

4893

UNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



Solución a Algunos Problemas Especiales en
la Construcción del Emisor Central de la
Ciudad de México

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA
FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ ZUMARRAGA



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.



FACULTAD DE INGENIERIA
Depto. de Exams. Profs.
Núm. 40-
Exp. Núm. 40/214.2/1.-

Universidad Nacional
Autónoma de

México Al Pasante señor Francisco Javier Rodríguez Zumárraga
P r e s e n t e .

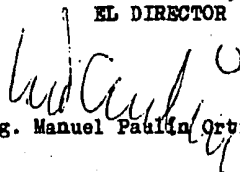
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor Ingeniero Francisco Noreña C., para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

SOLUCION A ALGUNOS PROBLEMAS ESPECIALES EN LA
CONSTRUCCION DEL EMISOR CENTRAL DE LA CIUDAD
DE MEXICO ^A

- I. Bombeo de filtraciones en la lumbrera No. 15.
- II. Derrumbes en el tramo comprendido entre las lumbreras núms. 14 y 17
 - a) Consolidación del frente de trabajo por medio de inyecciones.
 - b) Procedimiento de excavación después de ejecutada la consolidación.
- III. Estudios de costos comparativos entre el ademe, por medio de marcos metálicos y la solución por el procedimiento de concreto lanzado."

Ruego a usted tomar de -
bida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. 2 de Marzo de 1970 .
EL DIRECTOR


Ing. Manuel Paulín Ortiz


MPO MMO eag

A MIS PADRES

**Alfredo Rodriguez y
Adolfina Z. de Rodriguez
con profundo cariño**

**A mis maestros
con gratitud.**

I N D I C E

Introducción	1
I.- Bombeo de filtraciones en la lumbrera No. 15	6
II.- Derrumbes en el tramo comprendido entre las lumbreras 14 y 17.	23
a) Consolidación del frente de trabajo por medio de inyecciones.	
b) Procedimiento de excavación después de ejecutada la consolidación.	
III.- Estudios de costos comparativos entre el ademe por medio de marcos metálicos y la solución por el procedimiento de concreto lanzado.	47

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

La construcción del Emisor Central de la Ciudad de México se debió a la necesidad de dar una solución, en cierta forma inmediata, a los problemas originados por el actual sistema de desagüe y por el ya inoperante Gran Canal.

Dos causas que podemos mencionar como principales, el hundimiento gradual de la ciudad y los hundimientos diferenciales del terreno, han traído como consecuencia el efectuar costosas obras en el sistema, tales como:

- a) Rectificación y reconstrucción de colectores, atarjeas y cárcamos de bombeo de las plantas del Gran Canal.
- b) Sobreelevación y refuerzo de los bordos del canal así como dragado.

Cabe agregar que inicialmente el Gran Canal se construyó para una capacidad de 5 m³/seg en sus primeros 20 km y 18 m³/seg en los kilómetros restantes, trabajando actualmente con gastos máximos de 130 m³/seg.

A la fecha el sistema consta de:

- 1.- El Río Churubusco que llega por gravedad a las plantas de bombeo de Aculco de donde se bombea al Gran Canal. Las aguas que llegan a estas plantas provienen también de los ríos Magdalena, Barranca del Muerto y Mixcoac.
- 2.- El Interceptor Poniente que corta los ríos Con-

sulado, Piedad y Churubusco llevando por gravedad aguas al Emisor Poniente. Este a su vez desemboca en el Lago de Zumpango.

- 3.- Los colectores que por gravedad llegan a las plantas de bombeo. Estos tienen una pendiente de Oeste a Este y llegan al kilómetro cero del Gran Canal que es precisamente donde se encuentran las plantas de bombeo.
- 4.- Un sistema de alcantarillados de 8 km de atarjeas y subcolectores.

Así, la Ciudad de México queda sujeta al bombeo y con el peligro de la rotura de los bordos del Gran Canal.

El proyecto del nuevo sistema de drenaje de la Ciudad comprende dos interceptores en el área metropolitana a una profundidad media de 40 m. Estos se unen cerca de Tenayuca para formar un solo conducto (Emisor Central), que desembocará en el Río Tula en el Estado de Hidalgo, y el cual tendrá profundidades variables de 80 a 240 m.

La construcción de los tres conductos anteriores queda proyectada de la siguiente manera:

INTERCEPTOR ORIENTE.- Se inicia en el cruce de las avenidas Río Churubusco y Francisco del Paso hasta llegar a la Calzada de Puebla en donde sufre una desviación hacia el Oriente para llegar al Noreste de la Sierra de Guadalupe. Ahí sufre una nueva des-

sulado, Piedad y Churubusco llevando por gravedad aguas al Emisor Poniente. Este a su vez desemboca en el Lago de Zumpango.

- 3.- Los colectores que por gravedad llegan a las plantas de bombeo. Estos tienen una pendiente de Oeste a Este y llegan al kilómetro cero del Gran Canal que es precisamente donde se encuentran las plantas de bombeo.
- 4.- Un sistema de alcantarillados de 8 km de atarjeas y subcolectores.

Así, la Ciudad de México queda sujeta al bombeo y con el peligro de la rotura de los bordos del Gran Canal.

El proyecto del nuevo sistema de drenaje de la Ciudad comprende dos interceptores en el área metropolitana a una profundidad media de 40 m. Estos se unen cerca de Tenayuca para formar un solo conducto (Emisor Central), que desembocará en el Río Tula en el Estado de Hidalgo, y el cual tendrá profundidades variables de 80 a 240 m.

La construcción de los tres conductos anteriores queda proyectada de la siguiente manera:

INTERCEPTOR ORIENTE.- Se inicia en el cruce de las avenidas Río Churubusco y Francisco del Paso hasta llegar a la Calzada de Puebla en donde sufre una desviación hacia el Oriente para llegar al Noreste de la Sierra de Guadalupe. Ahí sufre una nueva des-

viación hacia el Poniente para llegar a la Lumbera Cero del Emisor Central. Este conducto consta de 13 lumberas.

INTERCEPTOR CENTRAL.- Se inicia en el cruce de las avenidas Taxqueña y Centenario siguiendo por las avenidas Cuauhtémoc, Bucareli, Guerrero, Insurgentes Norte y Avenida de los Cien Metros de donde llega a la Lumbera Cero del Emisor Central.

EMISOR CENTRAL.- Se inicia en la Lumbera Cero siguiendo de ahí la dirección Noroeste hacia Barrientos y Guadalupe. De este lugar sigue la dirección Norte pasando por Tepetzotlán hasta llegar al Río Tula cerca de la Presa Requena. Consta de 21 lumberas y un portal en donde saldrá hacia el Río Tula o a la Presa Requena en época de estiaje.

Los datos generales del proyecto son los siguientes:

	Longitud (km)	Diámetro Excavación (m)	Diámetro Terminado (m)
Interceptor Oriente	18	6.50	5.00
Interceptor Central	12	6.50	5.00
Emisor Central	50	* 7.80	6.00
Lumbreras		7.50	6.00

* sección he-
rradura

Profundidad de lumbreras (variable)	40 a 240 m
Pendiente de los túneles	0.2 %
Revestimiento	Concreto Armado
Gasto Máximo del Emisor	220 m ³ /seg
Procedimientos de Construcción:	

El trabajo de excavación de los túneles, de acuerdo con el tipo de material, se clasifica en dos formas:

a) Excavación en arcilla.- Principalmente en el área metropolitana usando para la construcción del túnel los escudos para la excavación, y como protección, dovelas de concreto armado. El manto del material se efectúa por medio de bombas de lodos. Este procedimiento se puede usar también en zonas de material arcilloso tales como los tramos comprendidos entre las lumbreras 5 y 7, entre las lumbreras 18 y 21 y el portal de salida.

b) Excavación en roca.- La construcción de los túneles del Emisor Central en zonas de material rocoso requiere el uso del sistema convencional trabajando con el equipo siguiente:

Torre de manto y malacate
Plataforma de barrenación
Compresores
Máquinas perforadoras
Ventiladores
Locomotoras y vagonetas
Rezagadora
Equipo de bombeo
Planta de energía de emergencia

Esta última forma de excavación (en roca), es la utilizada en la construcción del tramo del Emisor comprendido entre las lumbreras 14 y 17 y de las cuales nos vamos a ocupar.

Debido a la naturaleza del terreno y a las filtraciones de aguas freáticas, en el tramo anterior, se presentan problemas que requieren de soluciones que podemos calificar de especiales.

Como ejemplos de estos estudios citaremos la solución al problema de bombeo de las filtraciones en la lumbrera 15, el método apropiado de ataque al frente del túnel después de un derrumbe ó en zonas de material desquebrajado y un análisis comparativo entre el ademe por medio de marcos metálicos y la solución por el procedimiento de concreto lanzado, incluyendo costos.

C A P I T U L O I

BOMBEO DE FILTRACIONES EN LA

LUMBRERA No. 15

El gasto tan grande de filtraciones de aguas freáticas que se tiene en la Lumbreira No. 15 del Emisor Central, ha dado como origen la necesidad de encontrar una solución diferente a la de otras lumbreras para la extracción de estas aguas por medio de bombeo.

El sistema que se sigue normalmente es el de construir un cárcamo de captación, prolongación de la lumbreira. Puesto que la excavación del túnel se dirige en dos sentidos a partir de la lumbreira, se siguen dos métodos para conducir el agua filtrada hacia el cárcamo.

- 1.- Si el ataque de túnel se efectúa hacia aguas arriba de la lumbreira, se construye un dren para elevar el agua por gravedad hacia el cárcamo.
- 2.- El ataque de túnel hacia aguas abajo requiere de un sistema de bombeo para conducir las filtraciones hacia el cárcamo por medio de tubería.

Estos métodos se siguen en el tramo de túnel correspondiente a la Lumbreira 15, pero siendo el gasto mayor que en otras lumbreras y teniendo una mayor altura de descarga (la Lumbreira No. 15 tiene 220m de profundidad), se origina la necesidad de construir un tanque

extra de captación de agua filtrada.

Una solución es la construcción del tanque, adyacente al cárcamo y colocando el sistema de bombeo en una galería alojada en la parte superior del tanque.

Comenzaremos por calcular el volumen requerido para el tanque partiendo de un "tiempo de llenado", que depende tanto del gasto de las filtraciones, como del tiempo necesario para poder efectuar reparaciones en caso de algún desperfecto mecánico o eléctrico, principalmente, por falta de energía.

El gasto promedio en la Lumbreira No. 15 es de 250 l/seg y de acuerdo con datos geológicos obtenidos, este gasto puede ascender como máximo a 400 l/seg durante el tiempo de terminación de la excavación del tramo de túnel correspondiente.

Capacidad del Tanque

$$Q = 400 \text{ l/seg} = 0.400 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t = 1 \text{ hora} = 3600 \text{ seg}$$

$$Q = \frac{V}{t} ; V = Q \times t$$

$$V = 0.400 \text{ m}^3/\text{seg} \times 3600 \text{ seg} = 1440 \text{ m}^3$$

Capacidad requerida por el tanque: 1440 m³

Del volumen anterior conocemos una de sus dimensiones siendo ésta, el ancho de 6.00 m igual al diámetro del cárcamo.

La longitud del tanque la hallaremos de acuerdo con la necesidad del espacio requerido para alojar el

sistema de bombeo.

Esta longitud depende del número de unidades de bombeo que se colocarán en la galería.

Ya que difícilmente se encuentra un equipo de bombeo en el Mercado Nacional, que sea capaz de elevar 400 l/seg a 230 m de altura, se puede utilizar un sistema paralelo que divide el gasto entre varias unidades de bombeo.

Si dividimos el gasto en 8 unidades, cada una de ellas nos dará 50 l/seg. Es conveniente colocar dos bombas más para tener una reserva en caso de falla de alguna otra unidad.

Así, contaremos con un total de 10 unidades alojadas en la galería, por encima del tanque y soportadas por alguna estructura metálica.

Considerando una separación entre bombas de 3.00m y 4.00m de tolerancia hacia cada una de las orillas, obtenemos una longitud igual a 35.00m para alojar el sistema que quedaría por encima del tanque.

Contamos ahora con dos dimensiones para poder construir el tanque:

a = ancho = diámetro del cárcamo = 6.00m

l = largo = longitud necesaria para el sistema de bombeo = 35.00m

p = profundidad = ?

V = alp, de donde.

$$P = \frac{V}{a \times l}$$

$$P = \frac{1440 \text{ m}^3}{6.00\text{m} \times 35.00\text{m}} = 6.85\text{m}$$

Agregamos 0.45m más de tolerancia a la dimensión anterior para evitar que el agua del tanque lleno pudiera tener la posibilidad de mojar la base de las bombas.

Las dimensiones finales del tanque son como siguen:

Ancho = 6.00m

Largo = 35.00m

Profundidad= 7.30m

El tanque puede ser orientado en un sentido perpendicular al eje del túnel para tener el bombeo de una sola etapa desde el piso hasta la superficie, y que independientemente de cualquier falla, no interfiera en el desarrollo normal del trabajo.

En esta forma quedarían también protegidas las bombas de la posible caída de un pedazo de roca durante el tiempo de manto del material producto de la excavación, ya que los botes de rezaga tienen una trayectoria a lo largo de la lumbrera desde el cárcamo hasta el canalón de descarga en la torre de manto.

Veamos ahora las dimensiones que se tendrían pa-

ra la galería de bombeo.

Contamos ya con dos de ellas, siendo el ancho de 6.00m y el largo de 35.00m, quedando por calcular la altura que dependerá del espacio necesario para la colocación o cambio de los motores de las bombas. Esto se puede solucionar colocando una grúa viajera en la bóveda de la galería.

La altura necesaria será:

- | | |
|--|-------|
| 1.- Altura de una bomba: | 1.50m |
| 2.- Espacio libre entre la bomba y el gancho para levantar un motor: | 2.00m |
| 3.- Distancia entre el paño superior de la trabe grúa y el gancho: | 3.00m |
| 4.- Distancia entre la bóveda de la galería y la trabe grúa: | 2.00m |

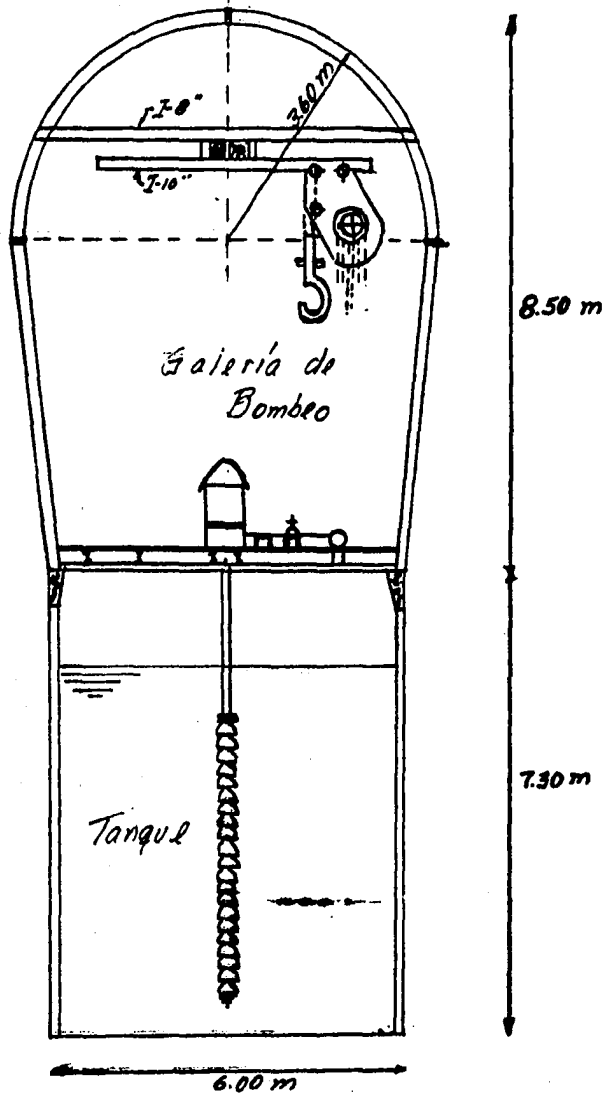
Las dimensiones de la galería de bombeo serán finalmente:

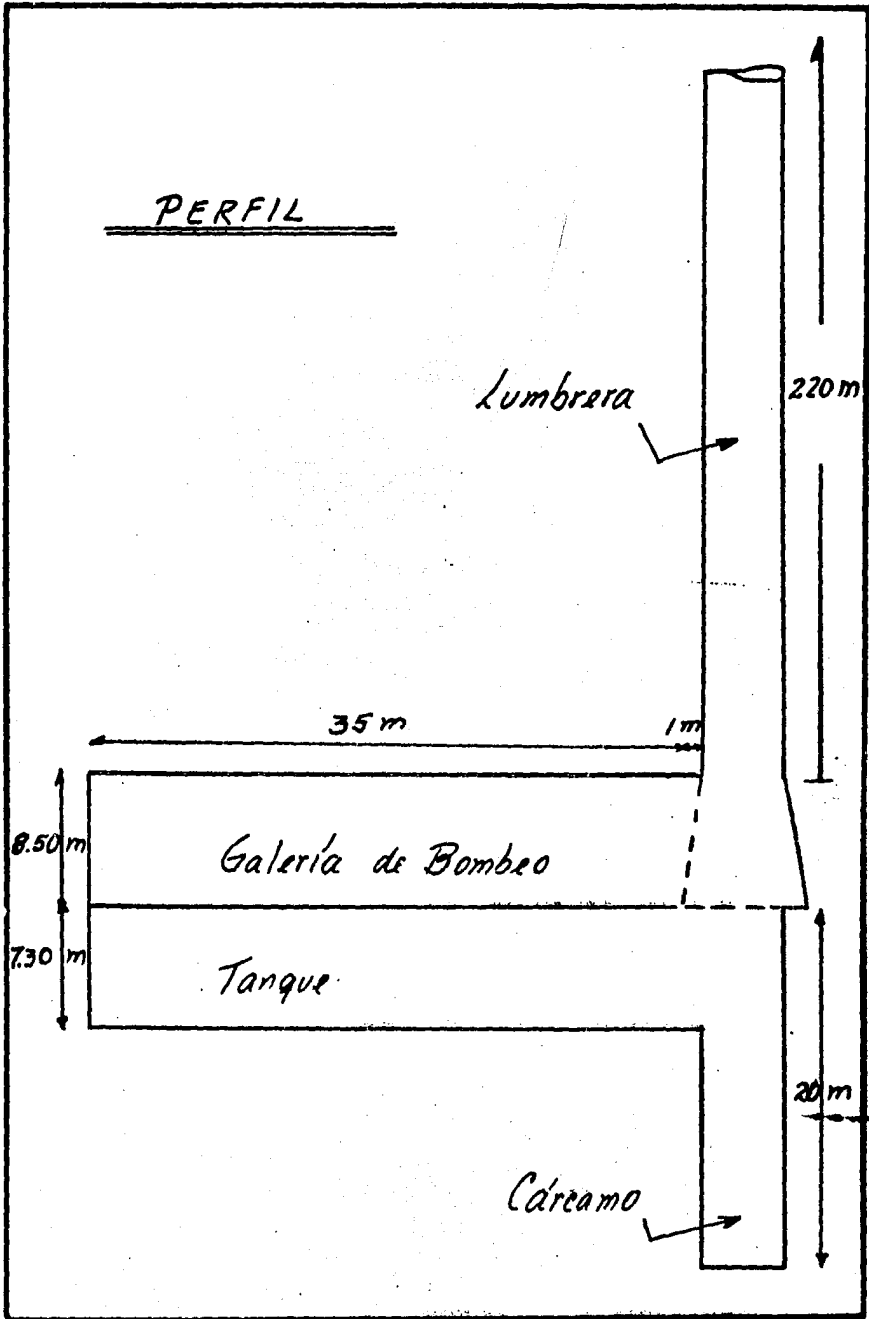
Ancho:	=	6.00m
Largo	=	35.00m
Altura	=	8.50m

La sección de la galería se puede proyectar con bóveda semicircular para tener la facilidad de colocar ademe metálico del tipo convencional.

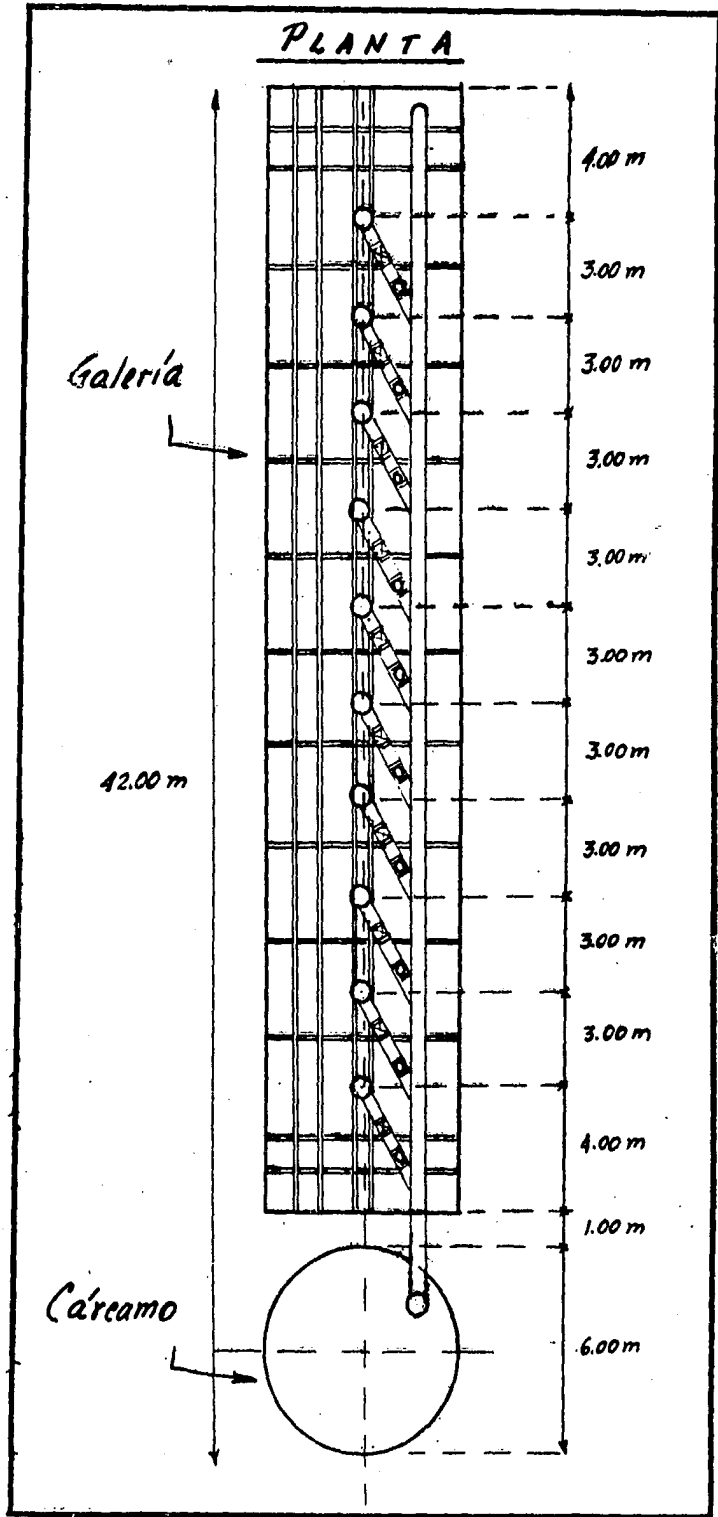
Los cortes transversal y de perfil de la galería de bombeo y del tanque se muestran en las siguientes figuras:

CORTE TRANSVERSAL





PLANTA



Ya que el material por excavar la zona en que quedarán alojados la galería y el tanque, es rocoso (andesita basáltica), el procedimiento de construcción que se debe utilizar es el llamado "excavación en roca".

El procedimiento anterior se efectúa por medio de ciclos dividiendo cada uno de ellos en las siguientes etapas:

1.- BARRENACION

Se utiliza un "jumbo" de perforación con 6 máquinas barrenadoras neumáticas. Cada una de estas máquinas es accionada por un perforista y su ayudante. La velocidad media es de 10m/hr.

La profundidad de barrenación depende del estado del material por excavar. En la zona de excavación de la galería y tanque para la Lumbreira 15, se pueden dar barrenaciones con cueles de 2.40m.

2.- CARGA, CONEXIONES, PRUEBAS Y TRONADA

Los explosivos por usar pueden ser gelatinosos con 60% de potencia, utilizando detonantes eléctricos en varios tiempos. Las pruebas se realizan con un galvanómetro y el disparo se efectúa accionando un interruptor de 30 Amperes con corriente de 220 volts.

3.- VENTILACION

La ventilación de los gases producto de la tronada se pueden efectuar utilizando una derivación de la tubería para ventilar el túnel.

4.- REZAGA

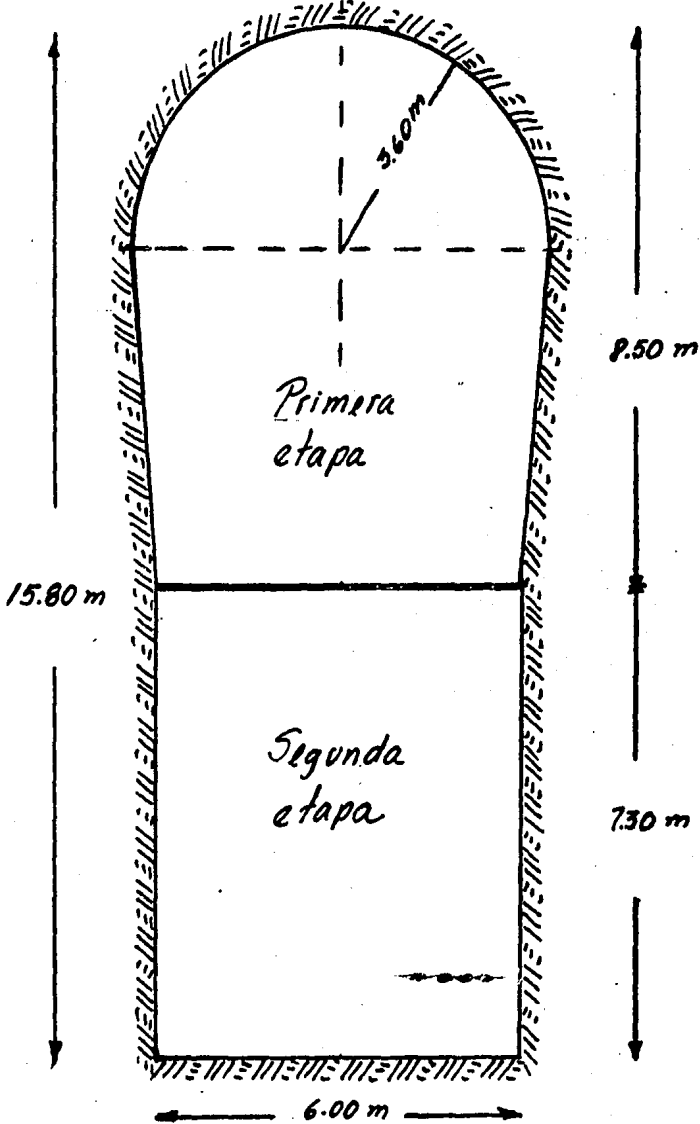
Un rezagador neumático llenando botes de material de la tronada es el equipo indicado para retirar los escombros, puesto que la poca longitud de la galería y tanque no amerita el uso de equipo mayor.

5.- ADELANTE

En el caso de la excavación de la galería, se colocarán marcos metálicos con sección H - 8" con refuerzo de madera a cada 2.00m, mientras que para sostener el terreno adyacente a la excavación del tanque se puede utilizar el procedimiento del "concreto lanzado".

Las cinco etapas anteriores se repiten en cada ciclo hasta terminar la excavación, pudiendo efectuar ésta en dos partes según se muestra a continuación:

ETAPAS EN LA EXCAVACION
DE GALERIA Y TANQUE



POTENCIA NECESARIA PARA EL BOMBEO

El tipo de unidad más conveniente es la bomba vertical de turbina de varios pasos verticales, diseñada con una flecha que fácilmente pueda subir o bajar para permitir el ajuste apropiado de la posición del impulsor en el tazón. Estas bombas se fabrican en dos tipos, de acuerdo a la construcción de los cojinetes del eje y a la columna de descarga: lubricadas por agua y por aceite. Resulta más económico el uso de una bomba lubricada por aceite, ya que su construcción incluye un tubo de acero extra fuerte que protege al eje y a los cojinetes contra corrosión y erosión. Este tubo sirve como conducto al aceite lubricante en todo lo largo del eje.

El tazón de descarga tiene dos orificios y un anillo de desvío. Esto hace que el agua a presión que se desplaza a lo largo del eje, sea expelida y así, eliminar empaquetadura o sellos mecánicos en la superficie.

Como ya se calculó anteriormente, el número de bombas necesarias es de diez. Efectuaremos el cálculo para una de ellas:

$$P = \frac{W \times Q \times H}{N \times 75}$$

en donde:

P = potencia en H. P.

W = peso específico del agua = 1000 kg/m^3

Q = gasto en m^3/seg

H = altura total de descarga en m

N = eficiencia de la bomba

75 = factor de conversión de unidades.

Cálculo de la altura total de descarga.

$$H = H_e + H_f$$

en donde:

H = altura total

H_e = carga estática

H_f = carga debida a la fricción.

La carga estática $H_e = h_1 + h_2 + h_3$

h_1 = altura o desnivel entre el tazón inicial
y final de descarga de la bomba en un pla-
no vertical = 5.00m

h_2 = longitud del tubo que acopla la bomba
con el cabezal de descarga = 3.00m

n_3 = profundidad de la lumbrera = 220.00m

$$H_e = 5 + 3 + 220 = \underline{228m}$$

Carga por fricción.- Se toma en cuenta la fricción interna causada por el frotamiento de las partículas del fluido y la fricción externa causada por las partículas del fluido contra las paredes del tubo.

La fórmula empírica de William Hazen incluye los dos tipos de fricción anteriores:

$$H_f = 82.7 (Q/C)^{1.852} (L/d)^{4.87} L$$

en donde:

H_f = pérdidas por fricción

Q = gasto en lt/min

C = coeficiente de lisura del acero = 130

d = diámetro interior de la tubería en cm

Supondremos 20" = 50.8 cm, ya que es el tamaño de tubería existente en el tramo.

L = longitud de la tubería en m, en la que debe incluirse la longitud equivalente de tubería por cargas de fricción, en accesorios.

$$L = l_1 + l_2$$

$$l_1 = 258m$$

Para l_2 :

		Longitud equivalente
1 válvula de compuerta	8" ϕ	1.37 m
1 válvula check	8" ϕ	16.60 m
5 válvulas check	20" ϕ	204.35 m
2 codos de 45°	20" ϕ	14.02 m
1 codo de 90°	20" ϕ	10.37 m
	T o t a l	<u>246.61 m</u>

Por lo tanto,

$$L = 258 \text{ m} + 246.61 \text{ m} = 504.61 \text{ m}$$

Sustituyendo en la fórmula de William Hazen:

$$W_f = 82.7 \left(\frac{500 \times 60}{130} \right)^{1.852} \times \left(\frac{1}{50.80} \right)^{4.87} \times 504.61$$

$$W_f = 82.7 (230)^{1.852} \times (0.0172)^{4.87} \times 504.61$$

$$H_f = 82.7 \times 23700 \times 25.1 \times 10^{-10} \times 504.61$$

$$H_f = 8.27 \times 2.37 \times 2.51 \times 5.0461 \times 10^{-8} \times 10^{-10}$$

$$H_f = 248 \times 10^{-2} = \underline{2.48 \text{ m}}$$

De donde la altura total de descarga:

$$H = H_e + H_f$$

$$H = 228 \text{ m} + 2.48 \text{ m} = \underline{230.48 \text{ m}}$$

Para hallar la eficiencia de la bomba, determinaremos el número de pasos que depende de la velocidad de rotación del motor que acciona la bomba (motor eléctrico), así como también la relación entre el gasto y la altura de descarga contra la cual debe trabajar la bomba. En estas condiciones de altura por paso, puede fijarse siempre que la velocidad específica no sea menor de 80 r.p.m.

Los impulsores pueden ser de dos tipos: cerrados o semi-abiertos siendo preferible el uso de los impulsores cerrados de bronce y tazones de hierro con sus pasos de agua porcelanizados.

De la siguiente fórmula, hallaremos el número de impulsores:

$$N_s = 0.0149 N \times \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

en donde:

N_s = velocidad específica del impulsor (varía entre 80 y 450 r.p.m. para bombas tipo turbina verticales en sistema métrico), supondremos 190 r.p.m.

N = 1460 rpm (velocidad de rotación del motor a 50 ciclos/seg)

H = altura por paso que debe vencer el impulsor en m.

Q = gasto en lt/min

$$H^{3/4} = \frac{0.0149 \cdot N \times Q^{1/2}}{N_s}$$

$$H^{3/4} = \frac{0.0149 \times 1460 \times (50 \times 60)^{1/2}}{190}$$

$$H = 11.5 \text{ m/paso}$$

$$\text{No. de pasos o impulsores} = \frac{\text{altura total}}{\text{altura / paso}}$$

$$\text{No. de pasos} = \frac{230.48}{11.5} = 20.1 = 21$$

Con el gasto y altura por paso, según catálogo de la Johnston Pump Company encontramos una

Bomba marca Johnston

Modelo 12 CC - 21

Diámetro del impulsor = 8"

Eficiencia = 83%

Una vez obtenidos los datos anteriores entramos a:

$$P = \frac{W \times Q \times H}{N \times 75}$$

$$W = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 50 \text{ lt/seg} = 0.050 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H = 230.48 \text{ m}$$

$$N = 83\%$$

Sustituyendo:

$$P = \frac{1000 \times 0.050 \times 230.48}{0.83 \times 75} = 186 \text{ H.P.}$$

Ajustando al motor de caballaje inmediato superior obtenemos uno de 200 H.P.

Por lo tanto, tendremos 10 bombas en paralelo de 200 H.P. con motores con conexiones para 440 volts trifásicos y frecuencia de trabajo de 50 ciclos/seg.

Con este sistema de bombeo incluyendo el tanque y la galería, se da una solución al problema del control de los escurrimientos debidos a las filtraciones de aguas freáticas en el tramo de túnel, correspondiente a la Lumbrera No. 15 del Emisor Central de la Ciudad de México.

C A P I T U L O II

DERRUMBES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS LUMBRERAS 14 y 17

El método de excavación del túnel para el Emisor Central en el tramo comprendido entre las lumbreras 14 y 17, es el llamado excavación en roca practicándose las siguientes operaciones:

- 1.- Barrenación
- 2.- Carga, conexiones, pruebas y tronada
- 3.- Ventilación
- 4.- Rezaga y manteo
- 5.- Ademe

Los conceptos anteriores comprenden un ciclo completo.

El sistema seleccionado para la excavación es el de ataque a sección completa después de haber seleccionado los siguientes factores:

- a) Area de la sección,
- b) Equipo disponible y
- c) Condición del material por excavar.

Las operaciones practicadas en la excavación, frecuentemente tienen que ser suspendidas debido a que el tipo de material existente en la zona (andesita bastante fracturada), produce derrumbes difíciles de preveer y que obli-

gan a consolidar el frente de trabajo por medio de inyecciones ú otros métodos y posteriormente a elegir el procedimiento de construcción más adecuado después de haber efectuado la consolidación.

Como un ejemplo tipo de lo anterior citaremos el derrumbe ocurrido en el frente aguas arriba del túnel de la Lumbera No. 17 y con cadenamiento 40 + 449.34.

El desprendimiento del material se originó en la parte de la clave del túnel obligando la suspensión temporal de toda clase de trabajo. Este caído se puede considerar puramente accidental ya que en el momento de efectuar la detonación de los explosivos, el ademe metálico y de madera se encontraba pegado al frente.

Unos metros atrás, se percibía material andesítico de muy baja resistencia por lo que en esta última tronada antes del caído, se efectuó la barrenación a una profundidad de 1.00 m y el consumo de explosivos fue de 0.750 kg/m³.

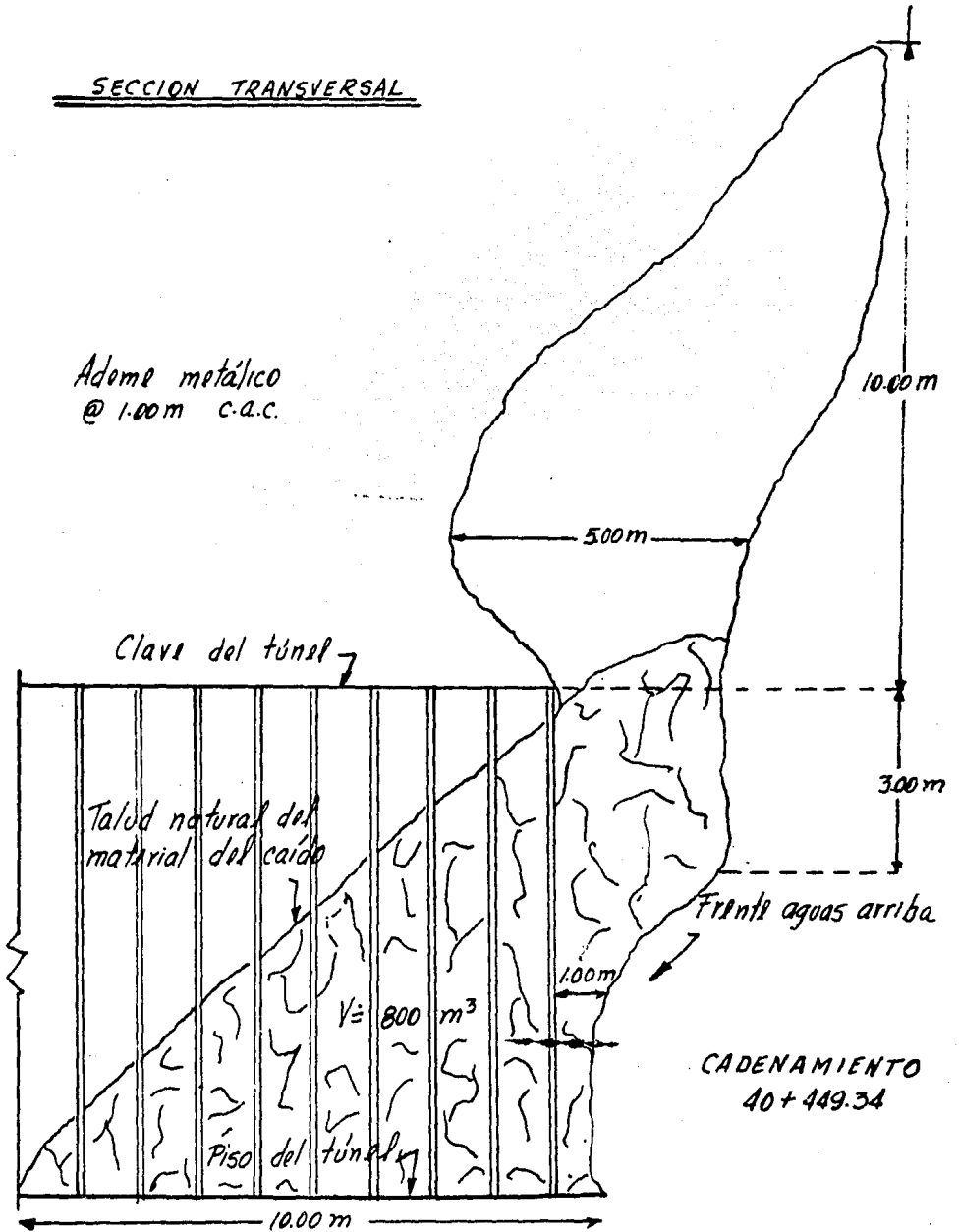
Se puede atribuir la baja resistencia del terreno en ese lugar a que la zona se encontraba situada bajo una falla natural causada por el escurrimiento de un río.

Al formar el material suelto su talud natural, el caído se estabilizó y taponó la boca de salida, con lo cual la zona quedó exenta de acreación y con ello el desprendimiento se detuvo, producto del abundamiento de la roca.

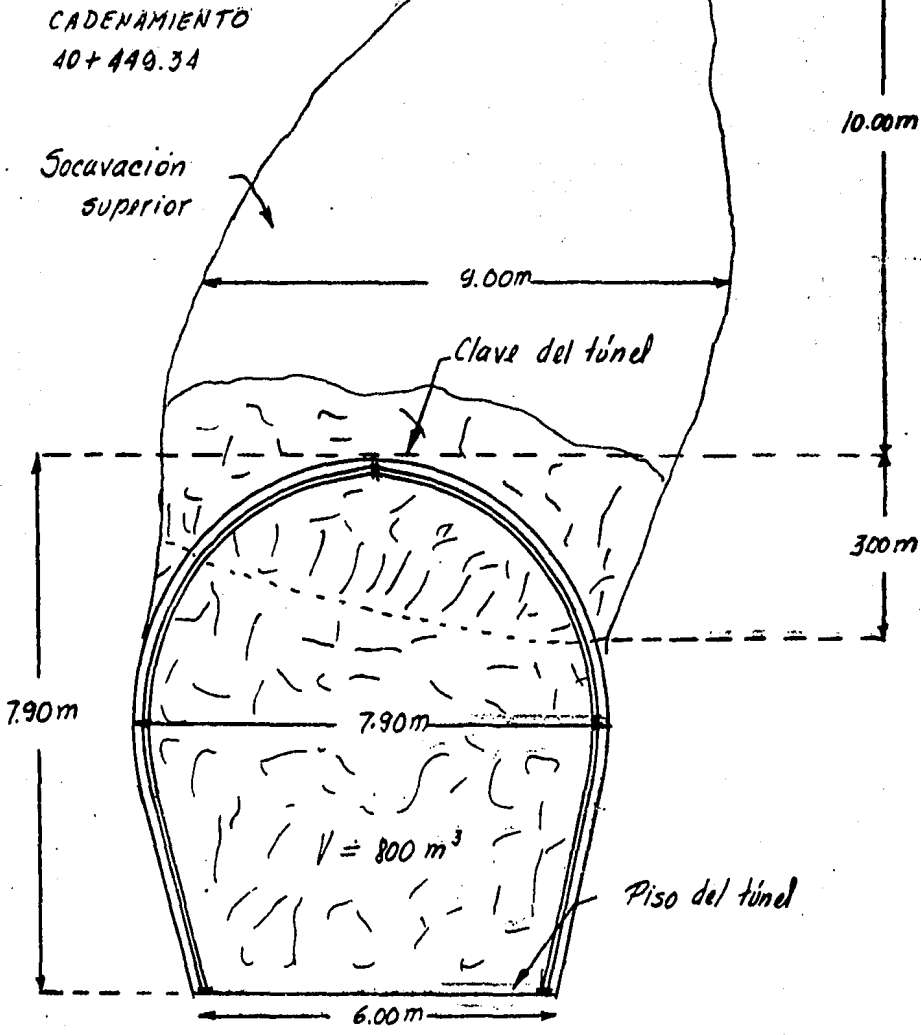
El volumen del material del caído alcanzó los 800 m³ y la socavación superior fue de 10 m aproximadamente. Las siguientes figuras ilustran el estado de la zona después de efectuado el derrumbe.

SECCION TRANSVERSAL

Adome metálico
@ 1.00 m c.a.c.



FRENTE AGUAS ARRIBA



SECCION EN CORTE

Para poder continuar la excavación era necesario consolidar el frente de trabajo por medio de inyecciones de lechada y para éllo el paso del caído exigía un procedimiento de construcción apropiado que consistió en los siguientes pasos:

- 1o. Colado de zapatas corridas a los lados del túnel con un peralte de 1.20 m y espesor de 1.00 m. Estas zapatas abarcaron 20 marcos metálicos atrás del derrumbe y su objeto era el de evitar que los marcos tendieran a cerrarse.
- 2o. Se encadenaron los 20 marcos por medio de viguetas canales de 6" pesadas para así poder obtener un comportamiento estructural uniforme.
- 3o. Se llevó un control de nivelación de los marcos antes y después del encadenado tomando lecturas cada 3 horas con el fin de conocer la magnitud de sus asentamientos producto de las cargas superiores.
- 4o. La zona de marcos encadenados fué forrada con madera para evitar posibles desprendimientos del material atrás del derrumbe.
- 5o. Para obtener un troquelamiento horizontal que soportara los empujes laterales se colocaron 3 viguetas tipo "H" de 8" pesadas perpendiculares al eje del túnel. Estas viguetas se situaron 4 marcos atrás del último marco colocado.
- 6o. Se procedió a hincar canales de 6" pesadas en la zona de la clave y bóveda para así poder soportar y detener estructuralmente el caído. El hincado de estos elementos se hizo llegar hasta el terreno firme con la ayuda de un martinete. La posición de las viguetas canales es como sigue a continuación:

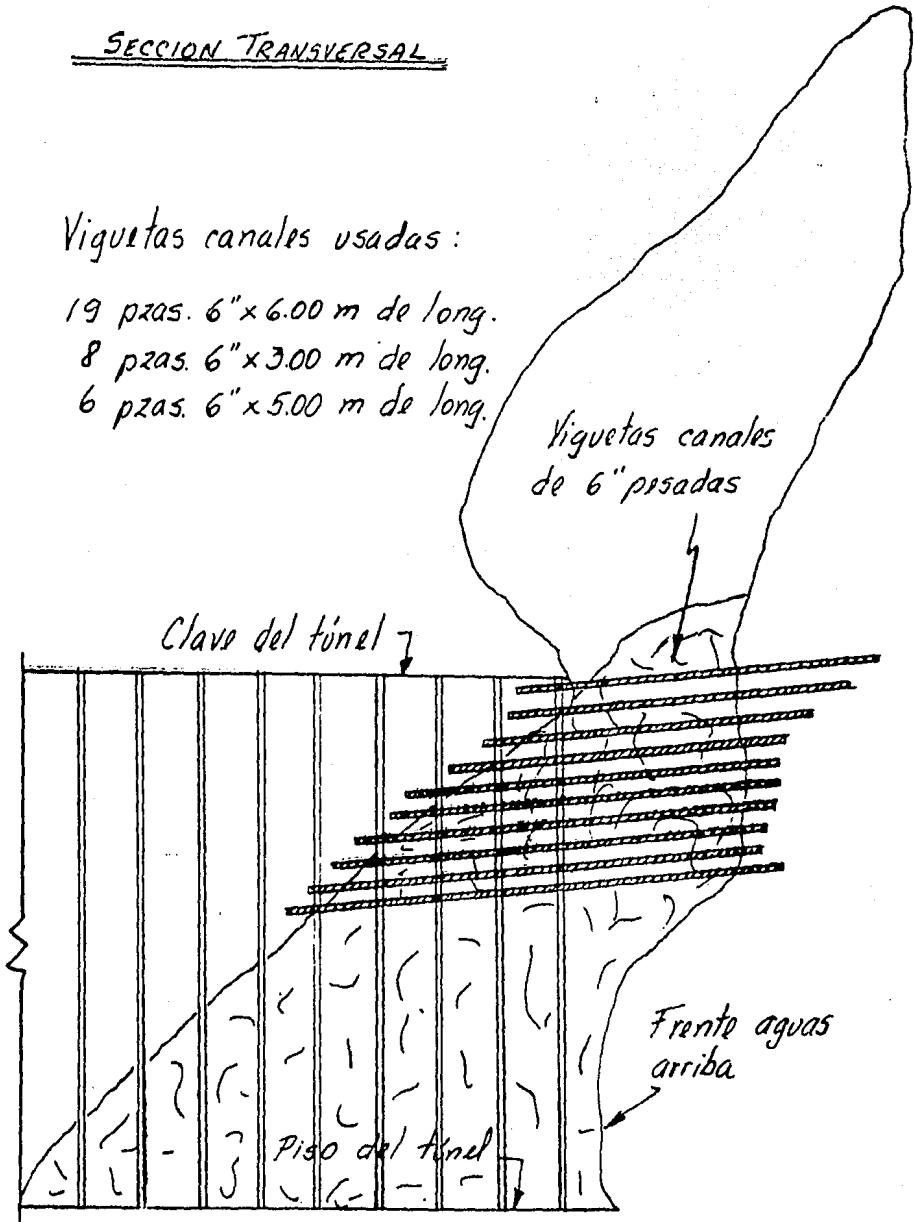
SECCION TRANSVERSAL

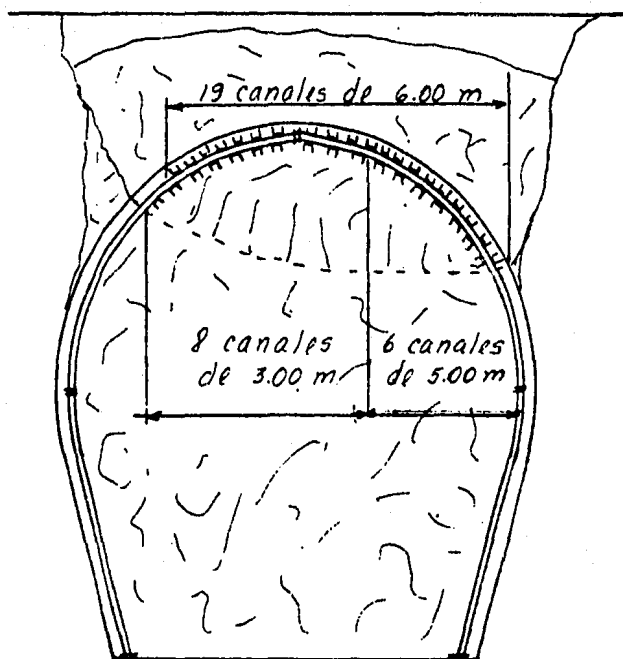
Viguetas canales usadas:

19 pzas. 6" x 6.00 m de long.

8 pzas. 6" x 3.00 m de long.

6 pzas. 6" x 5.00 m de long.



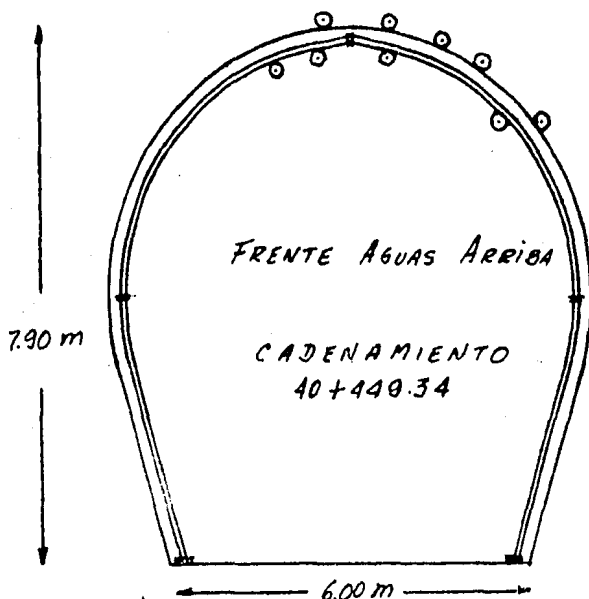


SECCION EN CORTE

70. Con el fin de observar el comportamiento del estado se procedió a efectuar el escombrado de una parte de la rezaga. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios en cuanto toca a la función de las canales de detener el caído.

Una vez realizados los pasos anteriores fué necesario planear la inyección de la lechada para consolidar el frente. Esta inyección tenía por objeto solidificar y reforzar la formación andesítica para aumentar su capacidad de carga, así como reducir el flujo de agua que se filtraba por entre los intersticios que se tenían en la roca alterada.

Los materiales empleados en la inyección incluyen cemento, agua y aditivo ya que este tipo de lechada da una resistencia mucho mayor sobre todos los demás tipos de lechadas usadas generalmente. La relación agua-cemento fue de 1:1 y el aditivo (cloruro de calcio) al 1% del peso del cemento. El trazo de perforación para los barrenos de inyección fue como se ilustra en la siguiente figura:



La profundidad de barrenación de los agujeros para el hincado de boquillas fue de 6.20 m con un diámetro de $2\frac{1}{4}''=57.10$ mm.

La posición de los barrenos en el trazo de perforación se debió al lugar geométrico de la socavación producida por el derrumbe.

PRESION DEL LECHADEO.- Para obtener fines de economía y efectividad se utilizó la presión más alta dentro de los límites de seguridad.

Tomando el peso de la formación rocosa = 2200 kg/m³, la presión unitaria por cada metro de profundidad será de 2200 kg/m² = 2.2 kg/cm². y ya que la profundidad de los barrenos fué de 6.20 m, la presión máxima de inyección debió ser de 2.2 x 6.20 = 13.69 kg/cm².

Sin embargo, al realizarse el lechado, éste se efectuó con presiones de 4 kg/cm² a 10 kg/cm² juzgándose como suficiente dicha presión.

La inyección se comenzó con una revoltura de lechada delgada (1:1), espesando después cada revoltura subsiguiente y reduciendo la relación agua - cemento hasta llegar a la relación citada de 2:1 (cemento - agua) que determinó el máximo espesor practicable.

La bomba usada para la inyección fué una neumática del tipo duplex de doble acción, construída de tal manera que se podía variar el número de carreras por minuto y la presión de la lechada regulando la cantidad de aire comprimido que se le suministraba a la bomba.

El equipo completo de inyección incluyó:

- a) Un compresor eléctrico estacionario Chicago Pneumatic de 600 ft³/min.
- b) Una mezcladora de lechada.
- c) Un tanque almacenador del tipo agitador.
- d) La bomba de lechada.
- e) Manguera para descargar lechada, válvulas y manómetros.

REGISTRO DE BARRENACION PARA LA INYECCION DEL FRENTE

Barreno No.	Long.Barre- nación (m)	Tiempo (hrs)	Hincado Boqui- llas 2"Ø (m)	Tiempo (hrs)
1	6.20	2.16	6.00	1.83
2	6.20	1.66	6.00	2.16
3	6.20	2.16	6.00	2.25
4	6.20	1.33	6.00	2.16
5	6.20	1.92	6.00	2.00
6	6.20	2.08	6.00	2.16
7	6.20	1.75	6.00	2.25
8	6.20	1.66	6.00	2.25
9	6.20	1.83	6.00	2.16
10	6.20	2.16	6.00	2.16

La barrenación se efectuó con una máquina perforadora obteniéndose una velocidad media de perforación de $62\text{m}/18.75 \text{ hr} = 3.30 \text{ m/hr}$.

Ya que la formación andesítica era de consistencia blanda, el hincado de las boquillas se realizó por medio de golpes. El siguiente paso al hincado fué el sopleteo de los tubos por aire comprimido.

Velocidad media de hincado de tubería para la inyección: $60\text{m}/21.41 \text{ hr} = 2.86 \text{ m/hr}$.

La inyección del lechadeo se efectuó en cinco etapas tal como se indica a continuación:

REGISTRO DE LA PRIMERA ETAPA DE INYECCION

Boquilla No.	Barreno 2 1/4"φ	Cemento en kg	Tiempo en hrs	Observaciones
1	6.00	4250	5.50	Cambio a boquilla 5
5	6.00	—	0.33	Cambio a boquilla 4 al no tomar inyección
4	6.00	—	0.33	Cambio a boquilla 1 al no tomar inyección
1	6.00	1950	2.33	Suspendida por fuga de la lechada.

La inyección fué suspendida para sopleteo de los barrenos 2, 3, 4 y 5.

REGISTRO DE LA SEGUNDA ETAPA DE INYECCION

Boquilla No.	Barreno 2 1/4"φ	Cemento en kg	Tiempo en hrs	Observaciones
5	6.00	700	1.66	Cambio a boquilla 2 por fuga de lechada en el talud izquierdo
2	6.00	1400	2.66	Cambio a boquilla 1 por fuga de lechada en la clave
1	6.00	—	0.16	Cambio a boquilla 4 por no tomar inyección
4	6.00	500	1.00	Cambio a boquilla 3 por fuga de lechada en el talud izquierdo
3	6.00	4800	8.00	Suspendida por fuga de lechada en el talud izquierdo.

REGISTRO DE LA TERCERA ETAPA DE INYECCION

Boquilla No.	Barreno 2 1/4"Ø	Cemento en kg	Tiempo en hrs	Observaciones
6	6.00	5200	7.50	Cambio a boquilla 10
10	6.00	800	1.50	Cambio a boquilla 7 por fuga de lechada en el talud
7	6.00	1200	3.00	Cambio a boquilla 9 por fuga de lechada en el talud
9	6.00	900	2.00	Suspendida por fuga de lechada

REGISTRO DE LA CUARTA ETAPA DE INYECCION

Boquilla No.	Barreno 2 1/4"Ø	Cemento en kg	Tiempo en hrs	Observaciones
8	6.00	3400	5.00	Cambio a boquilla 7 por fuga de lechada en el talud y clave
7	6.00	—	0.50	Cambio a boquilla 9 por no tomar inyección
9	6.00	300	0.83	Suspendida por fuga de lechada

Calafateo de fisuras por donde se observó las fugas de la lechada.

REGISTRO DE LA QUINTA ETAPA DE INYECCION

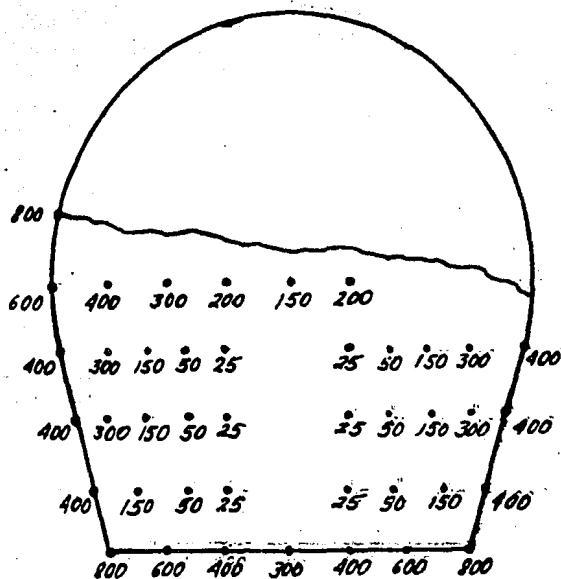
Boquilla No.	Barreno 2 $\frac{1}{2}$ " ϕ	Cemento en kg	Tiempo en hrs	Observaciones
7	6.00	1800	3.50	Cambio a boquilla 9 por fugas en el talud
9	6.00	2100	4.00	Cambio a boquilla 8 por fuga en el talud y en boquilla 10
8	6.00	2700	4.50	Suspendida por fuga de lechada en talud y clave.

Una vez efectuada la consolidación del frente por medio de las inyecciones de lechada anteriores se procedió a escombrar la rezaga del derrumbe y conforme ésta fuera bajando, el frente se fué apuntalando para evitar posibles deslizamientos horizontales.

El siguiente paso consistió en colocar marcos metálicos uno a continuación de otro, en total 5 de ellos.

Siguiendo a estos 4 marcos se colocaron a cada 50 cm de separación uno del otro. La excavación para dar lugar a estos marcos se hizo con martillo rompedor.

Una vez soportada la zona del derrumbe, se procedió a excavar banqueando la parte inferior del frente para obtener un plano vertical. El diagrama de barrenación usado se ilustra con la siguiente figura. Los números nos indican el número de milésimas de segundo de retardo de cada cápsula detonante en cada uno de los barrenos:



DATOS GENERALES DEL BANQUEO

Profundidad de barrenación: 0.80 m

Número de barrenos: 44

Longitud total de barrenación: $44 \times 0.80 = 35.20$ m

Area de la sección barrenada: 30.84 m²

Producción en banco: $30.84 \times 0.80 = 24.692$ m³

Peso de los explosivos utilizados: 7.55 kg

Consumo: $7.55 \text{ kg} / 24.692 \text{ m}^3 = 0.306 \text{ kg/m}^3$

Como se puede apreciar, el consumo de los explosivos usados fué bajo. Sin embargo la resistencia del terreno era tan pequeña que después de la detonación se vino

un segundo derrumbe el cual dió un volumen de material de 337 m³.

Después de rezagar una parte del material del segundo derrumbe se procedió a soportar la clave con canales de 6" y de nuevo se inyectó el frente con lechada de cemento.

El siguiente paso consistió en revestir con concreto toda la sección del túnel 27.27 m atrás del caído comprendiendo desde el cadenamamiento 40 + 448.14 al 40 + 475.41. Este revestimiento se efectuó por etapas considerándose como primera, la del concreto colocado para las zapatas corridas ya citadas anteriormente.

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO USADO PARA REVESTIR.

f'c = 210 kg/cm²

Agregado máximo = 1 1/4"

Cemento tipo I Normal

Aditivo "Dispercon" a 1% del peso del cemento

Proporcionamiento en peso:

cemento: arena: grava;

1: 2.74: 3.34

Relación agua-cemento: 0.60

El revestimiento del concreto se llevó a cabo con un cañón Plazy y con un rendimiento de 25 m³/hr.

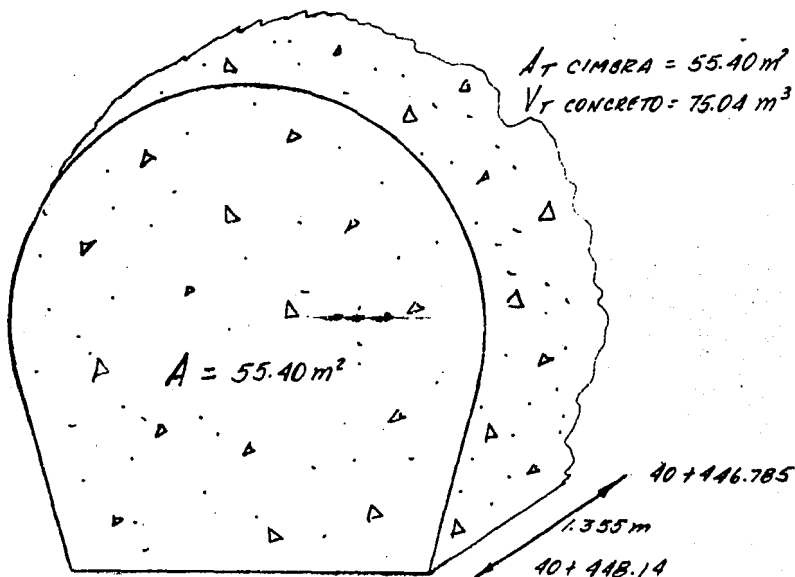
El cimbrado para el colado se hizo por medio de tableros de madera de 1.20 m de altura y 2.40m de largo.

La siguiente figura nos indica el orden de las etapas:

AREAS DE CIMBRA Y VOLUMENES DE CONCRETO POR ETAPAS

ETAPAS	CIMBRA (m ²)		CONCRETO (m ³)	
	Lado Izq.	Lado Der.	Lado Izq.	Lado Der.
2a.	37.82	37.82	16.85	19.72
3a.	36.24	39.40	19.89	21.50
4a.	36.00	39.64	19.66	20.89
5a.	40.22	35.42	27.62	24.93
6a.	37.22	38.62	26.45	28.96
7a.	32.35	32.35	22.93	22.93
8a.	31.50	33.20	22.94	22.94

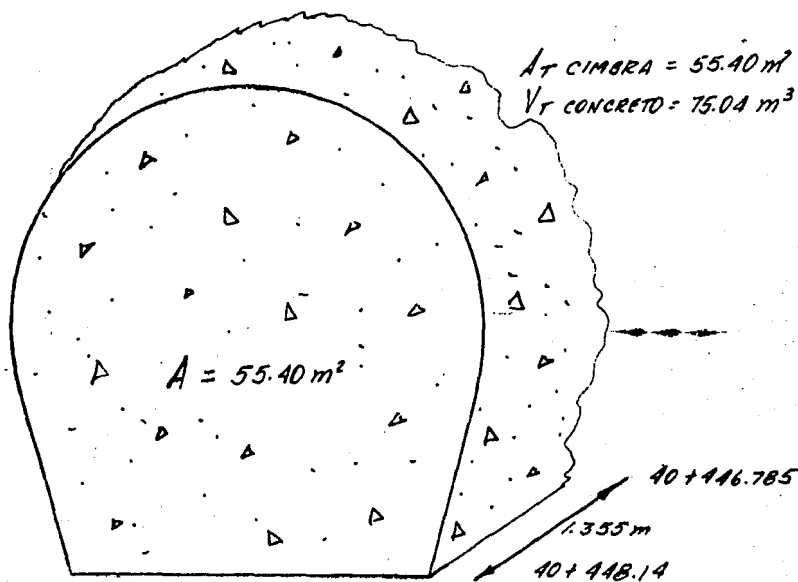
Después de efectuado el revestimiento anteriormente mencionado, se coló una pantalla de concreto cuya área fué la de toda la sección del túnel y con un espesor promedio de 1.355 m quedando como se indica en la siguiente figura:



AREAS DE CIMBRA Y VOLUMENES DE CONCRETO POR ETAPAS

ETAPAS	CIMBRA (m ²)		CONCRETO (m ³)	
	Lado Izq.	Lado Der.	Lado Izq.	Lado Der.
2a.	37.82	37.82	16.85	19.72
3a.	36.24	39.40	19.89	21.50
4a.	36.00	39.64	19.66	20.89
5a.	40.22	35.42	27.62	24.93
6a.	37.22	38.62	26.45	28.96
7a.	32.35	32.35	22.93	22.93
8a.	31.50	33.20	22.94	22.94

Después de efectuado el revestimiento anteriormente mencionado, se coló una pantalla de concreto cuya área fué la de toda la sección del túnel y con un espesor promedio de 1.355 m quedando como se indica en la siguiente figura:



Fué necesario efectuar entonces algunos barrenos de exploración y así seguir un procedimiento de construcción adecuado al terreno por excavar.

Se hicieron 3 barrenos de exploración usando una máquina Joy 12B para taladros de diamante.

El taladro consiste de una broca de diamante, unida a un tubo para corazones, sobre un tubo de hincado, y en una cabeza giratoria para suministrar el par de impulsos. Para sacar los detritos se bombea agua a través del tubo de hincado. La presión sobre la broca se regula por medio de un tornillo.

Los barrenos se hicieron en NX ($2\frac{1}{2}$ " ϕ) con recuperación de muestra.

Las características de los barrenos fueron las siguientes:

BARRENO DE EXPLORACION	PROFUNDIDAD DEL BARRENO	PROFUNDIDAD DEL ADEME
No. 1	3" ϕ 24.80m	2" ϕ 23.00m
No. 2	3" ϕ 25.00m	2" ϕ 22.00m
No. 3	3" ϕ 10.00m	2" ϕ 9.00m

Los resultados obtenidos de la exploración fueron:

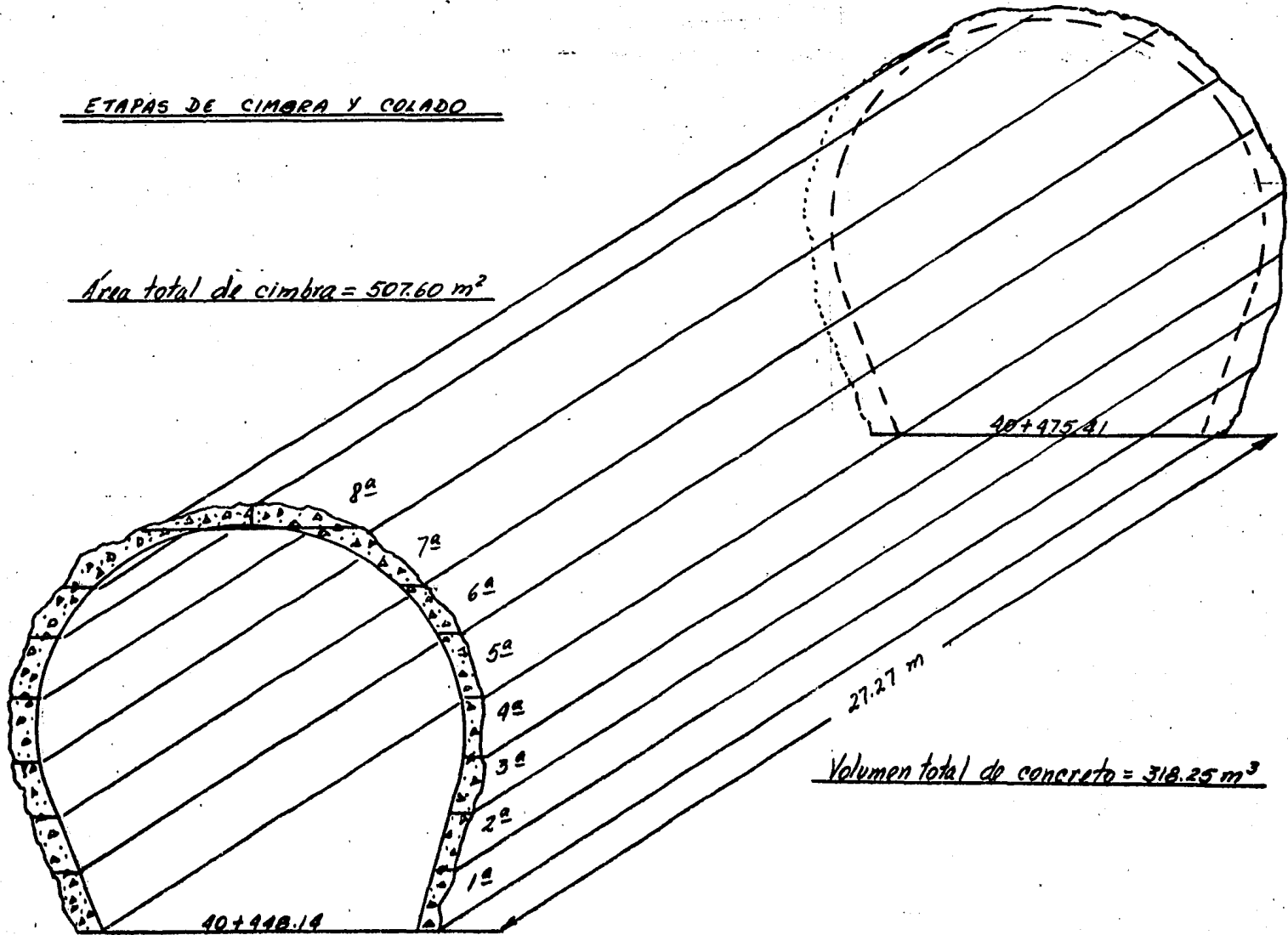
7m adelante del frente, material con las mismas características del desprendido con el derrumbe.

Después de los 7m y hasta los 25m, se encontró roca basáltica y andesítica de consistencia dura.

Con estos datos se decidió inyectar de nuevo el frente con lechada.

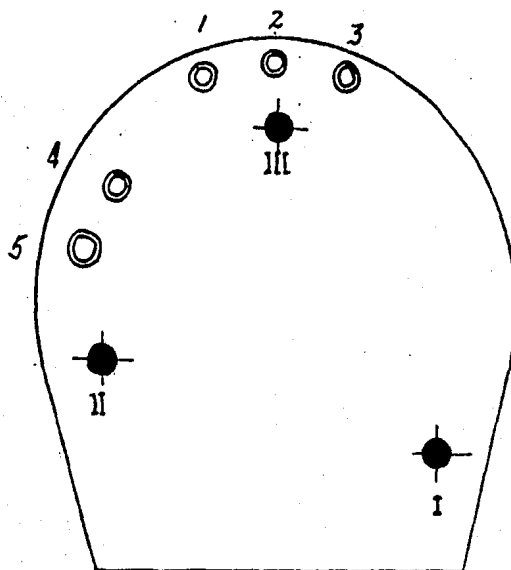
ETAPAS DE CIMBRA Y COLADO

Área total de cimbra = 507.60 m²



Volumen total de concreto = 318.25 m³

La figura nos muestra tanto los barrenos de exploración como los barrenos de inyección:



⊙ Barrenos de inyección

⊕ Barrenos de exploración

Las características de la lechada usada para la inyección, fueron las mismas que las que se usaron para inyectar el frente después del hincado de las canales 6" pesadas en la zona del derrumbe.

REGISTRO DE LA INYECCION

BOQUILLA No.	BARRENO 2 "Ø	CEMENTO EN KG	TIEMPO EN HRS
1	6.00	30750	29
2	6.00	21950	21
3	6.00	3650	3.50
4	6.00	4950	5.00
5	6.00	1200	1.00

Efectuada la inyección en el frente, se procedió a atacar la pantalla de concreto con martillos rompedores, pero solamente la media sección superior.

Al ir avanzando, se colocaron las piezas curvas que constituyen la media sección superior de los marcos metálicos. Estas piezas se apoyaron sobre viguetas H - 8" pesadas y la separación fué de 50 cm. En total fueron 12 curvas para cubrir 6m del material de baja consistencia encontrado en la exploración.

A continuación se hizo un revestimiento de concreto en la bóveda utilizando el mismo equipo usado para la colocación de concreto en la zona del derrumbe.

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO PARA EL REVESTIMIENTO

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Cemento tipo I Normal

Aditivo "Dispercon" a 1% del peso del cemento

Proporcionamiento en peso:

cemento: arena: grava

1: 2.74: 3.34

Relación agua - cemento = 0.60

El cimbrado para el colado se hizo con tableros de madera de 1.20 m de altura y 2.40 m de largo. Las etapas para colar fueron 4 y en el siguiente registro se indican áreas y volúmenes.

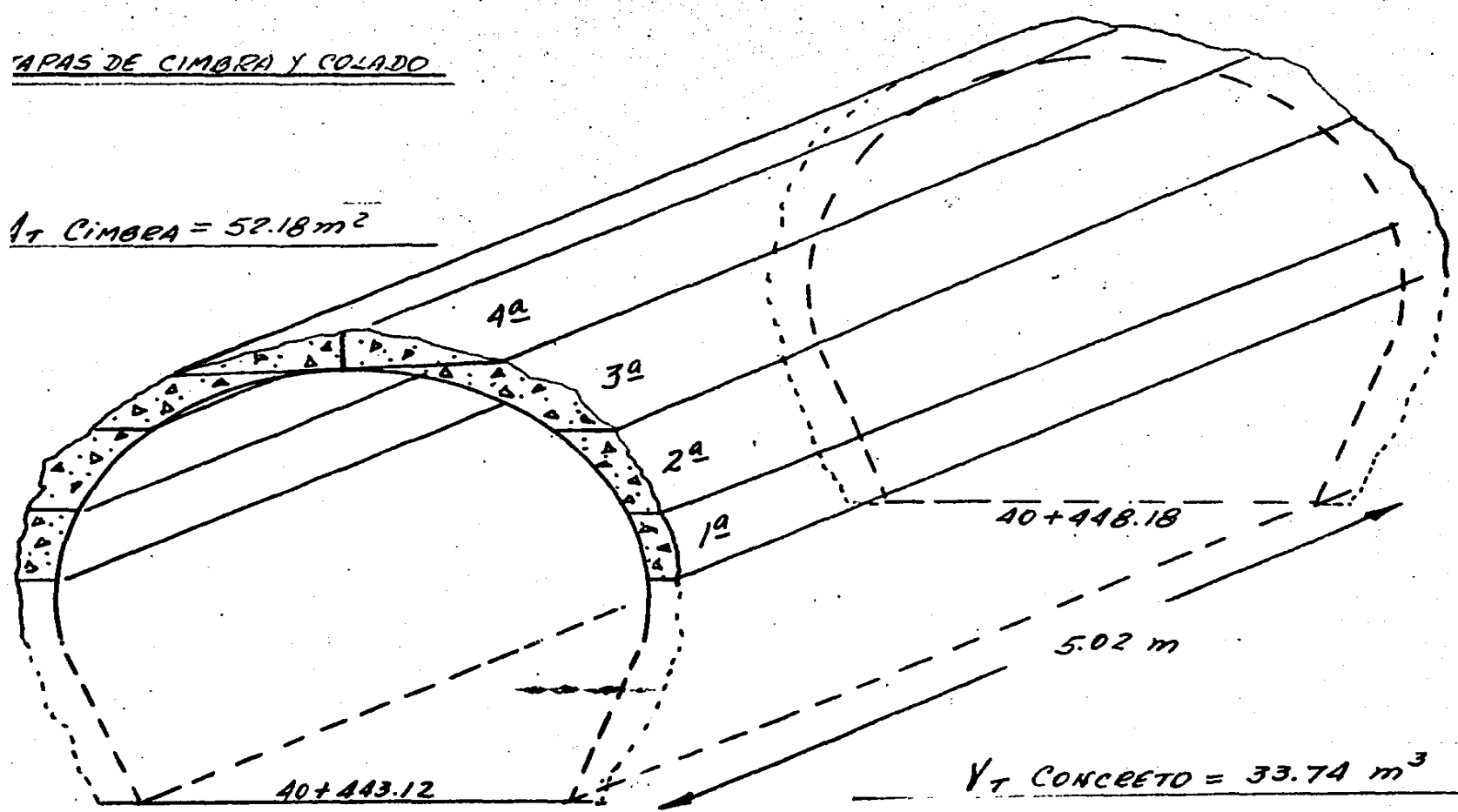
AREAS DE CIMBRA Y VOLUMENES DE CONCRETO POR ETAPAS

ETAPAS	CIMBRA (m ²)		CONCRETO (m ³)	
	LADO IZQ.	LADO DER.	LADO IZQ.	LADO DER.
1a.	6.02	6.02	4.22	4.22
2a.	6.02	6.02	3.61	4.21
3a.	6.02	6.02	3.62	4.22
4a.	8.03	8.03	4.82	4.82

La siguiente figura nos indica el orden de las etapas:

TAPAS DE CIMBRA Y COLADO

$V_T \text{ CIMBRA} = 52.18 \text{ m}^2$



$V_T \text{ CONCRETO} = 33.74 \text{ m}^3$

Colada la bóveda, se "banqueó" la media sección inferior por secciones a cada 50 cm para ir colocando los postes que completarían cada marco.

De esta forma se pudo cruzar toda la zona de material derrumbable comprendida entre los cadenamientos 40+ 475.41 y 40 + 443.12.

C O N C L U S I O N E S .

Después de las experiencias obtenidas en el paso de caídos, y tomando en cuenta que el material de derrumbe debido a fallas se encuentra en diversidad de zonas del tramo de túnel comprendido entre las Lumberras 14 y 17, se hace necesario seguir una secuela para la excavación llegando así a dar origen a un procedimiento provisional teniendo como base, barrenaciones de exploración.

1.- Se efectúan barrenos de exploración con profundidades mínimas de 20m. Conviene hacer un mínimo de 3 perforaciones repartidas, una cerca de la clave del túnel y las otras dos a la altura de la media sección de la cara y cerca del perímetro.

En caso de obtener muestras de material de consistencia dura, se procede a excavar con el método tradicional de perforación en roca.

Si los resultados de la exploración muestran un terreno de roca muy desquebrajada o fallas, el método de ataque más conveniente es el de excavación a media sección.

- 2.- Se efectúan barrenaciones a 1m de profundidad, teniendo cuidado en usar explosivos con un consumo no mayor de 0.750 kg/m³.
- 3.- Antes de efectuar la rezaga del material producido de la tronada se debe inspeccionar la sección, y amacizar. Se deben tener preparadas estacas de canal 6" pesadas, que en caso de presentar la clave del túnel muestras de un posible caído, hincar dichas estacas con ayuda de un martinete.
- 4.- Después de la rezaga, colocar las curvas metálicas H - 8" pesadas al tope, castigándolas contra el terreno con madera y apoyadas en viguetas H-8".
- 5.- Se reinicia el ciclo y se sigue el procedimiento anterior hasta llegar a los 10m. Entonces ya conviene banquear la media sección inferior del túnel, excavando a cada m y colocando los postes de los marcos coincidiendo con las curvas correspondientes.

De la manera anterior se pueden cruzar zonas de posibles derrumbes. Aunque este procedimiento es lento, se considera el más adecuado para efectuar la excavación, ya que, como lo demuestra el ejemplo citado anteriormente, un derrumbe origina una pérdida considerable de tiempo y seguridad.

C A P I T U L O III

ESTUDIOS DE COSTOS COMPARATIVOS ENTRE EL ADEME POR MAR- COS METALICOS Y LA SOLUCION POR EL PROCEDIMIENTO DE CON- CRETO LANZADO.

La excavación del túnel para el Emisor Central implica la necesidad de ademar el terreno adyacente al túnel, hasta que pueda colarse finalmente el tubo de concreto de 6 m de diámetro que llevará las aguas negras y pluviales de la Ciudad de México. Estos ademes provisionales deben ser lo suficientemente fuertes para resistir las presiones transmitidas a ellos por el terreno. Las presiones son ocasionadas por masas rocosas con fallas, fracturas o abundamiento de material que rodea al túnel, después de haber rezagado el producto de una tronada.

Así, podemos denominar ademado a la operación que consiste en colocar los soportes del túnel para resistir el movimiento del material que lo rodea.

El tipo y extensión del ademado se determina en gran parte a partir de la clase y condición física del material que va a soportar.

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los dos métodos utilizados para ~~sostener~~ el terreno del túnel del Emisor Central, y finalmente efectuaremos un análisis comparativo de costos entre ellos.

ADEME POR MARCOS METALICOS

En los primeros años de la construcción de túneles se utilizó madera para el ademado, siendo sustituido este tipo de ademe por vigas H de acero que pueden fabricarse para formar cualquier sección deseada y producir nervaduras que se ajusten a la forma de la sección de un túnel dado. Estas nervaduras pueden consistir de dos o más secciones que se introducen al túnel, para luego ensamblarlas y atornillarlas a medida que progresa la perforación del mismo.

Las ventajas de las secciones de acero sobre la madera incluyen las siguientes:

- a) Al utilizarse tamaños más pequeños, es posible reducir el tamaño de la excavación del túnel. Esto reduce el costo de excavación y permite una perforación más rápida.
- b) Pueden instalarse más rápida y económicamente que la madera.
- c) Suplementan al acero de refuerzo en la capa de concreto.
- d) Sus dimensiones más pequeñas pueden permitir el uso de capas de concreto más delgadas.

El espaciamiento entre los marcos metálicos puede variar, desde 0.50 m hasta 2.40 m de acuerdo al estado físico del terreno.

Debido a los cambios que se presentan en la condición de la roca del tramo del Emisor Central comprendido entre las Lumberas 14 y 17, se ha encontrado que de-

be modificarse el espaciamento de las nervaduras, vigas H - 8" pesadas, para enfrentarse a las condiciones que existen en cualquier sección dada del túnel. Estos espaciamentos se han adoptado para roca de baja consistencia a 0.50 m, que ha sido poco usual; a 1.00 y a 2.00 m como máximo en roca resistente y sin fracturas.

Para que los marcos metálicos puedan resistir fuerzas ocasionadas por el empuje del terreno y evitar desprendimientos de pedazos de roca al túnel, es necesario instalar alguna clase de tapa llamada retaque, que consiste en piezas de madera que se extienden de costilla a costilla. El espacio entre la tapa y el terreno adyacente se rellena con trozos de madera que se acuñan y que sirven como miembros de transmisión de cargas del terreno a los marcos.

Con frecuencia, una zona de rocas en contacto con la bóveda del túnel se derrumba al tiempo de excavarlo, o en un lapso más o menos largo de tiempo requerido por la pérdida de humedad (bufamiento), o por la gradual fracturación de los estratos sujetos a esfuerzos de flexión y corte hasta obtener su propio equilibrio, el cual depende del espesor de cada losa y su resistencia.

Arriba de esa zona derrumbable, existe otra zona de roca sana en lo tocante a su capacidad para poder trabajar como arco:

El espesor de la zona derrumbable sobre el proyecto de bóveda, nos define la dimensión más importante para calcular la carga que producen los esfuerzos del ademe y revestimiento, o sea el límite de la zona de acción del arco. Esta dimensión está dada por la siguiente fórmula general:

$$H_p = K (B + H_t)$$

en donde:

H_p = Espesor del material derrumbable sobre la bóveda proyecto.

B = Anchura del túnel

H_t = Altura del túnel desde el piso hasta la clave.

K = Coeficiente variable desde 0.3 hasta 1.5

El coeficiente K depende de que la roca se encuentre bien drenada y se excave casi en seco o que el túnel contenga agua freática en grandes volúmenes. También depende del tipo de roca.

Existe también un empuje horizontal que es la componente del peso que gravita sobre los triángulos extremos con talud variable, y se valúa con la siguiente fórmula:

$$P_h = C W (0.5 H_t + H_p)$$

en donde:

P_h = Empuje horizontal

C = 0.3 aproximadamente

W = Peso volumétrico de la roca

H_t = Altura del túnel desde el piso hasta la clave

H_p = Espesor del material derrumbable sobre la bóveda proyecto.

El tipo de roca encontrado en el tramo Lumbrera 14 a Lumbrera 17 es ígnea extrusiva de grano fino (andesita)

con un peso unitario aproximado de 2.8 T/m^3 .

El sistema de soporte del túnel debe ser lo suficientemente resistente para sostener la carga última, por lo que lógicamente debe diseñarse de tal manera que pueda ser considerado como una parte integral del revestimiento definitivo.

Los momentos flexionantes en las secciones curvas de los marcos metálicos, dependen del espaciamiento entre los puntos de contacto con el terreno (puntos de transmisión de carga), los cuales a su vez dependen de las condiciones de la roca.

Estos momentos flexionantes decrecen aumentando el número de puntos de transmisión de carga.

La resistencia de los miembros que forman los marcos metálicos se determina por la carga estimada de la roca y por el espaciamiento.

Ya que las cargas cambian de una zona del túnel a la otra, es más deseable cambiar el peso de los marcos, que cambiar el espaciamiento. Sin embargo, el tener disponible un solo perfil de los miembros obliga a modificar el espaciamiento.

Los postes transmiten las cargas de las curvas al piso del túnel. El espaciamiento entre postes es generalmente el mismo que el de las curvas, aunque en ocasiones, utilizando largueros, puede ser independiente.

Como los postes trabajan como columnas, éstos se fabrican en sección H. Si existen presiones laterales, estos postes deben ser fabricados para trabajar tanto como vigas verticales como columnas.

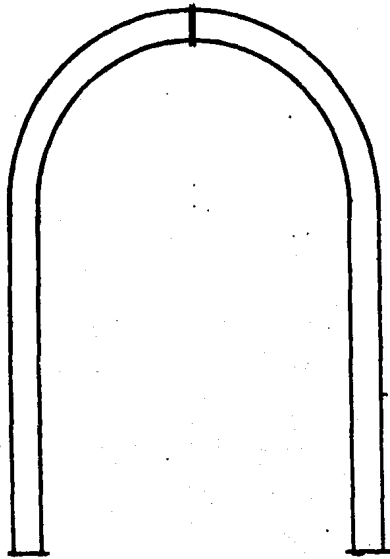
Las formas más usuales en el ademe metálico de un túnel son de los siguientes tipos, dependiendo de los méto-

dos de ataque:

- 1.- Costillas continuas
- 2.- Postes y costillas
- 3.- Costillas y largueros
- 4.- Costillas, largueros y postes
- 5.- Costillas circulares

Estos sistemas de soporte se ilustran a continuación:

COSTILLAS CONTINUAS



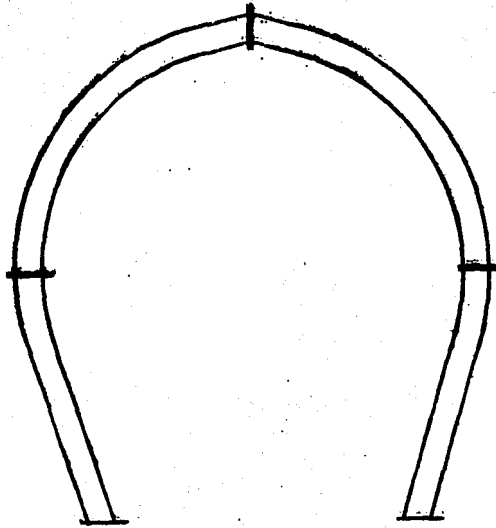
Hechas en dos piezas para mayor rapidez de erección, menor costo y menor costo de erección. Usadas generalmente en los siguientes métodos de ataque:

A toda la sección

Por galerías laterales

Por galerías múltiples

POSTES Y COSTILLAS



Usadas en los siguientes métodos de ataque:

A toda la sección

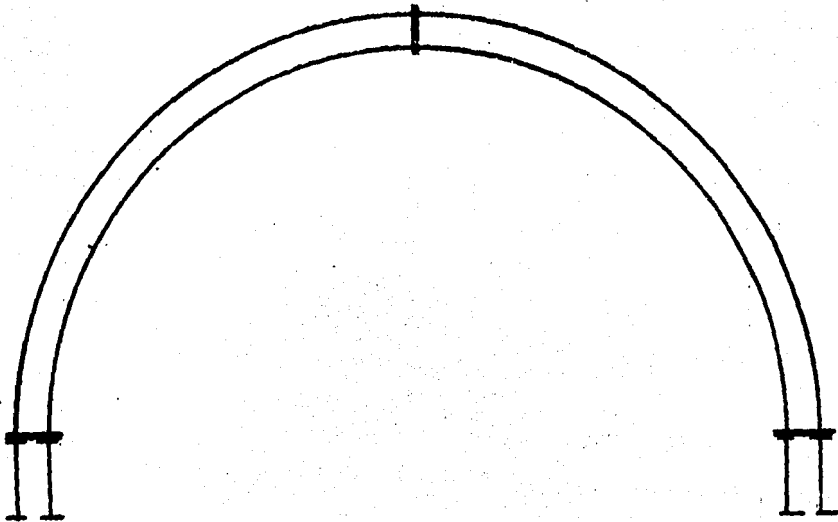
Galerías laterales

Galerías múltiples

A media sección

Galería de avance superior

COSTILLAS Y LARGUEROS



Usualmente compuesta por dos piezas para obtener mayor rapidez de erección y menor costo. Este tipo de ademe metálico se aplica en secciones circulares donde, se necesita un soporte ligero para la clave.

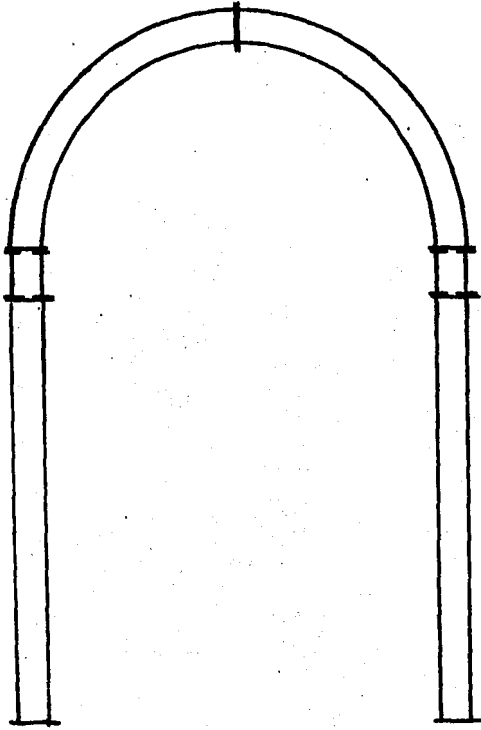
Se usa para los siguientes métodos de ataque:

A media sección

Galería de avance superior

A toda la sección.

COSTILLAS, LARGUEROS Y POSTES



Utilizado en los siguientes métodos de ataque:

A media sección
Galería de avance superior

Para un rápido
sostén de la
clave.

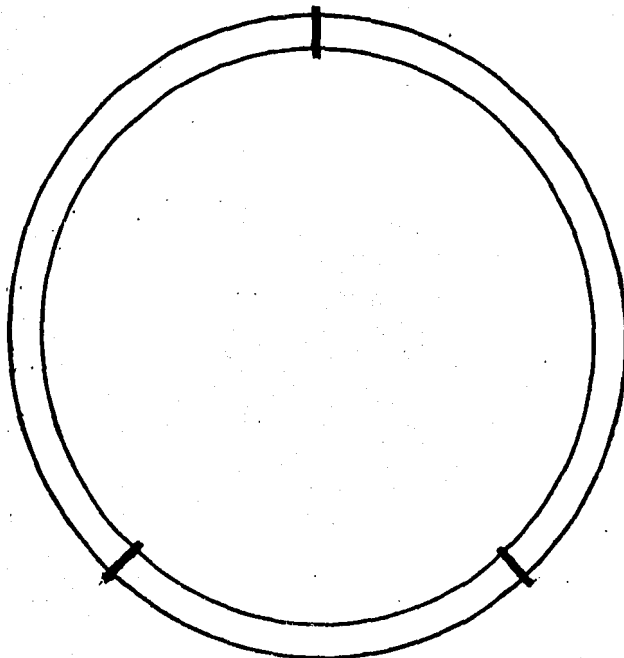
Galerías laterales.-

Para túneles grandes con
roca en malas condiciones.

A toda la sección.-

En terrenos de roca favo-
rable en donde no se nece-
sita el ademe pegado al
frente.

COSTILLAS CIRCULARES



Utilizado en los siguientes métodos de ataque:

A toda la sección.- En túneles de roca fracturada que ejerce presiones laterales considerables.

A media sección.- Túneles en arcilla.

El tipo de ademe metálico para soporte del túnel del Emisor Central es el de postes y costillas compuesto por vigas H - 8".

La colocación de estos marcos se efectúa al terminar la etapa de la rezaga en un tiempo promedio de 2.50 horas, dependiendo este tiempo del tipo de terreno excavado, ya que en rocas de poca estabilidad pueden haber desprendimientos que obliguen a la necesidad de colocar madera de retaque en mayor volumen.

CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado se desarrolló para servir como apoyo del terreno en túneles y subestaciones subterráneas de energía eléctrica en los países alpinos y en Suecia extendiéndose esta técnica en toda Europa, Japón y actualmente al Continente Americano.

Aplicado inmediatamente después de una tronada, proporciona estabilidad en el sostén y un sello en la nueva superficie de la roca. Los esfuerzos de tensión se disminuyen y los esfuerzos de compresión se absorben en el terreno circunvecino. Así, una roca de poca resistencia se transforma en una roca estable.

El concreto lanzado se adhiere eficientemente sobre cualquier forma de superficie rocosa y aplicado hábilmente, puede inclusive soportar terrenos sin cohesión. Su adherencia a superficies cohesivas se atribuye al efecto de amartilleo de las partículas del agregado grueso y a la alta resistencia inicial alcanzada con la ayuda de un acelerante adecuado.

El uso de estos acelerantes permite al concreto lanzado que alcance un fraguado rápido y una muy buena adherencia a superficies húmedas, o inclusive con filtraciones de agua. Una tronada con explosivos gelatinosos puede efectuarse después de una o dos horas de lanzar concreto hasta el frente de barrenación.

El uso del agregado grueso, tantó para concreto convencional como para concreto lanzado en apoyos subterráneos, se inició en la planta hidroeléctrica Kaprum (1953-1954) y continuada en Salzach - Schwarzach (1955-1958) en el Tirol Austríaco. Hasta entonces las máquinas de concre-

to lanzado eran incapaces de manejar agregados mayores de 1/2". Luego se encontró que era necesario un agregado mínimo de 5/8" a 7/8" para construir una capa suficientemente gruesa de concreto lanzado con el fin de satisfacer su condición de apoyo. Primeramente, se utilizó una máquina Aliva BS - 12 para el proyecto Kaprum y posteriormente las máquinas BSM y Torkret. Estas máquinas tenían capacidad para agregados gruesos de 1" a 1 1/4".

Desde entonces, se ha probado que el concreto lanzado con agregados gruesos es un medio de apoyo de alta eficiencia para terrenos de poca estabilidad.

La relación agua-cemento generalmente está en un rango de 0.32 a 0.45 en peso, que es sensiblemente más bajo que en el concreto común.

En general las propiedades físicas del concreto lanzado son comparables a las del concreto común, teniendo ambos la misma composición. La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días es de 210 kg/cm² a 490 kg/cm², obteniéndose en especímenes de prueba hasta 700 kg/cm².

El agrietamiento por contracción en el concreto lanzado depende del proporcionamiento empleado, pero generalmente es del orden de 0.6 a 0.10%, ésto es un poco más alto que el del concreto común, pues en éste se usa un tamaño máximo de agregado mayor y una mezcla más pobre.

La durabilidad del concreto lanzado en pruebas de laboratorio y en campo es en general buena, pero es posible proteger dicho concreto con algún aceite o con otro tipo de protección, cuando éste va a ser sometido a un severo ciclo de congelamiento o agua por largos períodos. Si el concreto lanzado es aplicado a una superficie no durable y no adecuada, puede perder adherencia y desprenderse al cabo de algunos años..

AGREGADOS

La grava y arena empleadas para el lanzado de concreto deben cumplir las especificaciones de la ASTM y deberán estar razonablemente secas y limpias. El módulo de finura deberá estar entre 2.4 y 3.2. El agregado fino (0 a 1/4") no deberá tener más del 2% de contaminación, pues entorpecería el proceso cementante.

Es recomendable que el tamaño máximo de agregado sea de 1", aunque es posible lanzar con más de 1 1/4" como se dijo anteriormente, pero el rebote se vuelve excesivo y, por lo tanto, antieconómico. El agregado debe estar bien graduado y ser resistente siendo preferible el uso de material redondeado, aunque se puede aceptar material de trituración, pero un material demasiado lajeado deberá ser rechazado pues afectaría la relación agua - cemento. En general, material que no presente exceso de un tamaño o falta de él, cae dentro de la gráfica granulométrica y es aceptado.

PROPORCIONAMIENTOS

Igual que para el concreto común, en el concreto lanzado, la calidad de éste depende del proporcionamiento. Por economía se debe usar la mínima cantidad de cemento por m³, pero sin sacrificar calidad. Como la calidad depende de la relación agua - cemento, se usa la menor cantidad de agua posible usando el tamaño máximo de agregado permisible. Utilizando menor cantidad de agua se obtendrá mayor resistencia.

La relación agua - cemento se debe tomar en un rango de 0.32 a 0.45 según la calidad, graduación y tamaño de los agregados. Por ejemplo, para agregados cuyo tamaño máximo es mayor que 1", la relación agua - cemento ideal sería de 0.34 a 0.37. El consumo de cemento por m^3 varía de 330 kg (para resistencias de 300 kg/cm^2 a 350 kg/cm^2) hasta 430 kg (para resistencias de 380 kg/cm^2 a 450 kg/cm^2), ésto es para mezclar con agregados mayores de 1/2".

Comparado con el concreto común se requiere una resistencia a la tensión mayor en el concreto lanzado, especialmente si se usa como soporte en túneles. Se establece que las resistencias últimas a la tensión y compresión para aplicaciones bajo tierra son de una importancia secundaria, puesto que el esfuerzo máximo en la zona de soporte acarrea edades tempranas del concreto. En casos extremos ésto ocurre sólo algunas horas después de la aplicación del concreto lanzado.

Es recomendable usar cemento tipo I siempre y cuando ésto sea posible. No se recomienda el uso de cementos con alto contenido de alúmina.

ADITIVOS

Se pueden tener varios aditivos que tendrán como función: aumentar la resistencia a edades tempranas, disminuir el rebote y aumentar la resistencia a la acción del congelamiento. Es recomendable analizarlos y hacer pruebas con ellos antes de colocarlos en el concreto.

Se debe hacer notar que ciertos aditivos que se emplean en el concreto común y corriente no son aplicables al concreto lanzado.

Puede utilizarse aditivos líquidos o polvos disueltos en agua. La dosificación del aditivo puede decirse en términos generales, que puede ser de 2 a 6% del peso del cemento dependiendo este porcentaje de los agregados y tipo de cemento; así como la finalidad del aditivo o sea si es para aumentar la resistencia a tempranas edades deberá ser mayor, que si sólo es para disminuir la cantidad de material que rebota. Se podrá obtener con el uso del aditivo un concreto que a las 2 horas de lanzado tenga $f'c = 20 \text{ kg/cm}^2$, a las 12 horas, 70 kg/cm^2 y a las 24 horas, 120 kg/cm^2 teniendo una resistencia a los 28 días de 190 kg/cm^2 . Pero cabe recalcar que antes de decidir la dosificación se habrán de realizar pruebas para hallar el porcentaje óptimo y la mayor economía en el concreto.

HIDRATACION

La hidratación y la relación agua - cemento deberán ser continuamente controladas por el operador de la boquilla o tobera. Una hidratación deficiente se puede corregir instantáneamente por el operador. Si la hidratación no se efectúa correctamente por falta de agua, se observa inmediatamente un excesivo rebote; un sangrado y escurrimiento muestra una excesiva cantidad de agua y ambos casos deben corregirse de inmediato

La hidratación está en función de la cantidad de agua y de la presión de ésta, deben evitarse por completo las fluctuaciones de presión en el agua, esta presión debe tener un mínimo de 0.5 kg/cm^2 . Se recomienda que la presión del agua sea poco mayor que la presión del aire en la lanzadora.

Cuando se opera en áreas de alta humedad como en el caso de túneles, se debe tener mucho cuidado con el control del agua que resulta más difícil y el material debe tratarse de tener lo más seco posible para evitar obstrucciones en el equipo lanzador.

REBOTE

Por cuestión de economía, un aspecto importante que debe cuidarse en el material es el rebote. La cantidad de rebote depende de varios factores como son: eficiencia de la hidratación, relación agua - cemento, contenido de grava y arena, granulometría de los agregados, velocidad en la boquilla, ángulo de lanzado, distancia del impacto, espesor de aplicación y pericia del operador. La cantidad de material de rebote para un concreto bien proporcionado y con material adecuado está en un rango de 5 a 10% para paredes verticales, y aumenta de 20 a 25% para trabajos horizontales lanzados desde abajo hacia arriba. En la etapa inicial del lanzado, el % del material de rebote es mayor y a la vez excesivo, pero después de la primera pequeña capa vuelve a la normalidad.

La distancia recomendada entre la boquilla y la superficie de lanzado es de 1.00 m a 1.25 m.

La mayor parte del material de rebote es agregado grueso y poco cemento. El material de rebote no es aconsejable volver a usarlo, salvo que éste sea lavado y ésto resulta antieconómico.

Debido a la variedad de factores que intervienen para determinar el volumen de rebote, se puede considerar que para colocar 1 m³ de concreto es necesario lanzar de 1.3 a 1.6 m³ de concreto.

PREPARACION DE LA SUPERFICIE, APLICACIÓN Y CURADO.

Teóricamente el concreto lanzado se adhiere sobre cualquier superficie, aún acero, pero en la práctica se debe preparar la superficie para una mejor adherencia; ésto se logra cuando la superficie está limpia y sin material suelto. Para dicha preparación se aplica un chorro de agua a presión sobre la superficie a fin de lavarla y posteriormente se aplica aire con arena para desprender y quitar todo el material que esté suelto.

Para el lanzado de concreto, primeramente, debe lanzarse sobre dicha superficie preparada una mezcla de cemento - areno de muy poco espesor. Esta mezcla servirá como cama para el lanzado de concreto. Posteriormente, se efectuara el lanzado. Para su método existen dos formas; una a base de círculos y la otra formando una cuadrícula. Cualquiera de las dos es aceptable y dependerá de la práctica del operador y del espesor deseado para decidir cual de las dos es la conveniente.

Puede tomarse una regla de no aplicar un segundo lanzado sobre una primera capa antes de que ésta tenga una resistencia de 35 kg/cm^2 .

Para obtener una buena calidad de concreto lanzado, es necesario después de efectuado éste, un curado adecuado. Como por el rebote el concreto lanzado contiene más cemento que el concreto normal de mismo proporcionamiento, se precisa de un curado adecuado para evitar agrietamientos.

Sin embargo, en el lanzado de concreto en túneles la humedad del ambiente es casi siempre suficiente para que este curado se efectúe en forma correcta. El uso de aditivos para proteger el concreto de temperaturas muy bajas es peligroso, y es más recomendable calentar los agregados o bien el agua de mezclado.

EQUIPO E INSTALACIONES ESPECIALES

En túneles, las lanzadoras se colocan en la parte inferior del jumbo. El material se puede almacenar en el túnel mezclado con una mezcladora mecánica y llevado a la lanzadora por un cargador cuidando, por medio de polietileno colocado en la superficie, que esta mezcla no se prehidrate. En condiciones de excesiva humedad, falta de espacio o falta de equipo se puede mezclar la arena y la grava afuera del túnel bajando esta mezcla, ya sea por medio de bachas o tubería y ya en la lanzadora agregar el cemento.

PERSONAL

El personal necesario para el lanzado de concreto incluye:

- 1.- Un operador de compresor
- 2.- Un operador de la lanzadora
- 3.- Dos personas para alimentar la lanzadora
- 4.- Un operario de la boquilla y un ayudante
- 5.- Dos peones para la mezcla de los agregados o alimentación de la mezcladora.
- 6.- Un operador del cargador
- 7.- Un operador de la mezcladora mecánica

La dosificación del aditivo se efectúa en la lanzadora si éste es en polvo. Si es en líquido, se debe proveer en la alimentación del agua.

El operador más importante es el lanzador, el cual debe:

- a) Asegurarse de la limpieza de la superficie de lanzado.
- b) Asegurarse que la presión de aire a la salida de la tobera sea constante y que la salida del material tenga una velocidad adecuada.
- c) Regular el agua hasta obtener el mínimo rebote y la máxima adherencia.
- d) Tener la boquilla a una distancia correcta y un ángulo adecuado para efectuar un lanzado correcto.
- e) Seguir una secuencia en la superficie lanzada.
- f) Dirigir al operario de la lanzadora y detener el

lanzado cuando el material no llega a la tobera en forma uniforme.

- g) Asegurarse de que las posibles bolsas de aire sean rotas y vueltas a lanzar.

El operador de la lanzadora manejará ésta, obedecerá las órdenes del operador de la boquilla y dirigirá las maniobras de alimentación de la lanzadora. Deberá vigilar constantemente la presión de aire, así como el correcto funcionamiento de ésta.

El ayudante del operador de la boquilla estará encargado de limpiar el material de rebote y lo hará de tal forma, que este material no se incorpore al concreto lanzado. Este operario también ayuda al encargado de la boquilla a mover su manguera al cambiar de una posición a otra.

CONTROL DE CALIDAD Y METODOS DE PRUEBA

Un método de control de calidad es hacer una mezcla en laboratorio con las mismas características que las del lanzado y hacer especímenes de prueba; ésto da una idea pero no se puede tomar como definitivo, pues no está considerado el rebote y la cantidad de agregados en el concreto cambia.

Otra forma muy común de efectuar el control de calidad es lanzar la mezcla dentro de cilindros de prueba; ésto tampoco es recomendable puesto que no se toma en cuenta el rebote y el material tiende a segregarse; los

resultados obtenidos en esta forma no son muy reales.

Un método bastante aceptable consiste en colocar una caja sin fondo ni tapa de 3 caras de madera de 1 m x 1 m en la superficie de lanzamiento y con la cara descubierta hacia abajo, lanzar concreto en la forma usual y con el espesor acostumbrado, después cuando el concreto está aún plástico se pasa por la parte de atrás del molde una lámina de metal para que no se adhiera a la superficie y se deja hasta que tenga la edad de prueba deseada. Más tarde se quita, se cortan cubos como especímenes de prueba y se prueban en la forma convencional.

El método de prueba más real, pero a la vez más costoso consiste en la extracción de corazones de concreto de tamaños standard a las edades deseadas. Estos corazones deberán ser extraídos en forma perpendicular a la superficie de lanzamiento.

En superficies de prueba es conveniente usar diferentes colorantes en las mezclas para poder analizar posteriormente la adherencia, rebote, resistencia, etc. de cada una de ellas.

ANÁLISIS DE COSTOS ENTRE EL ADENE METÁLICO Y EL CONCRETO LANZADO

Una vez efectuada una breve descripción de cada uno de los dos métodos generalmente utilizados para el sostenimiento de terreno en un túnel, procederemos a analizar en costo cada uno de ellos por metro lineal en túnel.

ADEME METALICO

El análisis siguiente se hará tomando como base el tiempo promedio de 3.50 horas en la colocación de 1 marco metálico y 1000 p.t. de madera /m en un metro de túnel.

A.- MATERIALES

- 1.- 1 marco metálico H - 8" formado por cuatro miembros, dos postes y dos piezas curvas.

Peso del marco: 1500 kg
1500 kg x \$ 0.85/kg = \$ 1,275.00

- 2.- 16 separadores de varilla corrugada de 5/8" x 1.10m con rosca y tuerca en sus terminales.

Peso de cada separador: 1.74 kg.
16 separadores x 1.74kg x \$5.55/kg = \$ 154.50

- 3.- 12 tornillos unión con tuerca, de 5/8" x 2 1/2"

12 tornillos x \$ 3.00/ tornillo = \$ 36.00

- 4.- Madera de retaque en diferentes escuadrías:

1000 p.t./m x 1.00m x \$3.30/p.t. = \$ 3,300.00

T o t a l \$ 4,765.50/m

B.- EQUIPO

1.- Aire comprimido para la operación del malacate neumático de erección de las piezas del marco y para subir madera a la plataforma del Jumbo Compresor "Gardner-Denver" de 900 p.c.m. \$10.00/hora x 3.50 hrs	= \$ 35.00
2.- Malacate neumático \$ 3.00/hora x 3.50 hrs	= \$ 10.50
3.- Sierra con banco para habitación de la madera \$ 5.00/hora x 3.50 hrs	= \$ 17.50
4.- Transformador para soldar habilitando separadores de varilla \$ 5.00/hora x 3.50 hrs	= \$ 17.50
	<hr/>
T o t a l	\$ 80.50/m

C.- MANO DE OBRA

Séptimo día, Seguro Social, vacaciones y días festivos: 40%

1.- Personal en el frente.

1 Jefe de turno de ademe
\$ 52.00/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40 = \$ 31.80

5 Ademadores
\$35.00 /8 hrs x 3.50 hrs x 1.40 x 5 = \$ 107.00

5 Ayudantes de ademador			
\$ 28.50/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40 x 5	=	\$	87.30
1 Tubero			
\$ 34.56/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40	=	\$	21.10
2.- Personal en el exterior			
1 Carpintero			
\$ 35.00/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40	=	\$	21.40
1 Ayudante de carpintero			
\$ 28.50/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40	=	\$	17.40
1 Soldador de 2a.			
\$ 52.00/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40	=	\$	31.80
1 Compresorista			
\$ 31.44/8 hrs x 3.50 hrs x 1.40	=	\$	19.30

T o t a l \$ 337.10/m

RESUMEN DEL COSTO

A.- MATERIALES	\$4,765.50/m
B.- EQUIPO	\$ 80.50/m
C.- MANO DE OBRA	\$ 337.10/m
	<u>\$5,183.10/m</u>

Costo por metro lineal de túnel en la colocación del Ademe Metálico y de madera	\$5,183.10
---	------------

CONCRETO LANZADO

El análisis de este costo se hará tomando como base un consumo de 3.6 m^3 por m.l. de túnel para una capa con espesor promedio de 4".

A.- MATERIALES

1.- Cemento

Consumo de cemento por metro cúbico de material mezclado en seco: 390.00 kg
 $390.00 \text{ kg/m}^3 \times \$0.27/\text{kg} = \$ 105.30/\text{m}^3$

2.- Agregados

Proporcionamiento teórico para un metro cúbico de material mezclado en seco.

Arena: 0.60 m^3

Grava No.1 (1/4" a 3/8"): 0.30 m^3

Grava No.2 (3/8" a 3/4"): 0.29 m^3

Considerando un 5% de desperdicio por las operaciones de almacenamiento:

Arena,

$0.60 \text{ m}^3 \times 1.05 \times \$40.00/\text{m}^3 = \$ 28.35/\text{m}^3$

Grava No. 1,

$0.30 \text{ m}^3 \times 1.05 \times \$44.00/\text{m}^3 = \$ 15.44/\text{m}^3$

Grava No. 2,

$0.29 \text{ m}^3 \times 1.05 \times \$44.00/\text{m}^3 = \$ 14.95/\text{m}^3$

3.- Aditivo acelerante

Dosificación promedio: 10 lts/saco de cemento

$\frac{390 \text{ kg}}{50 \text{ kg}} = 8 \text{ sacos}$

$8 \text{ sacos} \times 10 \text{ lts} \times \$5.15/\text{lt} = \$ 412.00/\text{m}^3$

4.- Agua

Se considera exclusivamente
el bombeo =

\$ 0.50/m³

T o t a l

\$ 576.54/m³

B.- EQUIPO

1.- Unidad Dosificadora-Mezcladora. Fija manual con báscula para 3 agregados y de 2.28 m³ de capacidad, tolva superior de 3 agregados de 40m³ de capacidad. Banda transportadora de 18" radial para llenado de tolvas y una mezcladora de turbina de 2.28m³ de capacidad.

Costo horario: = \$ 111.10/hra

2.- Aire comprimido para la operación de compuertas y vibradores. Compresor Ingersoll Rand de 100p.c.m.

Costo horario = \$ 12.04/hra

3.- Camión de 8 ton tipo volteo de 4m³ de capacidad sacando material clasificado y mezclado de las tolvas de la planta y transportándolo a los patios de almacenamiento.

Costo horario = \$ 50.00/hra

Total costo horario de la dosificadora = \$ 173.14/hra

Producción de la dosificadora = 31.27m³/hra

Costo por metro cúbico de mezcla en seco:

$$\frac{\$ 173.14/\text{hora}}{31.27\text{m}^3/\text{hora}} = \$ 5.55/\text{m}^3$$

4.- Máquina colocadora de concreto lanzado Schotcrete Aliva

$$\text{Costo horario} = \$ 186.56/\text{hora}$$

Producción: $2 \text{ m}^3/\text{hora}$

Costo por metro cúbico:

$$\frac{\$ 186.56/\text{hora}}{2 \text{ m}^3/\text{hora}} = \$ 93.28/\text{m}^3$$

5.- Carros mezcladores y transportadores de mezclas en seco con cemento.

$$\text{Costo horario} = \$ 17.71/\text{hora}$$

Producción: $2\text{m}^3/\text{hora}$

Costo por metro cúbico:

$$3 \times \frac{\$ 17.71/\text{hora}}{2\text{m}^3/\text{hora}} = \$ 26.58/\text{m}^3$$

6.- Tolva de recolección colocada en la descarga del conducto de 12" ϕ a través del cual bajan los agregados al túnel =

$$\$ 3.23/\text{m}^3$$

7.- Bomba especial para productos químicos

$$= \$ 10.16/\text{hora}$$

Producción: $2 \text{ m}^3/\text{hora}$

Costo por metro cúbico

$$\frac{\$ 10.16/\text{hora}}{2 \text{ m}^3/\text{hora}} = \$ 5.08/\text{m}^3$$

8.- Pasador de carros

Costo horario: = \$ 8.78/hra

Producción: $2\text{m}^3/\text{hra}$

Costo por metro cúbico:

$$\frac{\$ 8.78/\text{hora}}{2 \text{ m}^3/\text{hra}} = \$ 4.39/\text{m}^3$$

T o t a l \$138.11/m³

C.- MANO DE OBRA

Séptimo día, Seguro Social,
vacaciones y días festivos:
40%

1.- Personal en dosificadora-
mezcladora.

1 Jefe de turno-operador
\$75.00/8hrs x 1.40 = \$ 13.15/hra

1 Operador bandas trans-
portadoras de alimenta-
ción.

\$40.00/8hrs x 1.40 = \$ 7.00/hra

1 Electricista de 2a.

\$40.00/8 hrs x 1.40 = \$ 7.00/hra

5 Peones

\$28.50/8 hrs x 1.40 x 5 = \$ 24.90/hra

T o t a l \$ 52.05/hrs

Producción dosificadora:

$31.27 \text{ m}^3/\text{hr}$

Costo por metro cúbico:

$$\frac{\$ 52.05/\text{hora}}{31.27\text{m}^3/\text{hr}} = \$ 1.66/\text{m}^3$$

2.- Personal en cada frente.

a) Personal de exterior y
mando

1 cabo

\$ 40.00/8 hrs x 1.40 = \$ 7.00/hrs

Consumo por metro lineal = 3.6 m^3

Costo por metro lineal

$\$ 788.58/\text{m}^3 \times 3.6 \text{ m}^3/\text{m} = \$ 2,838.88/\text{m}$

Costo por metro lineal de túnel en

la colocación de concreto lanzado: = \$ 2,838.88

Comparando los costos antes analiza-
dos:

Ademe metálico y de madera: \$ 5,183.10/m

Concreto lanzado \$ 2,838.88/m

obteniendo que el método por concreto
lanzado resulta 45% más económico.

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

PLANEAMIENTO Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION Peurifoy

ROCK TUNNELING WITH STEEL SUPPORTS White

MAQUINAS HIDRAULICAS José L. de Parres

FERROCARRILES Francisco M. Togno

MECANICA DE SUELOS Terzaghi

. . .