

0004

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TRABAJO FINAL PARA OBTENER LA ESPECIALIZACION EN
CONSTRUCCION

ANALISIS DE LA CONSTRUCCION DE UN TRAMO DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO EN TUNEL PARA LA CIUDAD DE MEXICO

J U R A D O

PRESIDENTE: ING. GABINO GRACIA CAMPILLO
VOCAL: ING. FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ ZUMARRAGA
SECRETARIO: M. en I. JAIME MARTINEZ MIER
SUPLENTE: M. en I. CARLOS SILVA ECHARTEA
SUPLENTE: M. en I. ABRAHAM DIAZ RODRIGUEZ

PRESENTADO POR:

ING. FERNANDO ALONSO ORTIZ CASAS

MEXICO, NOVIEMBRE DE 1981.

DE
CASAS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPFI

T. UNAM
1981
ORT

C O N T E N I D O

CONSTRUCCION DEL TRAMO DE TUNEL DEL FERROCARRIL METROPOLITANO EN LA LINEA 3 SUR DE LA CIUDAD DE MEXICO.
CADENAMIENTOS 17 + 503 AL 18 + 298.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO DEL TRAMO.

- 1.1. Características Geológicas.
- 1.2. Programas de construcción.
- 1.3. Elección de secciones de proyecto.

2. EXCAVACION.

- 2.1. Lumbrera de acceso.
- 2.2. Características y rendimiento del equipo del túnel.
- 2.3. Elección del soporte temporal en el túnel.
- 2.4. Ciclo de excavación-rezaga y ademe del túnel.
- 2.5. Recursos necesarios en mano de obra y materiales.

3. REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

- 3.1. Selección del procedimiento de colado.
- 3.2. Equipo a utilizar.
- 3.3. Mano de obra y materiales.
- 3.4. Ciclo de actividades de excavación y revestimiento simultáneo.

4. ANALISIS ECONOMICO DEL TRAMO.

- 4.1. Costo de mano de obra.
- 4.2. Costo de materiales.
- 4.3. Costo de la maquinaria.
- 4.4. Acarreos.
- 4.5. Indirectos.
- 4.6. Costo unitario.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El tramo que se encuentra en construcción, corresponde a la Línea 3 sur del Ferrocarril Metropolitano de la ciudad de México. Su longitud es de 821 metros entre la lumbrera Viveros, ubicada en la calle de Progreso con Avenida Universidad y la lumbrera Miguel Angel de Quevedo, ubicada en la calle del mismo nombre con Avenida Universidad.

La profundidad a la que se encontrará el túnel y sus pendientes que describirá, están fijadas por un trazado previamente hecho, el cual tiene como factores sobresalientes en su definición,

- a) Ahorro de energía
- b) Conexiones entre las estaciones proyectadas
- c) Tramos para enfriamiento de los equipos de transporte.

En este tramo se hizo necesaria la construcción de 2 túneles iguales y paralelos separados entre sí a una distancia de 9 metros, dentro de los cuales circularán los trenes en sentido contrario, hasta que en la estación Miguel Angel de Quevedo se continuará con un solo túnel para los mismos dos trenes.

La construcción de 2 túneles en vez de uno, como se verá más adelante, se debe a la mala calidad del suelo encontrado que aunque hace más laboriosa la construcción, dá una mayor seguridad en la misma.

Para empezar a excavar el túnel, se hace necesaria la construcción de una lumbrera en la estación Viveros, la cual será el medio de comunicación entre los dos túneles subterráneos y el exterior. En la estación Miguel Angel de Quevedo, se construirán dos lumbreras por necesidades del proyecto.

En el croquis adjunto de la Línea 3 Sur, puede verse lo anteriormente expuesto (figura 1).

En el plano del perfil estratigráfico, se observa una planta del proyecto en la que se vé cómo el túnel se construirá abajo de la Avenida Universidad. Están marcados los puntos donde se obtuvieron muestras del suelo para ser analizadas en el laboratorio.

1.1. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Se describirá aquí los materiales encontrados de acuerdo al perfil estratigráfico que se anexa, el cual es el resultado de un estudio de suelos. Los materiales que se necesita excavar y ademar y revestir están en la lumbrera y el túnel propiamente dicho (ver figura 2).

En la lumbrera encontramos el siguiente perfil a partir de la cota del terreno:

- de 0 a 2 mts. Rellenos
- 2 a 5.5 mts. Predomina la arena combinada -
con arcilla y limos
- 5.5. a 8.5 m. Arcilla
- 8.5 a 12 mts. Arena y limo
- a 8 mts. Está la transición de la zona
dura a la blanda
- 12 a 14.5 mts. Predomina arena combinada con
limos
- 14.5 a 17 mts. Arcilla con arena
- 17 a 19 mts. Predomina arena combinada con
limo
- 19 a 20 mts. Arcilla
- 20 a 24 mts. Arena combinada con arcilla y
limo
- 24 a 26 mts. Predomina arcilla combinada con
arena.
- 26 a 28 mts. Arena pumítica limosa con arenas
- 28 a 30 mts. Arena con arcilla y limo.

No se encuentra nivel freático en la excavación.

DESCRIPCION DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO A LO LARGO
DEL TUNEL:

Tomando como cota o de referencia, la que aparece en el plano.

(Lumbrera) Cadenamiento 17 + 503 a 17 + 535

Profundidad promedio del túnel entre 15 y 21.5 mts.

Entre 15 - 16 mts.	Arena con limo
16 - 18 mts.	Arcilla
18 - 19 mts.	Arena con limo
19 - 21.5 mts.	Arcilla

No existe el nivel freático, ni filtraciones importantes.

El túnel atraviesa aquí una zona dura.

K 17 + 535 a K 17 + 641

Profundidad del túnel de 14.5 mts. a 21 mts.

Entre 14.5 - 15.5 mts.	Arena
15.5 - 18 mts.	Arcilla
18 - 20 mts.	Arcilla y arena
20 - 21 mts.	Arcilla

Parte del túnel está en la zona dura y una pequeña parte en zona blanda.

No existe N.F.

K 17 + 641 a 17 + 738

Profundidad del túnel entre 13.5 mts. a 20 mts.

Entre 13.5 - 14	Arena y limo
14 - 16.5	Arcilla y limo
16.5 - 20	Limo y arena

La mayor parte del túnel se encuentra en zona blanda en este tramo.

No existe N.F.

K 17 + 738 a K 17 + 820

Profundidad del túnel entre 13 mts. a 19.5 mts.

Entre 13 - 14	Arena y limo
14 - 15.2	Arcilla y limo
15.2 - 19.5	Grava y limo

La mitad del tramo está en zona blanda y la otra mitad en zona dura.

No existe N.F.

K 17 + 820 a K 17 + 900

Profundidad del túnel entre 12.5 mts. a 19 mts.

Entre 12.5 - 13	Arcilla y limo
13 - 19	Limo - grava con lentes de arena y arcilla

Todo este tramo está en zona dura.

No existe N.F.

K 17 + 900 a K 18 + 002

Profundidad del túnel entre 11.5 mts. a 18 mts.

Entre 11.5 - 13.5 Limo y arena

13.5 - 14 Arcilla

14 - 16 Limo

16 - 18 Arena

Todo el tramo se encuentra en zona dura.

No existe N.F.

K 18 + 002 a K 18 + 125

Profundidad del túnel entre 11 a 17.5 mts.

Entre 11 - 17.5 Limo y arena

a 14.5 mts. hay un lente de arcilla en medio tramo.

Todo el tramo se encuentra en zona dura.

No existe N. F.

K 18 + 125 a K 18 + 202

Profundidad promedio entre 11 a 17.5 mts.

Entre 11 - 13.5 Limo y arena

13.5 - 16 Arena y grava

16 - 17.5 Arena pumítica limosa con arenas que atraviesa la mitad del tramo en la cota inferior.

Una parte del tramo se encuentra en zona dura y - - otra en zona blanda.

No existe N. F.

K 18 + 202 a K 18 + 298

Profundidad promedio entre 10.5 mts. - 17 mts.

Entre 10.5 - 14.5 Arena con grava y limo

14.5 - 17 Arena pumítica limosa con
arenas.

La parte superior de este tramo de túnel se encuentra
tra en zona blanda y la parte inferior en zona du-
ra.

No existe N. F.

1.2. PROGRAMAS DE CONSTRUCCION

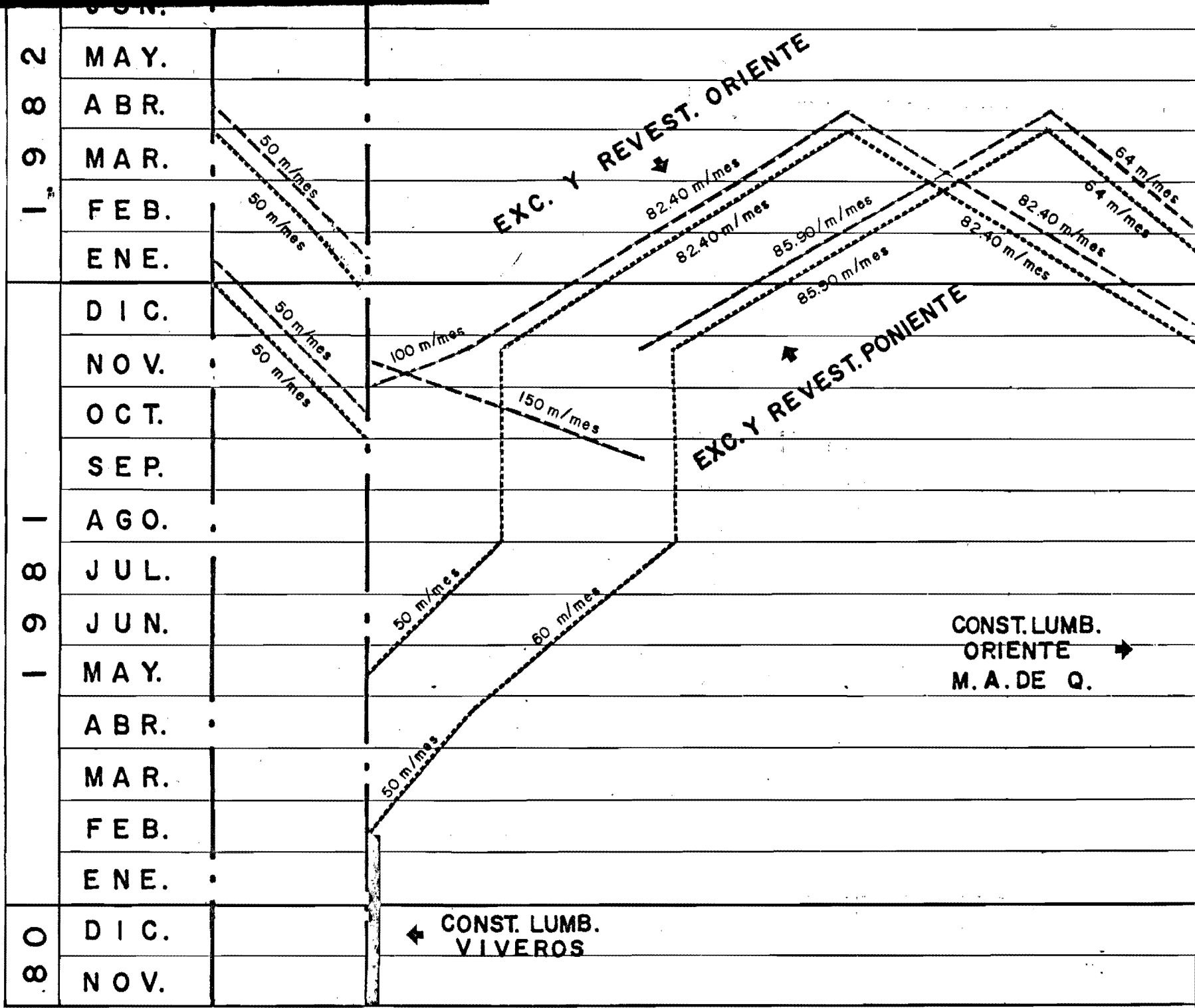
Estos programas han sido elaborados de tal manera - que lo proyectado pueda cumplirse en la realidad y se tiene en cuenta para su elaboración:

- Necesidad de dar la obra al servicio en una fecha determinada.
- Rendimiento de la maquinaria a utilizar.
- El número de turnos que se trabajará al día.
- Eficiencia de suministro de los materiales necesarios.

Si no se presentaran imprevistos o interrupciones del trabajo por causas de fuerza mayor, no sería - necesario estar ajustando los programas a medida que avanza la construcción. Pero lo común es hacer las correcciones de acuerdo a como se desarrolle la obra, para cumplir con una fecha de entrega o modificarla según sea el caso atrasándola o adelantándo la.

En este caso particular, la construcción se inició en el mes de noviembre de 1980, la entrega de obras civiles está proyectada para la segunda semana de abril de 1982, de acuerdo al programa planeado.

El programa de trabajo adjunto está elaborado en la siguiente forma (figura 3). Se empieza en noviem--bre de 1980 con la construcción de la lumbrera de - la estación Viveros, la cual se llevará a cabo en 3 meses y medio, o sea hasta febrero de 1981.



Terminada la lumbrera en Viveros, se inicia la lumbrera Poniente de Miguel Angel de Quevedo que se hará en dos meses y simultáneamente se puede iniciar la excavación del túnel en Viveros a un ritmo de 50 metros por mes. Este ritmo se mantendrá hasta la = última semana de abril de 1981.

A partir de la última semana de abril de 1981, se - puede incrementar el ritmo de construcción a 60 m/mes debido a un mejor entrenamiento que dispone el personal en esa fecha y al material que se está exca--vando.

En la misma fecha anterior, puede iniciarse la construcción de la lumbrera oriente en Miguel Angel de Quevedo, la cual se terminará en la primera semana de julio de 1981.

El ritmo de 60 mts/mes se mantiene hasta terminar julio de 1981.

En la semana 2a. de mayo , puede iniciarse la exca--vación del túnel oriente y se empieza con un ritmo de 50 mts/mes hasta finalizar julio de 1981.

En esta fecha, se suspenden las excavaciones por intervención de la entidad a la que se le hace la obra y solicita que se le haga un revestimiento al tramo excavado, el cual se hace a una velocidad de 150 mts/mes y en dirección del frente hacia la lumbrera. Este revestimiento se acaba en la segunda - mitad de noviembre de 1981 para el túnel poniente.

La primera semana de noviembre de 1981 se inicia el revestimiento del tramo excavado en el túnel oriente.

La última semana de noviembre de 1981 hasta la primera semana de abril, se inician y terminan las siguientes actividades:

- Excavación y revestimiento del túnel oriente a una velocidad de 82.40 mts/mes simultáneamente estando estas actividades al mismo ritmo pero desfasadas con respecto al frente.
- Se inicia también esta misma actividad anterior pero por la lumbrera oriente de Miguel Angel de Quevedo a un ritmo de 82.40 mts/mes.
- Excavación y revestimiento del túnel poniente a una velocidad de 85.90 mts/mes.
- Iniciación de la misma actividad anterior pero por la lumbrera poniente a una velocidad de 64 mts/mes.

En conclusión, si el programa no sufre variaciones importantes por fuerza mayor, las obras civiles se entregarán en la segunda semana de abril de 1982 del tramo del cual se está estudiando.

1.3. ELECCION DE SECCIONES DEL PROYECTO

a) Para la lumbrera

Para seleccionar las dimensiones de la lumbrera, el factor que predomina en su elección es el de disponer del espacio necesario para todas las actividades que se desarrollarán a través de dicha lumbrera, incluyendo la instalación de los equipos fijos, que son básicos para el túnel que estará construyendo. También los equipos que se tendrán que bajar o subir durante la construcción (equipos móviles) influyen en el dimensionamiento de lumbrera.

En este caso, teniendo en cuenta lo anterior y en base a otras experiencias, se escogió la siguiente sección, que es igual para las demás lumbreras.

Diámetro de la lumbrera:	11 mts.
Diámetro de la lumbrera revestida:	10.20 mts.
Area de la sección:	95.03 M2

b) Para los túneles

Aquí el factor decisivo en la elección de la sección que llevará el túnel, es el equipo de suelo que se encuentre a lo largo del trazado, que previamente está definido y lógicamente que la sección pueda albergar al tren metropolitano y sus accesorios.

De las pruebas de laboratorio hechas a las muestras tomadas en los sondeos y en el perfil estratigráfico mismo, se deduce que el suelo por donde pasa este tramo, es un suelo con características no favorables para la construcción de este tipo de obras.

Por las razones expuestas anteriormente, se decidió que en vez de una sección que albergara los dos carriles del tren, se proyecten dos secciones para poder tener dimensiones menores en la construcción del túnel y así mayor seguridad durante la misma.

En la figura 1 se puede comparar las dimensiones de una sección en otro tramo del túnel con la sección más pequeña en este tramo en estudio.

La sección que se muestra en la figura 1, corresponde a una sección en Herradura, cuyas características son:

Area	= 39.41 M2
Base inferior	= 6.20 mts. (sin incluir ademe)
Radio en parte superior	= 3.35 mts. (sin incluir ademe)
Espesor del revestimiento definitivo en semicírculo superior	= 0.15 mts.

El espesor de revestimiento desde el semicírculo hasta el piso se incrementa desde 0.15 mts. hasta 0.60.

Espesor del piso del túnel	= 0.65 + 0.15 mts.
Altura del túnel con ademe temporal	= 6.56 mts.

2. EXCAVACION

2.1. LUMBRERA DE ACCESO

Se hará referencia a la forma como se excavará y se llevará a cabo el ademe en la lumbrera de Viveros, que es la que está dentro de los cadenamientos señalados para realizar el presente trabajo.

Como ya se describió en el perfil stratigráfico, - en este sitio predominan los suelos que necesitan un soporte una vez iniciada la excavación, como son arcillas, limos y arenas.

Teniendo en cuenta las características de este sitio, el procedimiento de construcción se describe a continuación:

a) Primera etapa (brocal)

Una vez que la brigada topográfica haya señalado el sitio y dimensiones, se debe iniciar la excavación del brocal de la lumbrera con el siguiente equipo: picos, palas y carretillas.

Compresor portátil de 600 pies cúbicos por minuto, martillos rompedores, y alguna máquina para cargar el producto de la excavación a camiones de volteo.

El área de excavación del brocal es de 86.42 m² y su volumen es de 99.90 m³ con 2.10 metros de ancho, 2.65 m de profundidad y 0.65 m. de espesor.

Una vez terminada la excavación del brocal, se procede al armado del fierro de refuerzo cimbrado y posteriormente al colado con un concreto de $f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ y agregado máximo de 1 1/2".

b) Segunda etapa (excavación y ademe)

Después del fraguado del concreto se procede a descimbrar e iniciar la excavación del núcleo hasta los 2.65 m de profundidad del brocal.

A partir de esa cota y conforme se excava, se lleva un soporte temporal que de acuerdo a las condiciones del terreno puede ser concreto lanzado o anillos metálicos I-6" con retaque de madera. La separación de los anillos varía con el terreno. El espesor de concreto lanzado es de 15 cm y en su caso debe ser aplicado cada 2.00 m de profundidad. Este concreto irá armado con mallalac de 6" x 6".

El equipo a utilizar para la excavación de la lumbrera es:

- Compresor portátil de 600 pies cúbicos por min.
- Martillos rompedores.
- Cargador sobre orugas de descarga lateral.
- Botes de 1.0 m³ de capacidad.
- Grúa para izar los botes en superficie.
- Camiones de volteo.

El material se excava con los martillos neumáticos siendo cargado éste a los botes de manteo que son - izados por la grúa hasta el camión que posteriormente lo llevará a los lugares designados para su almacenamiento.

Para el ademe por concreto lanzado, se debe contar con un carro mezclador tipo Trixer de 6.0 m³ de capacidad que revolverá de acuerdo al proporcionamiento especificado los agregados con el cemento. Esta revoltura pasa a una máquina lanzadora Aliva con salida de 2" de diámetro y por una manguera de igual diámetro hasta un chiflón en donde se le agrega el agua y aditivo.

En caso de la colocación de ademe metálico, los anillos deberán ser acuñados con retaque de madera.

La excavación y ademe continúa hasta una profundidad de aproximadamente 10 m. más del nivel de piso de túnel. Esto es en el caso de lumbreras que contarán con sistema de manteo de torre y botes de 4.5 m³, como es el caso de la lumbrera de Viveros. El exceso de profundidad de lumbrera es para alojar la tolva de recepción de rezaga dejando el espacio para este fin, también se construye un piso falso - apoyado en columnas y viguetas de acero para permitir el tránsito de los vehículos de rezaga, maniobras, control topográfico, etc.

c) Tercera etapa (losa de fondo)

Terminada la excavación y ademe de la lumbrera, se procede al armado y colado de la losa de fondo cuyo espesor es de 60 cm con un concreto de $f'_c = 200$ Kg/cm² y agregado máximo de 1 1/2".

El concreto puede ser bajado al fondo de la lumbrera utilizando tubería de 8" de diámetro y tanque -- amortiguador para reintegrar el concreto por la segregación que pudo haber tenido en la bajada. Otra forma es utilizando una bacha que sería llevada al fondo por medio de una grúa. Una vez colocado el concreto, éste deberá ser compactado correctamente por vibradores de gasolina, eléctricos o neumáticos.

d) Cuarta etapa (revestimiento)

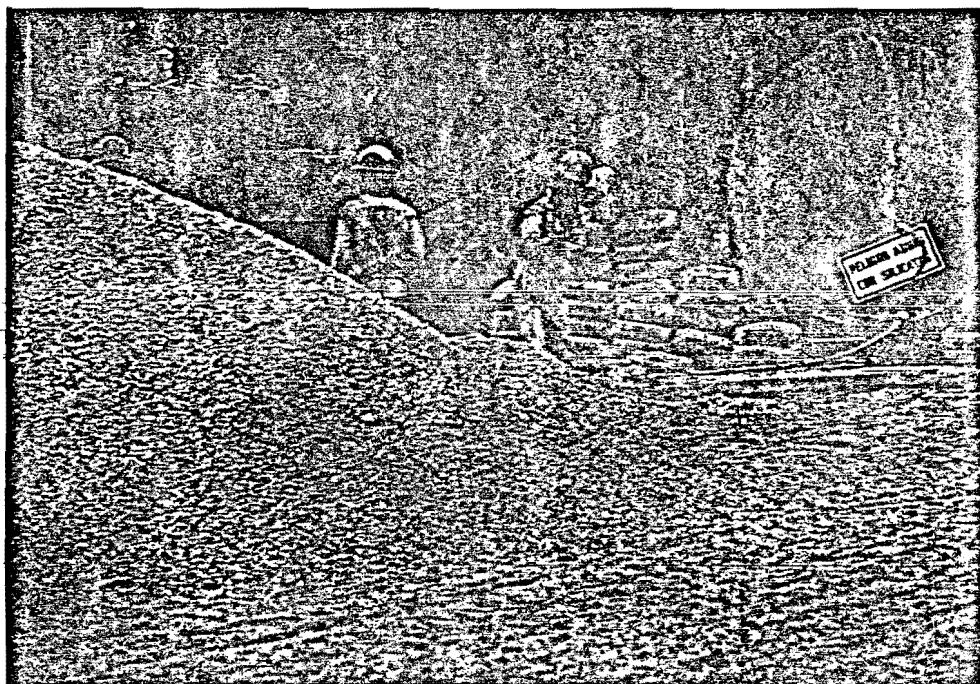
El siguiente paso es el armado del fierro de refuerzo en el cuerpo de la lumbrera.

Por último, el revestimiento definitivo es efectuado con el sistema de cimbra deslizante y colocando un concreto de $f'_c = 200$ Kg/cm² con un espesor de 25 cm.

Como se dijo anteriormente, simultáneamente a la construcción de la lumbrera, deben implementarse las instalaciones para ataque del túnel así como el suministro del equipo definitivo.



Excavación de lumbreira.



Almacenamiento de materiales.

2.2. CARACTERISTICAS Y RENDIMIENTO DEL EQUIPO DEL TUNEL

En este punto se hará notar la existencia de cierto equipo e instalaciones que aunque no interviene directamente en la construcción es fundamental y sirve de complemento o apoyo a las personas y al otro tipo de equipo que trabaja más directamente en la construcción. Dentro del primer tipo, entonces se tendrá:

2.2.1. Instalaciones exteriores

Las instalaciones exteriores necesarias son:

4 compresores eléctricos de 600 pies cúbicos por minuto cada uno conectado a un manifold de 20" de diámetro que conecta a su vez a un tanque regulador de 4 m³ de capacidad. La presión de trabajo con aire comprimido es de 90 a 110 libras por pulgada cuadrada. Del tanque regulador, después de una válvula de compuerta, sale una línea de 8" de diámetro con tubería de acero de cédula 80 la cual bajará al túnel una vez construída la lumbrera.

Una subestación eléctrica que recibe corriente a 23000 voltios y la transforma hasta 440 voltios para motores, y 220 voltios para alumbrado.

Una torre que llamaremos de manteo junto con un malacate de capacidad suficiente para izar el bote de

4.5 m³ que extraerá la rezaga del túnel a superficie en donde vaciará a una tolva que a su vez descargará en camiones de volteo que llevarán el material a los tiros de rezaga. Esta torre puede prestar además -- otros servicios (elevador para personal, etc.).

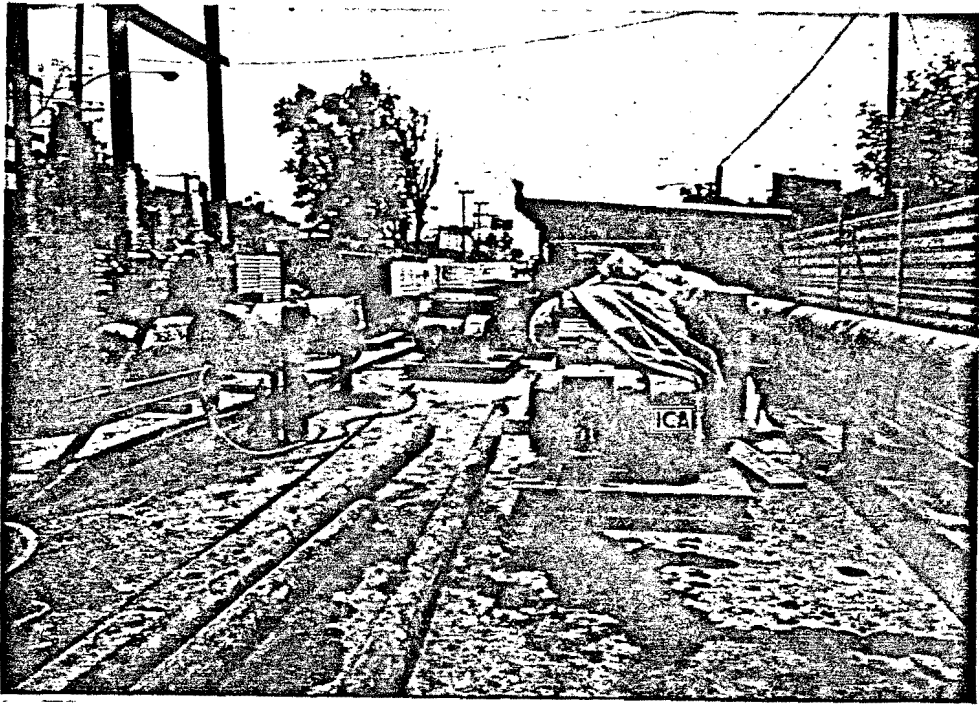
Un tanque para agua de 10,000 litros de capacidad para el concreto lanzado.

Un tanque para silicato de sodio de 10,000 litros de capacidad también para el concreto lanzado.

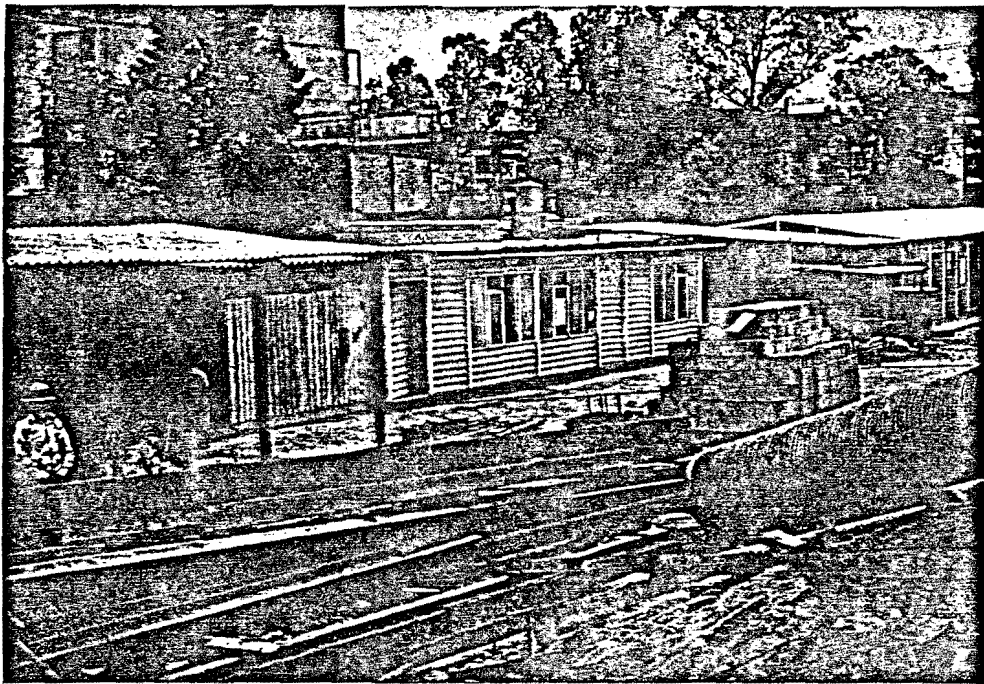
Una tolva para recibir agregados para concreto lanzado con salida de 10" de diámetro y un tubo que bajará al túnel, para conectar la tolva con la superficie.

Un almacén, oficinas técnicas de supervisión, tomaría de tiempo, oficinas de topografía y por último casetas para lockers y baños de los trabajadores. Todas las instalaciones anteriores quedan dentro de una barda que limita la zona de trabajo.

Es importante mencionar que las instalaciones deben ser programadas de tal suerte que al terminar de -- construir la lumbrera y estar en condiciones de atacar los frentes de túnel, estén totalmente terminadas.



Instalaciones exteriores.



2.2.2. Instalaciones interiores

Como instalaciones interiores se debe contar con una tolva de recepción de rezaga bajo el nivel de piso de túnel y en la zona de lumbrera. Se deberán llevar líneas de corriente eléctrica para 440 voltios, líneas de 220 voltios para alumbrado, tubería para agua de 2" de diámetro, tubería para aire de 8" de diámetro, tubería de ventilación de 36" de diámetro, y en caso de un frente aguas abajo, proveer tubería de bombeo de un diámetro suficiente para llevar el caudal esperado en caso de que los estudios Geohidrológicos así lo indicaran (no en este caso).

En el caso de un frente aguas arriba, si se esperan filtraciones de agua, se irá construyendo un dren también calculado de acuerdo al gasto esperado.

Por la caída de voltaje y de acuerdo a la demanda de energía eléctrica de algunas máquinas como veremos más adelante, se hace necesario construir subestaciones interiores calculadas a cada 450 metros una de otra.

- Escaleras de caracol
- Tuberías de ventilación

Todas las instalaciones anteriores nos servirán para la excavación y soporte temporal del túnel que puede ser por concreto lanzado o por ademe metálico y de madera.

2.2.3. EQUIPO QUE INTERVIENE MAS DIRECTAMENTE EN LA EXCAVACION Y ADEME POR FRENTE

EXCAVACION

<u>Cant.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Características de la máquina</u>		<u>Rendimiento o</u>	<u>Observaciones</u>
		<u>Marca</u>	<u>Modelo</u>	<u>Capacidad</u>	
1	Excavadora y reza gadora	Westfalia	Luchs	40 m3/h	
1	Compresor	Atlas Copco	DT-4	600 PCM	Su uso se coordina con los 2 que hay para concreto lanzado.
3	Martillos neumáticos rompedores	Atlas Copco	Tex-11	2 m3/h	Para afinar la sección
1	Grúa hidráulica	Link-Bel	8020		Uso temporal
3	Camiones diesel de volteo	International Dodge	1981 D-600-1981	6 m3/viaje	
1	Torre y malacate de manteo	Arantham-Wiseman		1 m/seg	1 m/sd ^{II} de velocidad tangen- cial
1	Bote de manteo			4.5 m3/viaje	
1	Tolva receptora sujeta a la torre			18 m3	Puede construirse en la obra de acuerdo a las necesidades
2	Soldadoras	Lincon	SAE-300		
4-5	Camiones para aca- rreo de rezaga	Dodge Interna- tional, etc.		6 m3	
1 300	Ventiladores Axial	Joy		28000 PCM	

ADEME POR CONCRETO LANZADO

<u>Cant.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Características de la máquina</u>		<u>Rendimiento o</u>
		<u>Marca</u>	<u>Modelo</u>	<u>Capacidad</u>
2	Compresores	Atlas-Copco	DT-4	
2	Carro mezclador de agregados y cemento	Stabilator	Triker	3.4 m3 mezcla seca/hora
1	Lanzadora de concreto	Aliva	250	3.4 m3 mezcla seca/hora

2.3 ELECCION DEL SOPORTE TEMPORAL DEL TUNEL

La decisión de construir un túnel conlleva la de seleccionar el método de soporte de la excavación, teniendo como herramientas para tal fin los estudios previos que se hayan realizado sobre la geología y características hidráulicas, morfológicas y estructurales del material por excavar así como de la capa sobreyacente.

Dichos estudios, si bien dan una idea general sobre los materiales sujetos de ellos y de su acomodo estratigráfico, no son todo lo preciso que fuera de desearse dado que a lo largo del trazo del túnel estas características son cambiantes, y aunque se tenga una cantidad suficiente de pruebas y estudios, - resulta difícil acertar en primera instancia sobre el comportamiento del túnel una vez abierta la cavidad.

Se ha llegado a la afirmación de que el empuje del suelo sobre el revestimiento no puede conocerse a priori sino que se liga a las siguientes variables.

- El estado natural de sollicitaciones del suelo.
- Las propiedades del suelo.
- La rigidez y deformabilidad del soporte.
- El método de excavación.

La incógnita fundamental es la deformación inicial ya que el momento y el lugar de la colocación del ademe son de vital importancia, ya que conforme el frente va desplazándose el estado de esfuerzos se convierte de tridimensional en bidimensional y la sollicitación de deformación del ademe es mayor en la cercanía del frente que en donde ya ha pasado la excavación con anterioridad, debido a que las deformaciones ya se han llevado a cabo.

Por lo tanto, no se puede dar una receta previa para la colocación del ademe esperando que ésta sea acertada en un ciento por ciento debido a las incógnitas a las que nos hemos referido, en esta virtud, el ingeniero que está al frente de la construcción del túnel debe observar minuciosamente el comportamiento de los ademes que se han colocado y así proponer las alternativas para el caso concreto, necesitando para ello tener verdadero conocimiento de causa, que es proporcionado a él por sus conocimientos y experiencia y por las mediciones que se realicen sobre la excavación fungiendo ésta como laboratorios para este efecto.

Con lo expuesto anteriormente se mencionarán los tipos de ademes más utilizados, como son:

- a) Marcos metálicos
- b) Concreto lanzado
- c) Anclas de fricción
- d) Pernos de anclaje
- e) Dovelas
- f) Combinaciones entre los anteriores

En este tramo de túnel para el metro y teniendo como fundamento los estudios de suelos, se escogieron los marcos metálicos combinados con concreto lanzado para el ademe de las zonas blandas que atraviesa el túnel.

El concreto lanzado como ademe de las zonas duras (ver figura 2), discriminándose así:

Cadenamientos:	17+503 a 17+596	Concreto lanzado
	17+596 a 17+782	Marcos metálicos y concreto lanzado
	17+782 a 18+153	Concreto lanzado
	18+153 a 18+298	Marcos metálicos y concreto lanzado.

A continuación se describe el procedimiento de colocación y algunas ventajas y desventajas que tiene el uso del concreto lanzado y los marcos metálicos.

Marcos Metálicos:

Este es un tipo de ademe que sólo conviene utilizar cuando sea realmente necesario puesto que a la par de estar constituido por recueros de una alta cuantía económica, es necesaria una fuerte cantidad de mano de obra para su habilitación y colocación.

Este tipo de ademe es recomendable cuando las características del material producen sobreexcavaciones o caídos de terreno al realizar la excavación. Estas dificultades obligan a un retaque previo de madera para transmitir las cargas a los perfiles estructura

les de manera adecuada y a la vez para prevenir que se intemperice el material aunque sea en muchos casos insuficiente esta medida.

A continuación se explica brevemente el procedimiento de colocación de los marcos metálicos (ver figura 4):

El perfil estructural seleccionado para el ademe metálico debe ser habilitado de acuerdo con la geometría de la sección transversal; comúnmente esta habilitación se realiza con roladora para evitar cristalizaciones producidas por calentamientos que afectarían el comportamiento estructural del elemento.

El marco cuenta para facilitar su colocación con varias secciones, es decir no se coloca todo a la vez sino que se arma parte por parte, se puede distinguir entre el grupo constituido por la media sección superior formado por dos semiclaves y el grupo de la media sección inferior formado por dos postes. La transición entre ambos grupos se realiza por medio de un arreglo de viguetas paralelas al eje del trazo del túnel denominadas "rastras". El objeto de las rastras se verá más adelante.

Cuando el procedimiento constructivo indica la colocación de marcos, la excavación se lleva a media sección y banqueo, sobre todo cuando el material por excavar está constituido por finos.

De este modo el ataque de la media sección superior se va realizando y en el caso necesario se va colocando madera apoyada sobre el marco anterior, poste

riormente se colocan las rastras apoyadas en el banco y es entonces cuando se checa la topografía del túnel.

Alineadas las rastras, se colocan las semiclaves sobre ellas. Valga decir que las rastras colocadas de ben ser soldadas a las inmediatas anteriores y que las semiclaves deben soldarse a las rastras recién colocadas. La unión entre ambas semiclaves es el si guiente paso; ésta se lleva al cabo atornillando -- las placas de los extremos de cada una de ellas y soldando la unión de dichas placas.

Posteriormente se excava la media sección inferior y se colocan los postes debajo de las semiclaves corres pondientes soldándose a la rastra en los puntos de apoyo.

Cuando se tienen esfuerzos de coceo provocados por empujes laterales o del piso de la excavación, éstos son tomados por tomapuntas de vigueta soldadas a la base de los postes o por anclas que se colocan igual mente en dicha base.

Para garantizar el trabajo en conjunto de todos los marcos, en el alma del perfil estructural se hacen barrenaciones con el objeto de que a través de ellas se introduzcan varillas habitadas con una cabeza de la propia varilla y un birlo en el extremo opuesto.

A este birlo se le atornilla una tuerca y de este mo do las varillas a que nos referimos trabajan a ten- sión, por esa razón se les llama "tensores".

Los esfuerzos de comprensión son transmitidos de marco por polinos de madera colocados sobre los tensores cortados de acuerdo con la separación entre los marcos. Estas piezas se conocen como "separadores".

Las rastras están constituídas por una o dos viguetas soldadas patín con patín.

Para el apoyo de los postes contra el piso de la excavación se utiliza generalmente madera con el fin de evitar corrimientos al colocar el poste, este apoyo por lo general está formado por dos piezas de madera flejadas y clavadas. En algunos casos se cuele una plantilla de concreto o una guarnición si para el desalojo de aguas provenientes de filtraciones es necesario construir obras de arte con el fin de que no exista transportación de suelos y los marcos pierdan su apoyo.

Cuando se atraviesan suelos puramente fricciantes, se hinca en terreno un entramado de viguetas livianas que se apoya en el marco ya colocado y se descubre la sección. Estas viguetas tienen como función la de brindar seguridad al personal que trabaja en la excavación deteniendo la porción de suelo que tiende a desprenderse al propiciar el acunamiento entre bloques de material en torno a las viguetas.

Concreto lanzado:

El concreto lanzado, consiste en colocar concreto a presión sobre el contorno de la excavación, de suerte

de formar un espesor suficiente para que actúe como un cascarón que soporte los esfuerzos producidos por la excavación, teniendo aparte la ventaja de ser deformable y acusar fallas con la anticipación necesaria para tomar las medidas pertinentes (ver figura 5).

Esta tecnología de origen europeo ha evolucionado sorprendentemente en los últimos años debido a la facilidad de su aplicación y su versatilidad de utilización.

Existen dos tipos de procedimientos de colocación del concreto lanzado, el de mezcla seca y el de mezcla húmeda.

El procedimiento de mezcla seca consiste en dosificar una mezcla de agregados y cemento en la proporción requerida por la resistencia del proyecto a una máquina llamada lanzadora que lo suministra a presión a una manguera que conduce la mezcla seca a una boquilla o chiflón. En este lugar se incorpora el agua y la mezcla se proyecta sobre la superficie a cubrir.

El concreto colocado adquiere debido a la presión una compactación muy buena y no requiere de vibrado para su acomodo. Su revenimiento es cero, en virtud de que la relación agua-cemento es muy baja.

Este método por las ventajas que ofrece para la fabricación y colocación del concreto lanzado es más difundido en la actualidad y es el que se utilizará en este tramo del metro.

El procedimiento de mezcla húmeda consiste en la fabricación del concreto y su bombeo a presión ya in-

cluída el agua hacia la superficie por proteger. Este método tiene la desventaja de que se pueden ocasionar segregaciones en el concreto y su compactación -- inicial es menor que en la mezcla seca.

El concreto lanzado se distingue del concreto común -- únicamente en su aplicación; el comportamiento estructural de ambos es idéntico.

Para las excavaciones subterráneas el concreto lanzado ha venido a simplificar el problema que significa su soporte, ya que es muy sencillo colocarlo y es -- adaptable a cualquier geometría sin necesidad de usar cimbras o artefactos que requieran muchas manos de obra.

El concreto lanzado como soporte de túneles se usa -- formando un cascarón o membrana estructural que recibe los esfuerzos de compresión propiciados por el empuje del suelo a la excavación.

Si se coloca en espesores pequeños, ayuda a evitar el intemperismo de los materiales.

Concreto Lanzado Reforzado con Malla Electrosoldada

El concreto lanzado se aplica por lo general con aditivos acelerantes para que vaya adquiriendo resistencia en el lapso más corto posible.

En esta operación es fácil entender que el calor de fraguado del concreto puede en un momento dado ocasionar grietas en el elemento.

Para absorber los esfuerzos de tensión producidos por la elevación de temperatura cuando el concreto lanzado está en la fase del fraguado inicial, se coloca -- una malla electrosoldada con un recubrimiento libre determinado en las paredes y clave del túnel.

Puede colocarse también una malla más cerrada cuando el material es poco cohesivo y resiste con alguna dificultad la presión del lanzado. En este caso la malla asume funciones de retener ligeramente al suelo cuando se efectúa el lanzado. Se ha utilizado para estos fines con buenos resultados malla de gallinero.

Concreto Lanzado combinado con Marcos Metálicos:

Cuando se abre un túnel, la presión a la que está la excavación es la atmosférica y esto puede ocasionar que el material se intemperice; si a esto se añade que se tenga suelos poco cohesivos, después de un tiempo de excavado y ademado con marcos metálicos, se puede presentar el fenómeno de que por pérdida de humedad y contacto con aire fresco el material tienda a desprenderse por enmedio del retaque de madera. Conviene en estas circunstancias lanzar una capa de concreto que detenga los efectos antes mencionados protegiendo así la estructura del material previniendo que se tengan sobreexcavaciones y acomodos de la capa sobreyacente sobre el túnel.

Se presenta otro caso en el que es necesario lanzar concreto sobre los marcos y es cuando los empujes del terreno sobre el ademe metálico tienden a producir de

formaciones excesivas e incluso el cerramiento del túnel. En este caso conviene lanzar un espesor suficiente y formar una especie de bóveda entre marco y marco para que el concreto lanzado auxilie al soporte metálico en la resistencia de los esfuerzos de compresión.

RESUMEN DE LA SECUENCIA DE COLOCACION DE MARCOS METALICOS

(figura 4)

Espaciamiento entre marcos = 1.20 mts.

Avance del banco = 2.40 mts.

En media sección superior

1. Excavación de la media sección superior
2. Colocación de 5 cms. de concreto lanzado
3. Colocación de malla electrosoldada de 6" x 6"
4/4 con traslapes
4. Colocación de rastras
5. Colocación de las secciones superiores del marco
6. Colocación del retaque de madera
7. Lanzamiento de la segunda capa de concreto lanzado de 10 cms.

En media sección inferior

8. Excavación media sección inferior
9. Repetir pasos 2 y 3 de la sección superior, incluyendo la zapata de apoyo
10. Colocación de apoyo metálico y soldadura con el marco
11. Repetir pasos 6 y 7 de la sección superior
12. Colocar separadores entre marcos
13. Colocación de anclas para tomar fuerza horizontal
14. Colado de plantilla de 10 cms. de espesor

RESUMEN DE LA COLOCACION DEL CONCRETO LANZADO

(figura 5)

Avance del banco = 2.40 mts.

En media sección superior

1. Excavación
2. Colocación de 5 cms. de concreto lanzado
3. Colocación de malla electrosoldada de 6" x 6" -
4/4 con traslapes
4. Lanzar concreto lanzado con 15 cms. de espesor
5. Colocar la segunda malla con traslapes
6. Lanzar la tercera capa de concreto lanzado de
5 cms. de espesor.

En la media inferior

7. Excavación
8. Repetir los pasos 2 a 6 de la parte superior ha-
ciendo los traslapes y amarres con la malla su-
perior y llevando la malla y el concreto lanzado
a la zapata.
9. Colocación de una plantilla de 10 cms. de espesor

ESPECIFICACIONES E INDICACIONES PARA EL CORRECTO ADEMADO

1. El concreto lanzado se deberá aplicar tan pronto se descubran las paredes del túnel de la etapa en cuestión, no debiéndose continuar con la siguiente etapa si no ha sido colocado el revestimiento primario en la etapa inmediata anterior.
2. En caso de que los marcos queden cortos de altura, será necesario calzarlos mediante cuñas metálicas o de madera.
3. Inmediatamente después de instalar y nivelar cada marco se deberán colocar las anclas para tomar la fuerza horizontal (coceo) del marco.
4. La colocación de la plantilla será mediante concreto pobre con acelerante de fraguado o grava.
5. Deberá instalarse la instrumentación de tal manera que cuando el frente de ataque se encuentre a 20 m. de distancia antes de la sección de instrumentación, esté completamente instalada.
6. Cuando las medidas de convergencia sean mayores de 3.5 cm o las velocidades de deformación sean mayores de 0.40 mm/día y se mantengan constantes o en forma creciente, será necesario reforzar el revestimiento primario del túnel mediante concreto lanzado y/o anclas y marcos en caso de que la geometría lo permita, de acuerdo al procedimiento que se elabore para ese caso.

7. La malla electrosoldada se podrá colocar antes de lanzar la primera capa de concreto o después de haberla lanzado, de acuerdo con las condiciones del suelo.

2.4. CICLO DE EXCAVACION - REZAGA - ADEME

El trazo topográfico de la línea, una vez bajado y referenciado el túnel, se llevará a cada 1.2 metros de excavación en dirección y nivel. Una verificación semanal con aparatos de precisión es necesaria para controlar que la excavación del túnel esté lo más cercana al proyecto y dentro de la tolerancia. Se deberán tomar secciones transversales a cada 1.20 m.

Pasando ya propiamente a la excavación, ésta es hecha por la máquina rozadora cargando el material en camiones diesel de volteo.

El camión acarrea el material hasta la lumbrera en donde descarga al canalón bajo nivel de piso de túnel. De ahí pasa al bote de manteo y éste es izado al exterior por el malacate. Mientras tanto un segundo camión se debe encontrar cargándose en el frente. Para perfilar lo más exactamente la sección, perforistas con los martillos rompedores se encargan de esta actividad.

El ademe se hace de acuerdo a lo expuesto en el punto 2.3.

C I C L O S

AREA DE LA SECCION = 43.76 m²

MATERIAL POR EXCAVAR: ARENA LIMOSA

COEFICIENTE DE ABUNDAMIENTO: 40%

En el túnel oriente se cuenta con una excavadora Westfalia Dachs de rendimiento igual a 20 m³/hr y camiones de volteo de 6 m³ de capacidad. Para el otro frente se tendrán las mismas condiciones.

Las alternativas de excavación en estos frentes son:

- I - Excavación y Ademe por Concreto Lanzado
- II - Excavación y Ademe por Marcos Metálicos y Madera

I- Excavación y Ademe por Concreto Lanzado en el túnel Oriente

En este caso se excavarán 1.20 m. de profundidad. Por lo tanto el tiempo de excavación es:

$$T = \frac{43.76 \text{ m}^2 \times 1.2000 \text{ m.}}{20 \text{ m}^3/\text{hr.}} = 2.62 \text{ hr.}$$

El volumen de rezaga es de:

43.76 m² x 1.20 m x 1.4 abund = 73.51 m³ que deben extraerse del frente en 2.62 hrs. El rendimiento requerido es de:

$$\frac{73.51 \text{ m}^3}{2.62 \text{ h}} = 28 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

El ciclo del camión es:

$$\text{Carga} = \frac{6 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min/hr}}{20 \text{ m}^3/\text{hr}} = 18 \text{ min.}$$

$$\begin{array}{l} \text{Ida} \\ (V = 10 \text{ Km/hr}) \quad (400 \text{ m}) = \frac{400 \text{ m} \times 60}{10,000 \text{ m/hr}} = 2.4 \text{ min.} \end{array}$$

$$\text{Maniobras} = 2.0 \text{ min}$$

$$\text{Descarga} = 3.0 \text{ min}$$

$$\text{Retorno} = \frac{400 \text{ m} \times 60}{12000 \text{ m/hr}} = 2.0 \text{ min}$$

$$\text{Acomodo} = 6.0 \text{ min}$$

$$\text{T o t a l} \quad \underline{\quad 28.0 \text{ min}} \quad$$

$$\text{No. de Ciclos} = \frac{60}{28} = 2.14 \text{ ciclos /hr.}$$

$$\text{Rendimiento} = 2.14 \text{ ciclos/hr} \times 6 \text{ m}^3/\text{ciclo} = 12.8 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

$$\text{No. de camiones} = \frac{28 \text{ m}^3/\text{hr}}{12.8 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{camión}} = 2.18 \text{ camiones} = 3$$

El concreto lanzado en bóveda será efectuado después de la excavación:

Perímetro por lanzar = 11.0 m

Volumen colocado = 11.0 m x 0.20 m. x 1.20 m.
= 2.64 m³

Para colocar este volumen se requiere lanzar 2.64 x 1.7 = 4.5 m³ de mezcla.

Volumen lanzado = 1.70 volumen colado.

Se toma un 30% como rebote y un 40% como enjuntamiento. El chiflón debe colocarse a una distancia de 0.25 - 0.40 mts.

Rendimiento lanzadora = 2. m³/hr

$\frac{4.5 \text{ m}^3}{2.0 \text{ m}^3/\text{hr}} = 2.25 \text{ hrs.}$

Las paredes serán lanzadas de concreto en el momento de la excavación.

Por lo tanto el ciclo para esta condición I con avance de 1.20 mts. será:

Topografía	0.25 hr.
Excavación (1.20 ml)	2.62 hr.
Colocación mallas	0.40 hr.
Ademe por Conc. Lanz.	<u>2.25</u> hr.
Total	5.52 hr.

Si consideramos una eficiencia de 85%:

$$\text{Ciclo real} = \frac{5.52 \text{ hr}}{.85} = 6.49 \text{ hr.}$$

$$\text{Ciclos por día} = \frac{24 \text{ hrs.}}{6.49 \text{ hr/ciclo}} = 3.69 \text{ ciclos/día}$$

$$\text{Avance por ciclo} = 1.20 \text{ m.}$$

$$\text{Avance por día} = 3.69 \times 1.20 = 4.4 \text{ m/día}$$

Revisemos la capacidad de manto tomando en cuenta que se tuvieran los avances para los 2 túneles

$$5.50 + 5.50 = 11.00 \text{ m/día}$$

$$11.00 \text{ m/día} \times 43.76 \text{ m}^2 \times 1.4 \text{ abund} = 673 \text{ m/día}$$

El bote de 4.0 m³ de capacidad tiene un ciclo real de 5 minutos

$$\therefore \text{No. de ciclos/hr.} = \frac{60}{5} = 12$$

$$\text{Rendimiento} = 12 \text{ ciclos/hr} \times 4 \text{ m}^3/\text{ciclo} = \underline{48 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

$$\text{Se requieren } \frac{673 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ hr/día}} = 28 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ Vs } 48 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Por manto no hay restricción en el avance aún tomando en cuenta las dos condiciones del avance.

II - Excavación y Ademe por Marcos Metálicos y Madera en el Túnel Oriente y el Poniente.

En este caso se excavará 1.20 m. de profundidad.

Tiempo de excavación = 2.62 hrs (de acuerdo a lo analizado en la condición I), pero al colocar marcos es por tener suelos más blandos y suponemos que el rendimiento bajará un 50%.

Por lo tanto, tiempo de excavación real
= 2.62 x 1.5 = 3.93 hrs.

Para la colocación del marco es necesario tener los materiales cerca del frente.

$$\text{Concreto lanzado} = \frac{11 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} \times 1.20 \text{ m} \times 1.7}{2 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$= 1.7 \text{ hr}$$

$$\text{Topografía} = 0.5 \text{ hr.}$$

$$\text{Colocación rastras} = 0.33 \text{ hr.}$$

$$\text{Colocación postes} = 0.5 \text{ hr.}$$

$$\text{Colocación curvas} = 1.5 \text{ hr.}$$

$$\text{Ademe de madera} = 1.0 \text{ hr.}$$

Con tensores y separadores

Por lo tanto el ciclo teórico para un avance de 1.20 mts. es:

$$\text{Topografía} \quad 0.50 \text{ hr.}$$

Excavación	3.93 hr.
Concreto lanzado	1.70 hr.
Colocación mallas	0.40 hr.
Colocación rastras	0.33 hr.
Colocación postes	0.50 hr.
Colocación curvas	1.50 hr.
Ademe de madera	1.0 hr.
	<hr/>
	9.86 hrs.

Si consideramos una eficiencia del 85%:

$$T \text{ ciclo real} = \frac{9.86}{.85} = 11.6 \text{ hrs/ciclo}$$

$$\text{Ciclos por día} = \frac{24}{11.6} = 2 \text{ ciclos/día}$$

$$\text{Avance/ciclo} = 1.20 \text{ m.}$$

$$\text{Avance/día} = 1.20 \text{ m} \times 2 = 2.40 \text{ m/día}$$

Las consideraciones para la rezaga son las mismas que para el caso I, por lo tanto se requieren 3 camiones y con la capacidad de manto de que se dispone, es suficiente para efectuarla.

Para lograr una eficiencia máxima en la excavación y trabajo en general, deberá contarse con condiciones -tales como:



1. Alumbrado suficiente a lo largo del túnel por medio de lámparas fluorescentes.
2. Iluminación suficiente en los frentes de trabajo.
3. Una organización adecuada del personal para lo cual es sumamente importante:
4. VIGILANCIA Y SUPERVISION CONSTANTE del Jefe de Frente, así como el conocimiento perfecto del ciclo.
5. Registro de demoras que al final del día, el Jefe de Frente deberá analizar para anularlas con soluciones efectivas.
6. Gráficas de ciclos que el Jefe de Obra deberá analizar diariamente para ordenar las correcciones en caso de falla.
7. Previsión del suministro de materiales tanto del Jefe de Frente como del Jefe de Obra.
8. Mantenimiento preventivo de la maquinaria por parte del Ing. Mecánico, por lo que deberá elaborar y cumplir sus programas en coordinación con el Jefe de Obra.
9. Mantenimiento correctivo de la maquinaria, para lo cual deberá contarse con las principales refacciones de la maquinaria.
10. Mantenimiento predictivo de la maquinaria, para lo cual deberán tomarse muestras de aceite semanalmente y enviarlas al laboratorio para su análisis.
11. Ventilación suficiente en el frente de trabajo.
12. Ver esquema de reporte de avance diario que se anexa, lo cual sirve para un mejor control técnico de la obra.

REPORTE DIARIO DE TIPO DE MATERIAL EXCAVADO

OBRA _____ FRENTE _____

FECHA _____ DE CAD. _____ A CAD. _____

I AGUA

NINGUNA POCO HUMEDO HUMEDO MUY HUMEDO

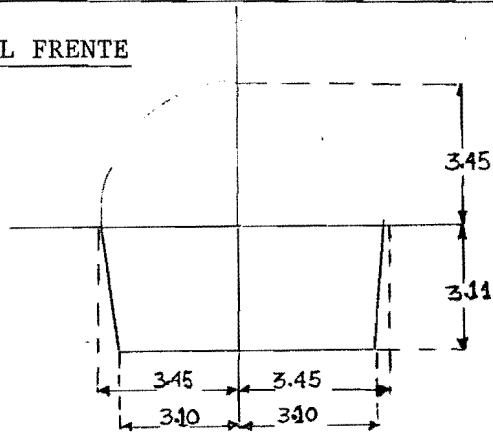
GASTO ESTIMADO _____

II TIPOS DE SUELO

III CROQUIS DE LAS CARACTERISTICAS DEL FRENTE

SIMBOLOGIA

<input type="checkbox"/>	ARCILLA
<input type="checkbox"/>	LIMO
<input type="checkbox"/>	ARENA
<input type="checkbox"/>	ROCA



IV ADEME UTILIZADO

MARCOS METALICOS CONCRETO LANZADO CONCRETO LANZADO ANCLAS

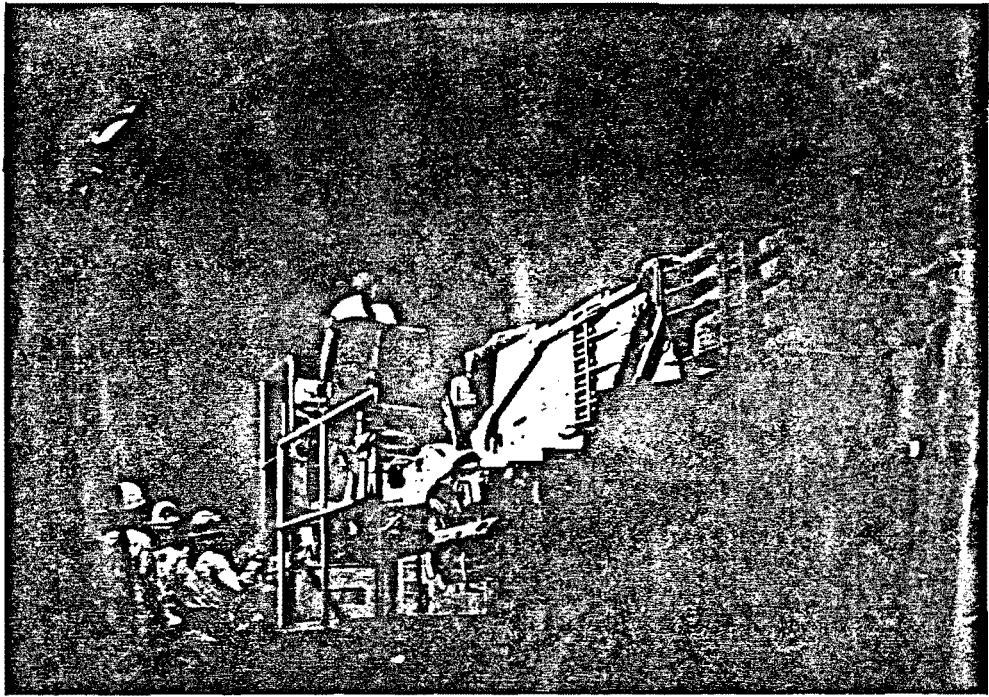
PERFIL _____ CON MALLA SIN MALLA DIAM _____

SEPARACION _____ LONG _____

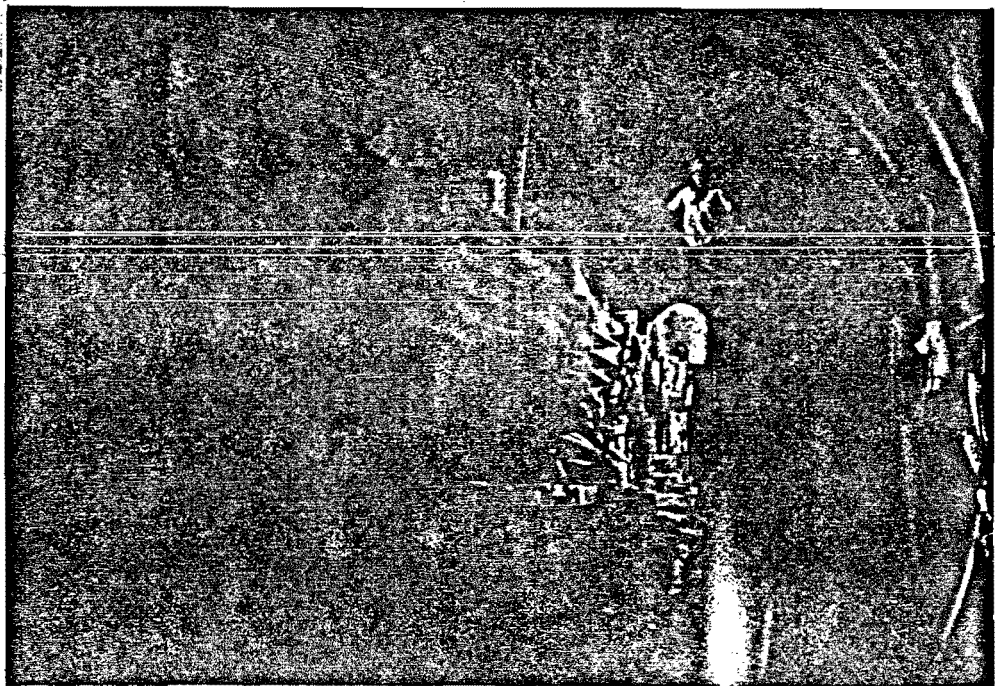
V OBSERVACIONES

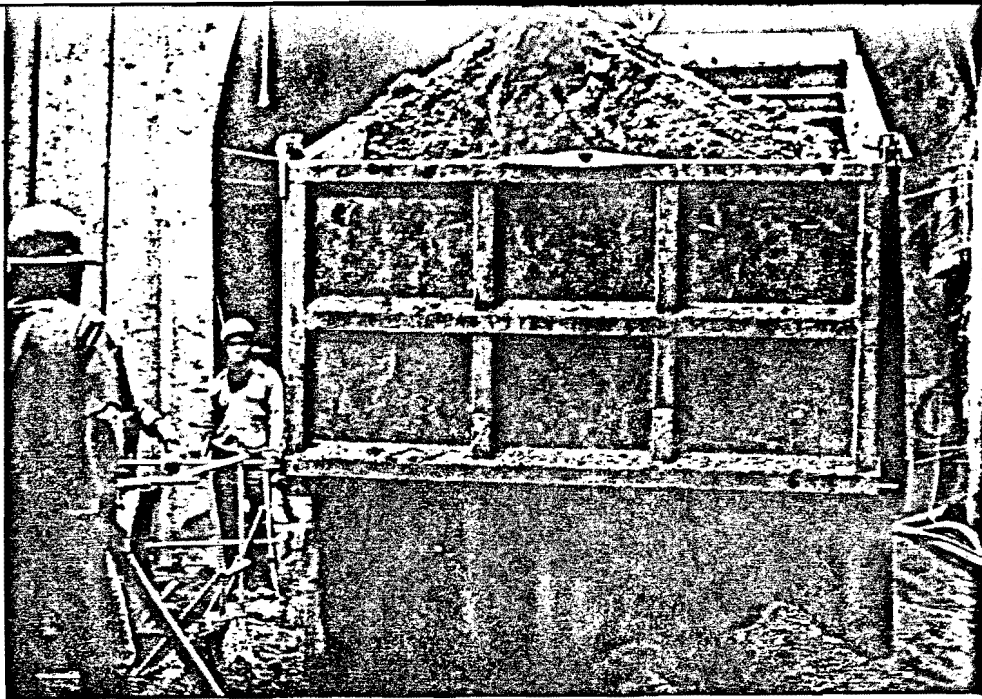
TIEMPO DEL CICLO REAL _____

DEMORAS:



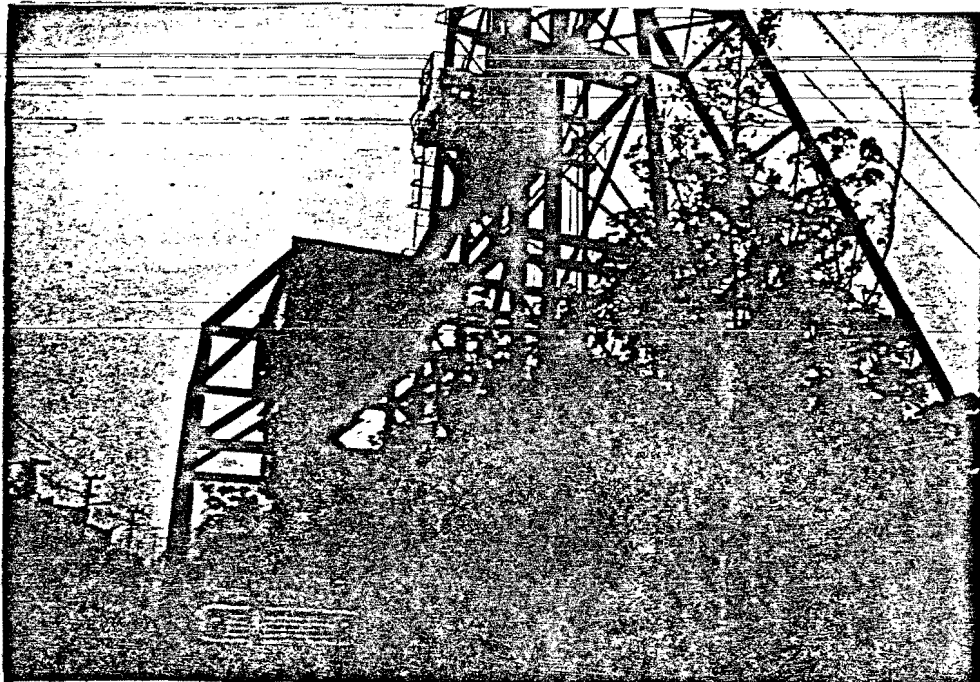
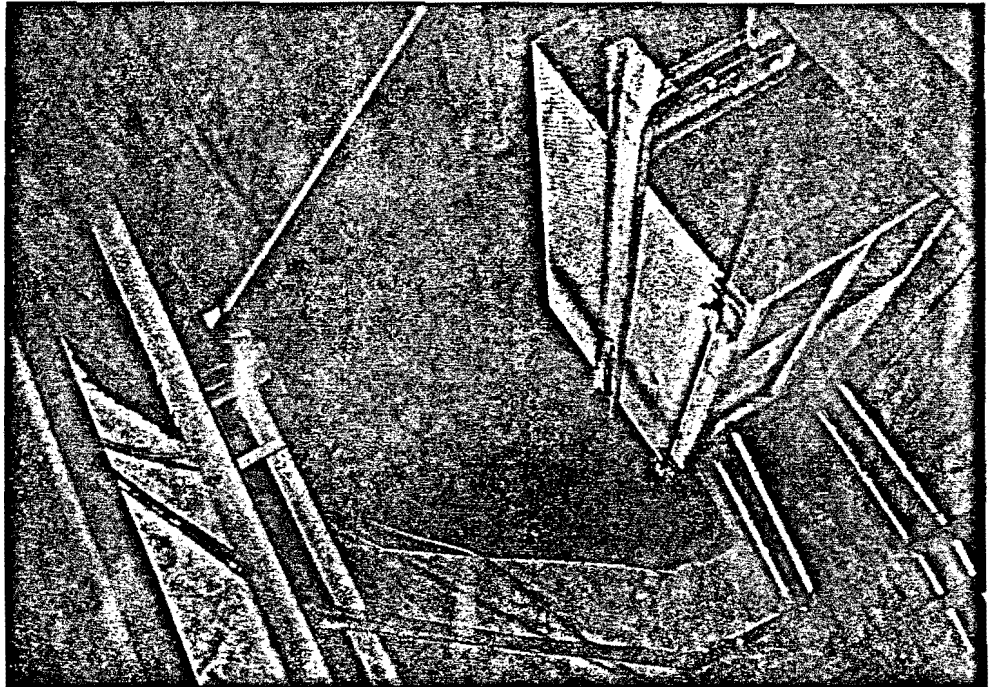
Excavación y rezaga con maquina Westfalia.





Rezaga en la
la entrada del
tunel.

Acenso de la rezaga
mediante la torre.



Descarga a tol-
va receptora
y camión.

2.5. RECURSOS NECESARIOS EN MANO DE OBRA PARA LA EXCAVACION
Y ADEME DEL TUNEL POR FRENTE

C A T E G O R I A	Personal por turno			Horas por turno 12.00/tno.
	1°	2°	Total	
<u>FRENTE.- EXCAVACION TUNEL</u>				
Sobrestante Gral.....	1		1	"
Sobrestante Exc.....	1	1	2	"
Cabo de Exc.....	1	1	2	"
Perforistas.....	6	6	12	"
Ayudante perf.....	6	6	12	"
			<u>29</u>	
<u>FRENTE.- CONCRETO LANZADO</u>				
Cabo de Lanzado.....	1	1	2	"
Op. Aliva.....	1	1	2	"
Lanzador.....	1	1	2	"
Ayts. Lanzado.....	3	3	6	"
			<u>12</u>	
<u>FRENTE.- MANTEO</u>				
Cabo de Manteo.....	1	1	2	"
Aytes. Gral.....	4	4	8	"
			<u>10</u>	
<u>FRENTE.- OPERACIONES DE MAQUINARIA</u>				
Op. Westfalia.....	1	1	2	"
Op. Malacate.....	1	1	2	"
Compresoristas.....	1	1	2	"
Op. Volteo Túnel.....	3	3	6	"
Op. Volteo Ext.....	3	3	6	"
			<u>18</u>	
<u>FRENTE.- LIMPIEZA</u>				
Cabo de Limpias.....	1	1	2	"
Aytes. Gral.....	5	5	10	"
			<u>12</u>	

C A T E G O R I A	Personal por turno			Horas por turno
	1°	2°	Total	12.00/tno.
<u>FRENTE.- TOPOGRAFIA</u>				
Topógrafo.....	1		1	"
Auxiliar Top.....	1	1	2	"
Cadeneros.....	2	2	4	"
			7	
<u>FRENTE.- SOLDADORES</u>				
Soldadores.....	1	1	$\frac{2}{2}$	"

NOTA. Los turnos se hacen de 12 horas debido a la escasez de personal para este tipo de trabajos y a la gran demanda de personal en el Distrito Federal.

MATERIALES NECESARIOS EN LA EXCAVACION Y ADEME POR FRENTE

<u>C o n c e p t o</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cant/M.L.</u>
Picas para rozadora	Pza.	11
Pulsetas para martillo	Pza.	2.7
Marcos Completos IPR 8 x 5 1/4"	Pza.	1
Vigueta IPR 8 x 5 1/4" (rastras)	M.L.	8
Madera	P.T.	600
Tubería 8" Ø para aire	M.L.	1
Tubería 36" Ø para ventilación	M.L.	1
Tubería 2" Ø para agua	M.L.	1
Manguera 3/4" para aire	M.L.	0.8
Cable 2/0 para alumbrado	M.L.	4
Lámparas fluorescentes	Pza.	0.4
Mallalac de 6" x 6"	M2	14
Cemento	Ton.	1.44
Agregados para concreto lanzado	M3	3.6
Aditivo acelerante para conc. lanzado	Kg.	43.2
Agua	L	810
Tornillos de 3/4" x 3 1/2" para marco	Pza.	10
Varilla lisa de 5/8" (marcos)	M.L.	10
Varilla corrugada de 1 para anclas	M.L.	18
Placa de 1/2" para anclas	M2	0.16
Oxígeno	Carga	0.05
Acetileno	Carga	0.03
Soldadura 7018 1/8"	Kg.	0.2
Diesel	L	200
Aceites	L	1
Grasas	Kg.	0.5
Filtros	Pza.	1
Alambre recocido	Kg.	1.7
Controles eléctricos	Pza.	0.003
Extinguidores	Pza.	0.02

Los materiales mencionados son los que se gastan por M.L., para lo cual se ha hecho la proporción o reducción correspondiente.

3.1. SELECCION DEL PROCEDIMIENTO DE COLADO

3.1.1. ANTECEDENTES

Para dar cumplimiento a los Programas de Construcción que establecen la entrega de la obra civil terminada en la segunda semana de Marzo de 1982, será necesario excavar y colar el túnel simultáneamente.

Esto implica que se deben de llevar dos frentes a la misma velocidad de avance, por una parte la excavación del túnel, y a una distancia conveniente para no producir interferencias, el revestimiento definitivo del túnel. Esta distancia será de aproximadamente 200 mts. Por lo tanto, se usará una cimbra monolítica de 6.10 mts. de longitud y su movimiento se hará sobre rieles previamente instalados.

Para que el revestimiento definitivo no obstaculice las maniobras de rezaga, la estructura de la cimbra debe permitir el paso a través de ella a los vehículos que transportan el material producto de la excavación. Esto se logra mediante una coordinación estudiada del ciclo de revestimiento combinado con el ciclo de excavación y ademe.

Teniendo en cuenta las condiciones de programa de entrega de la obra, se observa que al escoger la cimbra monolítica para el colado, es la más conveniente en estas circunstancias.

3.1.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El equipo de rezaga que se utiliza es sobre llantas neumáticas, por lo que se debe implementar una superficie uniforme que soporte el transportador de la cimbra y que a su vez no interfiera el tránsito de vehículos dentro del túnel.

Por esta razón y por la necesidad de apoyar el equipo se hace necesaria una guarnición de anclaje, con objeto de deslizar y soportar firmemente la cimbra (ver figura).

En esta virtud, el colado del túnel se realizará en tres etapas:

- a) Primer colado: De guarniciones laterales, para anclaje y rodamiento.
- b) Segundo colado: Clave y paredes laterales del túnel.
- c) Tercer colado: Losa de piso o cubeta del túnel.

3.1.3. DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

PRIMER COLADO (GUARNICIONES)

Para llevar al cabo esta etapa del colado se utilizará una cimbra de la misma longitud de la que se usará en clave y paredes.

Cabe destacar que la topografía del túnel se resolverá en este colado, por lo que la cimbra de las -- guarniciones cuenta con mecanismos para facilitar su alineación y nivelación.

Este equipo cuenta con soportes para colocar el anclaje de la segunda etapa de colado. Este anclaje se escoge de acuerdo a los requerimientos de cada túnel. En este caso se están utilizando los llamados chiboles y colas de cochino.

SEGUNDO COLADO

Esta etapa se realizará con una cimbra y un transportador para su movimiento.

La cimbra está constituida por tres paredes de contacto articuladas entre sí, es totalmente autosoportable, lo que significa que no requiere del transportador para resistir las cargas de concreto y su peso propio para alinearse, nivelarse y anclarse se apoya en la guarnición colada de antemano.

La función del transportador es la de llevar al cabo los trabajos de descimbrado, movimiento e instalación de la cimbra en la siguiente posición de colado.

Este equipo cuenta con mecanismos hidráulicos para desmoldar las paredes, alinear y nivelar la cimbra y ruedas metálicas de doble caja para deslizarse sobre vía y durmientes.

La cimbra cuenta con ventanas de vibrado e inspección para tener acceso a la sección entre cimbra y terreno, que además pueden servir para iluminación, limpieza y colocación del concreto. El vibrado se realiza en forma mixta utilizando vibradores de inmersión y contacto, de acuerdo a la facilidad de uso de uno u otro, según la zona que se esté vibrando.

Siendo la longitud de la cimbra tan corta, el desplazamiento longitudinal de ésta se logra por medio de equipos existentes en la obra, tales como tirfords o malacates.

TERCER COLADO

Este colado se lleva a efecto con el empleo de una regla deslizante que se apoya sobre las guarniciones ya coladas en la primera etapa.

Este equipo está integrado por un deflector delantero para una buena distribución del concreto, una plataforma para el apoyo de los obreros que darán el acabado final en la parte posterior, y se tiene la posibilidad de instalar vibradores de contacto para mejorar el acabado así como de lastrar el equipo en caso de suscitarse flotación.

3.2. EQUIPO A UTILIZAR PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

<u>Cantidad</u>	<u>Nombre del equipo por frente</u>
1	Tolva receptora del concreto
1	Tanque amortiguador
2	Ollas mezcladoras dentro del túnel
1	Cimbra monolítica de 6.10 mts. de long.
1	Transportador de cimbra
4	Vibradores de inmersión
3	Vibradores de contacto
1	Estructura Garza
1	Bomba de concreto

3.3. RECURSOS NECESARIOS EN MANO DE OBRA PARA EL REVESTI-
MIENTO DEFINITIVO POR FRENTE

<u>C A T E G O R I A</u>	<u>Personal por</u>			<u>Horas por</u> <u>turno</u> 12.00 h/tno.
	<u>1°</u>	<u>2°</u>	<u>Total</u>	
<u>FRENTE COLOCACION DE CONCRETO</u>				
Sobrestante.....	1	1	2	"
Cabo de Vibradoristas.....	1	1	2	"
Vibradoristas.....	4	4	8	"
Aytes. Gral.....	5	5	10	"
			<u>22</u>	
<u>FRENTE.- CARPINTERIA</u>				
Sobrestante de Carpintería.....	1		1	"
Cabos Carpinteros.....	1	1	2	"
Carpinteros.....	6	6	12	"
Aytes. Carpinteros.....	6	6	12	"
			<u>27</u>	
<u>FRENTE.- FIERREROS</u>				
Cabo de fierreros.....	1	1	2	"
Fierreros.....	9	9	18	"
Aytes. Fierrero.....	9	9	18	"
			<u>38</u>	
<u>FRENTE.- ALBAÑILES</u>				
Of. Albañil.....	4	4	8	"
			<u>8</u>	
<u>FRENTE.- MANIOBRAS</u>				
Cabo de Maniobras.....	1	1	2	"
Maniobristas.....	4	4	8	"
			<u>10</u>	

<u>C A T E G O R I A</u>	<u>Personal por</u> <u>t u r n o</u>			<u>Horas por</u> <u>turno</u>
	1°	2°	Total	12.00 h/turno
<u>FRENTE.- OP. MAQUINARIA</u>				
Op. Bomba de Concreto.....	1	1	2	"
Op. Ollas Revolvedoras.....	2	2	$\frac{4}{6}$	"
<u>FRENTE.- TOPOGRAFIA</u>				
Auxiliar de Topógrafo.....	1	1	2	"
Cadeneros.....	2	2	$\frac{4}{6}$	"
<u>FRENTE.- SOLDADORES</u>				
Soldadores.....	2	2	$\frac{4}{4}$	"

RECURSOS NECESARIOS EN MATERIALES PARA EL REVESTIMIENTO
DEFINITIVO POR FRENTE

<u>Concepto</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cantidad/M.L.</u>
Concreto hidráulico con tam. máximo de 3/4 y revenimiento de 18 f' _c = 250 kg/m ²	M3	10.5
Acero de refuerzo de 3/8	Kg.	27.64
1/2	Kg.	348.87
3/4	Kg.	277.13
Curacreto	Lts.	30
Banda PVC de 6" para juntas	Mts.	2
Tubería PVC anger de 8" para instalaciones hidráulicas de desagüe	Mts.	2
Tubería de 6" para bombeo de concreto	Mts.	2
Tubería para bajar concreto de 10"	Mts.	0.02
Silletas de PVC de 8" x 3" para registro de desagües	Pzas.	0.8
Colas de cochino para anclaje cimbra	Pza.	2.5
Chiboles para anclaje cimbra	Pza.	0.02
Oxígeno	Carga	0.05
Acetileno	Carga	0.025
Alambre recocado para amarrar fierro	Kg.	10
Soldadura 7018 1/8" ó 5/32"	Kg.	1.5
Vía para moviliarizar cimbra	Mts.	0.04
Cimbra para guarnición	M2	2.00
Cimbra para bóveda y paredes	M2	13.34
Cimbra para tapones	M2	1.62

Los materiales mencionados son los que se gastan por M.L. para lo cual se ha hecho la reducción o proporción correspondiente, con excepción de las cimbras, las cuales representan la superficie que cubren por M.L. Al hacer el análisis económico, se les asignará el número de usos y su costo por M.L.

3.4. CICLO DE ACTIVIDADES DE EXCAVACION-ADEMADO Y REVESTIMIENTO DEFINITIVO

3.4.1. DESCRIPCION DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El concreto será maquilado en plantas de producción ajenas a la obra y transportado al sitio de descarga por ollas revolvedoras.

Al llegar a la olla revolvedora, descargará el concreto a una tolva receptora en superficie, la cual estará ubicada en la boca de las lumbreras.

De ahí el concreto es suministrado al túnel por gravedad y es recibido a nivel de techo de túnel por un tanque amortiguador cuya función es la de restituir al concreto la segregación que se le indujo en la caída.

El tanque amortiguador a su vez descarga a una bomba de concreto, la cual lo impulsa por un dispositivo de tuberías al frente de colado. Este dispositivo es conocido como "garza".

Cuando el frente de colado está alejado de la lumbrera, del tanque amortiguador pasa a las ollas revolvedoras que transportan el concreto hasta el frente de colado para colocarlo mediante la bomba de concreto.

El acomodo del concreto en la cimbra se realiza por vibradores de inmersión que se introducen a la forma a través de ventanas previstas para el efecto, -

independientemente de vibradores de pared localizados estratégicamente en la cimbra. El colado se efectuará en 3 etapas como se describió en el procedimiento constructivo en el punto 3.1.3.

Cuando el colado se termina se espera el tiempo de fraguado y se procede a las operaciones de descimbrado, transporte, nivelación y alineación, extensión de tuberías de bombeo de concreto y colocación del tapón lateral para evitar que el concreto reboze la longitud de la cimbra y no se salga por ese espacio.

Quedaría por colar únicamente la cubeta del túnel, lo que puede hacerse los fines de semana o al terminar la excavación con afán de no interrumpir el paso de vehículos. Si este revestimiento se realiza al final de la excavación, los rendimientos resultarán altísimos ya que ésta sería la única actividad dentro del túnel.

Toda vez que se especifica que el túnel debe ir armado, se debe de contar con el acero de refuerzo habilitado y colado en su posición por lo menos en un tramo de longitud igual a la de la cimbra y adelante de ésta.

Habiendo descrito el procedimiento de revestimiento definitivo, se asignarán a continuación los tiempos requeridos, con lo cual se formará el ciclo de revestimiento definitivo.

TIEMPO DE COLADO

COLADO CLAVE

Volumen de concreto a
colar en clave $= 13.34 \times 1 \times 0.40 \times 6.10$
 $= 32.54 \text{ m}^3/\text{en } 6.10 \text{ mts. long.}$

Rendimiento de la bomba
de concreto $= 20 \text{ m}^3/\text{hr.}$

Tiempos de la olla de colado:

Tiempo de carga $= 4 \text{ min.}$

Tiempo de viaje: ida $= \frac{400 \text{ mts.} \times 60}{15000 \text{ mts/hora}} = 1.6 \text{ min.}$

regreso $= \frac{400 \times 60}{18000} = 1.3 \text{ min.}$

Maniobras $= 3.0 \text{ min.}$

Descarga y colado $6 \text{ m}^3 \times 60/20 = 18 \text{ min.}$

Ciclo olla $= 28 \text{ min.}$

Eficiencia 85% $= \frac{28}{0.85} = 33 \text{ min.}$

No. de viajes de
olla necesarios $= \frac{32.54}{6} = 6$

Tiempo de colado
clave $= \frac{6 \times 28}{60} = 2.8 \text{ horas}$

COLADO GUARNICION

Volumen a colar = $1 \times 1 \times 0.40 \times 6.10$
= 2.44 m³ / en 6.10 mts. de long.

Tiempos de olla de colado (iguales que para bóveda) = 10 min.

Descarga y colado = $\frac{2.44 \times 60}{20} = 7.5$ min.

Ciclo olla = 17.5

Eficiencia 85% = $\frac{17.5}{0.85} = 20$ min.

Tiempo de colado para las 2 guarniciones = $\frac{20 \times 2}{60}$ = 0.68 hora

Los tiempos que se enlistan a continuación son los que se observan en la construcción de acuerdo al personal y los recursos que se están usando.

Para el fraguado se tiene de 8 horas como especificación.

Armado guarniciones	2 horas
Cimbra guarniciones	2 horas
Colocación vía en guarnición	1 hora
Armado clave	8 horas
Colocación tapón en clave	1 hora
Descimbrado clave	2 horas
Movimiento cimbra en clave	0.4 hora

Limpieza y engrase cimbra clave	1.6 horas
Cimbrado en clave	2.0 horas
Alineación y nivelación	0.5 horas

Duración del ciclo de colado

de la clave $= 1+2.8+8+2+0.4+1.6+2+0.5$
 $= 18.3$ horas

Ciclos por día $= \frac{24}{18.3} = 1.31$

Avance por ciclo $= 6.10$ mts.

Avance por día $= 6.10 \times 1.31 = 7.99$ mts.

Duración ciclo de colado

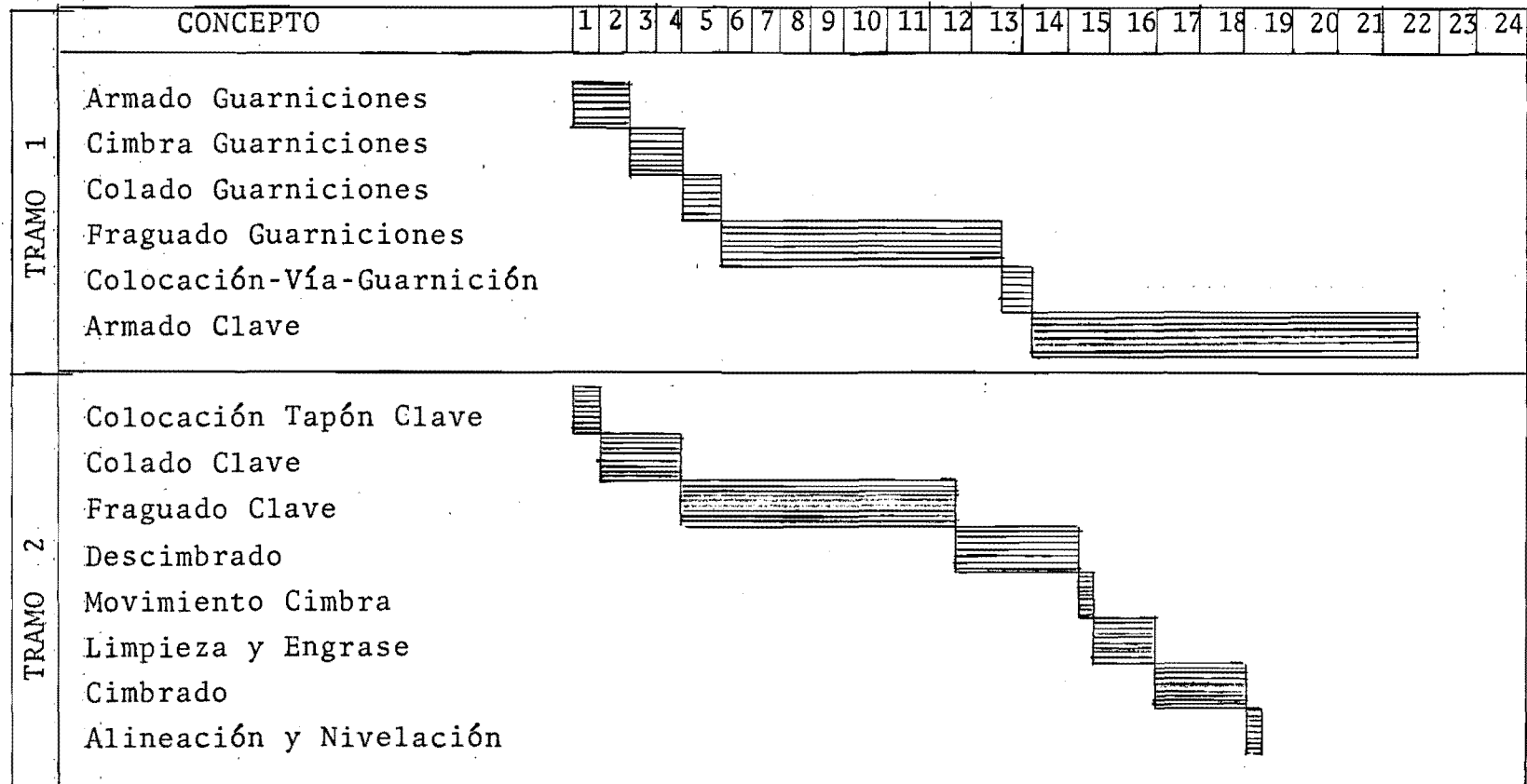
de la guarnición $= 2 + 2 + 0.68 + 8 + 1 + 8$
 $= 21.68$ horas

Ciclos por día $= \frac{24}{21.68} = 1.10$

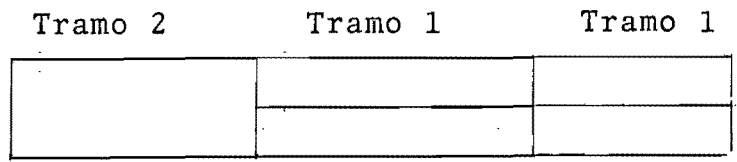
Avance por ciclo $= 6.10$

Avance por día $= 6.10 \times 1.10 = 6.75$ mts.

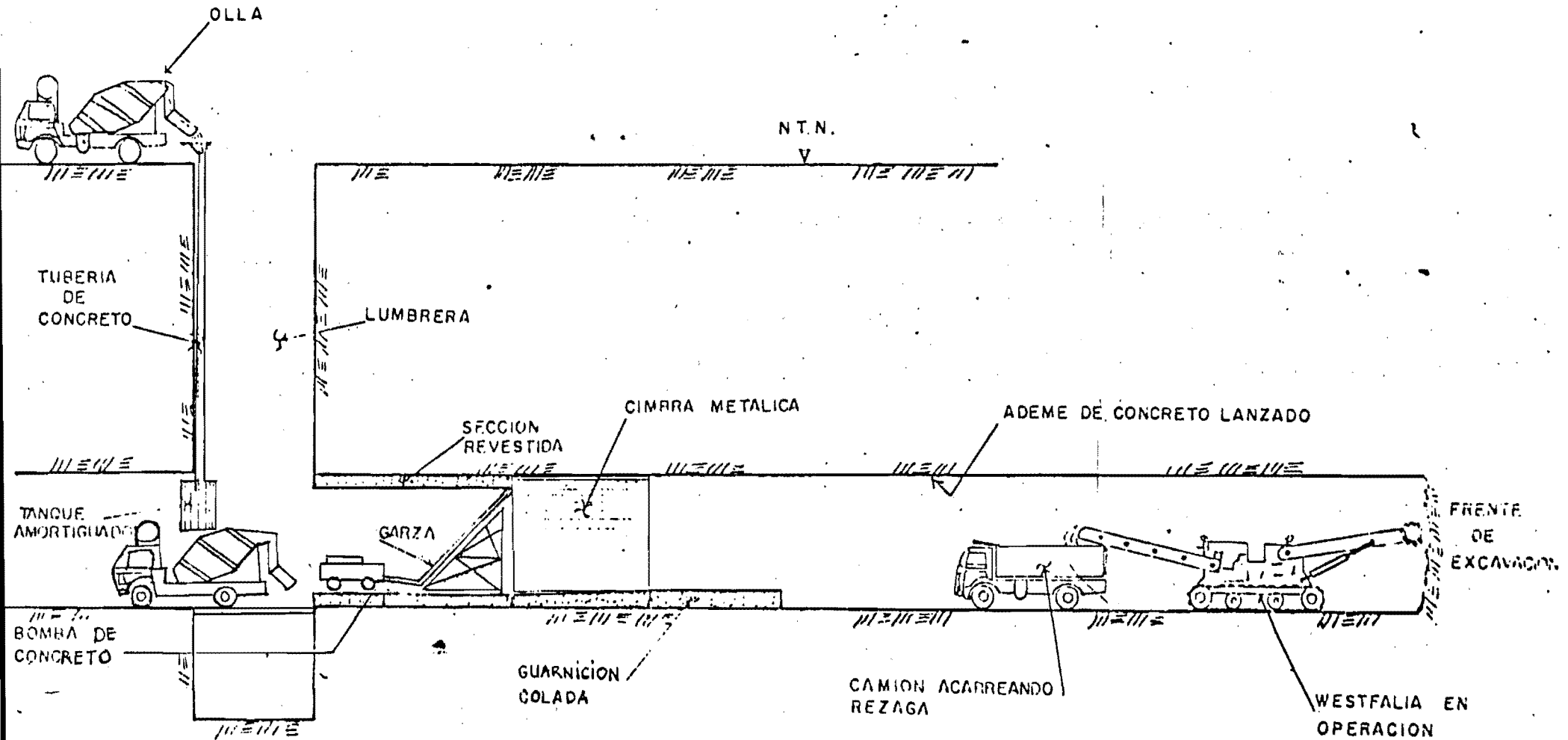
C I C L O S D E R E V E S T I M I E N T O



Para no interferir el armado de la clave con el cimbrado de la clave, se llevará siempre un tramo 1 libre adelante de la cimbra.



EXCAVACION Y REVESTIMIENTO SIMULTANEO



4. ANALISIS ECONOMICO DEL TRAMO

4.1. COSTO DE MANO DE OBRA

4.1.1. Excavación y Ademe

O F I C I O	NUMERO	SALARIO	COSTO EMPRESA
Sobrestante General	1	800	1160
Sobrestantes	2	600	1740
Topógrafos	(2)	450	1944
Cabos	8	365.85	6321.8
Soldadores	2 (4)	343.15	5929.6
Op. camión volteo	12	342.50	8877.6
Mécanicos	6	342.50	4438.8
Op. Westfalia	2	342.50	1479.6
Op. Malacate	2	342.50	1479.6
Auxiliar Topografía	2	302	1304.6
Perforistas	12	302	7827.8
Op. Aliva	2	302	1304.6
Lanzador de concreto	2	292.6	1264.0
Compresoristas	2	292.6	1264.0
Cadeneros	4	279.30	2413.15
Ayudantes general	36	279.30	21695.0
Mecánicos	6	342.50	
	<u>90</u>		

Costo durante 24 horas	\$68,961.75
Bonificación 11%	\$ <u>7,585.79</u>
Costo total durante 24 horas	\$76,547.54

NOTA.- El costo empresa resulta de multiplicar el salario por el factor de incremento del salario, el cual representa todas las prestaciones sociales que recibe el trabajador. El factor empresa en este caso es el siguiente:

Personal no sindicalizado = 1.45
(sobrestante general y sobrestantes)

Personal sindicalizado = 2.16
(todo el demás personal)

COSTO MANO DE OBRA (Revestimiento definitivo)

4.1.2. Revestimiento definitivo

O F I C I O	NUMERO	SALARIO	COSTO EMPRESA
Sobrestante	3	600	2610
Cabos	8	365.85	6321.8
Soldadores	4	343.15	2964.8
Albañiles	8	343.15	5929.6
Op. de Ollas	4	342.50	2959.2
Carpinteros	12	324.50	8411.0
Fierreros	18	324.50	12616.5
Maniobristas	8	324.50	5607.4
Aux. Topografía	2	302	1304.6
Op. Bomba concreto	2	292.60	1264.0
Vibradoristas	8	292.60	5056.1
Cadeneros	4	279.30	2413.15
Ayudantes generales	<u>40</u>	279.30	24131.5
	121		

Costo total durante 24 horas

\$81,589.67

Bonificación 7%

5,711.27

\$87,300.95

COSTO DE M de O. POR EXCAVACION Y ADEME CON CONCRETO
LANZADO

Avance en 24 horas

(de acuerdo al ciclo calculado)=4.4 mts/día

Costo M. de O. para excavación
y ademe por concreto lanzado = $\frac{\$76,547.54}{4.4}$ = \$17397.2/M.L.

COSTO DE M. de O. POR EXCAVACION Y ADEME CON MARCOS
METALICOS

Avance en 24 horas

(de acuerdo al ciclo calculado)=2.40 mts/día

Costo de M. de O. para excavación
y ademe por marcos metálicos = $\frac{\$76,547.54}{2.40}$ = \$31,894.8/M.L.

Longitud del túnel = 821 mts.

Longitud para ademar con marcos metálicos = 414.16

Longitud para ademar con concreto lanzado = 406.84

Costo total M. de O. para
excavación y ademe = $414.6 \times 31894.8 + 406 \times 17397.2$
= \$20'286,847.00

Costo total M. de O. para
excavación y ademe por M.L. = $\frac{20'286847}{821 \text{ mts.}}$ = \$24,709.9/M.L.

COSTO DE M. de O. POR REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Avance en 24 horas

(de acuerdo al ciclo calculado) = 6.72 mts/día (controla el colado de guarnición).

Costo de M. de O. por revesti
miento definitivo = $\frac{\$87,300.95}{6.72}$ = \$12,991.2

Costo total de M. de O. por
metro de túnel = 24709.9 + 12991.2
= \$37,701.1 / M.L.

4.2. COSTO DE LOS MATERIALES

4.2.1. Materiales para excavación y Ademe

CONCEPTO-MATERIALES QUE SE GASTAN EN UNA LONG=821 MTS. (Incluye el concreto lanz.)	UNIDAD	COSTO/ UNIDAD	CANT./ M.L.	COSTO / M.L. DE TUNEL
Picas para rozadora	Pza.	585	11	6435.0
Pulsetas para martillo	Pza.	327	2.7	882.9
Tubería de 8" para aire	M.L.	209.9	1	209.9
Tubería de 6" para ventilación	M.L.	824.3	1	824.3
Tubería de 2" para agua	M.L.	178.0	1	178.0
Manguera 3/4" para aire	M.L.	5672.5	0.8	4538
Cable 2/0 para alumbrado	M.L.	247.3	4	989.2
Lámparas fluorescentes	Pza.	1250.0	0.4	500.0
Mallalac de 6" x 6"	M2	55.25	14	773.6
Cemento	Ton.	1432.8	1.44	2063.18
Agregados para concreto lanzado	M3	350.0	3.6	1260
Aditivos para concreto lanzado	Kg.	21.75	43.2	940.03
Agua	Lts.	0.05	810	40.5
Oxígeno	Carga	205	0.05	10.25
Acetileno	Carga	784.6	0.03	23.54
Soldadura 7018 - 1/8"	Kg.	70.0	0.2	14.00
Diesel	Lts.	1.07	200	214.0
Aceites	Lts.	19.95	1	19.95
Grasas	Kg.	29.00	0.5	14.50
Filtros	Pza.	40.0	1	40.0
Alambre recocido	Kg.	18.25	1.7	31.03
Marco para controles eléctricos	Pza.	300.00	0.01	3.00
				\$20004.88

CONCEPTO- MATERIALES QUE SE GASTAN EN UNA LONG=414.6 (Marcos Metálicos)	UNIDAD	COSTO/ UNIDAD	CANT/ M. L.	COSTO / M.L. DE TUNEL
Marcos completos IPR 8 x5 1/4"	Pza.	24032.78	1	24032.78
Viguetas IPR 8 x 5 1/4" (rastras)	M.L.	671.39	8	5371.15
Tornillos de 3/4" x 3 1/2" (marco)	Pza.	25.0	10	250.00
Varilla lisa de 5/8" para marcos	M.L.	27.78	10	277.81
Varilla corrugada de 1" para anclas	M.L.	52.63	18	947.46
Placa de 1/2" para anclas	M2	2324.62	0.16	371.94
Madera	P.T.	17.48	600	10488.00
				<u>\$41739.11</u>

Costo de materiales para excavación

y ademe por M.L. de túnel = 20,002.38 + 41,739.14

= \$61,741.5 / M.L.

4.2.2. Materiales para Revestimiento Definitivo

C O N C E P T O	UNIDAD	COSTO/ UNIDAD	CANT/ M.L.	COSTO/M.L. DE TUNEL
Concreto hidráulico premezclado con tam. máx. de 3/4 y revemien to de 18 y fc=250 k/cm2 (inclu- ye transporte)	M3	2904	10.5	30492.00
Acero de refuerzo de 3/8	Kg.	13.5	27.64	373.14
1/2	Kg.	13.24	348.87	4619.04
3/4	Kg.	12.53	277.13	3472.44
Curacreto	Lts.	9.69	30	290.70
Banda P.V.C. 6" para juntas	Mts.	25.00	2	50.00
Tubería P.V.C. anger de 8" para instalaciones hidráulicas de desagüe	Mts.	209.92	2	419.84
Tubería de 6" para bombeo de concreto	Mts.	1073.88	2	2147.76
Tubería de 10" para bajar el concreto	Mts.	1827	0.02	36.54
Silletas de P.V.C. de 8 x 3" pa ra registros de desagües	Pza.	216.3	0.8	173.04
Colas de cochino p/anclaje cimbra	Pza.	52	2.5	130.0
Chiboles para anclaje cimbra	Pza.	60	0.02	1.2
Oxígeno	Carga	205	0.05	10.25
Acetileno	Carga	784.8	0.025	19.62
Alambre recocido p/amarrar fierro	Kg.	18.25	10	182.50
Soldadura 7018 de 1/8 o 5/32"	Kg.	70	1.5	105.00
Cimbra para guarnición	M2	10	2.0	20.00
Cimbra para tapones	M2	310	0.87	269.70
Cimbra para bóveda (ver en equipo)	M2		13.34	

COSTO DE MATERIALES PARA REVESTIMIENTO POR

M. L. DE TUNEL

\$42812.77

=====

Costo total materiales por

M.L. de túnel

= 61741.5 + 42812.77

= \$104,554.27

4.3. COSTO DE LA MAQUINARIA

4.3.1. COSTO DE MAQUINARIA PARA EXCAVACION Y ADEME

El tiempo total que se tardará en hacerse la excavación y ademe de acuerdo a los ciclos calculados, es la suma de los tiempos de excavación y ademe con marcos metálicos más excavación y ademe por concreto -- lanzado, en las longitudes en que es necesario usar uno u otro ademe, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo} &= \frac{414.16 \text{ mts.}}{2.40 \text{ mts/día}} + \frac{406.84 \text{ mts.}}{4.4 \text{ mts/día}} \\ &= 265 \text{ días} \end{aligned}$$

$$\text{Metros por día} = \frac{821}{265} = 3.09 \text{ mts/día}$$

$$\text{Metros por mes} = 3.09 \times 30 = 92.94 \text{ mts/mes}$$

Teniendo la renta mensual del equipo y su avance por mes, se podrá entonces calcular su costo por metro lineal, así:

DESCRIPCION	MARCA	RENTA MEN- SUAL \$	CANT.	COSTO POR M.L. (\$ (avance - = 92.94 m/mes)
Excavadora y rezagadora	Westfalia	1'460,000	1	15709.00
Compresor	Atlas Copco	70,000	1	753.17
Martillos neumáticos	Atlas Copco	17,500	3	564.88
Grúa hidráulica (uso 4 días al mes)	Link Bel	220,000	1	315.61
Camiones Diesel	Dodge 600	45,000	3	1452.55
Torre y malacate de man- teo	Granthom - Wiseman	20,000	1	215.20
Bote de manteo		2,000	1	21.51
Tolva receptora sujeta a la torre		5,000	1	53.80
Soldadoras	Lincon	19,000	2	408.90
Camiones acarreo de reza- ga	Dodge 600	45,000	3	1452.55
Ventiladores	Joy	32,000	3	1032.92

ADEME

Compresores	Atlas Copco	70,000	2	1506.35
Carro mezclador de agre- gados y cemento	Stabilator	50,000	2	1075.90
Lanzadora concreto	Aliva	87,000	1	936.08

Costo maquinaria para excavación y ademe
por Metro Lineal

\$25498.48/M.L.

=====

4.3.2. COSTO DE LA MAQUINARIA PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El tiempo total que se tardará el revestimiento definitivo es el mayor de los tiempos entre el colado de la clave y el colado de la guarnición, ya que el colado de la guarnición debe mantenerse 2 tramos adelante del colado de la clave.

$$\begin{aligned} \text{Avance de colado de la clave} &= 7.99 \text{ mts/día} \\ \text{Avance de colado de la guarnición} &= 6.75 \text{ mts/día} \\ \text{Tiempo de colado de la clave} &= \frac{821 \text{ mts}}{7.99 \text{ mts/día}} \\ &= 102.75 \text{ días} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de colado de la guarnición} &= \frac{821 \text{ mts}}{6.75 \text{ mts/día}} \\ &= 121.6 \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo de colado del túnel} = 122 \text{ días}$$

$$\begin{aligned} \text{Metros por día} &= \frac{821 \text{ mts}}{122 \text{ días}} = 6.72 \text{ mts/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Metros por mes} &= 6.72 \text{ mts/día} \times 30 \text{ días} \\ &= \underline{201 \text{ mts/mes}} \end{aligned}$$

Teniendo la renta mensual del equipo y su avance por mes, se podrá entonces calcular su costo por metro, así:

DESCRIPCION	RENTA MENSUAL \$	CANT.	COSTO POR M.L. (\$) Avance = 201 mt/mes
Tolva receptora de concreto	5,000	1	24.87
Tanque amortiguador	12,000	1	59.70
Ollas mezcladoras	50,000	2	497.51
Cimbra monolítica con trans portador y vía	205,882	1	1024.28
Bomba de concreto	160,000	1	796.10
Vibrador de inmersión	8,000	4	159.20
Vibrador de contacto	8,000	3	119.40
Estructura garza	2,000	1	9.95

Costo maquinaria para revesti-
miento definitivo por metro \$2,691.01/M.L.
lineal de túnel =====

Costo total de maquinaria
por metro lineal de túnel = 25498.48 + 2691.01
= \$28189.49 / M.L.

4.4. ACARREOS

Agregados para Concreto Lanzado

Volumen de agregados por M.L. = 3.6 M3
(según lista de materiales)

Tarifa: \$7.50/Km - M3 1er. Kilómetro
\$6.00/Km - M3 Kilómetros subsecuentes

Distancia de transporte = 21 Km.

Costo acarreo agregados para
concreto lanzado por M.L. de túnel
= $3.6 \times 7.5 + 3.6 \times 6 \times 20$
= \$459/M.L.

Cemento para el concreto lanzado

Peso de cemento por M.L.
(Según lista de materiales) = 1.44 Ton.

Tarifa: \$200/Ton (precio fijado por proveedor
para transporte de fábrica a
la obra).

Costo acarreo cemento para
concreto lanzado por M.L. de túnel
= \$200/Ton x 1.44 Ton.
= \$288/M.L.

Rezaga

Area de la sección a excavar = 43.76 M2

Volumen de rezaga por M. L. = 46.76 M3 x 1.4
= 65.46 M3/M.L.

Tarifa: \$10/Km - M3 1er. Kilómetro
\$8/Km - M3 Kilómetros subsecuentes

Distancia de acarreo = 5 Kms.

Costo acarreo rezaga por
M_ L. de túnel = 65.46 x 10 + 65.46 x 8 x 4
= \$2749.32/M.L.

Costo total acarreo por
metro lineal de túnel en
la excavación y ademe = \$3,496.32/M.L.

4.5. INDIRECTOS

Dentro de este punto entran todos los demás conceptos que no intervienen directamente en el costo y - que por lo tanto no se pueden incluir en la mano de obra, maquinaria o materiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, las instalaciones - exteriores e interiores ya mencionadas y que no están en la lista del equipo, están incluidas en este punto.

También hacen parte de este punto:

- El personal directivo, administrativo y de seguridad
- Transporte del equipo
- Transporte de personal
- Gastos de obra y administrativos
- Fianzas y seguros
- Imprevistos

El monto de estos gastos varía de acuerdo a la organización de la empresa constructora. En este caso particular de acuerdo a una investigación sobre estos gastos se obtuvo que la empresa utiliza los siguientes porcentajes:

Indirectos de obra	= 18%
Indirectos oficina matriz	= 3%
TOTAL INDIRECTOS	= 21%

4.6 COSTO UNITARIO

Excavación

Costo directo por metro lineal:

1. Mano de obra	\$ 24,709.90/M.L.
2. Materiales	61,741.50/M.L.
3. Maquinaria	25,498.48/M.L.
4. Acarreos	<u>3,496.32/M.L.</u>
<u>Total</u>	\$115,446.20/M.L.
Indirectos obra 18%	20,780.31/M.L.
Indirectos of. matriz 3%	<u>3,463.38/M.L.</u>
TOTAL COSTO DE EXCAVACION (sin utilidades)	\$139,689.90/M.L. =====

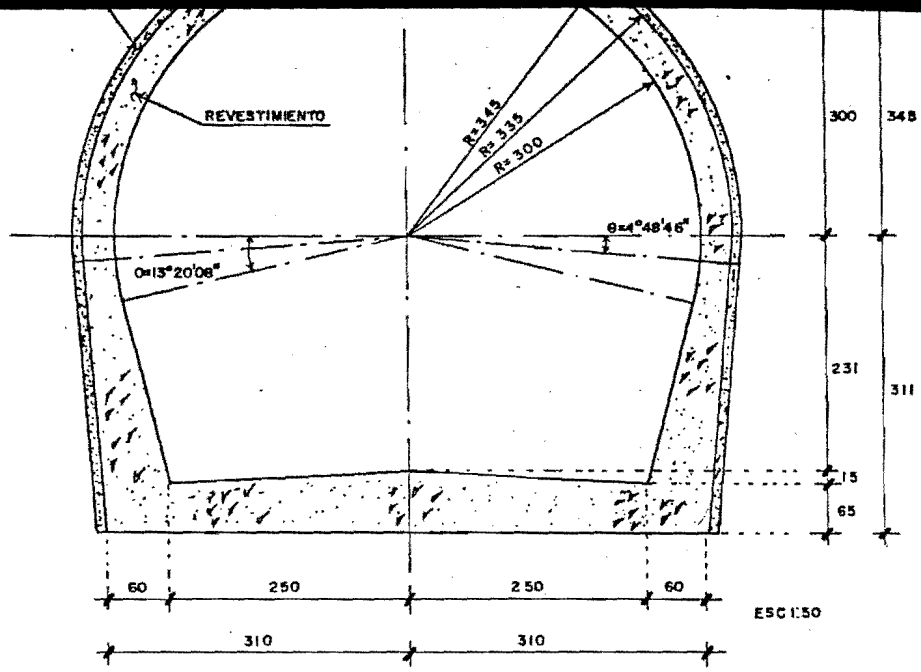
Revestimiento Definitivo

Costo directo por metro lineal:

1. Mano de obra	\$ 12,991.20/M.L.
2. Materiales	42,812.77/M.L.
3. Maquinaria	<u>2,691.01/M.L.</u>
<u>Total</u>	\$ 58,494.98/M.L.
Indirectos obra 18%	10,529.10/M.L.
Indirectos of. matriz 3%	<u>1,754.84/M.L.</u>
TOTAL COSTO DE REVESTIMIENTO (Sin utilidades)	\$ 70,778.92/M.L. =====

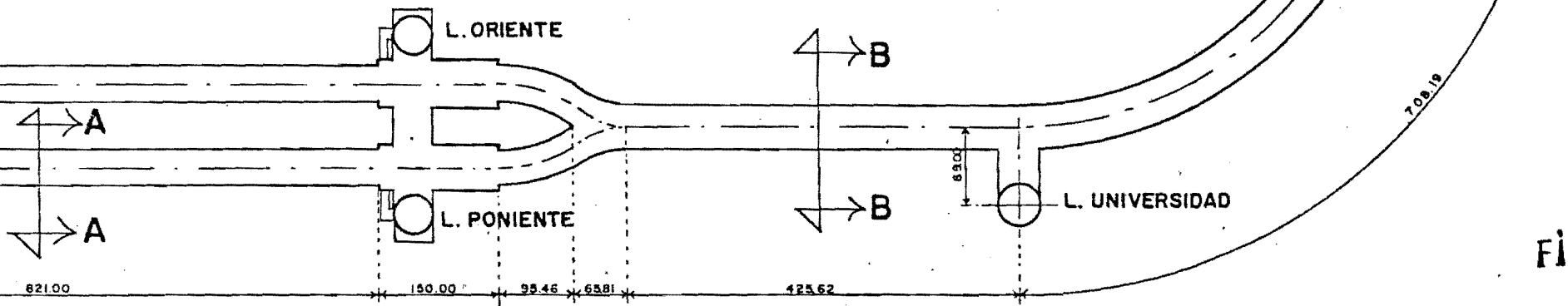
Costo unitario total

Excavación	\$139,689.90/M.L.
Revestimiento	<u>70,778.92/M.L.</u>
COSTO UNITARIO DE ML DE	\$210,468.80/M.L.
TUNEL EXCAVADO Y REVESTIDO	=====

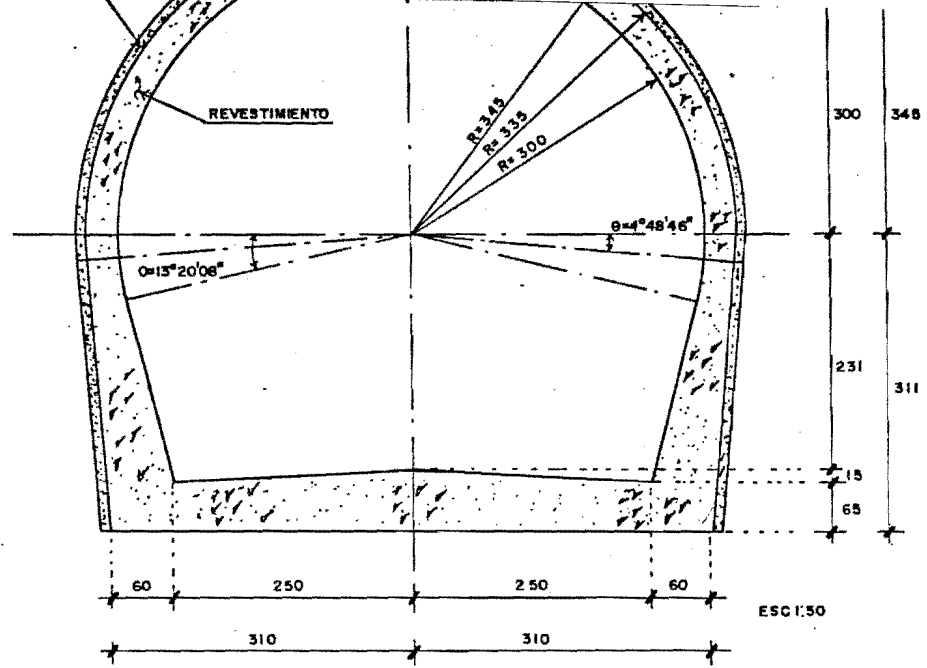


CORTE A-A

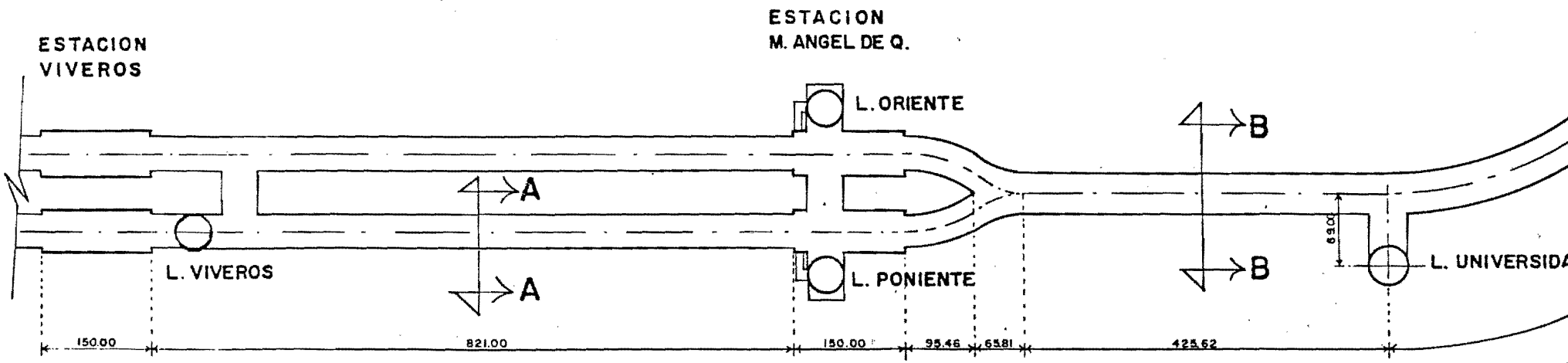
ESTACION
M. ANGEL DE Q.

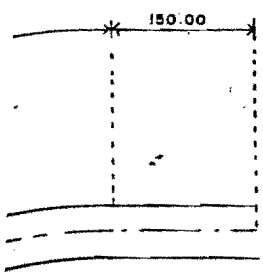


Fib

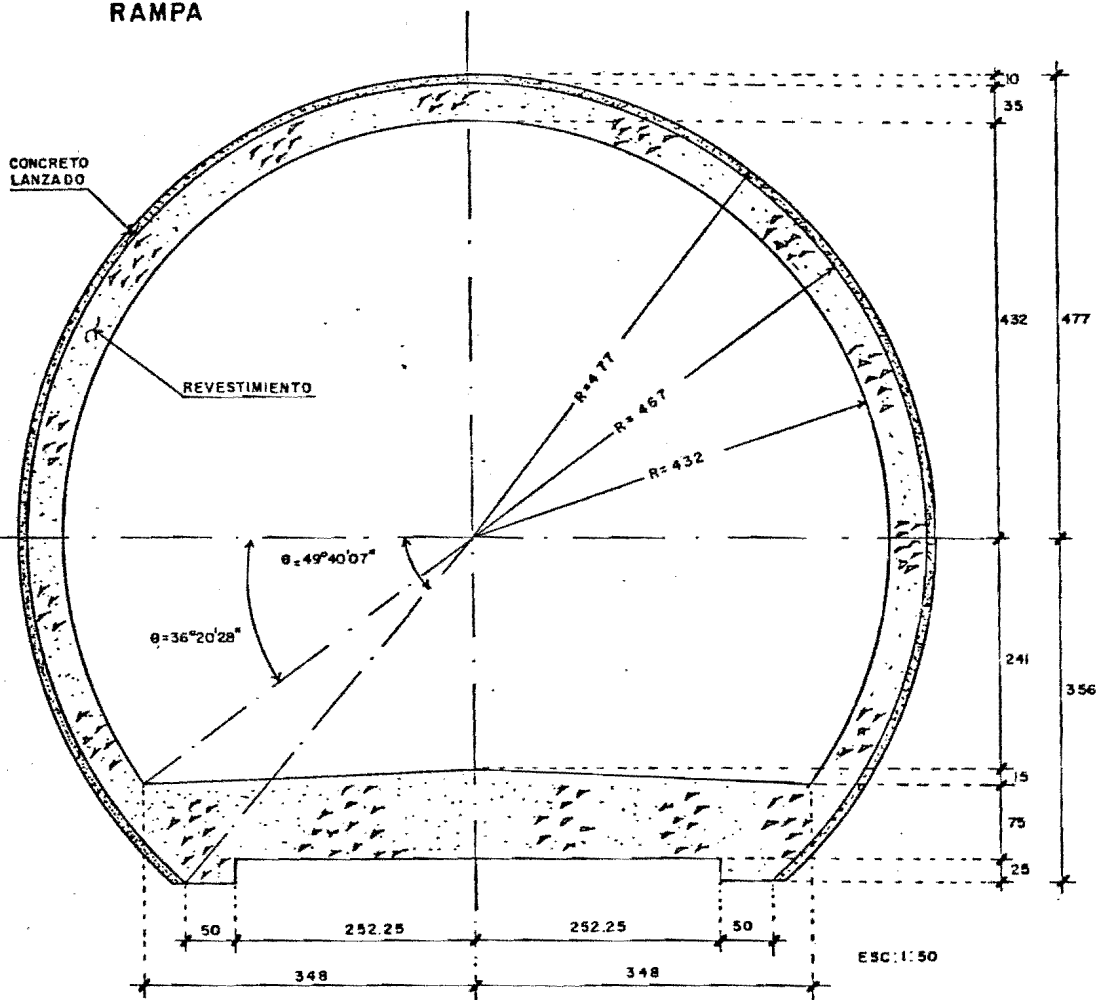


CORTE A-A





RAMPA



CORTE B-B

15.324

ZONA 2 con marcos

ZONA 2

MIGUEL A. DE QUEVEDO

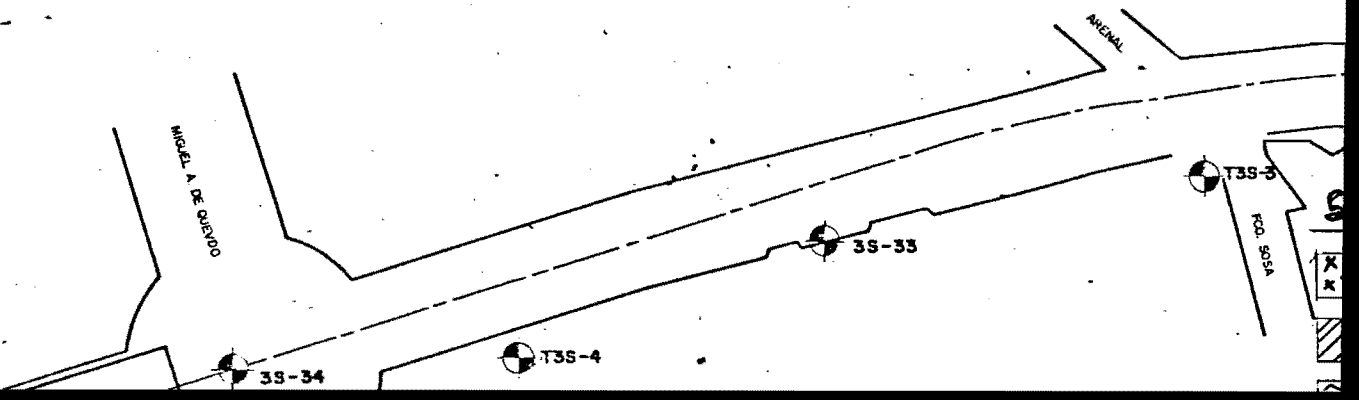
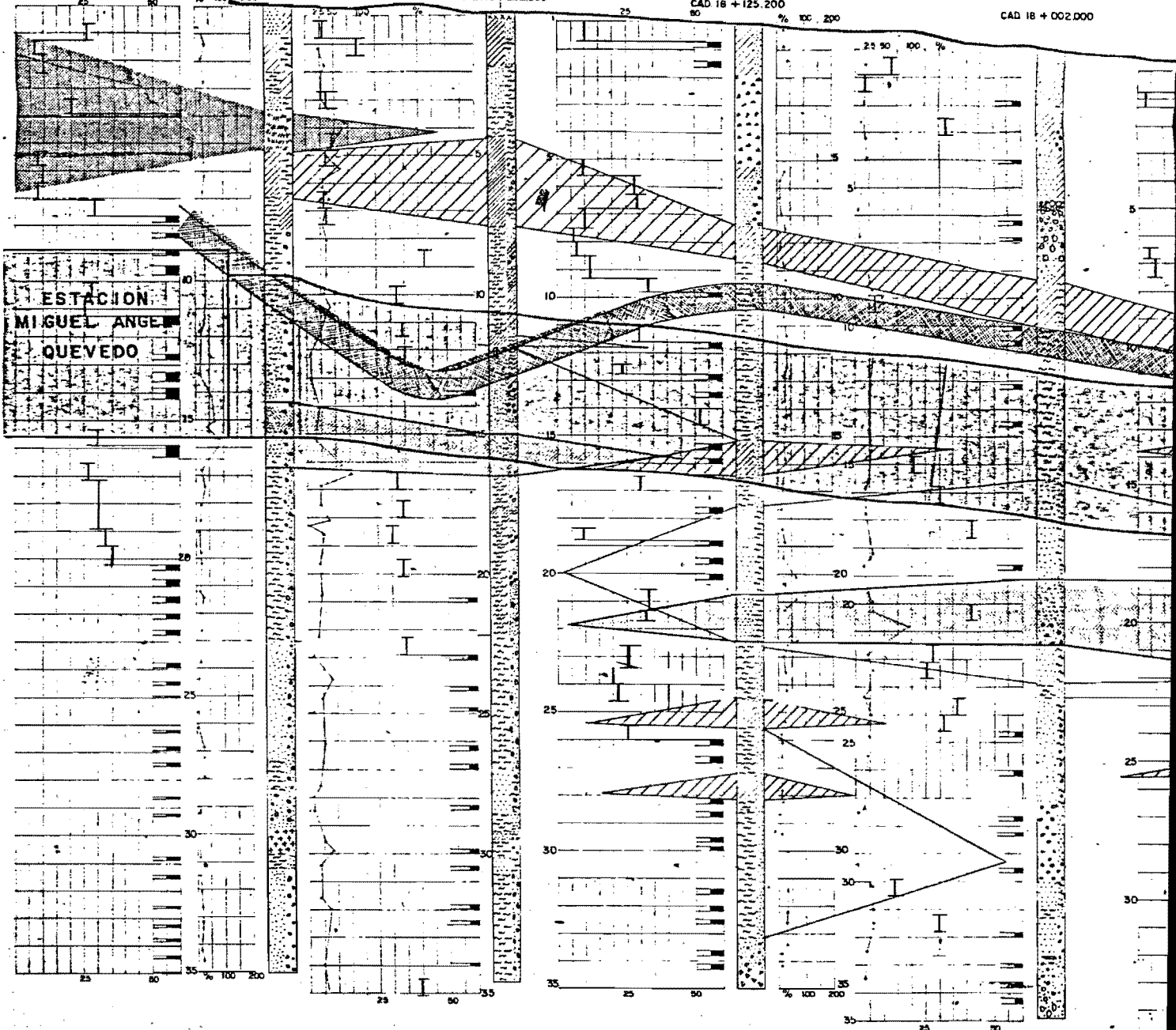
ARENAL

2261
2260
2255
2250
2245
2240
2235
2230
2225
2220

300 -200 100 18+000

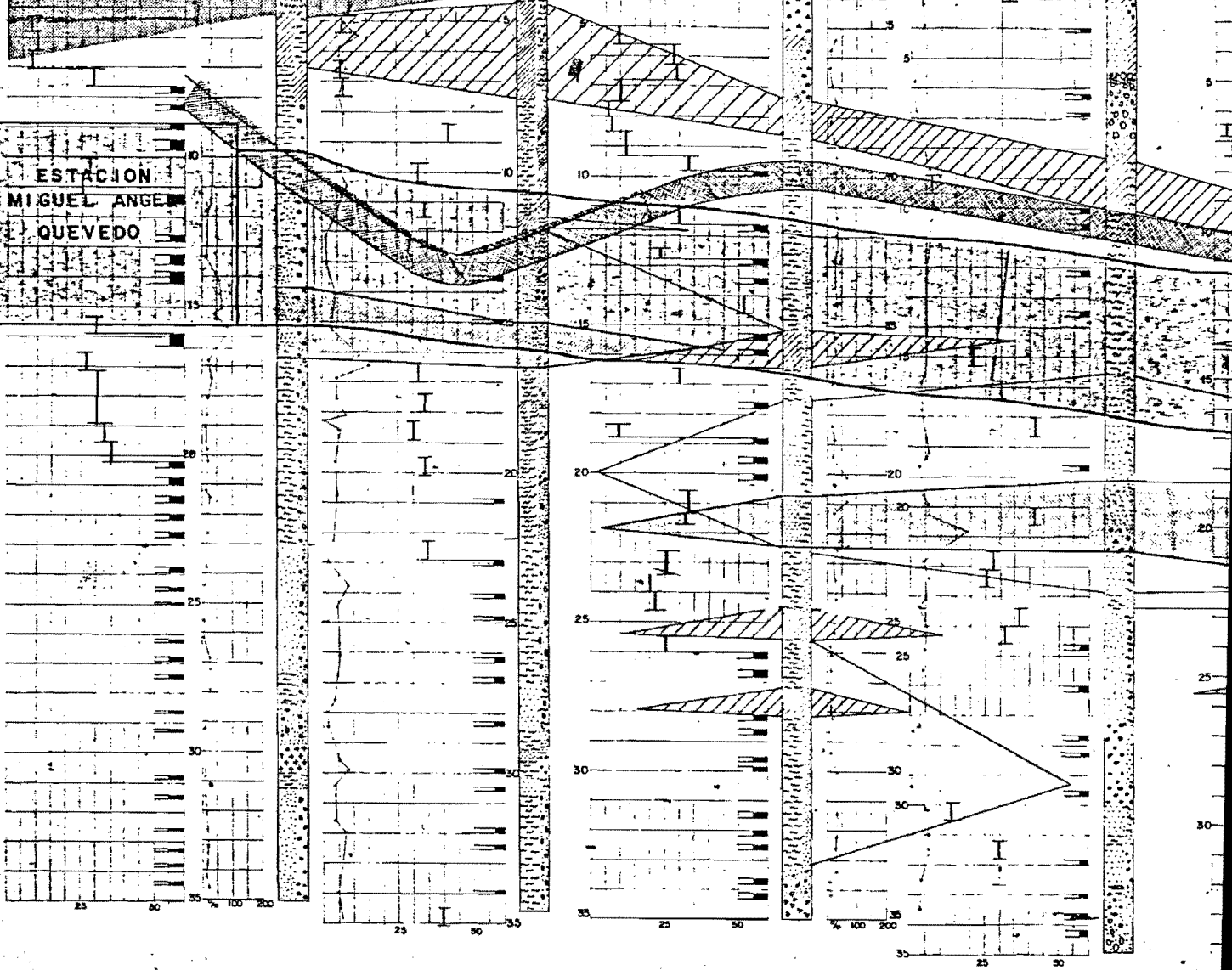
35-34 T35-4 35-33 T35-3

CAD. 18+281.400* CAD. 18+202.000 CAD. 18+125.200 CAD. 18+002.000



2255
2250
2245
2240
2235
2230
2225
2220

ESTACION
MIGUEL ANGE
QUEVEDO



ESTACION
MIGUEL A. QUEVEDO

MIGUEL A. QUEVEDO

39-34

T35-4

35-35

T35-3

CO. SOSA

ARENAL

arcos — ZONA 2 con marcos — ZON

MARGARITAS
900

PANZACOLA

ALESIC ROBLES

MINERVA

35-32

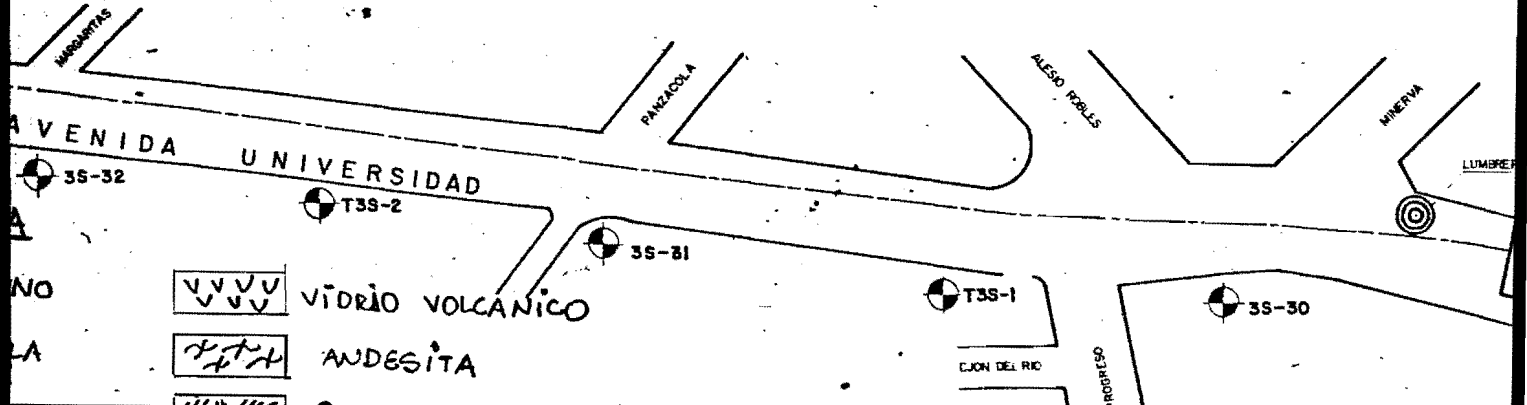
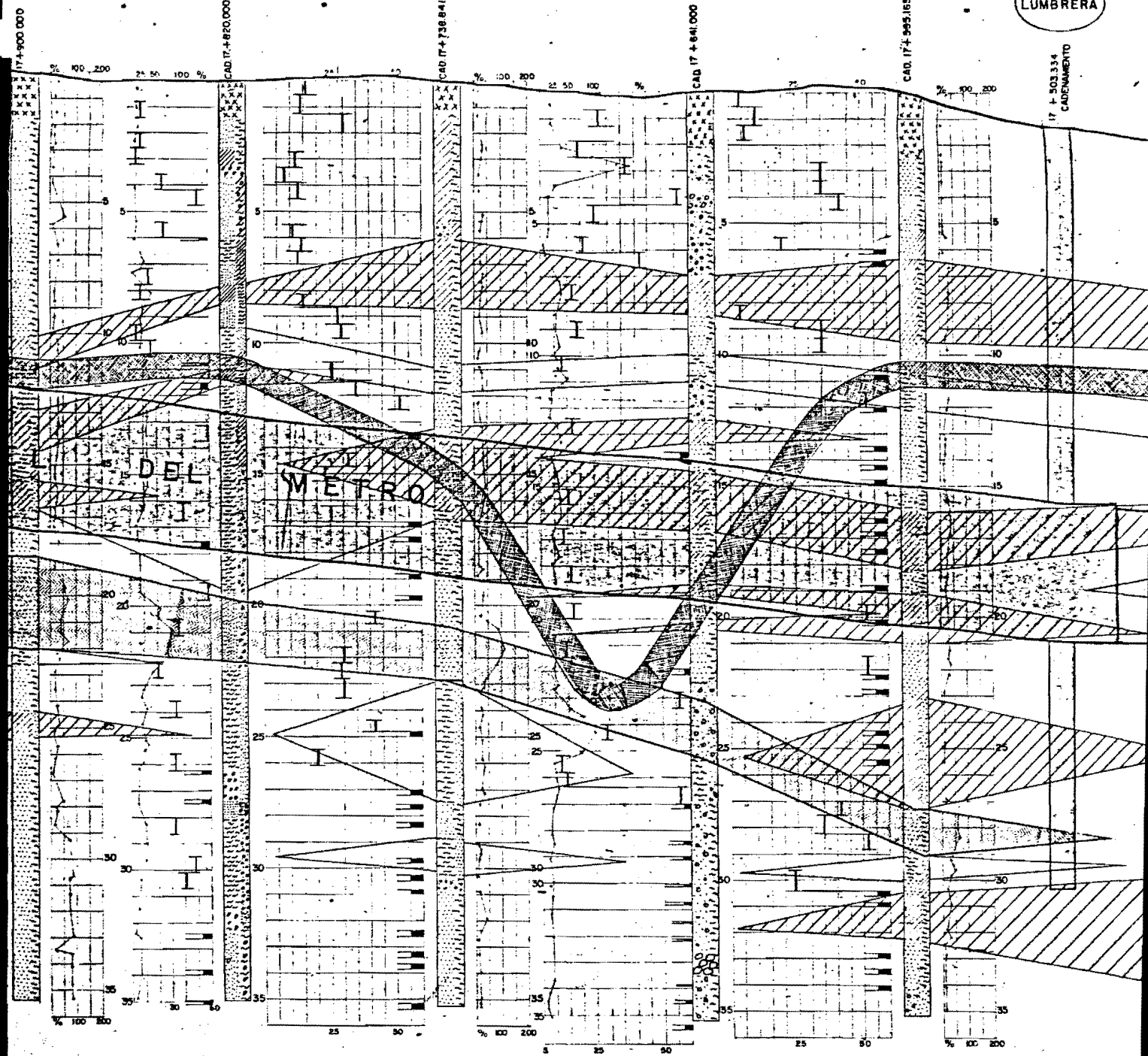
T3S-2

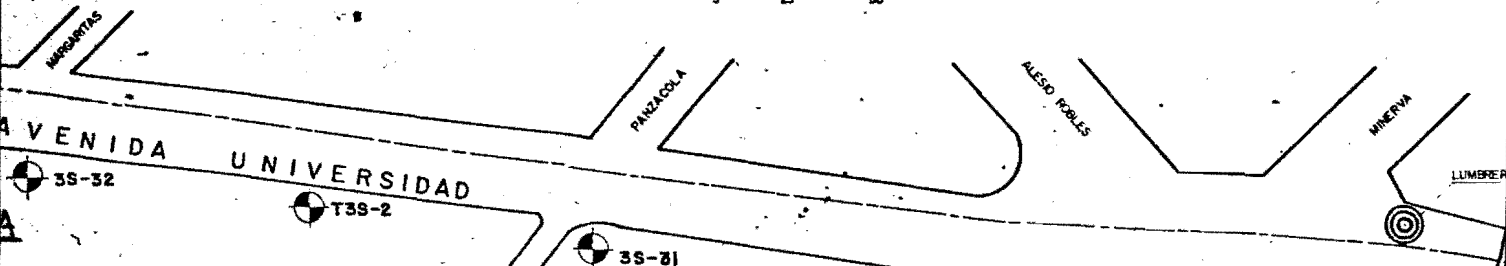
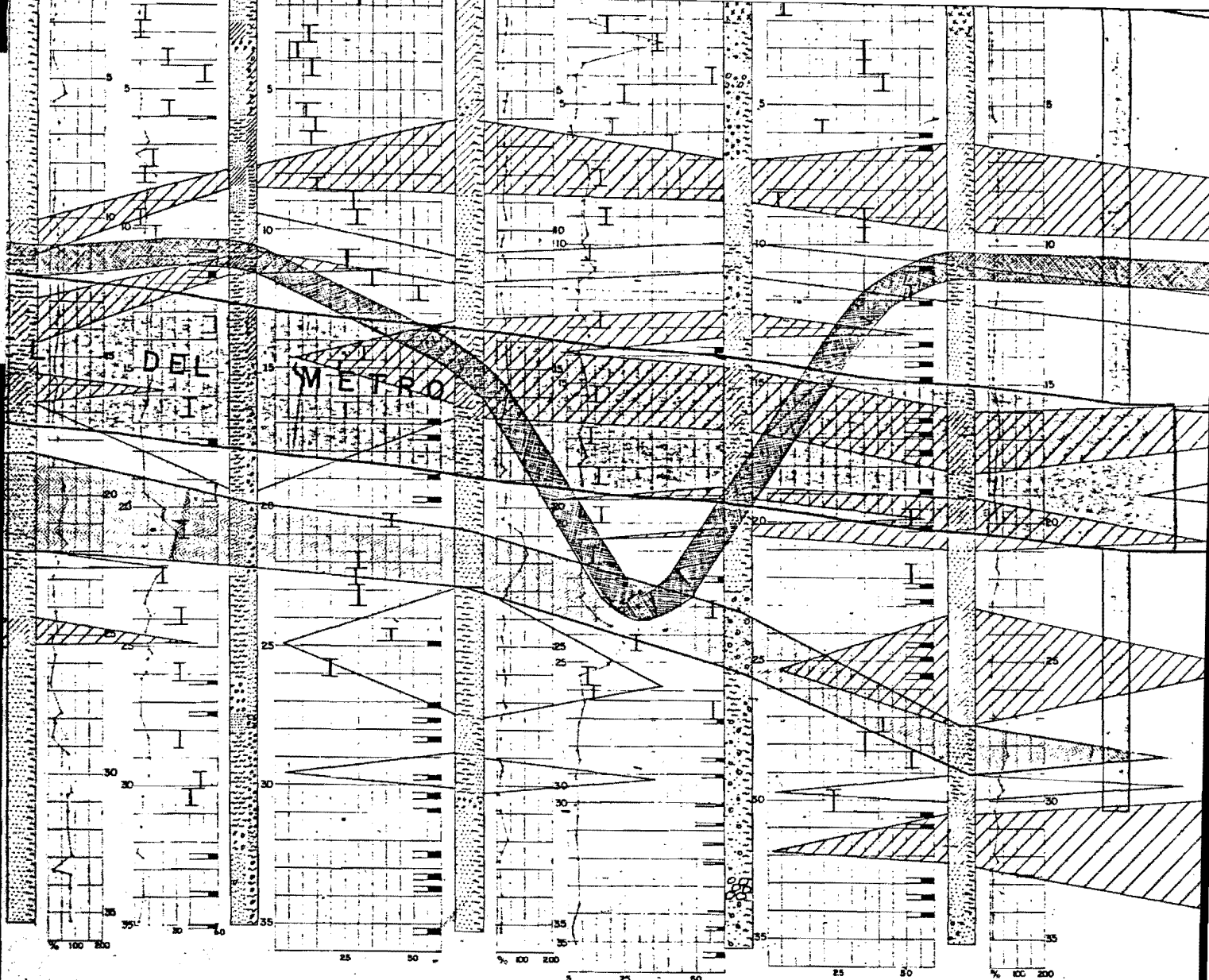
35-31

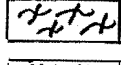
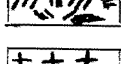
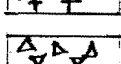

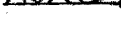
T3S-1

35-30

LUMBRERA





-  VIDRIO VOLCANICO
-  ANDESITA
-  BASALTO
-  PORFIDOS RIOLITA
-  BASALTO VESICULAR
-  ARENA PLUVIICA LIMOSA con ARENAS


 LIMITE ENTRE SUELO BLANDO Y DURO.

FIG.

3

C



400

300

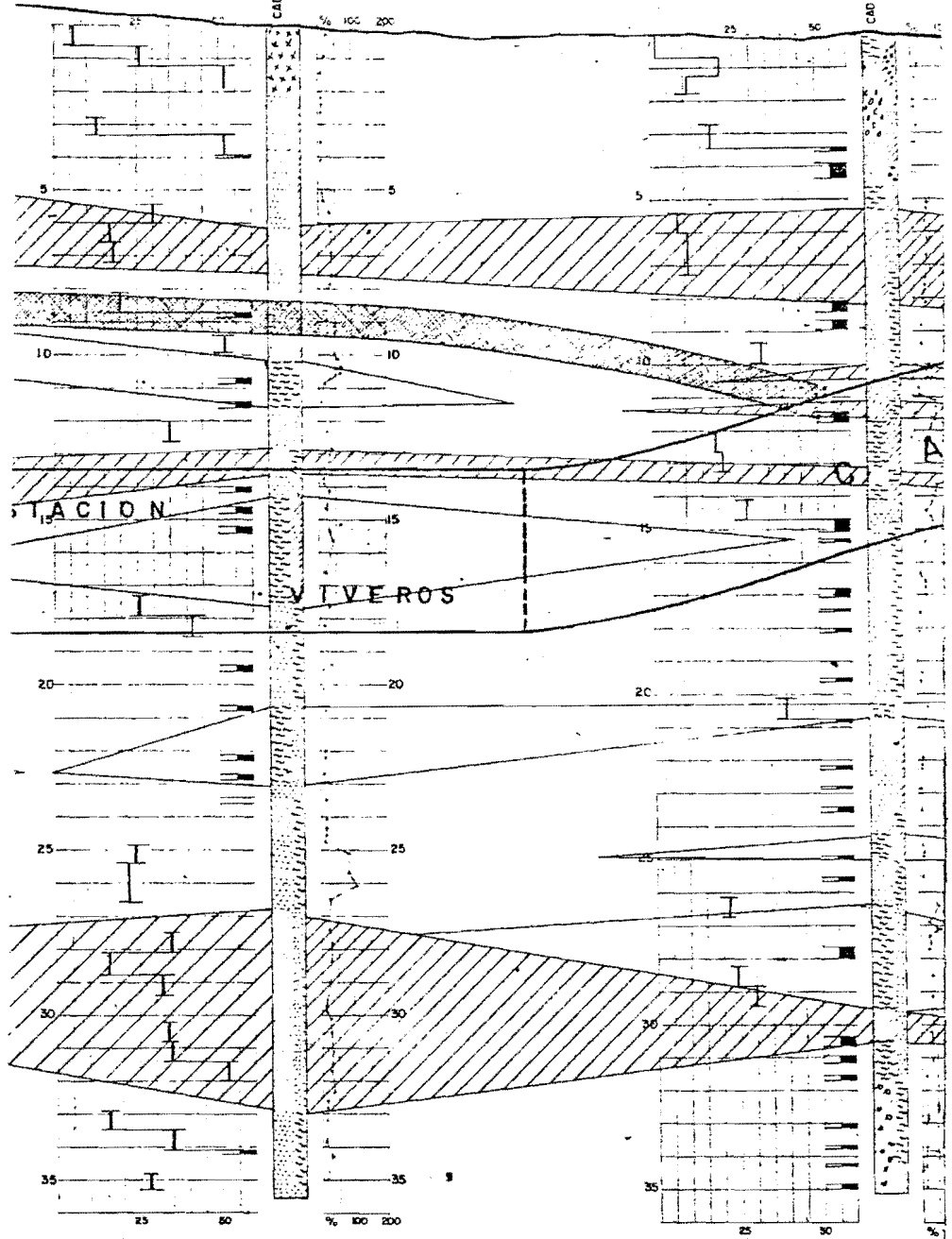
200

35-29

35-28

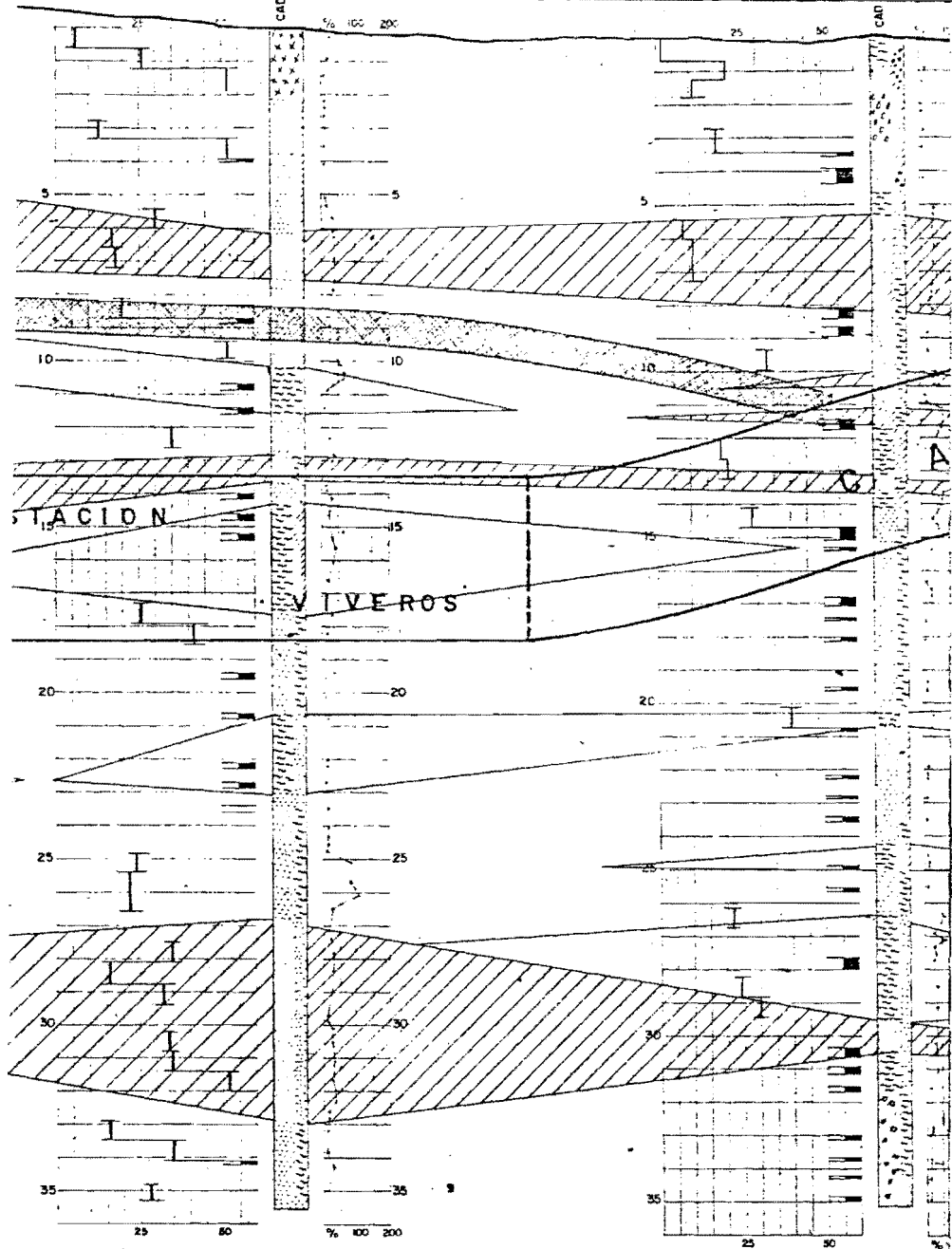
CAD 174 387 129

CAD 174 192 801



ESTACION
VIVEROS

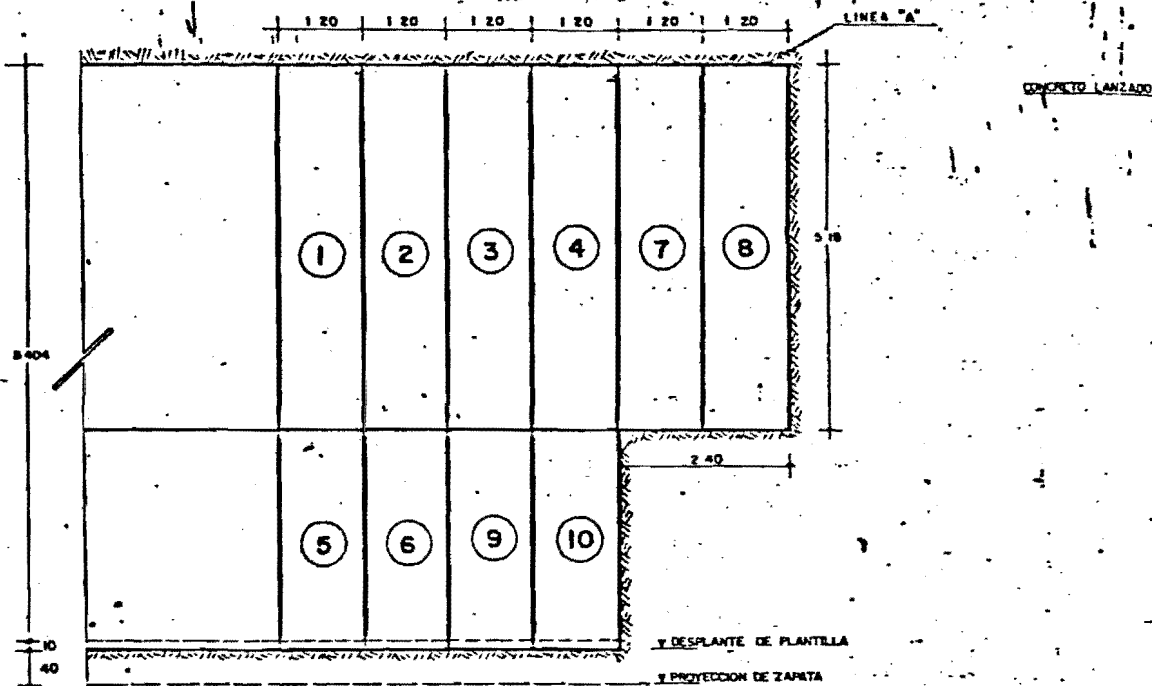
HORTENGA



ESTACION
VIVEROS

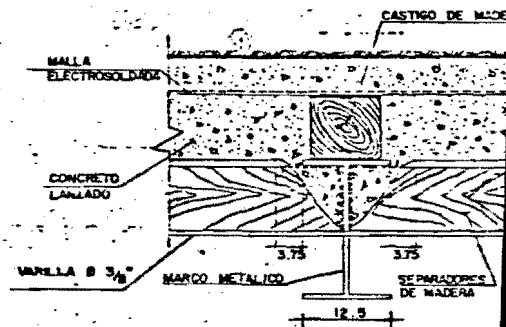
35-29

35



CORTE LONGITUDINAL

FIG. 1.- SECUENCIA DE EXCAVACION.
 a).- AVANCE MAXIMO 1.20 m. DE CADA ETAPA.
 b).- AVANCE DEL BANCO 2.40 m.



DETALLE "3"
 ESCALA 1:5

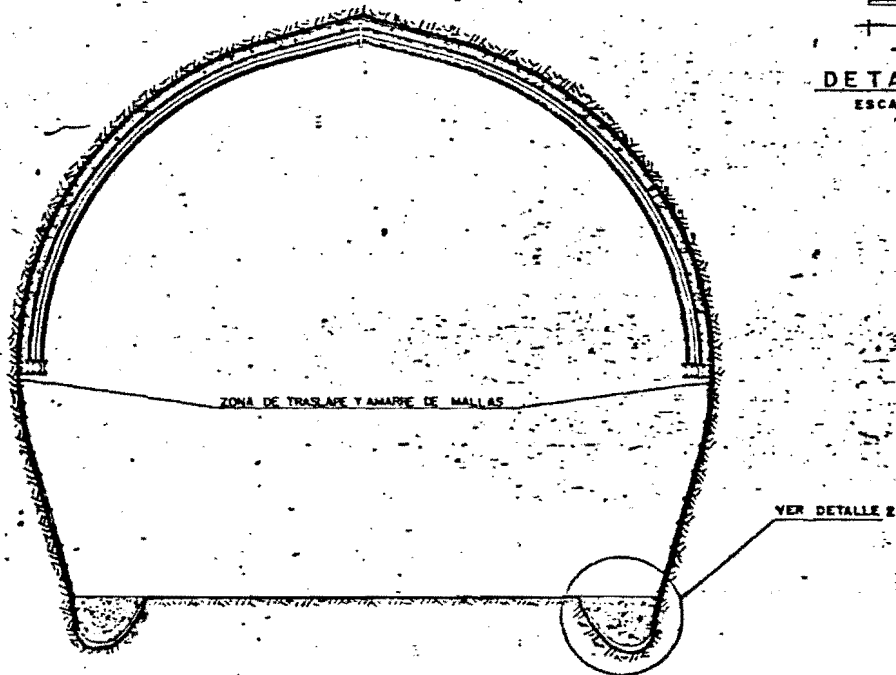
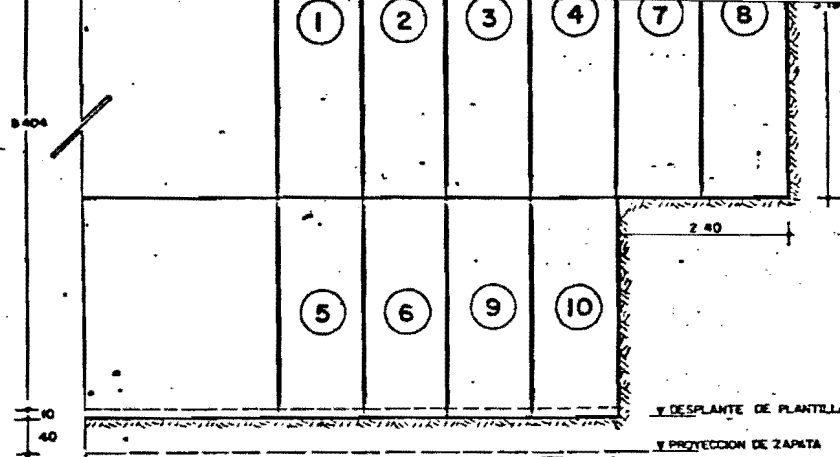
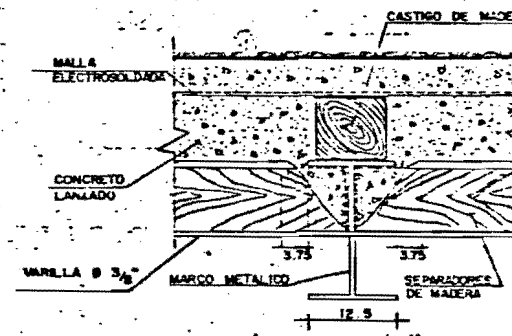


FIG. 2.- a) EXCAVACION DE LA SECCION MEDIA INFERIOR (BANCO),
 INCLUYENDO ZANJAS PARA LAS ZAPATAS.



CORTE LONGITUDINAL

FIG. 1: SECUENCIA DE EXCAVACION.
 a) AVANCE MAXIMO 1.20m DE CADA ETAPA.
 b) AVANCE DEL BANCO 2.40m.



DETALLE "3"
 ESCALA 1:5

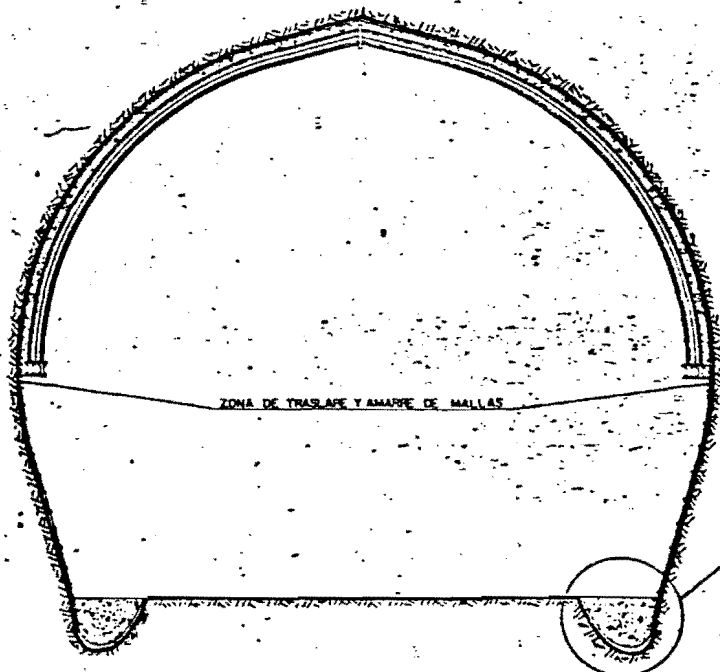


FIG. 2: a) EXCAVACION DE LA SECCION MEDIA INFERIOR (BANCO), INCLUYENDO ZANJAS PARA LAS ZAPATAS.
 b) LANZAR PRIMERA CAPA DE CONCRETO DE 9cm DE ESPESOR INCLUYENDO LAS ZAPATAS.
 c) COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA DE 6" x 6" - 4/4 EFECTUANDO EL AMARRE Y TRASLAP CON LA MALLA DE LA SECCION MEDIA SUPERIOR. ASIMISMO ESTA MALLA DEBERA PROLONGARSE HASTA CONSTITUIR EL REFUERZO DE LA ZAPATA.
 d) COLOCADA LA MALLA DE LA ZAPATA, SE TERMINARA EL COLADO DE LA MISMA HASTA EL DESPLANTE DE LA LOSA DE PISO.

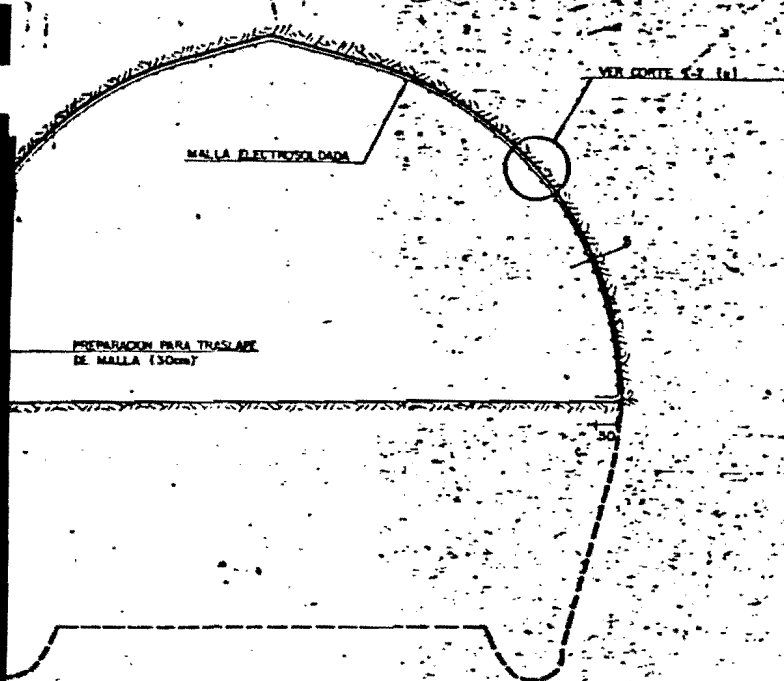


FIG. 3: a) EXCAVACION DE LA SECCION MEDIA SUPERIOR.
 b) COLOCACION DE 5cm DE CONCRETO LANZADO.
 c) COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA DE 6x6 - 4/4, DEJANDO 30cm DE MALLA PARA TRASLAPAR CON LA MALLA DE LA SECCION INFERIOR.

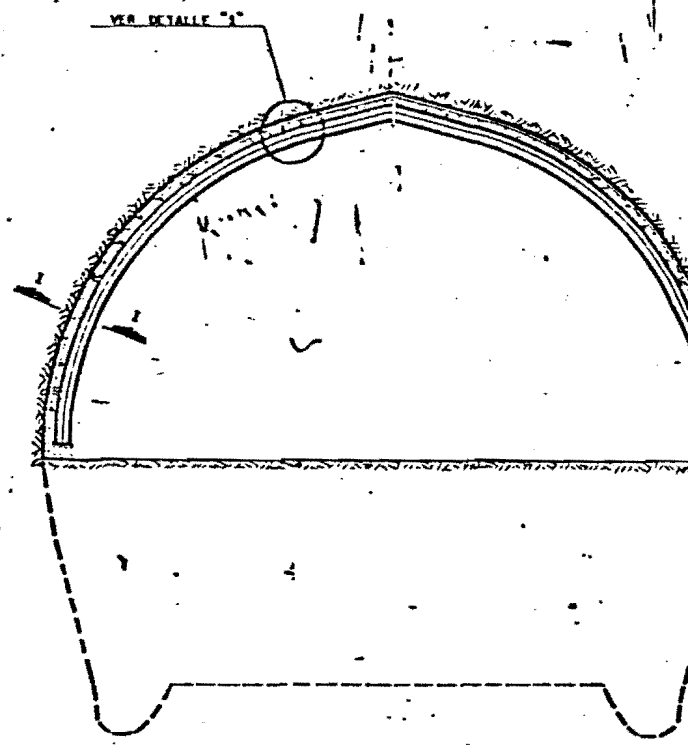
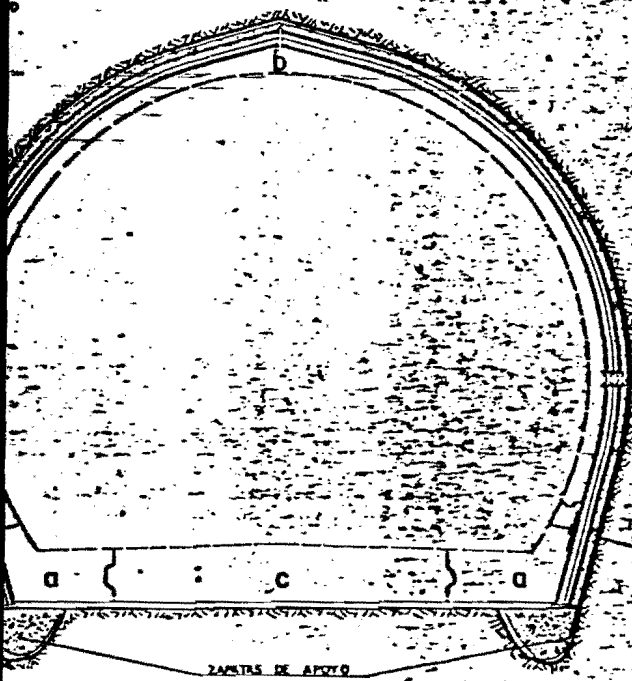
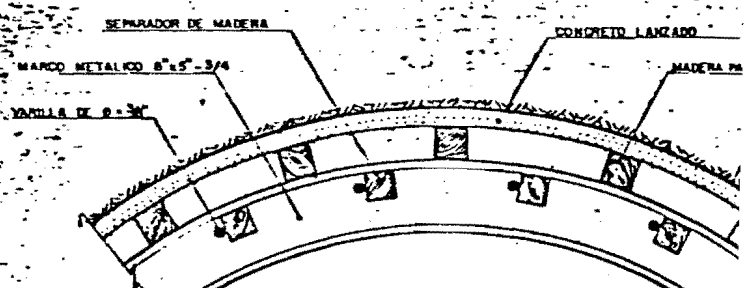
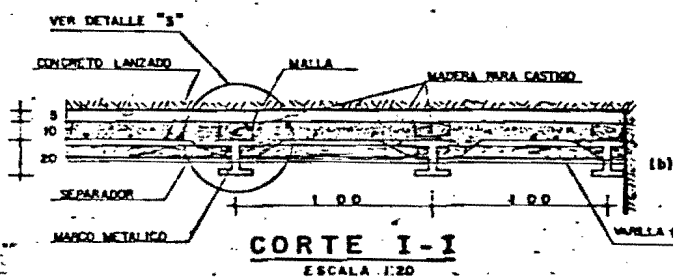
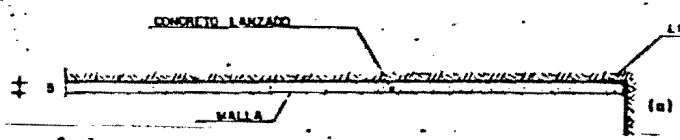


FIG. 4: a) COLOCACION DE RASTRAS.
 b) COLOCACION DE LAS DOS SECCIONES SUPERIORES DEL MARCO SOLDANDOSE SUS TRES PUNTOS DE UNION.
 c) CASTIGAR AL MARCO MEDIANTE LA COLOCACION DE MADERA.
 d) LANZAR LA SEGUNDA CAPA DE CONCRETO DE 10cm.



SECUENCIA DE COLOCACION DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO



PREPARACION PARA TRASLAPE
DE MALLA (30cm)

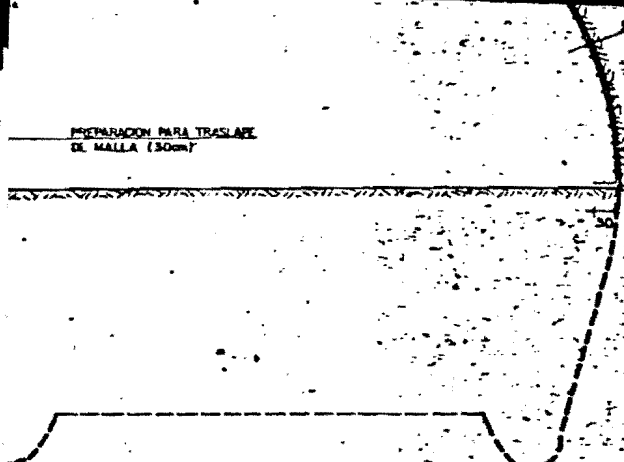


FIG. 3: a) EXCAVACION DE LA SECCION MEDIA SUPERIOR.
b) COLOCACION DE 5cm DE CONCRETO LANZADO.
c) COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA DE 6x6 - 4/4,
DEJANDO 30cm DE MALLA PARA TRASLAPE CON
LA MALLA DE LA SECCION INFERIOR.

FIG. 4: a) COLOCACION DE RASTRAS.
b) COLOCACION DE LAS DOS SECCIONES SUPERIORES DEL MARCO
SOLDANDOSE SUS TRES PUNTOS DE UNION.
c) CASTIGAR AL MARCO MEDIANTE LA COLOCACION DE
MADERA.
d) LANZAR LA SEGUNDA CAPA DE CONCRETO DE 10cm.

SECUENCIA DE COLOCACION DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO

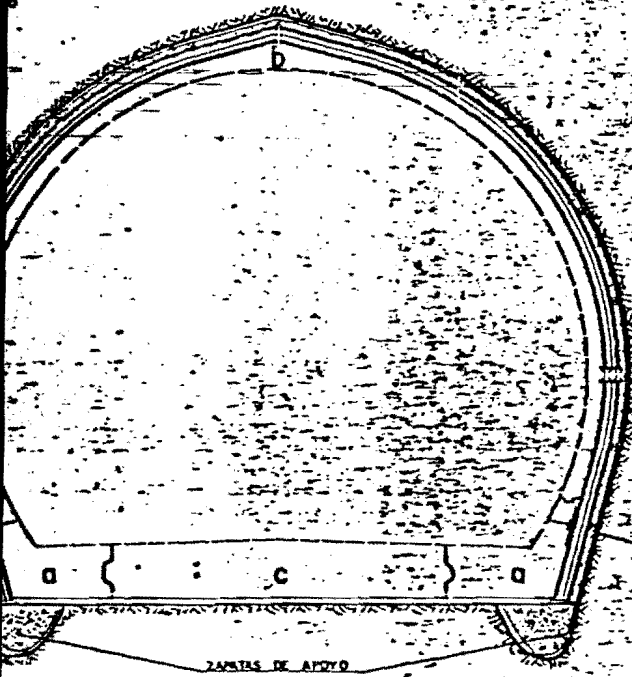
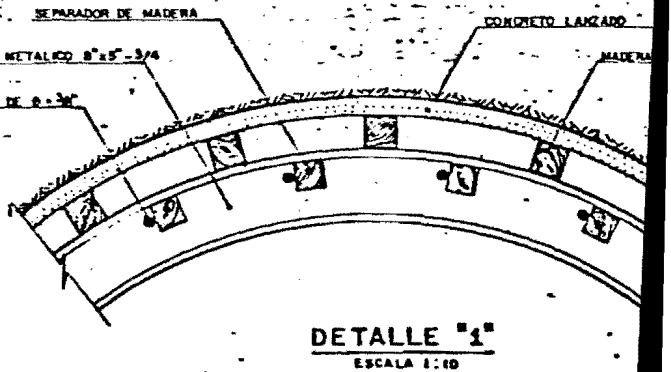
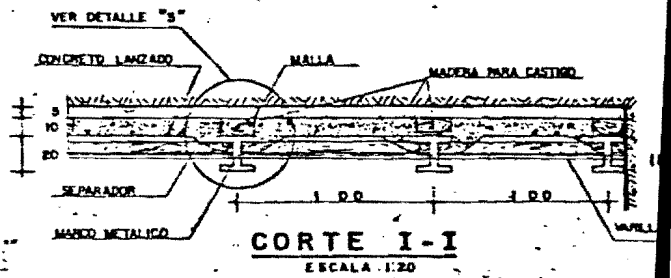
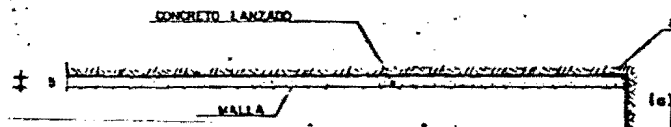
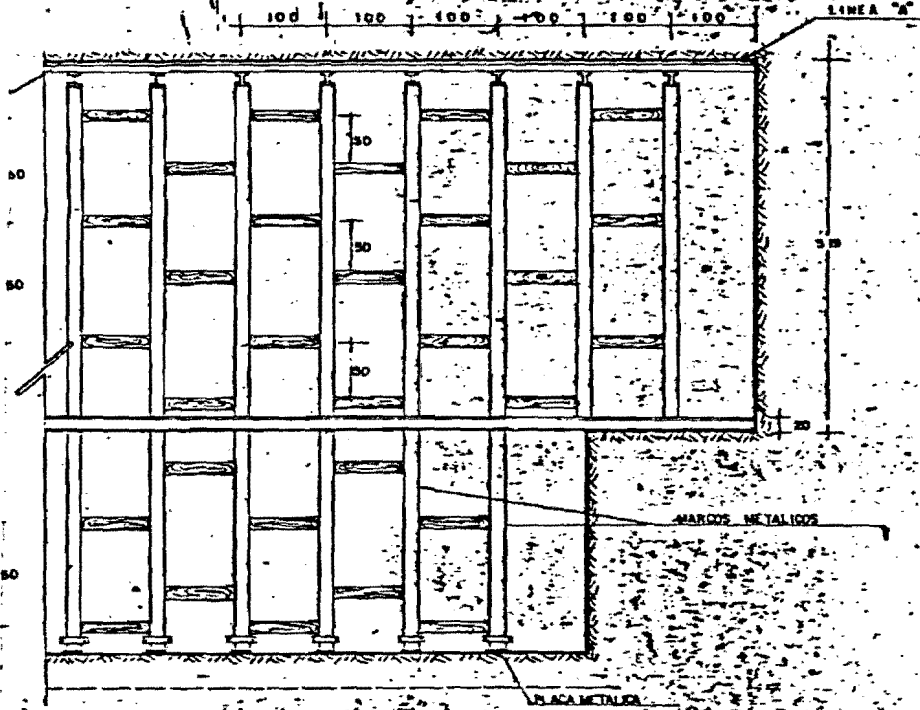


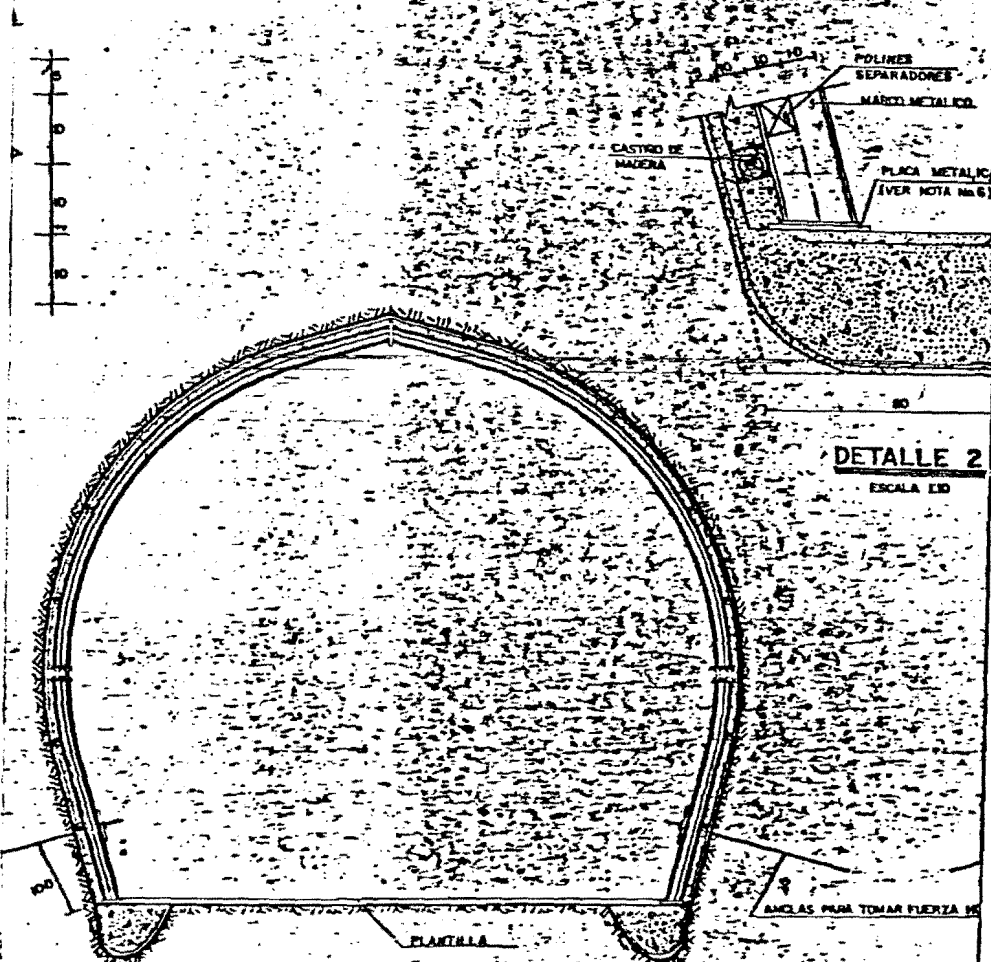
FIG. 7: a) ARMADO Y COLADO DE LA CUBRILICION.
b) ARMADO Y COLADO DEL ARCO.
c) ARMADO Y COLADO DE LA LOSA DE PISO.

FIG 4



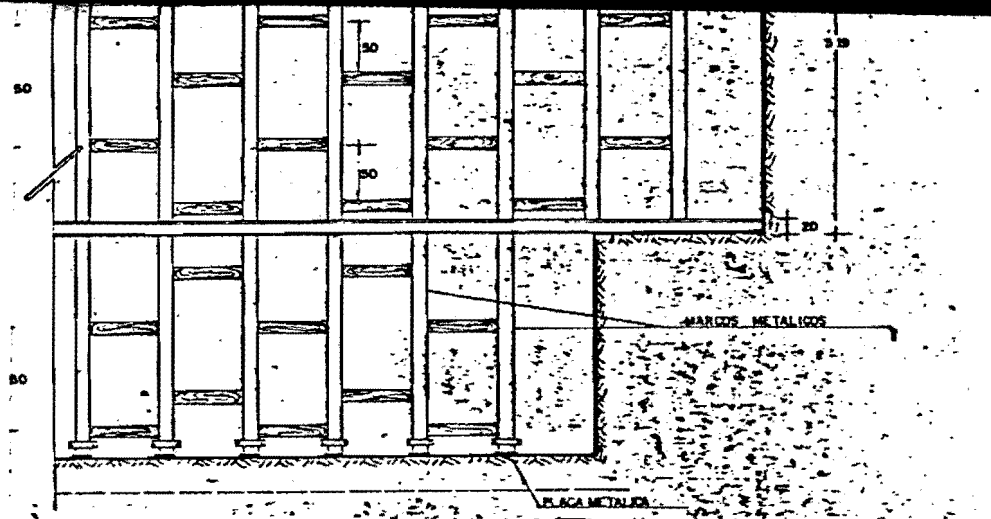
CORTE LONGITUDINAL

FIG. 2. COLOCACION DE MARCOS METALICOS



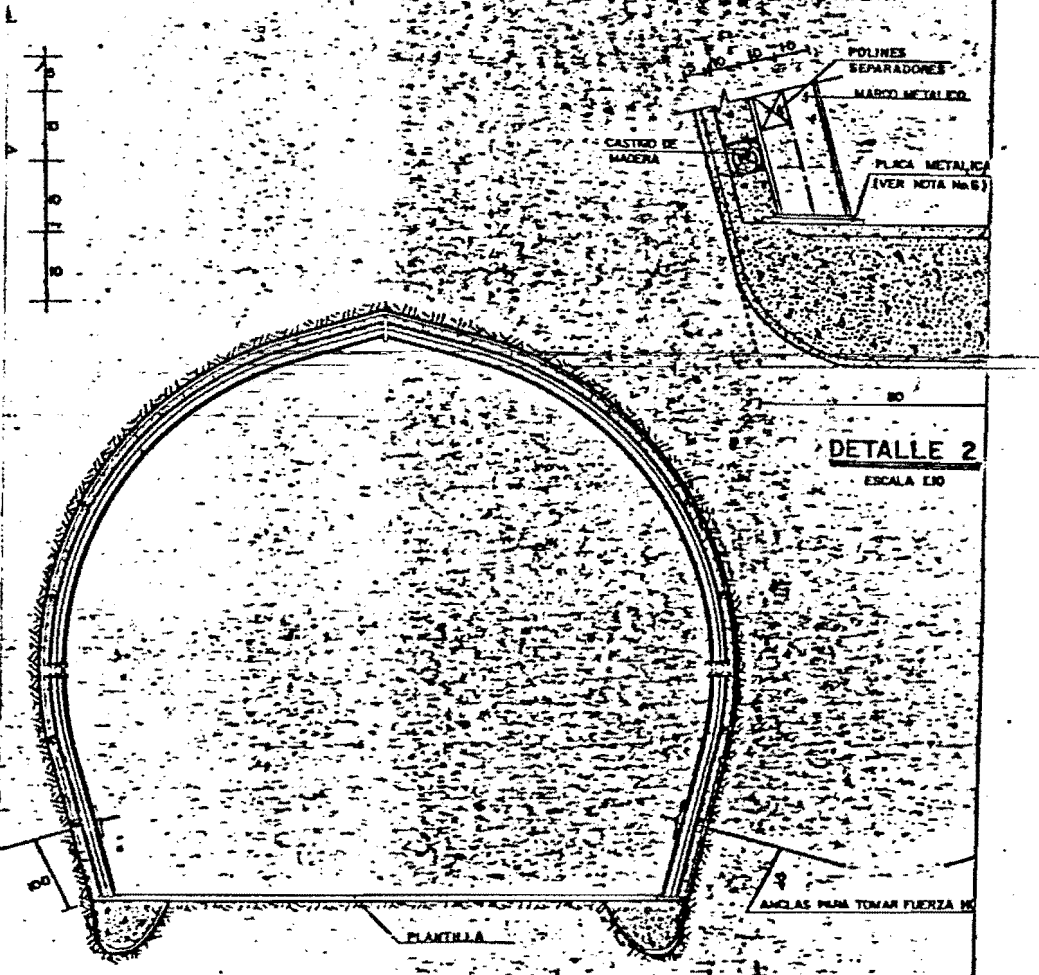
DETALLE 2

ESCALA 1:10

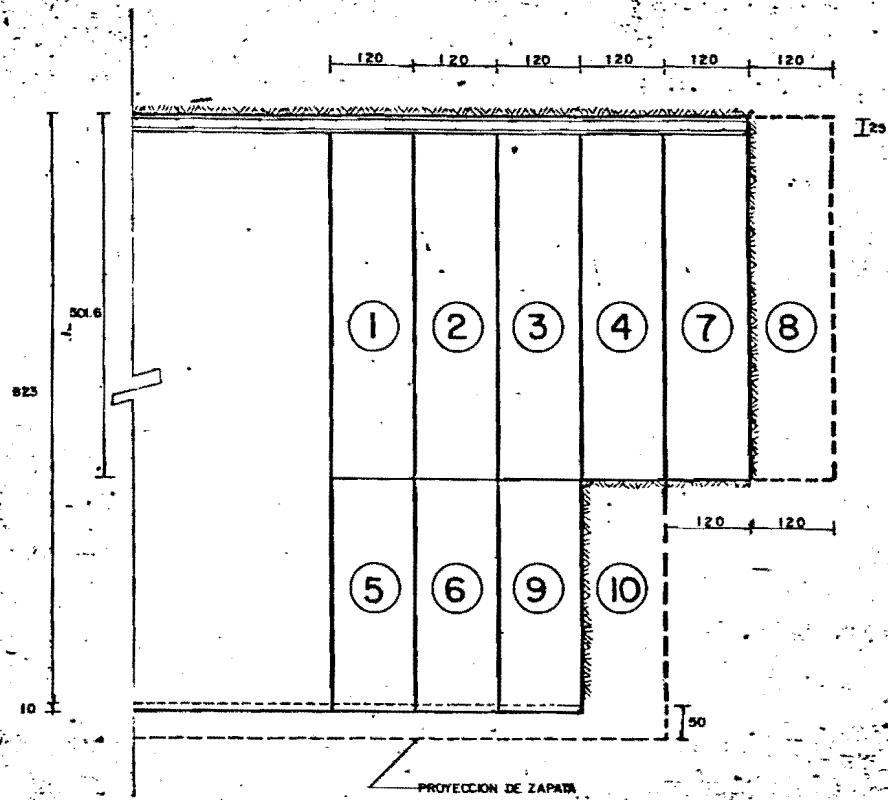


CORTE LONGITUDINAL

FIG. 2. COLOCACION DE MARCO METALICO



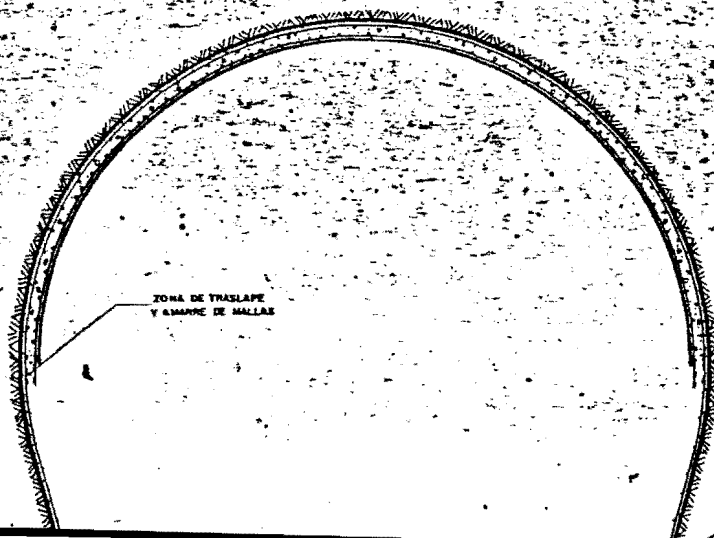
- FIG. 6. a) COLOCACION DE LA PLACA METALICA PARA APOYO DEL MARCO.
 b) INSTALACION DE LA PARTE INFERIOR DEL MARCO, SOLDANDOLO EN SUS PUNTOS DE APOYO.
 c) CASTIGAR AL MARCO MEDIANTE COLOCACION DE MADERA.
 d) LANZAR SEGUNDA CAPA DE CONCRETO DE 10 cm.
 e) COLOCACION DE SEPARADORES ENTRE MARCO Y MARCO.
 f) COLOCACION DE ANCLAS DE 4.00m DE LONGITUD PARA TOMAR LA FUERZA HORIZONTAL (CERRO).
 g) COLADO DE 10cm DE PLANTILLA.

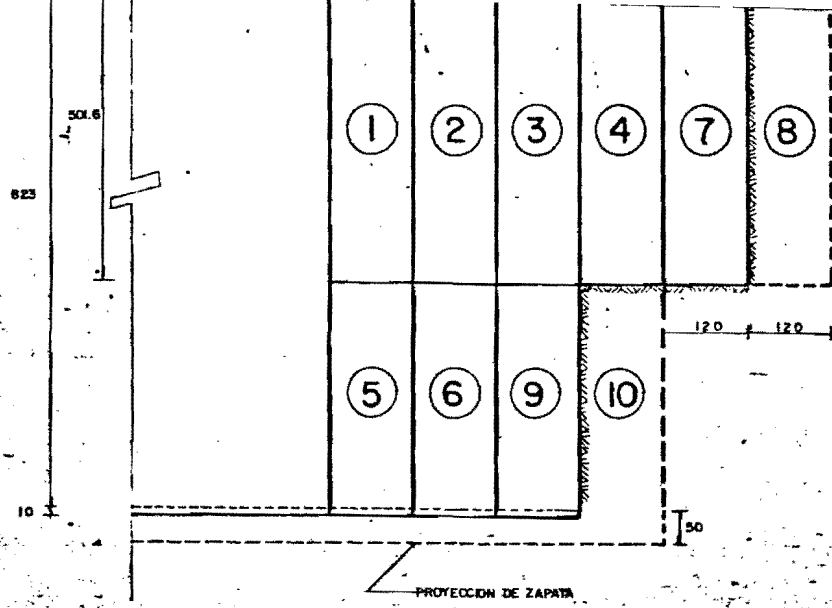


CORTE LONGITUDINAL

FIG. 1- SECUENCIA DE EXCAVACION

- a) AVANCE MAXIMO 120m DE CADA ETAPA
- b) AVANCE DEL BANCO 2.40 m.





CORTE LONGITUDINAL

FIG. 1.- SECUENCIA DE EXCAVACION
 a) AVANCE MAXIMO 120 m DE CADA ETAPA
 b) AVANCE DEL BANCO 2.40 m.

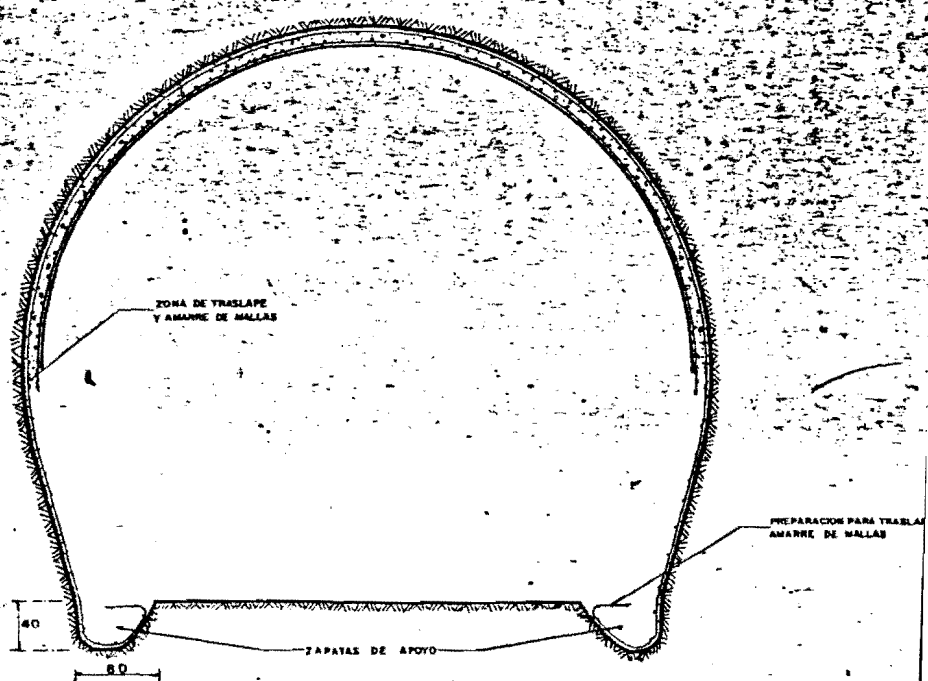


FIG. 4.- a) EXCAVACION DE LA PARTE MEDIA INFERIOR (BANCO) INCLUYENDO ZANJAS PARA LAS ZAPATAS.
 b) LANZAR PRIMERA CAPA DE CONCRETO DE 5cm DE ESPESOR INCLUYENDO LAS ZAPATAS.
 c) COLOCACION DE LA PRIMERA MALLA ELECTROSOLDADA DE 6"x6"-4/4 EFECTUANDO EL AMARRE Y TRASLAPE CON LA PRIMERA MALLA DE LA SECCION MEDIA SUPERIOR ASIMISMO ESTA MALLA DEBERA PROLONGARSE HASTA CONSTITUIR EL REFUERZO DE LA ZAPATA DEJANDO 30cm DE MALLA PARA REALIZAR EL TRASLAPE Y AMARRE CON SEGUNDA MALLA.

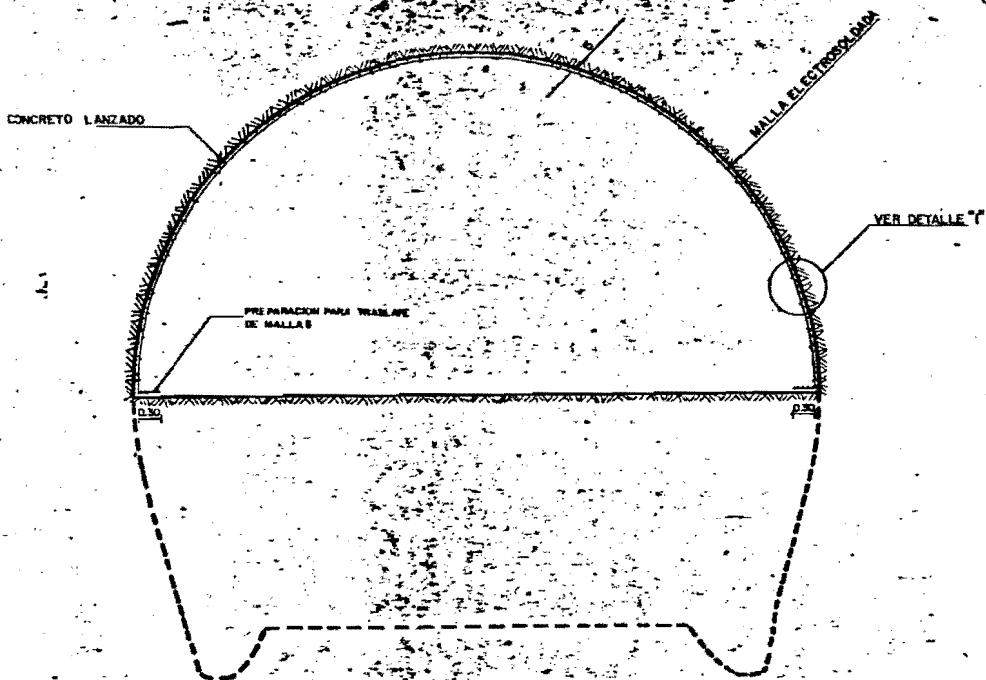
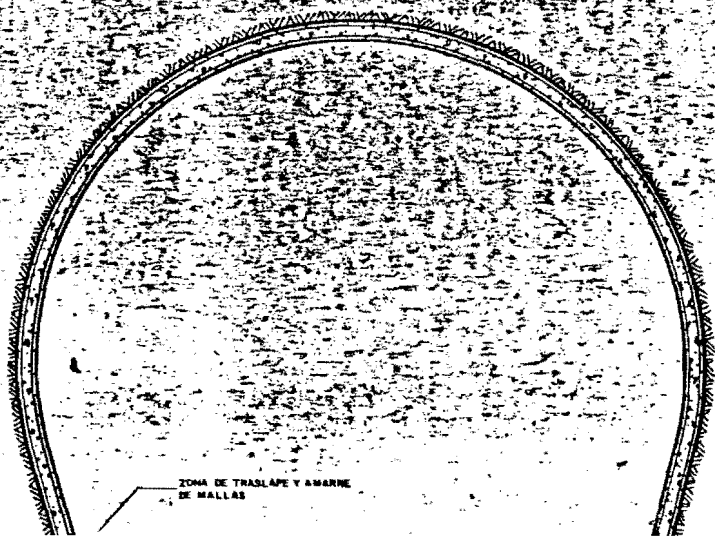


FIG. 2.- a) EXCAVACION DE LA SECCION SUPERIOR.
 b) COLOCACION DE 5cm DE CONCRETO LANZADO.
 c) COLOCACION DE LA PRIMERA MALLA ELECTROSOLDADA DE 6x6 - 4M, DEJANDO 30cm DE MALLA PARA TRASLAPE CON LA SECCION INFERIOR.



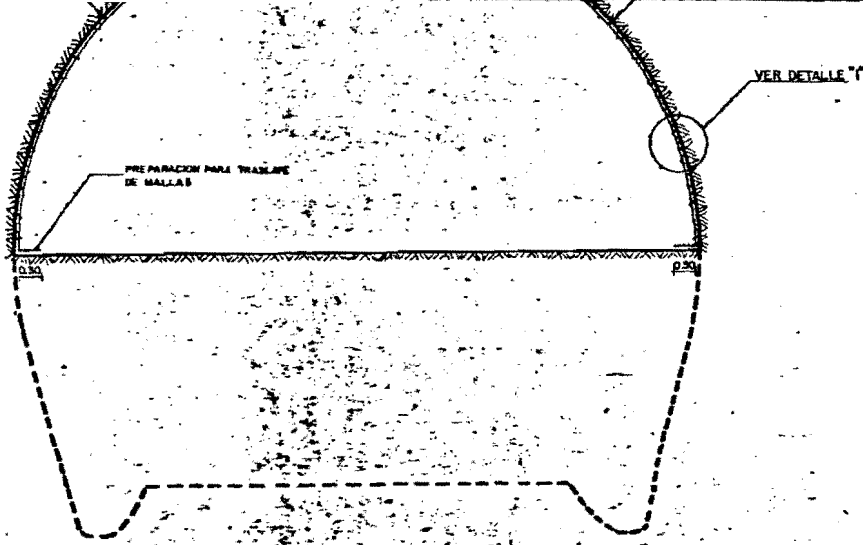


FIG. 2- a) EXCAVACION DE LA SECCION SUPERIOR.
 b) COLOCACION DE 5cm DE CONCRETO LANZADO.
 c) COLOCACION DE LA PRIMERA MALLA ELECTROSOLDADA DE 6x6 - 4M, DEJANDO 30cm DE MALLA PARA TRASLAPES CON LA SECCION INFERIOR.

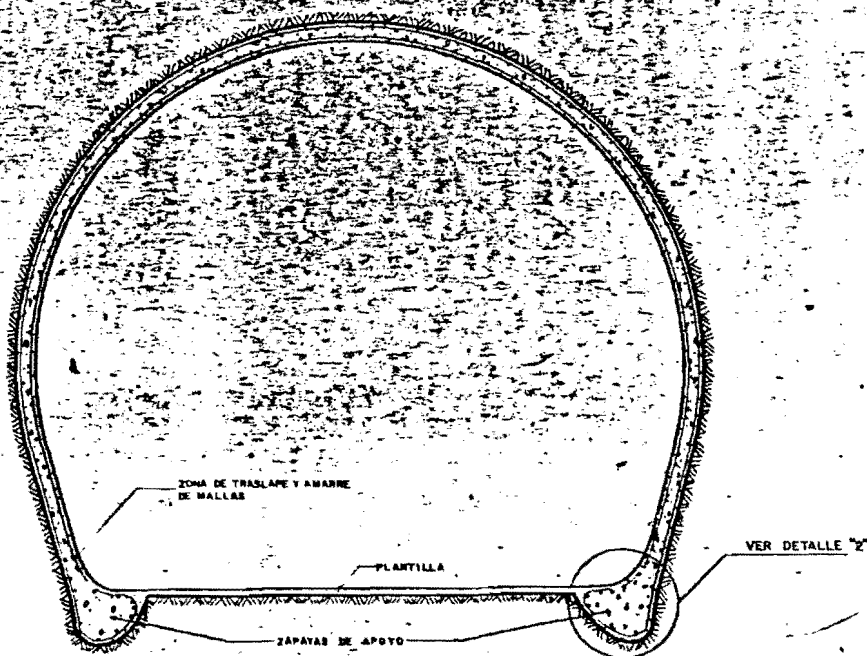
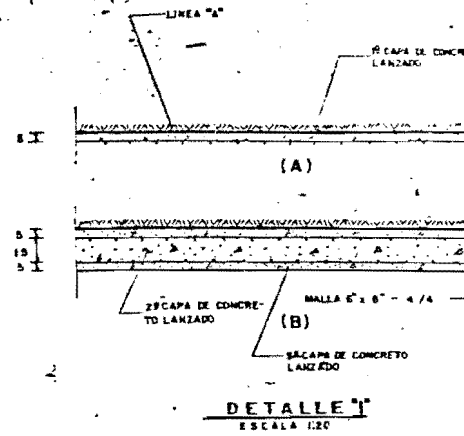
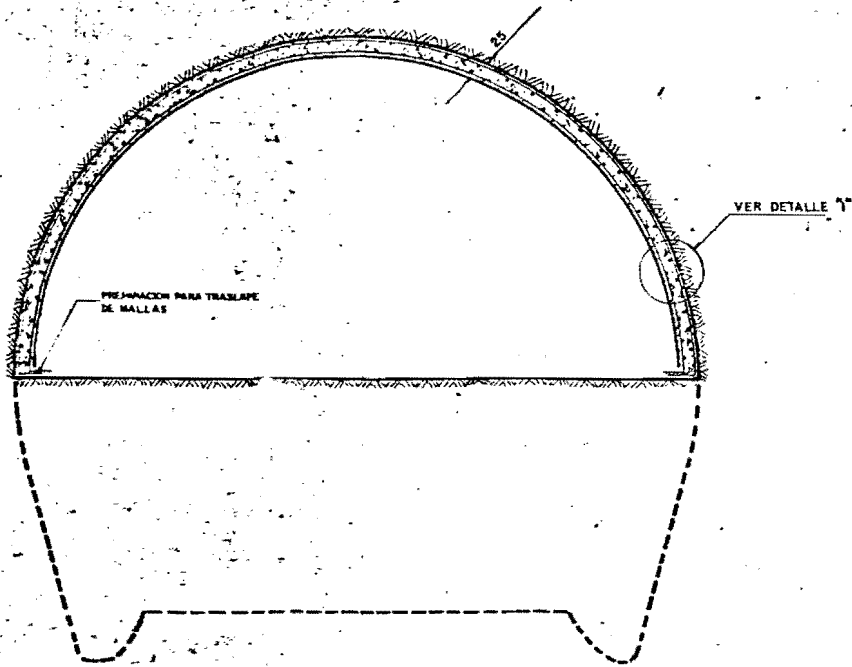
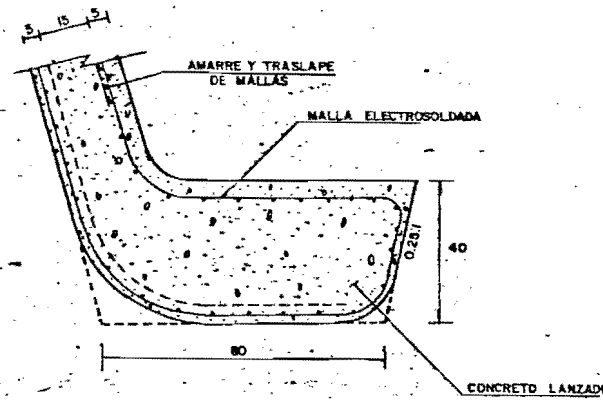


FIG. 5- a) COLOCACION DE SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO DE 15cm DE ESPESOR, INCLUYENDO EL COLADO DE LA ZAPATA.
 b) COLOCACION DE LA SEGUNDA MALLA ELECTROSOLDADA EFECTUANDO AMARRE Y TRASLAPES CON LA MISMA MALLA DE LA SECCION SUPERIOR Y CON LA DE LA ZAPATA.
 c) COLOCACION DE TERCERA CAPA DE CONCRETO LANZADO DE 5cm.
 d) COLADO DE PLANTILLA DE 10cm DE ESPESOR.

MALLA 6" x 6" - 4/4

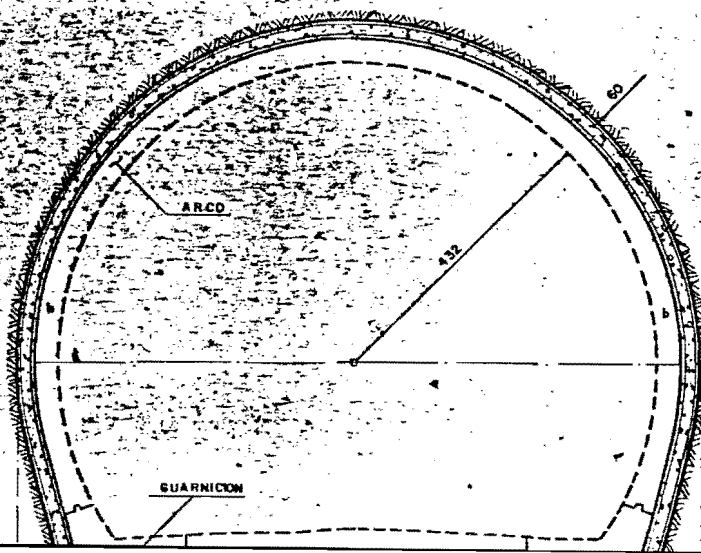


- FIG. 2 - a) LANZAR SEGUNDA CAPA DE CONCRETO DE 15cm DE ESPESOR.
 b) COLOCACION DE LA SEGUNDA MALLA, DEJANDO 30cm PARA TRASLAPE CON LA MALLA DE LA SECCION MEDIA INFERIOR.
 c) LANZAR TERCERA CAPA DE CONCRETO DE 5cm DE ESPESOR.



DETALLE DE ZAPATA "2"

ESCALA 1:10



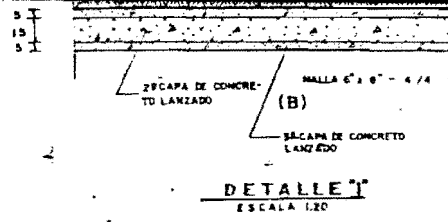
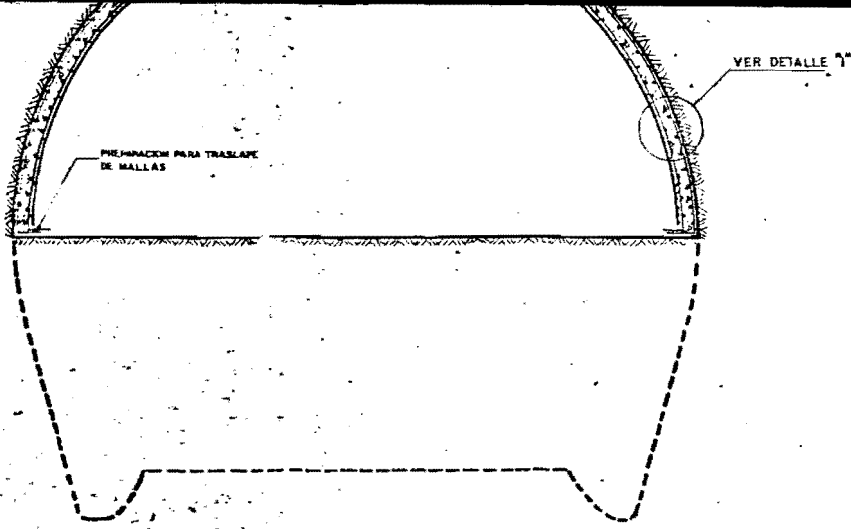
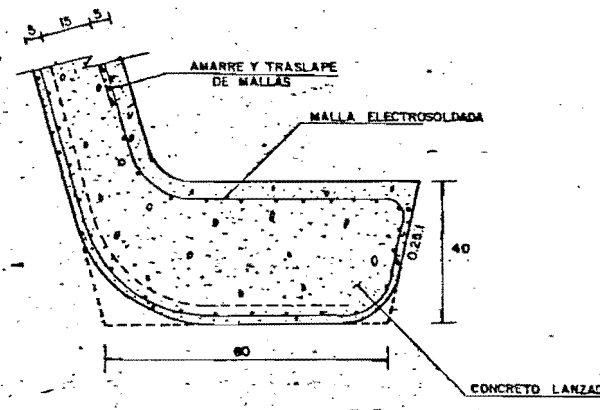


FIG. 3. a) LANZAR SEGUNDA CAPA DE CONCRETO DE 15cm DE ESPESOR.
 b) COLOCACION DE LA SEGUNDA MALLA, DEJANDO 30 cm PARA TRASLAPE CON LA MALLA DE LA SECCION MEDIA INFERIOR.
 c) LANZAR TERCERA CAPA DE CONCRETO DE 5cm DE ESPESOR.



DETALLE DE ZAPATA 2
 ESCALA -E 10-

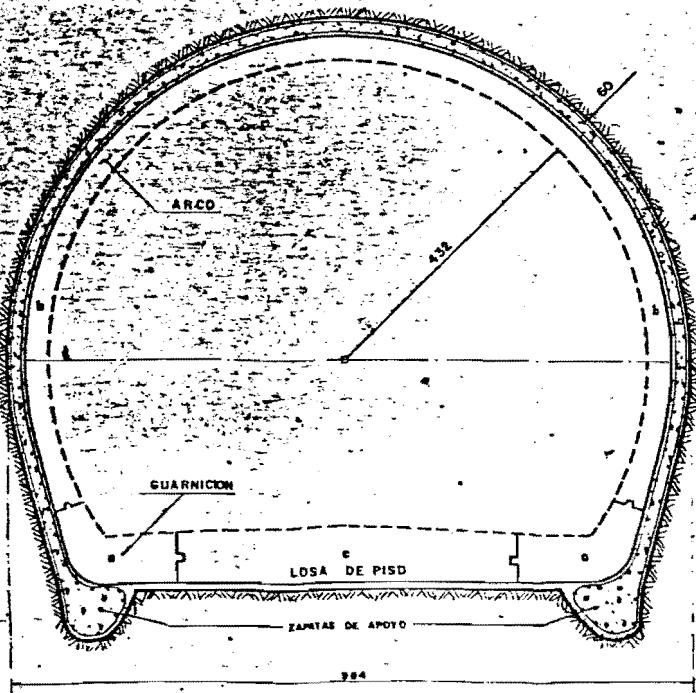


FIG. 4. a) ARMADO Y COLADO DE GUARNICIONES.
 b) ARMADO Y COLADO DEL ARCO.
 c) ARMADO Y COLADO DE LA LOSA DE PISO.

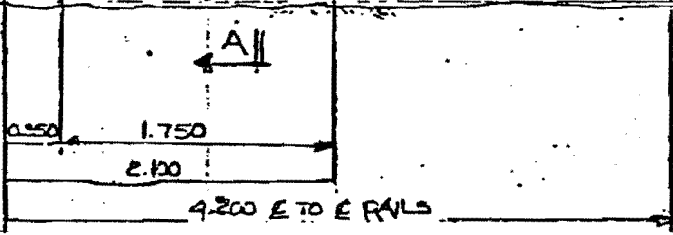
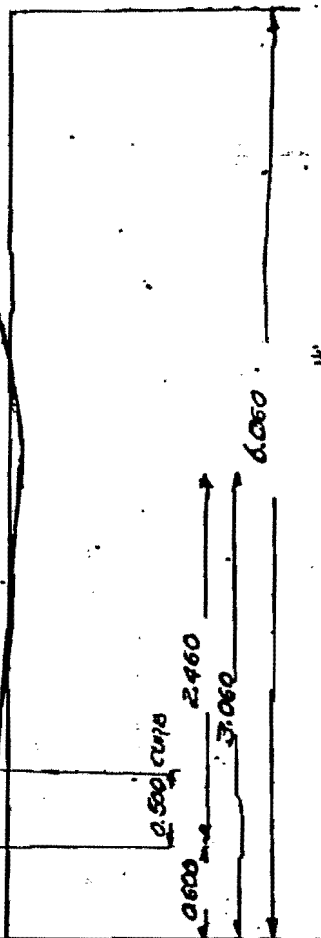
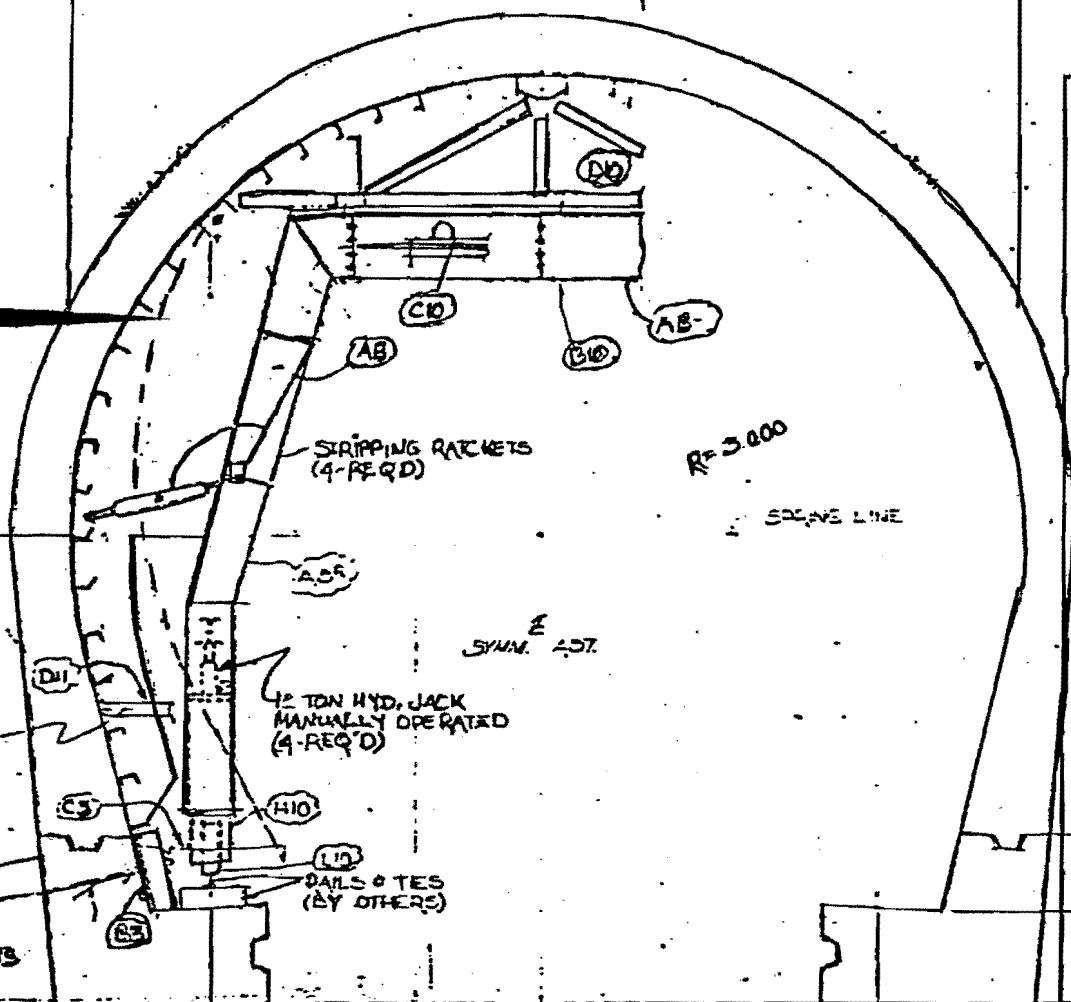
FILE 5



6.000 FINISH CONCRETE

A||

0.100 STRIPPED CLEARANCE



TYPICAL CROSS SECTION THRU FORM & TRAVELER
SCALE 1/25

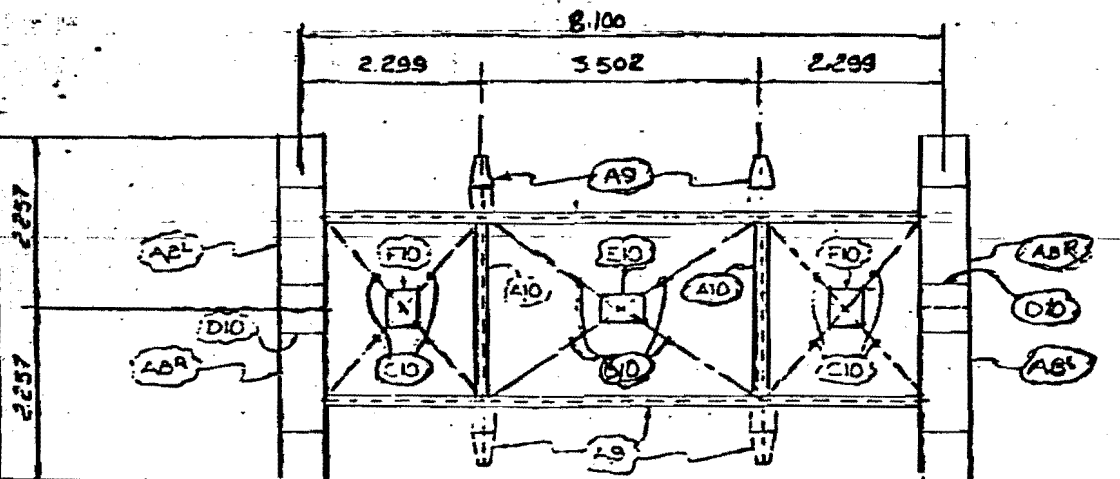
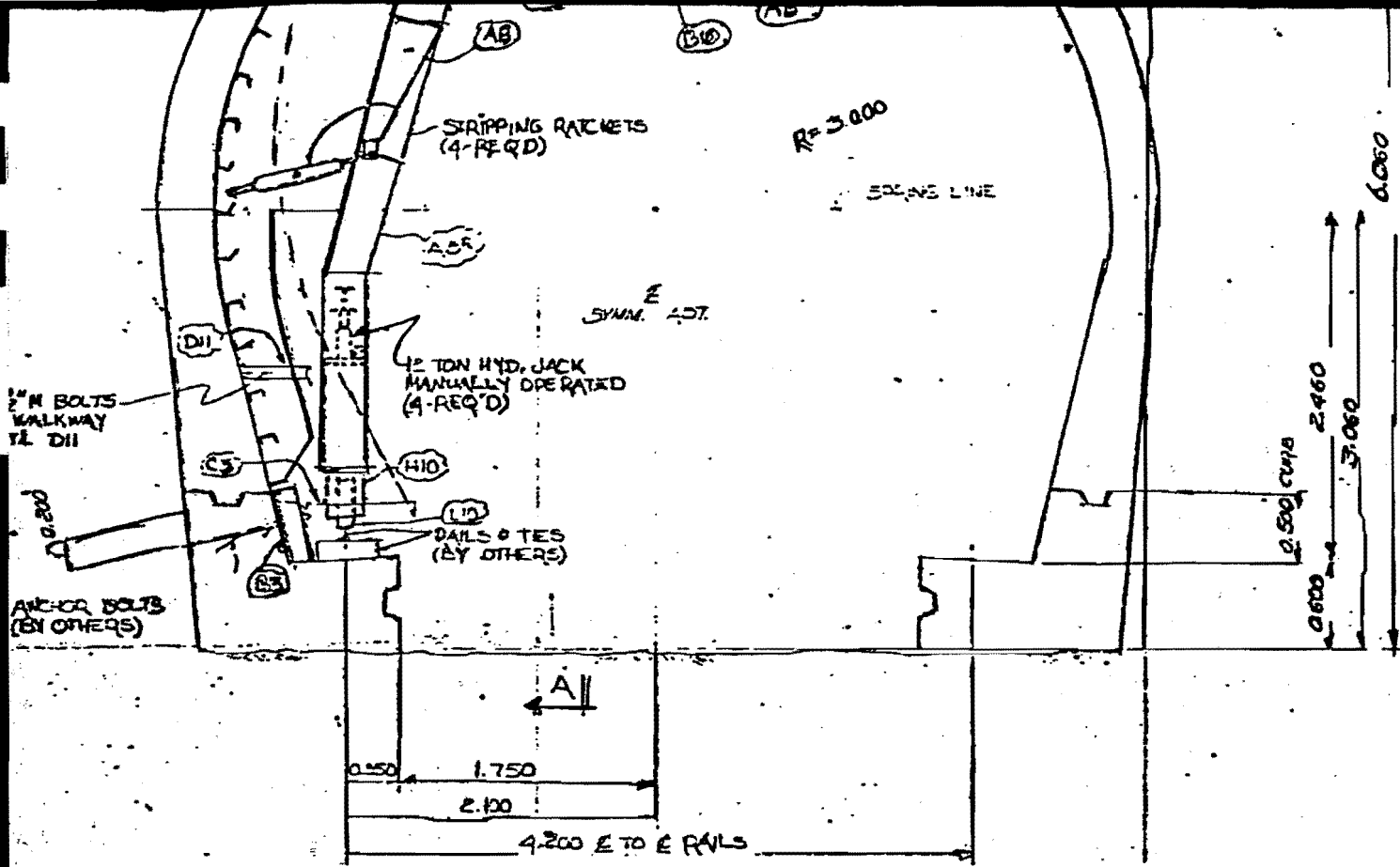
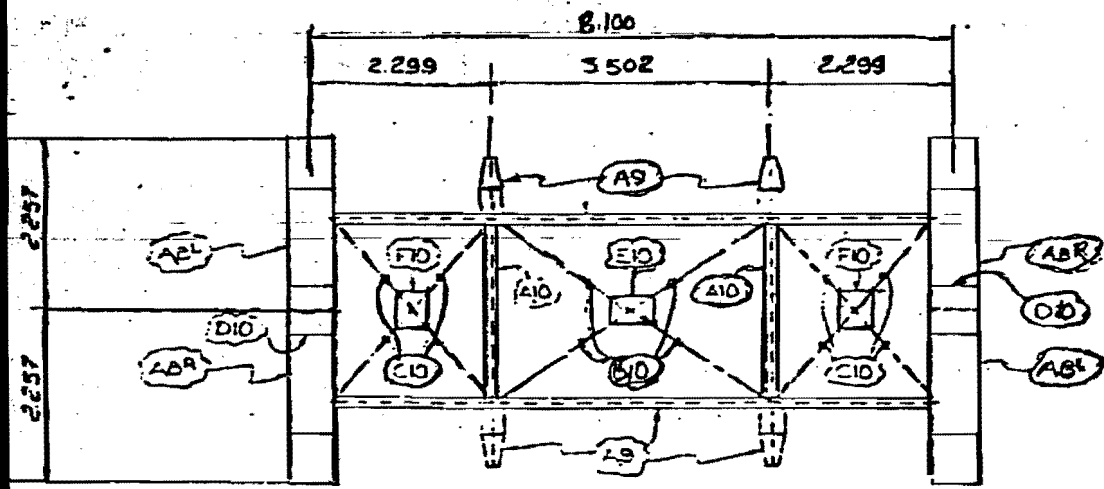


Fig 7

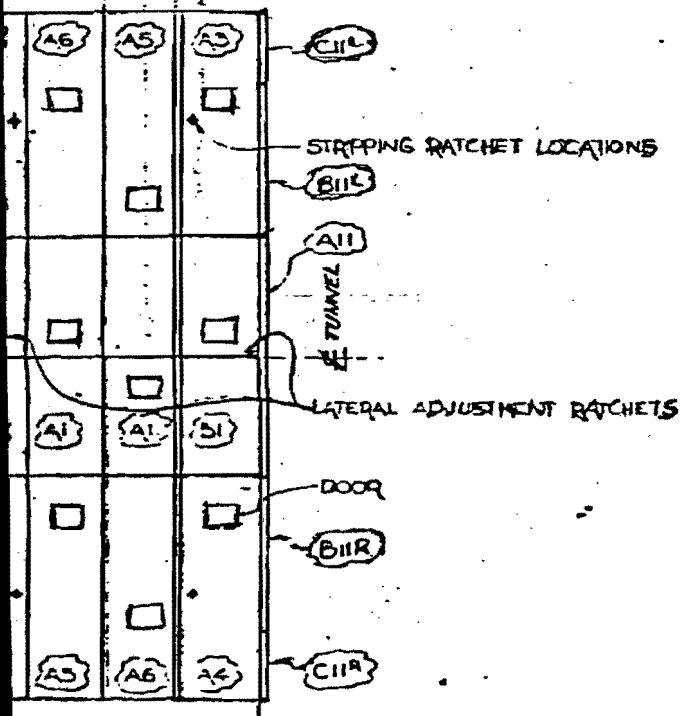
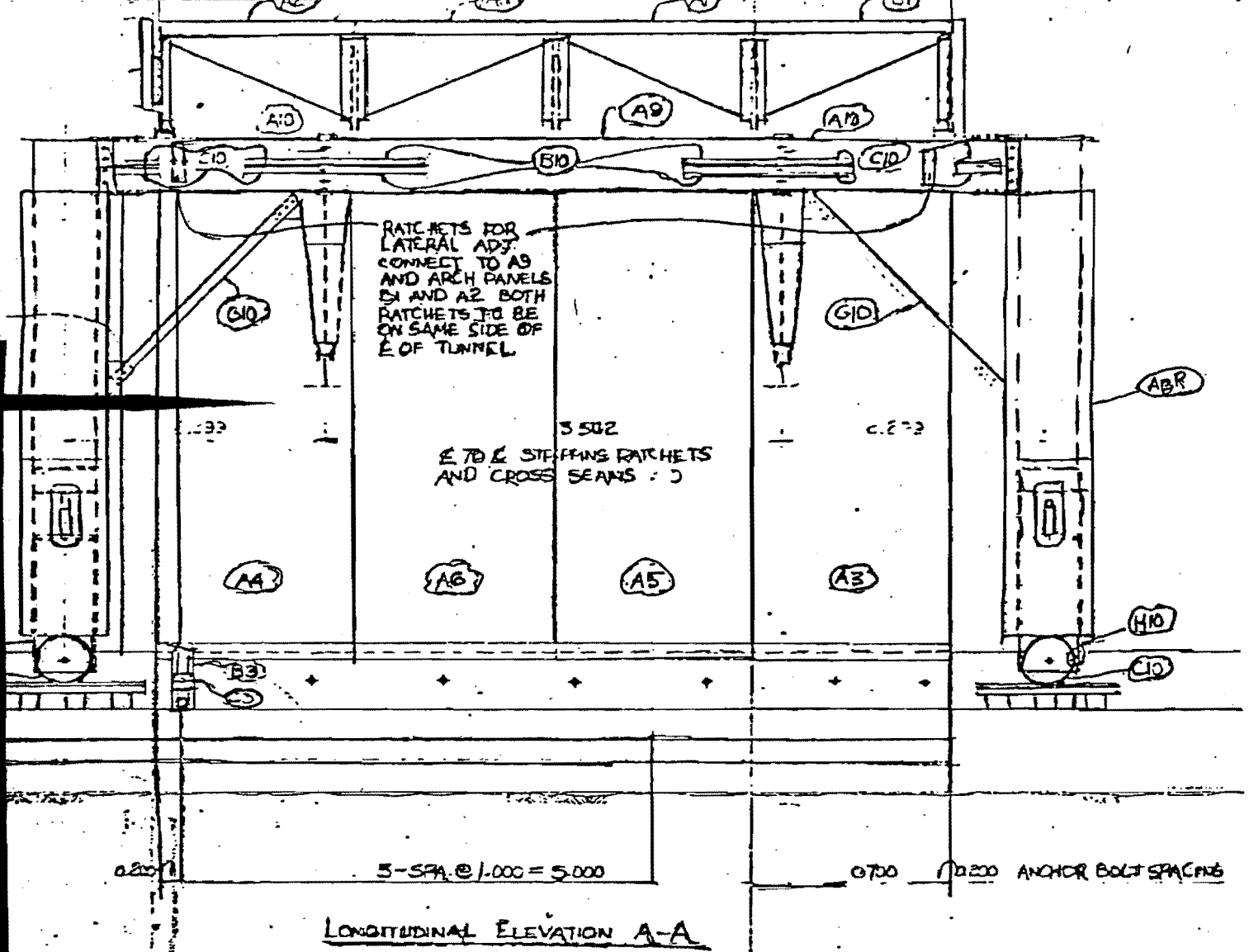


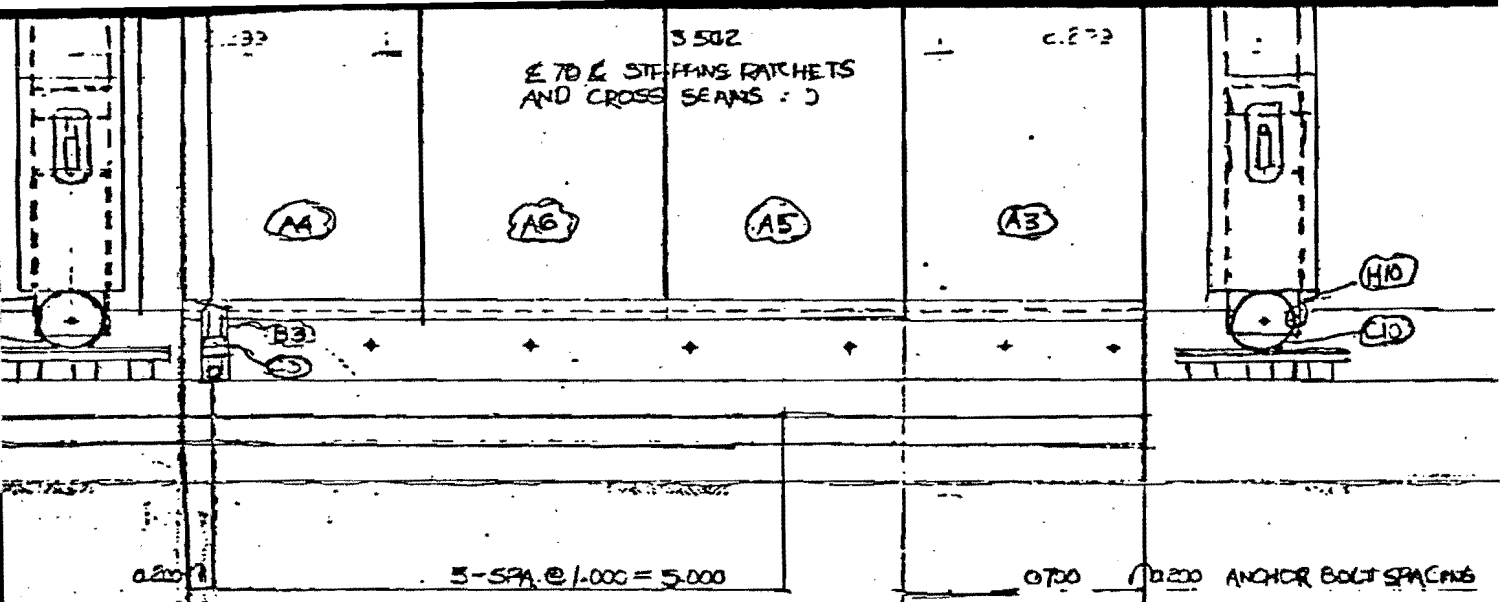
TYPICAL CROSS SECTION THRU FORM & TRAVELER
 SCALE 1/25



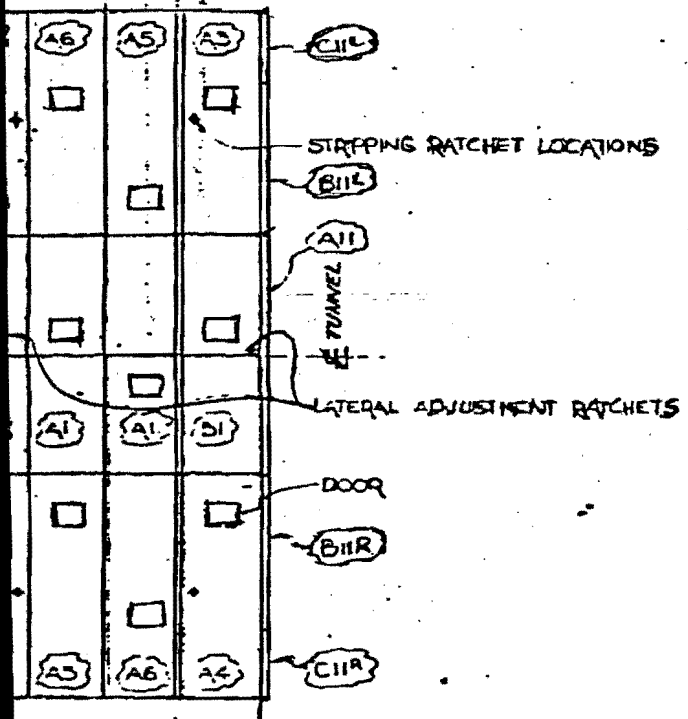
TOP VIEW - TRAVELER

Fig 7





LONGITUDINAL ELEVATION A-A



PLACEMENT SCHEMATIC