmar totalmente las piezas y en ese momento ver la factibilidad de compra en el país o su importación desde el lugar más cercano.
- c) Una cuestión sumamente importante es la que se refiere a los sellos del escudo, que como ya se mencionó su función es contener la inyección del espacio anular creado en cada avance. Los utilizados en este escudo no dieron los resultados esperados debido a que el sello de alambre se dañó antes de finalizar el 1er. tramo de túnel, dañándose por consiguiente el sello de neopreno y por problemas de suministro el sello de alambre no pudo reemplazarse en el periodo de arranque en el 2o. tramo de túnel, impidiendo la correcta aplicación de la inyección y presentándose fugas continuas de la mezcla de inyección entre la cara interior del faldón y la exterior del anillo de dovelas. Esta situación propició asentamientos superficiales de importancia que afectaron un número considerable de inmuebles.
- d) Pese a los problemas que tuvieron, se pudo comprobar que en operación normal, este escudo mejora sustancialmente los procedimientos que se venían utilizando en los túneles del Metropolitano, ya que por la independencia y gran eficiencia de cada uno de los sistemas que lo componen permiten realizar en forma simultánea las actividades del ciclo, lo que se traduce en mayores rendimientos.
- e) Otra valiosa aunque costosa experiencia, que se obtuvo para los tramos excavados y aunque no atañe directamente al escudo, es la utilización de productos químicos en el mejoramiento de suelos arenosos de la zona de transición del Valle de México, ya que éstos habían sido poco utilizados y sus resultados fueron satisfactorios, como lo demuestran los avances logrados y los bajos asentamientos registrados.

CAPITULO 7
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES.

Con la utilización de éste prototipo se han derivado un número de ideas que pueden contribuir a la mejora de los sistemas que conforman el equipo. A continuación se mencionan las recomendaciones que en mi opinión son las más relevantes y que para futuros usuarios pueden ser de bastante utilidad. Para un mejor entendimiento se relacionan para cada uno de los sistemas:

I.- SISTEMA EXCAVADOR.

Considerando que este sistema trabajó con algunos problemas menores, se recomiendan algunas modificaciones como:

a) Distribuir mejor el corte de las 2 cabezas. El brazo corto deberá cortar alrededor del 25% de la sección, reduciendo el uso y desgaste del brazo largo. Esta adaptación no sería muy difícil de realizar.

b) Reducir el uso del brazo largo en el corte del piso del túnel, debido al excesivo calentamiento que se genera en el motor al introducir la cabeza dentro de la pila de rezaga acumulada; durante la excavación, el brazo largo debía remover continuamente el material suelto producto del corte, debido a las limitaciones de alcance que tenía el brazo retroexcavador para retirar la rezaga. Este problema puede solucionarse implementando una retroexcavadora más potente y de mayor alcance, que retire el material excavado simultáneamente con la operación del sistema excavador, estando en posibilidades de lograr mayores rendimientos que los obtenidos.

La solución planteada, requiere de diseño y fabricación de un equipo especial, que involucra un determinado costo y grado de dificultad.

c) La ubicación del sistema excavador para atacar SUELOS MEDIANAMENTE COMPACTOS Y ESTABLES, es definitivamente muy ventajosa; el excavador puede extenderse hacia adelante por medio de tres gatos hidráulicos, hasta en una longitud de 1.00 m. (originalmente se extendía hasta 1.30 m., pero el peso de la estructura originó daños en el gato superior), permitiendo prácticamente el corte del avance correspondiente a un anillo, en tanto se realiza la colocación del anillo anterior, sin necesidad de avanzar el escudo por etapas cortas o esperar la terminación de la colocación del anillo. Sin embargo, para el ataque en suelos con problemas de estabilidad sería recomendable retraer el mecanismo excavador dentro de la cachucha del escudo. Para tal efecto debe cambiarse la posición de las guías del excavador hacia atrás y modificar parcialmente la estructura del escudo en la que se aloja el excavador; esto implica la modificación de las dos viguetas horizontales y las dos columnas que rigidizan el escudo.

Otra solución sería prolongar la longitud de la cachucha del escudo hacia adelante.

En ambos casos las modificaciones servirían para perfilar correctamente la sección atacada, pero resultarían costosas y complejas, debido a que involucran trabajos muy importantes en diseño y fabricación, así como problemas de operación por la posibilidad de choque de las cabezas con la estructura del escudo, si no se instala un adecuado sistema de interruptores límite.

Por otro lado, en la situación actual el corte de la sección se realiza profundizando más en la parte central, por el efecto de barrido a través de un pivote que tienen los brazos cortadores, es decir; el punto de mayor alcance adelante del escudo está al centro de la sección. El corte resultante tiene una configuración cónica y resulta desfavorable cuando los estratos inestables se encuentran en la zona de clave.

En conclusión si el sistema de excavación no se modifica, el empleo de este escudo debe ser analizado detenidamente cuando se trate de suelos con problemas de estabilidad.

d) Se recomienda contar con un mecanismo eficiente para retirar los boleos que se encuentren o en su defecto poder romperlos. Se sugiere implementar un martillo hidráulico montado en el brazo retroexcavador y contar con un pequeño malacate para la carga rápida de los boleos grandes, como los encontrados en el túnel. Esta sugerencia se origina de las observaciones realizadas, resaltando la incapacidad del sistema excavador ante estas situaciones además del consumo excesivo y rotura de picas. Su instalación puede ser de mediano costo pero redundará en beneficios importantes.

e) El uso de chiflones de aire y agua a presión en los cabezales sería conveniente para reducir la producción de polvo del material excavado, además de resolver el problema de limpieza y calentamiento de las picas de corte, las cuales necesitan estar limpias para girar dentro de su base y que su desgaste sea parejo. La instalación de este sistema sería sencilla y de bajo costo.

f) Aún cuando se trata de un problema menor convendría revisar la implementación de un contrapeso que equilibrara la diferencia del brazo largo en relación al brazo corto y que se observa cuando el brazo largo al cortar de arriba hacia abajo, por peso propio deja sin control el mecanismo de giro, pudiendo propiciar el choque contra la retroexcavadora.

g) En lo que se refiere a refacciones en stock o de reserva, se considera conveniente contar con las suficientes para garantizar la pronta reparación del equipo, evitando paros prolongados en la producción. Sobre todo,

debe tomarse en cuenta que este equipo es de fabricación extranjera 100% y que aunque está integrado en gran parte por equipo de línea, el conseguir las refacciones rápidamente no es fácil.

Dentro de las que se sugieren podemos mencionar:

- Un brazo rozador completo.
- Un motor para el mecanismo de giro del excavador.
- Un sello y balero para el mecanismo del giro.
- Un modulador de frecuencia.
- Un gato para extensión de los brazos rozadores.
- Dos Juegos de picas.

2.- SISTEMA DE AVANCE.

Poco puede mencionarse acerca de este sistema, a pesar de que se generaron fuertes problemas que obligaron a instalar una segunda unidad de potencia hidráulica, la cual substituyó a la original después de estudiar algunas modificaciones indispensables para su buen funcionamiento, eliminando la cavitación y calentamiento del aceite.

Durante la etapa de excavación, también los gatos de empuje fueron modificados internamente; adecuando la cavidad para alojar la empaquetadura de la cabeza, que resolvió los problemas de fugas causados por rotura de la empaquetura durante el armado del gato.

Para evitar los problemas mencionados en trabajos subsecuentes, se recomienda la instalación adecuada de la unidad de potencia conforme a la experiencia obtenida y exagerar el cuidado en la limpieza del aceite hidráulico, por tratarse de trabajos subterráneos cuyo ambiente esta muy contaminado por polvo.

En cuanto a la capacidad de empuje con la que se diseñó el escudo, en términos generales se puede concluir que fue adecuada para mover y permitir la guía del escudo dentro del trazo de proyecto. Solamente en las situaciones de emergencia generadas por problemas de estabilidad se observaron dificultades para avanzar el escudo, debido a que el ataque del frente fue restringido para evitar el colapso total del mismo; el borde cortador de la cachucha debió encajarse en el terreno y la pila de rezaga en el frente no fue retirada totalmente, con objeto de que de alguna manera sirviera como parte del ademe. Adicionalmente se emplearon en forma esporádica algunas inyecciones

lubricantes compuestas de bentonita, agua y aceite soluble para reducir la fricción de la camisa del escudo con el terreno, tratando de reducir también las necesidades de altas presiones durante el empuje y facilitar la guía del escudo.

En lo que se refiere al comportamiento de las dovelas durante el empuje, se observó la aparición de algunos agrietamientos superficiales menores en las dovelas, causados por el empleo de altas presiones de empuje; en la mayor parte de los casos solamente se observaron fracturas en las dovelas ubicadas a la altura de la media sección, originadas por la fricción con las guías metálicas del faldón debido a deformaciones del anillo durante su etapa de armado.

Sin duda algo que contribuyó a mejorar el comportamiento de las dovelas fue el diseño de la distribución de los gatos de empuje, evitando que las zapatas se apoyaran en la unión de 2 dovelas simultáneamente, así como la protección de las zapatas con una placa de neopreno, para suavizar el contacto con la dovela.

3.- SISTEMA ERECTOR.

a) Durante la operación del anillo erector se tuvieron problemas constantes con el mecanismo que enrolla el cable eléctrico de control y las mangueras hidráulicas que alimentan los gatos del mecanismo posicionador de dovelas. Dichos problemas fueron originados por la forma de funcionamiento del mecanismo, el cual está integrado por un conjunto de poleas a través de las cuales pasan las mangueras y el cable, subiendo y bajando un contrapeso al desenrollar y enrollar cable y mangueras en cada maniobra de giro del anillo erector; se observó que el contrapeso resultaba exagerado y que el cable de control, integrado por varias pequeños cables conductores, empezaba a fatigarse y romperse por algunos de ellos, dejando de transmitir la señal a las válvulas solenoides que operaban los gatos del mecanismo posicionador de dovelas. También en algunas ocasiones el cable se atoraba en las poleas. Por su forma de trabajo este cable no podía empalmarse y por el número de conductores, es de fabricación especial.

La solución dada en campo consistió en eliminar el uso del mecanismo mencionado, empleando una persona para detener el cable y mangueras en cada maniobra, pudiendo en este caso usar cable empalmado, por no estar sujeto a tensión.

La solución que se recomienda para usos futuros es la implementación de un carrete retráctil, aditamento con el que están equipados los escudos japoneses de frente presurizado que han estado trabajando en la construcción del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México y en cuya operación no se ha observado problema alguno.

b) El mecanismo posicionador de dovelas en un principio presentó bastantes problemas con el gato de izaje y los gatos estabilizadores. Las fallas del gato de izaje se resolvieron en buena medida contando con un gato de repuesto, para reemplazarlo en cuanto fallara. Tomando en cuenta que este gato continuó dando problemas se sugiere cambiarlo por otro ligeramente mayor en potencia y con mejor construcción interna para alojar la empaquetadura, solamente habría que revisar que se hiciera el menor número de cambios en la estructura que contiene al gato.

Los gatos estabilizadores originales resultaron muy débiles para el trabajo desempeñado por lo que se sustituyeron por unos de mayor potencia y construcción más robusta; además se revisó su correcta ubicación para evitar que el vástago pudiera flexionarse. Posteriormente no dieron problemas y no es necesario hacer ningún cambio, salvo en los planos correspondientes.

c) Resueltos los 2 problemas anteriores, el funcionamiento del anillo erector fue bastante satisfactorio, sin embargo con miras a mejorarlo sería conveniente realizar al posicionador de dovelas lo siguiente:

- Modificar la posición del gato que proporciona el movimiento longitudinal poniéndolo más atrás, de tal forma que al extender toda su carrera permita pescar y mover la dovela que se va a colocar, desde un punto ligeramente más lejano. Esta modificación eliminaría el uso de personal para empujar la dovela y bajarla exactamente en el hueco dejado en el faldón después del empuje, reduciendo las maniobras y tiempo en la colocación de los anillos.

- Para pescar la dovela se coloca un perno mediante un sistema de orejas y un gato hidráulico (gato del seguro) integrados al posicionador de dovelas. En la práctica se observó que dicha actividad se hacía con lentitud y el operador del erector debía ser auxiliado por una persona que prácticamente estuviera acostada en el piso del túnel y que mediante señas le indicaba hacia donde debía mover el erector para hacer coincidir el gato del seguro con el perno para izaje de la dovela. Como recomendación para la simplificación de este proceso se sugiere levantar la posición del mecanismo posicionador de dovelas, el cual está atornillado al engrane ó anillo erector. Sin embargo, conviene aclarar que si se modifica su posición tal como actualmente está, chocará con el transportador primario en su parte baja, por lo tanto debe diseñarse con todo detalle esta modificación.

Otra solución, que quizás sería la más conveniente pero indudablemente la más costosa, podría ser la modificación total del mecanismo posicionador de dovelas, lo cual podría ser estudiado junto con la modificación del transportador primario, que se menciona más adelante.

Con la modificación total se podría implementar un perno roscado con tuerca para pescar la dovela, cuyo uso proporciona seguridad total en la maniobra, eliminando el riesgo de una falla en el gato, que podría ocasionar la caída de una dovela con graves consecuencias.

d) En el renglón correspondiente a las ventajas ofrecidas por el anillo erector, se puede mencionar que su forma y ubicación facilitaron la instalación del transportador primario, el sistema excavador y las vigas de arrastre del tren de equipo, así como la introducción de cables y mangueras hidráulicas para la alimentación del escudo, a través del espacio central definido por el diámetro interior del anillo. Esto permitió realizar la excavación del frente y la extracción de la rezaga en forma simultánea con la colocación del revestimiento, obteniéndose mejores rendimientos en el ciclo de trabajo.

A la fecha el escudo de 9.51 m. de diámetro ha sido el único escudo de frente abierto que ha usado anillo erector en México y con un mecanismo posicionador de dovelas diferente del usado en los escudos japoneses, que han estado trabajando en el sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad.

f) En lo que se refiere a velocidad de colocación de las dovelas, el anillo erector cumplió con los objetivos trazados, pudiendo en el mejor de los casos colocar un anillo completo en un tiempo ligeramente inferior a 20 min.

4) SISTEMA DE REZAGA.

a) Este sistema dió bastantes problemas, los cuales fueron solucionados en gran parte cuando se cambió el transportador primario original de cadena y reglas metálicas, por un transportador de banda de hule; el transportador original sufrió desgaste continuo y excesivo en todos sus componentes metálicos que estaban en contacto con el material producto de la excavación, originado por la gran abrasividad del terreno, en cuya composición la arena fue un elemento importante. Debe aclararse que en los primeros metros de túnel, el transportador mencionado demostró tener capacidad sobrada para la eliminación de la rezaga, de acuerdo a los requerimientos de proyecto.

El transportador de banda de hule resultó un acierto, debido a que fue sometido a pruebas antes de instalarse. Sin embargo, por su adaptación dentro de la cavidad en la que estaba alojado el transportador original, hubo que reducir su ancho ligeramente, reduciendo al mismo tiempo el ancho de la tolva receptora en la parte baja del escudo, originando esta medida el acumulamiento y apelmazamiento continuo del material excavado alrededor de la tolva, especialmente cuando el material cortado caía en grandes trozos, los cuales debían ser retirados o demolidos manualmente.

b) Otros problemas asociados con el transportador primario de banda de hule fueron la falta de limpieza del túnel y el atascamiento del rodillo inducido, ubicado en la zona de la tolva receptora; el polvo arrojado por la banda fue un problema molesto para la cuadrilla de maniobras encargada de la colocación del anillo, así como en la buena presentación del túnel. Esta situación requirió de mantenimiento continuo que implicó la suspensión de la excavación cada vez que fue necesario limpiar el rodillo.

Para superar los problemas mencionados se recomienda diseñar un transportador más ancho y de mayor potencia cuya instalación involucre el diseño detallado de la tolva receptora, las solapas, rodillos de carga, rodillos guía, así como 2 tornillos sin fin para encauzar el material en la tolva receptora evitando en buena medida el atascamiento del material. Definitivamente esta medida resultaría más económica que continuar usando el transportador primario original.

También se recomienda acercar un poco más el transportador hacia el frente del escudo, para disminuir el trabajo del acarreo del material excavado hacia la tolva receptora. Para ello debe modificarse el delante del escudo, empleando un arreglo de placas atornilladas para su fácil ensamble, así como la posición de los brazos recolectores, los cuales tienen poco alcance.

De acuerdo con lo recomendado para el sistema excavador, el uso de un martillo neumático montado sobre el brazo retroexcavador podría ayudar a demoler los trozos que obstruyan la tolva receptora, mejorando notablemente el funcionamiento del sistema de rezaga.

c) Dos pequeños problemas adicionales relacionados con el transportador secundario de banda de hule, cuya solución fue dada durante la marcha fueron:

- La descarga de grandes trozos de material en la conexión del transportador primario al secundario no contaba inicialmente con algún dispositivo para amortiguar la caída y romperlos. Esto ocasionó daños en los rodillos de carga del transportador secundario, obligando a colocar los aditamentos necesarios.

- El polvo arrojado sobre todos los equipos eléctricos e hidráulicos del escudo, ubicados abajo del transportador secundario, originó algunas fallas y fue necesario establecer mantenimiento continuo, además de la colocación de una tolva a lo largo de todo el transportador.

En futuros trabajos se recomienda implementar los 2 aditamentos señalados desde el arranque, puesto que el escudo no cuenta con ellos.

5.- SISTEMA DE ADEME FRONTAL.

Como se mencionó en el capítulo 3, el diseño y la instalación de este ademe se consideró para ser usado en el caso de encontrar problemas menores de estabilidad; partiendo de la información de mecánica de suelos, se esperaba atacar formaciones compactas en el frente y de ninguna manera se pensó encontrar suelos arenosos con fuertes problemas de estabilidad. Por esta razón el empleo de las compuertas de ademe abatibles no es recomendable en situaciones

similares, sugiriéndose en primera instancia se mejore el nodo de operación, revisando la posibilidad de lograr que las compuertas abatan en un ángulo mayor (alrededor de 75° con la vertical), lo cual equivale a cambiar los gatos que operan cada una de la compuertas, persistiendo de cualquier manera el riesgo de un caído en el frente. Durante la etapa de excavación, después del primer caído se modificó la posición de los gatos para lograr un mayor abatimiento de las compuertas, obteniendo mejoras en su funcionamiento.

La mejor solución sería el uso de compuertas de ademe verticales que deslizen sobre guías horizontales montadas a lo largo de la cachucha y accionadas por gatos colocados en posición cercana a la horizontal, pivotados en forma similar a los gatos que mueven el sistema excavador. Las compuertas podrían ser bastante más ligeras que las actuales y en último caso podría prescindirse de ellas, usando tabloncillos y polines colocados manualmente para contener el frente, apoyados contra los gatos descritos. En este caso la excavación podría hacerse manualmente en toda la sección y complementarse el sistema de ademe con 2 gatos largos ubicados en los compartimientos laterales de la parte media del escudo, adosados a las 2 columnas que rigidizan la estructura.

Otra solución similar a la anterior podría lograrse empleando plataformas de ademe accionadas por gatos hidráulicos largos (que pudieran ser telescópicos), de acuerdo al arreglo de plataformas simples diseñadas para excavar en condiciones de emergencia (fig. 7.1).

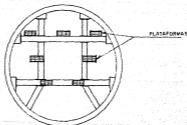


FIG. 7.1

6.- TREN DE EQUIPO.

En general el sistema de tren de respaldo no dió problemas fuertes, sin embargo con miras a mejorarlo se recomienda lo siguiente:

a) Sustituir los políastos que llevan las dovelas de la plataforma No. 1 al anillo erector por algunos de mayor capacidad. Cabe aclarar que esto se trató de hacer durante la construcción del túnel, pero los de mayor capacidad tienen también mayores dimensiones, requiriendo algunas modificaciones, que en ese momento no era conveniente realizarlas.

b) Modificar el sistema de arrastre del tren de apoyo, el cual funciona mediante ruedas metálicas que se apoyan sobre los rieles; esta modificación es sencilla y consiste básicamente en colocar ruedas más anchas, cuyo eje sea pivotado y no fijo como actualmente funciona.

Otras recomendaciones para el escudo a nivel general son las siguientes:

a) Es indispensable adquirir con antelación al inicio de actividades, el stock de refacciones mínimo que garantice que el escudo no detendrá su producción. Este concepto es de suma importancia para definir el arranque de la obra sin tropiezos.

b) Considerando que las dimensiones del túnel construido con el escudo de 9.51 de diámetro, caen dentro de la clasificación de túneles de gran diámetro y tomando en cuenta los problemas de deformación (ovalamiento) observados en los anillos de dovelas, al momento de ser ensamblados dentro del escudo, se juzga conveniente la implementación de un ajustador de anillos. El ajustador de referencia permitirá que desde el inicio de la construcción del túnel, los anillos colocados conserven su forma circular y diámetro, facilitando de esta manera la coincidencia de los barrenos y la colocación de los tornillos que unen el nuevo anillo en proceso de ensamble con el anillo anterior.

El ajustador que se propone deberá estar colocado a la altura del 1er. anillo que está saliendo del faldón del escudo y puede apoyarse en las viguetas de arrastre del tren de equipo, de manera que en cada avance del escudo conserve siempre la misma posición. En su configuración es deseable que en la parte superior exista una superficie de contacto con la misma curvatura interior del anillo mientras que en la parte inferior las patas de apoyo que descienden al piso del túnel deben tener el claro suficiente para el paso y giro de las dovelas al ser transportadas a lo largo de las vigas de arrastre hacia el faldón del escudo (fig. 7.2).

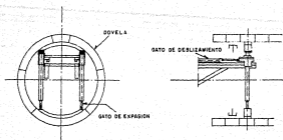


FIG. 7.2

El uso del ajustador de anillos podrá reducir el tiempo de colocación de cada una de las dovelas, al eliminar problemas de no coincidencia de barrenos, reduciendo en eficiencia del ciclo de trabajo, para el cual se requieren 25 minutos de tiempo de colocación por cada anillo para lograr avances de 20 m/día.

El diseño del ajustador ya mencionado también deberá considerar la presencia de trazos horizontales en curva con un radio de curvatura mínimo de 200 m.

Por último, a continuación presento la conclusión que a mi juicio se ha derivado de la aplicación de esta máquina excavadora.

En primer lugar, se cumplió con el objetivo de concepción, diseño, fabricación y aplicación de este prototipo, lo que para cualquier proyecto en ingeniería se puede considerar como un éxito. Cada uno de estos rubros, en mayor y menor cuantía representó retos para técnicos mexicanos, que fueron solucionados satisfactoriamente. Esto, sin lugar a dudas y en lo que respecta a la construcción de túneles representa un avance en la tecnología mexicana, lo cual se puede demostrar mediante los rendimientos que se han tenido desde el inicio de la Línea 7 (1981), a la fecha.

- a).- Método Austriaco (concreto lanzado reforzado con naila)
-2.40 m/día.

b).- Escudo # 9.15 m. (manual) - 4.80 m/día.

c).- Escudo # 9.513 m. (mecanizada) -12.4 m/día.

Es decir, en aproximadamente siete años se han incrementado los rendimientos en más del 200% lo que se ha logrado gracias a la implementación de nuevos métodos de excavación, producto del avance tecnológico que ha experimentado la humanidad.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA

- 1) *Fundamentos para la selección del escudo excavador, publicación interna COVITUR, Octubre 87.*
- 2) *Manual de operación del escudo # 9.513 m., publicación interna COVITUR, Diciembre 87.*
- 3) *Experiencias de diversas empresas en la construcción de túneles, datos aportados a COVITUR, Marzo 87.*
- 4) *Informe técnico: Excavación y comportamiento del túnel Aquiles Serdán-Camarones-Refinería, ISTME, Junio 88.*
- 5) *Trabajo de investigación I: Instrumentación en túneles, A. Meléndez, UNAM, DEPTI, 87.*
- 6) *Características geológicas y geotécnicas del Valle de México; Serie 100 kilómetros de Metro; Tomo 1, Septiembre 86.*
- 7) *Construcción de túneles en zona poniente de la Ciudad de México; serie 100 kilómetros de Metro, Tomo 9, Julio 86.*
- 8) *Túneles en suelos blandos y firmes, compendio de las reuniones de Mayo y Octubre 81; SNMS primera reimpresión.*

- 9) *Diseño de un escudo rápido para la Línea 7 del Metro, datos aportados a COVITUR; COMETRO-SOLUN, 85.*
- 10) *Construcción de un túnel de 9.51 m. de diámetro para el Metro de la Ciudad de México, H. Canseco, J. Schmitter; trabajo presentado en España, Marzo 88.*
- 11) *Criterios para el análisis y diseño estructural de túneles para el Metro de la Ciudad de México, P. Ruiz; ISTME, Septiembre 88.*
- 12) *Escudos y topos, publicación del seminario de Enero de 86 de ANITOS.*
- 13) *Construcción de obras subterráneas en suelos publicación del seminario de Febrero de 87 de ANITOS.*
- 14) *The Art of Tunneling, Károly Széchy, Budapest, 73.*
- 15) *State of the art volume seventh, international conference on soil mechanics and foundation engineering. Deep excavations and tunneling in soft ground by Ralph B. Peck, México 1969.*
- 16) *Reporte de la tendida geoelectrónica realizada por Aerofoto para el tramo Camarones-Refinería de la Línea 7 del Metro, Marzo 88.*
- 17) *Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, Rico Rodríguez, Tomo II, segunda edición, 1982.*

18) *Apuntes del curso Victor Hardy 87, Vols. 1 y 2 impartido por AMITOS, Julio 87.*