

29  
53



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**CONSTRUCCION DEL "TUNEL EL GALLINERO" DEL PLAN  
HIDRAULICO DEL CENTRO, EN EL DISTRITO DE  
RIEGO DEL RIO TULA, ESTADO DE HIDALGO.**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

presentan

**JULIO FLORES MEZA  
JOSE ROBERTO VALDES LIMAS  
LINO CUITLABUAC HERNANDEZ NAHLE  
JUAN CARLOS GUADALUPE SERRATO MORENO  
HECTOR VILLAVICENCIO ALVAREZ**

Director de Tesis:

**ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ**

México, D. F.

**FALLA DE ORIGEN**

1989



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1. "El PLHICEN"

El Plan Hidráulico del Centro (PLHICEN), es un plan concebido para el aprovechamiento óptimo de los crecientes volúmenes de aguas negras y pluviales descargados por el área metropolitana de la Ciudad de México, que se destinaran al riego de suelos agrícolas ubicados en los valles del Mezquital y San Juan del Río en la Cuenca del Río Pánuco y los valles de Querétaro y de Celaya en la Cuenca del Río Lerma. Al crecer la demanda de agua potable en el Valle de México más allá de lo disponible, se hará necesario captarla y conducirla desde zonas muy alejadas y cotas muy bajas, a un costo muy elevado. Estos costos podrán abatirse con los aumentos que alcance la producción agrícola, al aprovechar las aguas negras en el riego de terrenos totalmente improductivos.

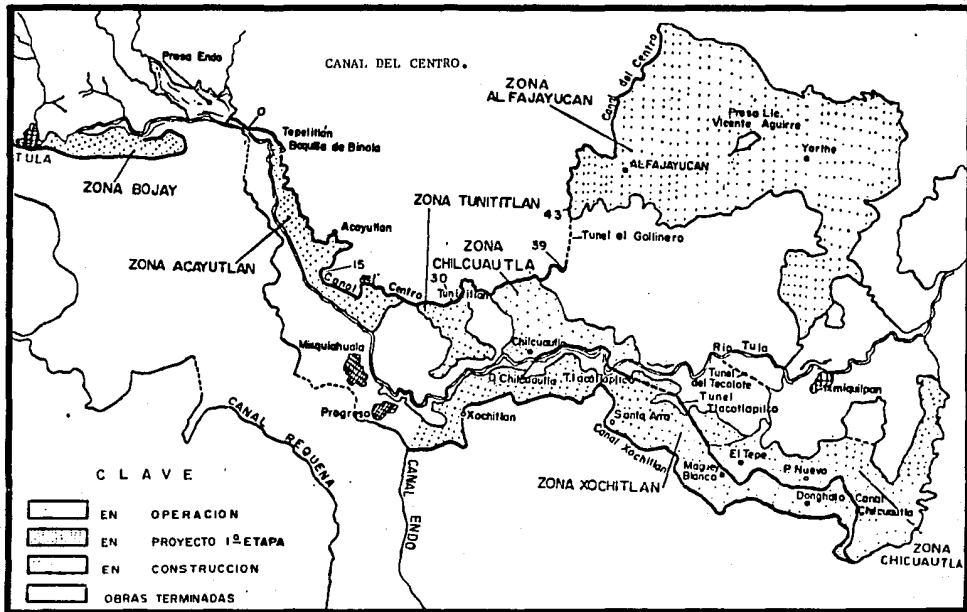
#### 2. El Canal del Centro

Con el desarrollo de la primera etapa del PLHICEN, se beneficiará el área del Valle del Mezquital, ubicado en la parte occidental del Estado de Hidalgo.





Los terrenos regables, que forman parte del Distrito de Riego # 03-Río Tula, se distribuyen en cuatro núcleos: El primero se extiende por la Margén Izquierda del Río Tula; El segundo corresponde al Valle de Alfajayucan; El tercero comprende las zonas de Xochitlán, Chilcuautla y los Altos del Valle de Ixmiquilpan; El cuarto y último, abarca la zona inmediata aguas abajo de la Fresa Endhó, llamada también Bojay.

En los núcleos de la Margén Izquierda del Río Tula y del Valle de Alfajayucan, los terrenos se regarán mediante el Canal del Centro, que se inicia en el Km. 1+600 del Canal Endhó, con una capacidad de 50.0 M<sup>3</sup>/Seg.

El Canal del Centro de 64.0 Km. de longitud, tiene un desarrollo de 1.4 Km por la Margén Derecha del Río Tula y cruza a la Margén Izquierda, mediante el sifón "Binola" recibiendo a la salida de este último, las filtraciones de la Fresa Endhó mediante una planta de bombeo. El desarrollo del Canal por la Margén Izquierda, permite regar 4,028 hectáreas ubicadas en las zonas de Acayutlán, Tunititlán y



C L A V E

-  EN OPERACION
-  EN PROYECTO 1ª ETAPA
-  EN CONSTRUCCION
-  OBRAS TERMINADAS

Chilcuaatla, y mediante el Túnel "El Gallinero" de 3.2 Km de longitud cruzando el cerro "Deca", se riega una superficie de 12.990 hectáreas correspondientes al Valle de Alfajayucan.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DE LA OBRA

#### 1. Conceptos Generales

El túnel El Gallinero forma parte del canal del centro del Km 39+681.18 al Km 42+866.46, tiene como objetivo poder llevar los sobrantes de agua del Distrito de Riego del río Tula en el Valle del Mezquital, Hgo. hasta los terrenos del Valle de Alfajayucan, Hgo. que en aquel entonces eran improductivos por la escasez del agua en la zona, tiene una longitud de 3,185.3 M, atraviesa la sierra del "Xinthé" para comunicar los valles del Mezquital y de Alfajayucan. Es de sección portal y tiene una altura máxima de 4.68 M al centro de la clave, por 5.55 M en la base a concreto terminado.

#### 2. Trazo

Para determinar el trazo definitivo del túnel, se hizo necesario el estudio de varias posibles alternativas a fin de encontrar la más adecuada, usando varios criterios que rigen la elaboración de un proyecto. Dentro de esas alternativas se presentaron dos, de las cuales por su viabilidad y características fueron escogidas para, de acuerdo con los estudios más detallados, determinar el trazo definitivo.

La decisión final de este, se tomó después de conocer los resultados y opiniones de conocidos Ingenieros consultores de la SARH, expertos en el ramo, los cuales presentaron un informe final, y que resumimos a continuación:

Con apoyo en observaciones efectuadas en una visita al sitio de la obra y después de recabar datos sobre estudios efectuados con anterioridad se llegó a las siguientes conclusiones:

##### 2.1. Geología

- 2.1.1. El sitio que se tiene fijado para la construcción del túnel "El Gallinero", está formado por rocas de tipo andesítico alternando con brechas. La roca andesítica se presenta pseudo-estratificada en espesores de 5 a 10 Cm.
- 2.1.2. La topografía del puerto, se presenta suavizada por la erosión y el intemperismo, no así los cerros que la forman, los que presentan taludes con mayor pendiente y muchos afloramientos de rocas.

- 2.1.3. La roca en el puerto debe ser de menor resistencia que la roca que forma los cerros adyacentes.

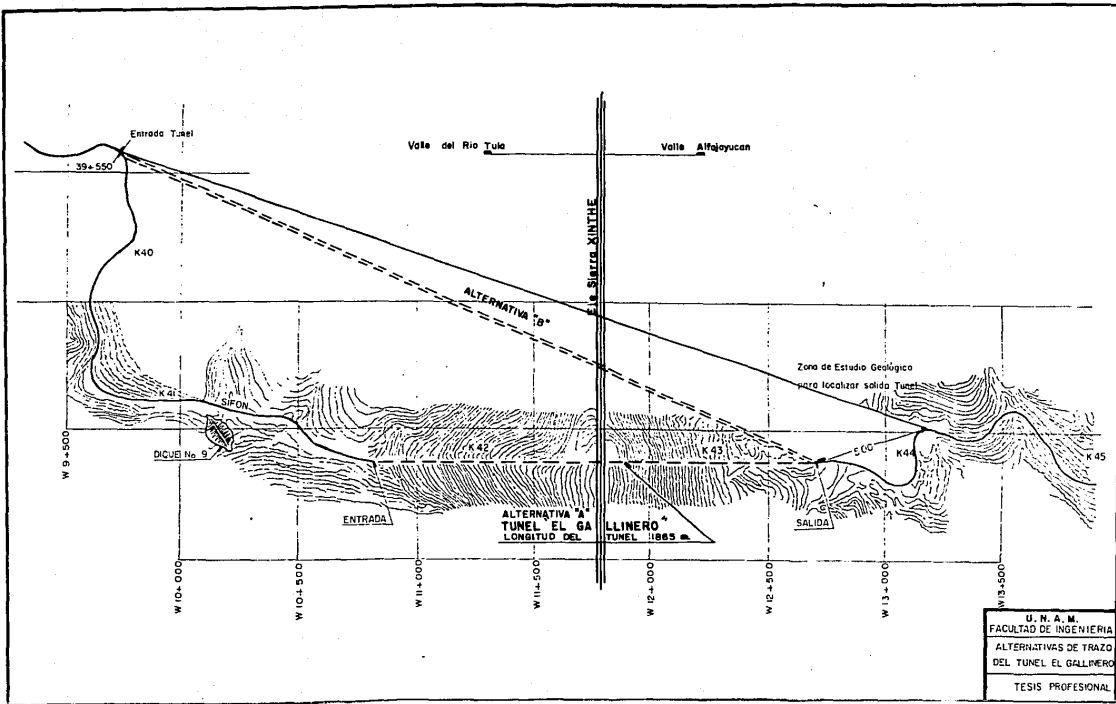
## 2.2. Análisis de Alternativas

- 2.2.1. La alternativa que se presenta como "A" en el plano anexo, requiere de :  
Un túnel de 1,865 M de longitud con un acceso sumamente difícil y posiblemente muy costoso, 230 M de canal problemático de construir y caro dada la dudosa estabilidad de las laderas donde quedará alojado y en el cruce de una barranca profunda, se hace necesario la construcción de un sifón o dique. El túnel quedará ubicado en la zona más blanda y con mayores problemas. El portal de salida queda ubicado en roca sumamente alterada y en una zona de falla.
- 2.2.2. La alternativa que se presenta como "B" en el plano anexo requiere de :  
Un túnel de 3,200 M de longitud, queda ubicado en los cerros adyacentes al puerto y por lo tanto, es posible que la roca sea más dura y presente menos problemas para su ejecución. El portal de entrada localizado por los geólogos se considera bien ubicado, no así el portal de salida.

## 2.3. Recomendaciones

- 2.3.1. La alternativa "A" se considera poco adecuada ya que provoca problemas de seguridad considerables, además de costosa.
- La alternativa "B" se considera definitiva, en cuanto al portal de entrada no existen grandes problemas. Sin embargo es necesario que se realicen estudios geológicos superficiales, para así poder determinar el sitio adecuado para ubicar el portal de salida.
- 2.3.2. En todo lo largo del eje longitudinal del túnel, debe determinarse la resistencia a la compresión simple de la roca, para que en forma cualitativa se determine la bondad del trazo escogido. El contenido de sílice





U. N. A. M.  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ALTERNATIVAS DE TRAZO  
 DEL TUNEL EL GALLINERO  
 TESIS PROFESIONAL

servirá como índice de su dureza y de su dificultad al ataque durante la construcción.

### 3. Estructuras

La obra está constituida por los siguientes tramos:

Construcción de canal en sección trapecial para un gasto de 50 M<sup>3</sup>/Seg con una pendiente de  $S=0.00015$ , del Km 39+250 al Km 39+655.84. Una transición de túnel falso de rectangular a portal, del Km 39+673.84 al Km 39+681.16. Construcción del túnel del Km 39+681.16 al Km 42+866.46. Transición de portal a rectangular y de rectangular a trapecial del Km 42+872.06 al Km 42+890.06 y tramo de canal con las mismas características del anterior del Km 42+890.06 al Km 43+500.

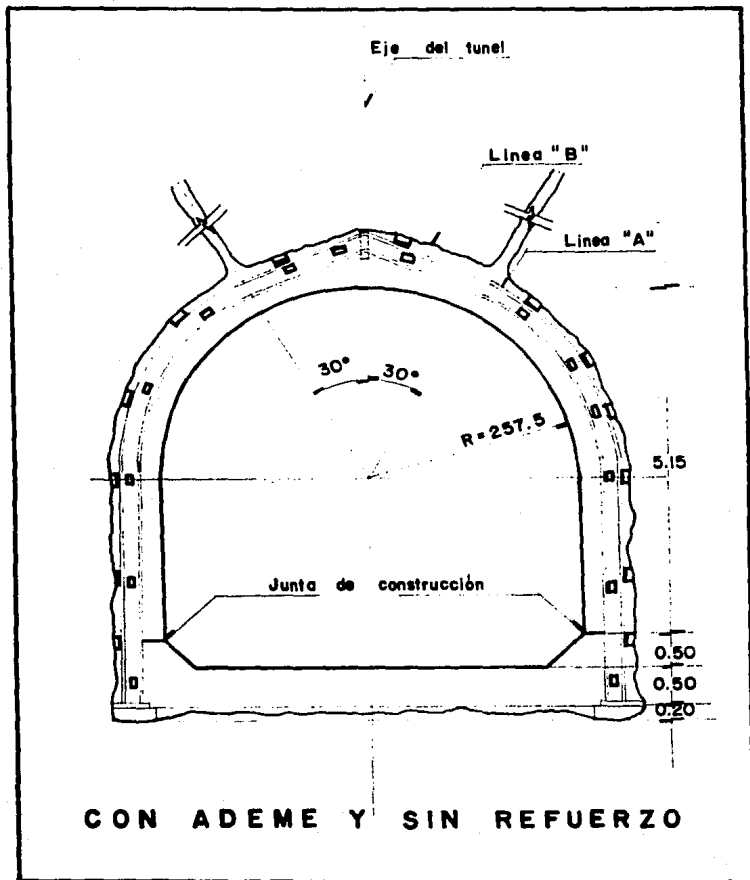
### 4. Comunicación y Acceso

La obra está comunicada por el lado de la entrada al túnel, por medio de un camino de terracería de 4 Km con el pueblo de Chilcuautla, Hgo. localizado a 25 Km de Ixmiquilpan, Hgo. a 70 Km de la Cd. de Pachuca, Hgo. y aproximadamente a 150 Km de la Cd. de México, por el frente de la salida, existe un camino de terracería de 8 Km que lo comunica con el pueblo de Alfajayucan, Hgo. Se construyó además un camino de terracería que va del portal de entrada al portal de salida. Se cuenta en la zona con energía eléctrica proporcionada por la C.F.E., los bancos de agregados se localizan a una distancia promedio de 8 Km.

El agua se obtiene de manantiales producidos por las filtraciones de riego, sobre las márgenes del río Tula a 4 Km de la obra.

En general, las vías de acceso y comunicación se pueden considerar en buenas condiciones.





### CAPITULO III

#### METODO DE CONSTRUCCION

##### 1. Programa de Obra

La programación de la Obra en general, es uno de los factores que tienen mayor importancia en el desarrollo de la misma.

No es posible concebir en la actualidad en el campo de la construcción, el desarrollo de actividades que no estén debidamente organizadas y programadas. Para la ejecución de la inmensa mayoría de las obras más o menos complejas, es necesario contar con un orden de secuencia, de actividades que hagan posible su realización de una manera adecuada y económica. El contar gráficamente con esta secuencia de actividades permitirá al ingeniero constructor estar preparado y planear la manera de que estas sean ejecutadas en forma correcta y a su debido tiempo de manera de optimizar costos y la utilización de su equipo de construcción y del personal.

Es por esto que la programación debe ser elaborada con un profundo conocimiento de lo que se va a realizar y con un estudio concienzudo de las formas de realizarse, adoptando aquellas que se demuestre sean las más indicadas.

El programa elaborado para esta obra, toma en cuenta el tiempo disponible especificado por la Secretaría y el equipo disponible de la empresa, utilizando la experiencia de técnicos y trabajadores para obtener los mejores rendimientos y los costos óptimos.

No.	A C T I V I D A D	DURACION (dias)
0-1	Llegada de equipo	30
1-6	Instalación de compresores eléctricos	90
1-2	Desmante y acceso del sitio a la entrada del túnel	30
2-7	Excavación del tajo de entrada del túnel	180
6-7	Ficticia	
7-17	Excavación del túnel por la entrada al 60%	480
17-18	Concreto en guarnición y plantilla (30 %) por entrada	40

18-19	Tránsito de formas metálicas al frente del colado del Túnel	10
19-36	Montaje y pruebas de formas de colado del túnel	30
10-20	Concreto, guarniciones y plantilla (60 %) por entrada	40
20-23	Concreto en muros y clave (60%)	140
23-29	Concreto en transición de entrada	45
1-3	Acceso y desmonte del sitio de a la salida del túnel	60
3-8	Excavación del tajo de salida del túnel	180
6-9	Instalación de compresores eléctricos a la salida del túnel	60
9-8	Ficticia	
8-27	Excavación del túnel por el frente de salida	550
27-28	Concreto de guarniciones y plantilla del túnel por el frente de salida	80
28-25	Ficticia	
4-5	Fabricación, transporte y armado de la forma del túnel	530
34-35	Fabricación y transporta de formas metálicas de guarnición y plantilla del túnel	150
32-33	Fabricación del tren de colados para muros y clave	275
5-18	Ficticia	
35-17	Ficticia	
33-20	Ficticia	
11-13	Transporte, rehabilitación e instalación de planta de concreto	200
13-18	Ficticia	

10-12	Transporte, rehabilitación e instalación de la planta de agregados	200
14-37	Extracción y almacen de 30,000 M3 de arena	400
37-15	Ficticia	
12-37	Producción de 45,000 M3 de agregados	400
12-17	Ficticia	
13-17	Ficticia	
23-24	Habilitación de formas y tren de colado de la clave	20
24-25	Tránsito de tren y formas al frente de salida	10
25-26	Concreto en paredes y clave (100 %)	120
15-26	Inyecciones de contacto y consolidación al 80 %	225
26-30	Inyecciones de contacto y consolidación al 100 %	60
7-22	Excavación del canal a la entrada	45
22-40	Concreto del canal a la entrada	30
8-21	Excavación del canal a la salida	45
21-41	Concreto del canal a la salida	45
26-42	Concreto de la transición de la salida del túnel	50
30-31	Limpia final	10

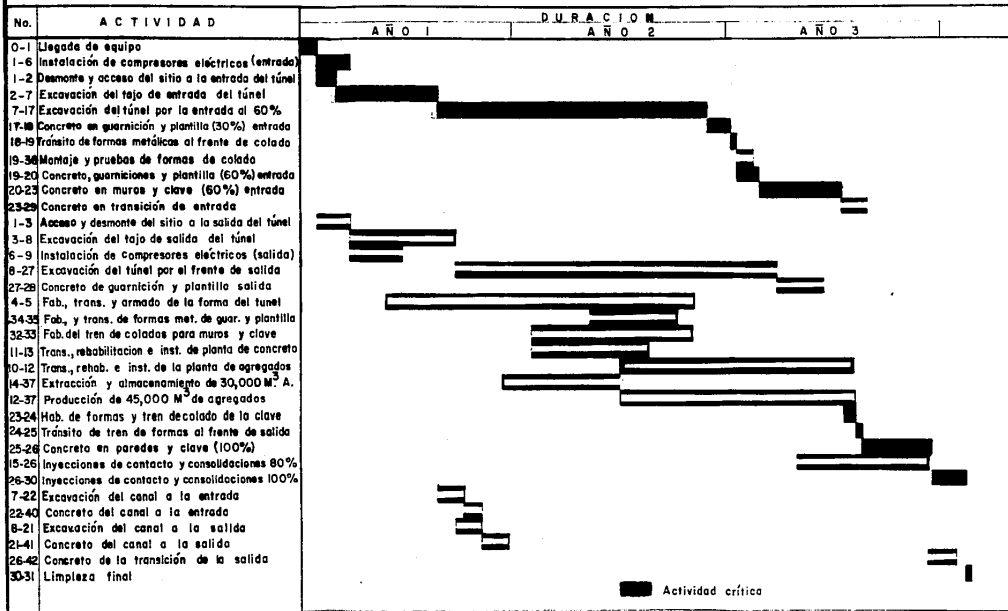
## 2. Excavación

### 2.1 Excavación de los tajos de entrada y salida

Por razones de estabilidad y economía, en la construcción de túneles generalmente se hace necesario el proyecto de tajos a la entrada y salida de los mismos. En el Túnel del Gallinero, los volúmenes de excavación para estos conceptos, fueron de 215,000 M3 y 245,000 M3 respectivamente.

# PROGRAMA DE OBRA

## TUNEL "EL GALLINERO"





El método de construcción empleado, de acuerdo con las características del material, se describe en forma general a continuación:

Por medio de tractores equipados con cuchilla angulable, se hicieron los accesos y el desmonte del sitio de la construcción. Se movió hasta donde fue posible, por medio de arado y cuchilla, gran parte de la excavación. Al llegar a zonas de roca fija, se barrenó primeramente la zona perimetral para formar el contorno con voladura de precorte y posteriormente se efectuó la barrenación de la voladura principal, utilizando para este fin perforadoras montadas sobre orugas.

Las etapas de barrenación efectuadas se hicieron coincidir con los niveles de proyecto de las banquetas, repitiendo el procedimiento para cada uno de los niveles hasta llegar al piso de la rasante de la plantilla del túnel.

#### Descripción del Método de Precorte.

Este método consiste básicamente en crear por medio de una voladura, previa a la voladura del resto de los barrenos, el plano de corte que formará el contorno final de la sección. En él, se utiliza el encendido eléctrico instantáneo o el encendido con mecha detonante, procurando lograr con esto la mínima dispersión del tiempo de la voladura. Una vez creado el plano de corte, la zona que queda adyacente a esta, estará protegida de las vibraciones que origina la voladura principal.

El contorno final de las paredes permanecerá de esta manera mucho tiempo después de que se elimine la parte arrancada, al obtenerse un mínimo de fracturamiento en la misma.

Una breve explicación de como se logra lo anterior por este método de precorte, es el siguiente:

Cuando un material elástico con un agujero circular vacío está en un estado de tensión producido por una carga que detona en un barreno adyacente, puede demostrarse por cálculo que los dos puntos del barreno vacío, el más cercano y el más alejado del barreno cargado, están sometidos a una tensión tres veces mayor a la de los restantes puntos. Esto origina la formación de grietas en el barreno vacío cuando está lo suficientemente próximo al cargado, tendiendo a unir los barrenos.

Este efecto puede aprovecharse para dirigir las grietas en una dirección determinada, con completa independencia de la influencia de una cara libre frente a la hilera de barrenos,

siempre y cuando los barrenos guías estén con la suficiente aproximación. La presión en las paredes del barreno generalmente es menor que la resistencia a la compresión de la roca y no es suficiente para originar grietas, quedando por lo tanto la roca residual en estado casi indemne.

Por razones de fácil acceso, la excavación de los tajos se inició primeramente del lado de la entrada del túnel, postergándose en aproximadamente 2 meses después la iniciación de los trabajos a la salida. La duración total de la excavación fué del orden de 8 meses, en los que se utilizó el equipo siguiente:

- 3 Factores caterpillar modelo D-8
- 1 Tractor caterpillar modelo D-9
- 2 Perforadoras de orugas
- 2 Compresores de 600 pcm
- 4 Pistolas de piso

Una vez terminada la excavación de los tajos, se inició el emportalamiento del túnel, para lo cual se hizo necesario construir al nivel de la última banqueta el portal en túnel falso por las condiciones inestables del terreno.

## 2.2 Excavación del Túnel.

### 2.2.1. Selección del Sistema de Excavación

Esta etapa de la construcción del túnel, puede considerarse como la más importante de la obra y por lo tanto se debe efectuar un estudio muy completo de la forma como se llevarán a cabo los trabajos correspondientes; a fin de seleccionar el método de construcción del cual estemos seguros de obtener los mejores resultados, de acuerdo con las características y condiciones que se presenten.

Para seleccionar el método de excavación, haremos un estudio de todas las posibles variantes que puedan presentarse durante la etapa constructiva, de manera que podamos estar seguros de haber adoptado, si no el mejor método de excavación existente, cuando menos que si sea el más conveniente de acuerdo con las características presentadas.

1) Estudio de las Condiciones del Proyecto, Accesos, Topografía, Geología, Clima, etc.

Habiendo estudiado detenidamente los dibujos del proyecto y

recabado toda la información posible en el sitio de la obra, podemos resumir nuestros datos de acuerdo con las siguientes conclusiones:

a) Sólo es posible ejecutar la excavación del túnel por 2 frentes de ataque, uno a la entrada y otro a la salida.

Cualquier intento de abrir otros frentes por medio de algún túnel o lumbrera auxiliar, es incosteable por las dimensiones necesarias que estas obras requieren, empleando en ellas un tiempo considerable en la construcción y a un costo muy elevado, teniéndose además la inseguridad acerca de la estabilidad en las mismas, por el desconocimiento de las características geológicas del terreno.

b) Los dos posibles frentes de ataque son independientes. La falta de un camino de acceso inmediato y eficiente entre la entrada y la salida del túnel, hace que tengamos que considerar dos organizaciones independientes para fines constructivos, con la consiguiente duplicidad de equipo y personal.

c) No es posible el uso de alguna maquina especial para la excavación (escudos, topes, etc.). Las características de forma y dimensiones del túnel, y la falta de estudios geológicos del sitio, son razones suficientes para poder asegurar que el uso de alguna máquina para ejecutar la excavación no es factible; dado el elevado costo de adquisición de estas, que sólo se justifica cuando se puede demostrar plenamente la bondad de su utilización.

Analizando los incisos anteriores, vemos que se debe seleccionar un sistema de excavación que reúna más o menos las siguientes características:

a) Que sea versátil, es decir que pueda utilizarse en cualquier tipo de material que se nos presente durante la excavación.

b) Que el equipo con que se vaya a ejecutar sea económico, ya que la duplicidad necesaria del equipo por la incommunicación de los frentes de ataque, nos obligan a seleccionar un método en el cual el equipo tenga un bajo costo de adquisición y operación.

c) Que sea eficiente, ya que deberemos garantizar que el rendimiento que se obtendrá nos permitirá realizar los trabajos en el tiempo previsto en el programa de obra y de acuerdo con las especificaciones.

El sistema que reúne las características anteriores es sin duda la utilización de explosivos como medio de ataque y perforadoras de pierna para la barrenación.

## 2.2.2 Descripción del Sistema Seleccionado

Este método consiste en aprovechar la propiedad de los explosivos, de generar una gran cantidad de energía aún en barrenos pequeños (debido a la rapidez de la reacción: 2,500 a 6,000 M/Seg.), de manera que mediante una cierta disposición y orden de detonación de las cargas que se colocan en el seno del material, logran romper el mismo con más o menos precisión, de acuerdo con las características y formas deseadas.

Para lograr lo anterior y de acuerdo con las experiencias obtenidas en incontables ocasiones que se ha usado, podemos dividir el sistema en varias etapas que juntas forman el ciclo de excavación .

Ciclo de Excavación.- Comprende las siguientes etapas :

Barrenación

Carga de Explosivos y Disparo

Ventilación (extracción de los gases de la explosión)

Amacice

Rezagado

Cada una de estas etapas representa una o más actividades que requiere un equipo y personal especializado; por lo que a continuación las describiremos, mencionando la forma y condiciones en que se realizaron refiriéndonos a esta obra en particular.

Barrenación

a) Plantilla de barrenación:

Por las características inestables del terreno; así como lo heterogéneo del material encontrado (a veces 2 ó más clases de material en la sección del frente de ataque) durante la excavación, no se pudo contar con una plantilla de barrenación como patrón a seguir y más bien se barrenó de acuerdo a la presentación del mismo, combinado en cada caso con la experiencia del personal encargado. No obstante antes

de obtener esa experiencia se intentaron varios tipos de "cueles" diseñados según el terreno, en los que se variaron: los avances por pega, la separación de los barrenos, la densidad de carga, el orden de encendido, etc.

En el dibujo anexo, se presenta una plantilla de barrenación utilizada cuando el terreno presenta buenas condiciones de estabilidad y con la cual se lograron avances de 3 Metros por pega, llegando a efectuar 3 tronadas por día (tres turnos de 8 horas), con un rendimiento de 9 Metros lineales en la excavación. En esta plantilla se muestra el orden de encendido utilizando estopines de retardo de la marca Dupont, con cuña en "V".

#### b) Actividades de la barrenación:

Esta etapa de la excavación comprende las siguientes actividades:

Trazo de la Plantilla de Barrenación

Entrada y Acomodo del Equipo

Perforación

#### Descripción de las Actividades

Trazo de la Plantilla de Barrenación.- Una vez que se ha terminado el rezagado y con el frente de ataque limpio la brigada de topografía, compuesta por un topógrafo y dos cadeneros, procede al trazo de la plantilla. Para esto, primeramente marcarán el centro de la línea del túnel en la sección, pasando después el nivel correspondiente al nivel medio punto (centro del radio de la clave), apoyándose en puntos y bancos de nivel fijados previamente y cercanos al frente. Después de esto ayudados con las pértigas de madera, se pintará la localización de los barrenos de acuerdo con el diseño establecido.

Esta actividad dura aproximadamente media hora y a veces se dificulta por la escasa visibilidad producida por el humo, como consecuencia de la actividad anterior, por lo que es conveniente para evitar demoras el que tengan sus puntos de referencia lo más cerca posible de la sección.

Es conveniente checar semanalmente en los días de descanso los puntos de referencia anteriores.

Entrada y Acomodo del Equipo.- Casi simultáneamente a la



brigada de topografía y únicamente dando el tiempo necesario para no estorbar en el alineamiento. el equipo de perforación montado sobre el jumbo, deberá avanzar hacia el frente estacionándose lo más cerca posible durante el trazo de la plantilla. Esto permitirá que el personal efectúe las conexiones de aire, el agua y la luz para efectuar la barrenación, al mismo tiempo que nivelan el piso para el acomodo del jumbo. Asimismo, cuando sea necesario se aumentarán las tuberías de aire comprimido y agua.

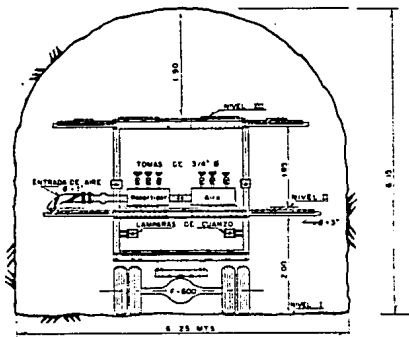
Perforación.- Con la plantilla de barrenación dibujada, se distribuyen dos perforistas y dos ayudantes en cada uno de los tres niveles de perforación, concentrándose el cabo o jefe de turno en la barrenación de la cuña para dar la longitud e inclinación adecuadas .

Una vez que la cuña ha sido terminada, el jefe de turno debe checar cada barreno con un fainero, cuidando que estos estén sopleteados y listos para recibir la carga (duración aproximada de 2.5 horas).

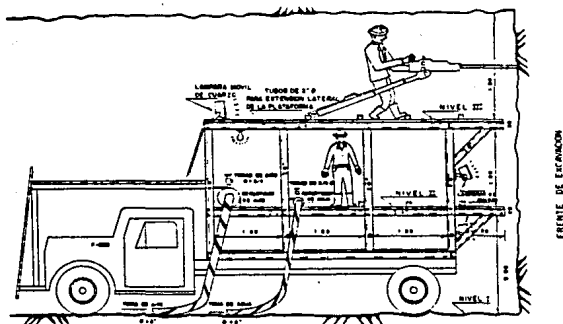
El equipo utilizado en cada uno de los frentes de ataque fué el siguiente:

**Perforación:**

- 2 compresores marca Gardner Denver de 600 p.c.m. acoplados con motor eléctrico.
- 6 pistolas de pierna del tipo S-63 marca Chicago Pneumatic.
- 1 Plataforma de barrenación con 2 niveles montados sobre un camión F-600 con motor Diesel.
- 1 Camión Pipa de 6,000 Litros modelo F-600.
- 1 Bomba de 4" de diametro.
- 2 Bombas para lodo.
- 1 Tanque de 6,000 Litros para almacenamiento de agua.
- 1,600 Metros de tubería de 6" de diametro para aire.
- 1,600 Metros de tubería de 2" de diametro para agua.
- 1 Transformador de 600 K.V.A.



vista posterior



vista lateral

JUMBO DE BARENACION



Topografía:

- 1 Tránsito
- 1 Nivel
- Estadales
- Faineros (pértiga de madera)
- Pintura roja

El personal utilizado en cada uno de los frentes por turno, es el siguiente:

- 1 Sobrestante
- 1 Jefe de turno
- 6 Perforistas
- 6 Ayudantes
- 1 Compresorista
- 1 Bombero
- 2 Choferes
- 1 Topógrafo
- 2 Cadeneros

Análisis de rendimientos en la perforación (cueles de 3.2 Metros)

Longitud de barrenación 72 x 3.2 Metros = 230.4 Metros.

Tiempo promedio utilizado para esta longitud de cuele: 2.5 horas.

Equipo: 6 perforadoras

Rendimiento por máquina =  $230.4/6 \times 2.5 = 15.4$  Metros/Hora.

Aire necesario incluyendo fugas: 900 p.c.m.

Actividad Anterior: Trazo de la plantilla de barrenación y acomodo del equipo

Actividad Siguiete: Carga de explosivos.

Actividad Simultánea: Instalación de tubería de ventilación, líneas eléctricas y mantenimiento de caminos

#### Carga de Explosivos y Disparo.

Esta etapa de la excavación, consiste en preparar y colocar las cargas de explosivos que deberán llevar los barrenos efectuados durante la etapa anterior.

El alto grado de peligrosidad que esta actividad encierra, es comunmente acrecentada por el descuido que pueda llegar a tenerse en el manejo de los explosivos; lo cual es conveniente que por razones de seguridad, todos los materiales explosivos sean manejados y almacenados conforme a los reglamentos que al respecto ha emitido la Secretaría de la Defensa Nacional, y que además se ejerza sobre estos, un estricto control del consumo, utilizando únicamente el material indispensable para efectuar la pega o pegas que se vayan a realizar inmediatamente y limitar al máximo el personal con autorización para efectuarlas. Es necesario hacer notar a los trabajadores, la importancia de las medidas de seguridad que deben guardarse y no permitir de ninguna manera, que almacenen sobrantes en otro sitio que no sea el polvorin.

El estricto control ejercido por el personal de supervisión, se verá reflejado en el cuidado que los trabajadores especializados pondrán al efectuar sus actividades, llegando a evitar de esta manera, gran parte de los accidentes que pudieran ocurrir por descuido de los mismos.

Esta etapa, comprende las siguientes actividades:

Preparación de la Carga

Transporte al Frente

Carga

Retiro del Equipo y Disparo

Equipo Utilizado:

- 1 Jumbo
- 1 Camión de Volteo
- 1 Galvanómetro
- 1 Explosor

Personal:

El mismo de la Barrenación

Descripción de Actividades

Durante la etapa de rezagado, el personal se encarga de preparar la carga, atando los estopines numerados a los cebos y clasificándolos cuidadosamente. En el caso de los barrenos para el recorte (barrenos del contorno) se distribuye la carga amarrando los cartuchos a una vara para dar la separación adecuada, de acuerdo con la separación que se necesite, uniéndolos al cartucho usado como cebo por medio de cordón detonante (primacord). La carga debidamente preparada se acomoda cuidadosamente en un camión de volteo para transportarla hasta el frente.

Una vez terminada la barrenación, el mismo personal sube la carga a las plataformas y procede a su colocación, metiendo primeramente los cartuchos que contienen el estopín detonante según el número y lugar que les corresponde y procediendo después al retacado de los cartuchos para lo cual se utilizan los faineros.

Esta actividad es celosamente vigilada por el sobrestante, el cual determina el grado de retacado, que depende de la cantidad de explosivo necesario en cada barreno y del tipo que se esté utilizando.

Terminada la colocación de los explosivos en los barrenos, se conectan los estopines detonantes, uniendo las terminales por medio de un conductor eléctrico, con forro aislante de calibre número 20 (TW20), a una línea troncal formada con alambre calibre número 10 (TW10), misma que deberá tener la longitud necesaria para garantizar al personal encargado estar fuera del alcance de los efectos de la explosión al efectuar la detonación.

Todas las líneas deberán ser comprobadas por medio de un

galvanómetro, para estar seguros de que la corriente llegará a cada uno de los estopines y provocar el encendido. Cuando las conexiones han sido comprobadas, deberá retirarse el equipo hasta una zona de seguridad, acomodándolo de tal manera que no obstruya el tránsito para la etapa de rezagado.

Este sitio, será el libradero más cercano construido para tal fin a cada 500 metros de longitud de excavación. Retirado el equipo, se colocan las terminales de línea troncal al explosor que previamente ha sido comprobado y se efectúa el disparo. La duración de esta etapa es de 1 hora y 15 minutos aproximadamente.

### Ventilación

Esta etapa consiste básicamente, en una espera de 10 a 15 minutos después de la explosión, para permitir que los gases producidos, que generalmente son nocivos para la salud, puedan ser extraídos al exterior. Es fácil determinar visualmente cuando estos se han extenuado, observando el color del humo que sale por la tubería de ventilación.

Quando el sistema de ventilación no está funcionando correctamente, el tiempo de espera puede prolongarse demasiado, ocasionando fuertes pérdidas económicas por concepto de tiempos perdidos.

Para la extracción de los gases es obvio que el sistema debe funcionar extrayendo aire del tunel, es decir succionado y cuando se rezaga el objetivo es meter aire fresco al frente de ataque donde se encuentra el cargador trabajando. Los ventiladores instalados fueron de tipo axial reversibles equipados con dos motores de 15 H.P. cada uno, con capacidad de gasto  $Q = 30000$  P.C.M., instalados a cada 250 metros, acoplados a una tubería de lámina galvanizada acanalada de 1.10 m. de diámetro.

### Amacice

El amacice que puede considerarse como una actividad dentro de la etapa de rezagado, se efectúa inmediatamente después de que el peligro de los gases tóxicos ha desaparecido.

Consiste en hacer caer de las partes altas, las rocas o fracciones que estén en peligro de desprenderse como resultado de la explosión. Para esto, se utiliza una barra de acero con la longitud necesaria con el objeto de evitar ser

golpeado; El personal frecuentemente se auxilia del traxcavo montándose en el bote para ganar altura y seguridad, cuando es posible, el operador efectúa el amacice, valiéndose del bote para hacer caer las rocas sueltas. La duración de esta actividad varía entre 10 y 15 minutos.

#### Rezagado

A la actividad consistente en extraer el material producto de la excavación del túnel y depositarlo en el banco o sitio seleccionado para tal fin, se le conoce como rezagado del material.

Junto con la barrenación, son las etapas más importantes en el ciclo de la excavación y su duración representa aproximadamente del 30 al 40% del tiempo total del ciclo.

Por las características tan severas del trabajo desarrollado, está sujeto a continuas fallas por deterioro del equipo, ocasionando por este motivo fuertes gastos de mantenimiento y demoras en la actividad, lo que puede alargar el ciclo de la excavación.

Para minimizar en lo posible las fallas que puedan presentarse durante esta etapa, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Se debe disponer de 2 máquinas cargadoras.
- b) El equipo de acarreo disponible deberá ser de una y media veces el necesario.
- c) Que el equipo sea lo más similar posible.
- d) Mantener los caminos en excelentes condiciones de tránsito.
- e) Durante esta etapa, es importante alimentar con aire limpio la máquina cargadora, para evitar el calentamiento excesivo por enrarecimiento del mismo.
- f) Efectuar siempre el mantenimiento preventivo de las máquinas.
- g) Contar con un eficiente taller de reparaciones menores.
- h) Mantener en el sitio, una existencia de las refacio-

nes de uso más común.

- 1) Evitar en lo posible que las máquinas tengan más de dos operadores.

El Rezagado, comprende las actividades siguientes:

Tránsito del equipo de carga

Acarreo

Descarga

Bordeo y Acomodo del Material

Limpia del Camino

Equipo:

1 Cargador de descarga lateral, marca Caterpillar modelo 955L de dos yardas cubicas.

5 Camiones Dumptor Kohering modelo 960 de 5 yardas cubicas ó Camiones de Volteo de 6m3

1 Tractor marca Caterpillar modelo D-8

Personal:

1 Operador de traxcavo

1 Operador de tractor

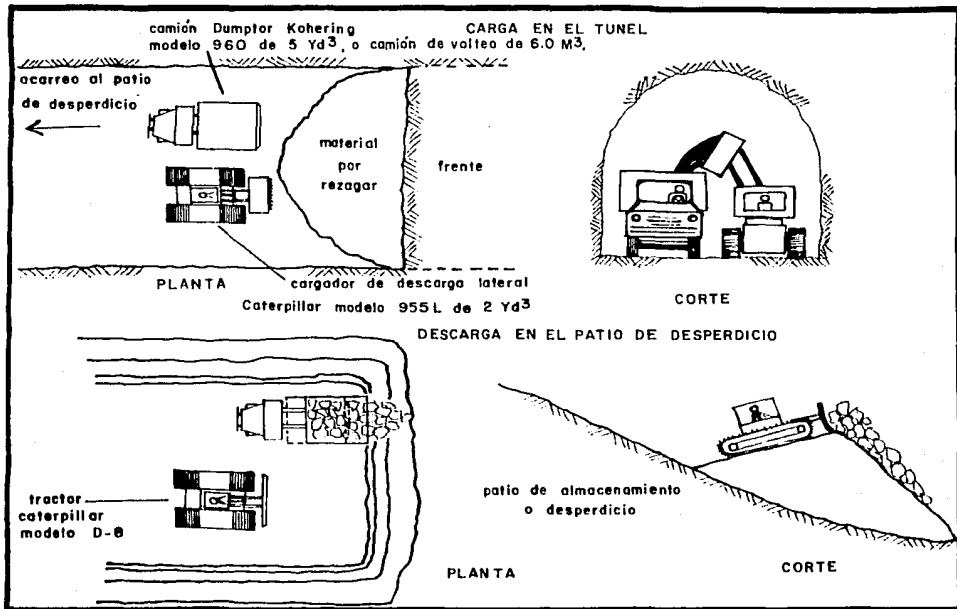
5 Operadores de Dumptor ó Choferes

1 Ayudante de traxcavo

3 Peones

Descripción:

En cuanto se asegura que los gases de la explosión se han extraído, se transita el traxcavo hasta el frente y si es necesario, ayuda a efectuar el amacice hasta asegurarse de que no hay peligro de desprendimientos que puedan dañar la máquina.



Logrado lo anterior se inicia de inmediato la carga de los vehículos de acarreo según se describe en el esquema anexo.

El material acarreado, se descarga en el patio de almacenamiento o desperdicio y ahí un tractor con bulldozer lo acomoda, formando plataformas y rampas para aumentar la capacidad del mismo.

A lo largo de todo el camino, dentro y fuera del túnel, se distribuyen peones con la función de retirar las rocas que dejan caer los camiones cargados y evitar así que posteriormente se dañen al chocar o pasar sobre ellas.

La duración de esta actividad para un avance de tres metros es de aproximadamente tres horas cuando no hay demoras.

#### Análisis de Rendimientos

##### Rendimiento Real:

Area de la Sección: 38.57 M<sup>2</sup>

Avance Lineal: 3 M

Volúmen de Excavación: 38.57 M<sup>2</sup> x 3 M = 115.71 M<sup>3</sup>

Volúmen Abundado: 115.71 M<sup>3</sup> x 1.67 = 193.23 M<sup>3</sup>

Capacidad del Camión: 5 yardas cúbicas x 0.76 = 3.8 M<sup>3</sup>

Número de Viajes Necesarios:  $193.23/3.8 = 50.8 = 51$  viajes

Número de Ciclos del Traxcavo por Viaje:  $5 \text{ Yd}^3/2 \text{ Yd}^3 = 2.5 = 3$  ciclos

Número de Ciclos del Traxcavo por Hora:  $17 \times 3 = 51$  ciclos

Rendimiento del Traxcavo:  $193.23/3.0 = 64.41 \text{ M}^3/\text{Hr.}$

##### Rendimiento Teórico Según Tablas Caterpillar

##### Tiempo del Ciclo:

Carga: 0.15 Minutos



Maniobras: 0.22 Minutos

Viaje: 0.10 Minutos

Descarga: 0.06 Minutos

Total : 0.53 Minutos

Rendimiento Teórico =  $113 \times 2 \times 0.8 \times 0.76 = 137 \text{ M3/Hr}$

% de Eficiencia del Traxcavo =  $(64.41/137) \times 100 = 47 \%$

#### Rendimiento de Camiones:

No. de Camiones = 5

No. de Viajes por Hora por Camión =  $17/5 = 3.4$  Viajes

Tiempo del Ciclo de un Camión =  $60/3.4 = 17.65$  Minutos

Producción por Camión = 12.92 M3/Hr

#### Actividades complementarias

Llamamos así a las actividades que son necesarias para la ejecución del ciclo de excavación pero que no forman parte de este, y que a continuación se describen :

a) La instalación de la tubería de ventilación se hace necesario llevarla hasta la distancia mínima adecuada para no ser alcanzada por la explosión y que lleve el aire fresco a los trabajadores y cargador que en condiciones de poca ventilación le produce gran calentamiento.

Se dispuso de una cuadrilla especialista en colocación de tubos y un camión especial para que se instalen durante la etapa de perforación o ademe.

b) Instalación de Tubos de Aire y Agua. Estas instalaciones son ejecutadas por los mismos perforistas en el tiempo disponible utilizado por los topógrafos.

c) Instalaciones Eléctricas. Un electricista y un ayudante son los encargados de llevar las líneas eléctricas, pegadas al frente, teniendo que instalar líneas para la instalación de alumbrado y tres más para los motores de ventilación.

d) Mantenimiento de Caminos. Además de una motoconformadora,

fué necesario en las zonas de afloramiento de agua, efectuar un revestimiento con agregados triturados para formar un dren debido a condiciones de construcción. Para formar esta plantilla de revestimiento se hizo necesario la utilización de cuatro peones.

#### INTEGRACION DEL TIEMPO DEL CICLO

Con los tiempos de ejecución para cada una de las etapas anteriormente descritas, en el cuadro anexo integraremos la duración total del ciclo de excavación para un cuele de 3.2 metros con un avance de 3 metros por pega (ver cuadro y gráfica anexo de la duración total del ciclo)

E T A P A	A C T I V I D A D E S	D U R A C I O N (Hr)	
		PARCIAL	CICLO
Barrenación	Topografía	0.5	3.25
	Entrada y colocación del equipo	0.75	
	Perforación	2.5	
Carga y Disparo de Explosivos	Transporte	0.1	1.25
	Carga	0.9	
	Retiro del equipo y disparo	0.25	
Ventilación	Espera	0.25	0.25
Amacice	Tránsito	0.1	0.25
	Amacice	0.15	
Rezagado	Tránsito	0.1	3.00
	Rezagado	3.0	
T I E M P O T O T A L D E L C I C L O			8.0

Todas las duraciones de las actividades que se muestran en el cuadro anterior, fueron obtenidas de tiempos tomados en la obra, correspondientes a ciclos ejecutados sin demoras y con el terreno en magnificas condiciones de estabilidad, lo que permitió lograr los avances mencionados.

Las condiciones mencionadas, no siempre se mantuvieron durante la ejecución de la excavación, más bien fueron pocos los tramos en que se pudo obtener los rendimientos anotados. La mayor parte de esta se efectuó a un ritmo mucho más lento, debido principalmente a que frecuentemente se encontraron zonas de falla, presencia de agua, cambios en la estructura del material atacado, etc.

# CICLO DE EXCAVACION

## TUNEL "EL GALLINERO"

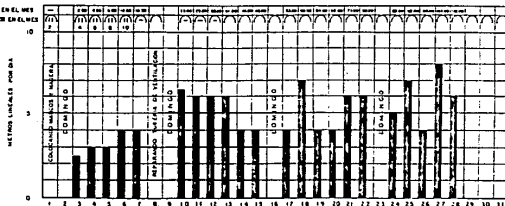
CUELE DE 3.20 M. AVANCE REAL = 3.00 M.

ACTIVIDAD	DURACION (en horas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Topografía	█											
Colocación del equipo	█	█										
Barranación		█	█	█								
Carga de explosivos				█	█							
Salida del equipo					█	█						
Disparo						█	█					
Ventilación							█	█				
Amacice								█	█			
Rezagado									█	█		
Otros										█	█	
Preparación carga de explosivos												
Inst. de tubería de ventilación	█	█	█	█	█							
Inst. de líneas eléctricas	█	█	█	█	█							
Mantenimiento del camino	█	█	█	█	█							

PRODUCCION MENSUAL						
MEZ	ACC.	METS LINEALES		MASCORAS		CALIFORNIA
		TARJETA	SAVON	PERFOR.	TRONC.	EN LINEAL
ABRIL	1 9 7 3	87 00	27 00	48 00	48 00	288 00
MAYO		103 00	170 00	53 00	81 00	386 00
JUNIO		140 00	24 00	10 00	37 00	491 00
JULIO		501 00	637 00	---	37 00	2075 00
AGOSTO		147 00	760 00	400 00	137 00	2484 00
SEPTIEMBRE		143 00	730 00	70 00	130 00	2230 00
OCTUBRE		170 00	1133 00	82 00	107 00	2692 00
NOVIEMBRE		170 00	1257 00	84 00	101 00	2822 00
DICIEMBRE		80 00	1100 00	80 00	102 00	2182 00
ENERO	1 9 7 4	147 00	1110 00	100 00	107 00	2187 00
FEBRERO		171 00	1730 00	88 00	100 00	2884 00
MARZO		170 00	1880 00	82 00	107 00	3183 00
ABRIL		140 00	2087 00	75 00	81 00	3117 00
MAYO		143 00	2015 00	87 00	83 00	3103 00
JUNIO		122 00	2233 00	34 00	83 00	3482 00
JULIO		100 00	2465 00	80 00	144 00	3794 00
AGOSTO		111 00	2376 00	82 00	100 00	3659 00
SEPTIEMBRE		80 00	2627 00	81 00	100 00	317 00
OCTUBRE		70 00	2458 00	75 00	100 00	400 00
NOVIEMBRE		80 00	2540 00	80 00	100 00	400 00
DICIEMBRE		50 00	2347 00	80 00	100 00	507 00
ENERO	1 9 7 5	81 00	2090 00	84 00	100 00	530 00
FEBRERO		110 00	2080 00	80 00	100 00	540 00
MARZO						
ABRIL						
MAYO						
JUNIO						

OBRA TUNEL "EL GALLINERO" HGO.  
GRAFICA DE AVANCES DE EXCAVACION  
MES DE FEBRERO DE 1975

ML. ACUMULADOS EN EL MES  
MAYOR EDUCACION EN EL MES



FEBRERO METROS LINEALES POR DIA

SALIDA METROS LINEALES POR DIA

SALIDA

ENTRADA

TOTAL EN EL MES  
MAYOR EN EL MES  
10

CONTROL DE AVANCE EN LA  
EXCAVACION

La peligrosidad que reviste tanto para el personal y equipo de trabajo, como para la realización misma del proyecto, el estar expuesto a la posibilidad de desprendimientos debidos a la inestabilidad presentada por el terreno, nos obligó a tener que colocar ademe, formado con marcos metálicos y madera de retaque, a manera de protección en las zonas que a juicio del personal encargado, era necesario.

La frecuencia en que se presentaron cambios en la conformación del material en el frente de ataque, no permitió desarrollar una secuela de actividades que permitiera optimizar los rendimientos del personal durante esta etapa de la excavación, integrándola como parte del ciclo de la misma y al ser cada vez diferente, trajo como resultado grandes pérdidas de tiempo durante su ejecución.

Dependiendo de las características del terreno, continuamente fué necesario modificar, desde la plantilla de barrenación y carga hasta la longitud de la tronada, llegando incluso a utilizar unicamente martillo rompedor en una especie de peine del frente para poder acomodar el siguiente marco, avanzado cada vez 50 Cm.

Como consecuencia de lo anterior, la duración de las actividades de ademado, comunmente dependian del estado que presentaba el terreno y que en forma general podemos agrupar en tres casos:

- 1o.- Material inestable con desprendimientos ligeros al intemperizarse.
- 2o.-Material inestable con desprendimientos medianos al faltarle apoyo despues de la explosión y al intemperizarse
- 3o.- Material inestable con vaciados voluminosos de la clave durante la explosión y despues de esta.

La colocación de los marcos y el enhuacalado de madera para evitar los desprendimientos mencionados anteriormente, formaron una etapa importante en la construcción del túnel, por el tiempo utilizado en su ejecución.

### 2.2.3. Ademado del Túnel.

Descripción.- El ademado en los dos primeros casos mencionados anteriormente, consistió en la colocación de los marcos metálicos a una distancia equivalente a la longitud de excavación obtenida en la tronada (de 1 a 2 metros), que

varía de acuerdo con el material. Colocado el marco (tiempo utilizado más o menos constante), se procedía al retaque de madera apoyándose en estos y que podía consistir desde un simple acuñamiento del material contra los mismos, hasta la formación de verdaderas estructuras para efectuar el enhuacalado.

Para el tercer caso, vaciados voluminosos o grandes desprendimientos de hasta 7 metros hacia arriba a partir de la clave, el procedimiento utilizado se explica claramente en los dibujos que a continuación se anexan. En el primer paso la colocación de las vigas se hizo necesario por los desprendimientos continuos (ligeros) que impedían a los trabajadores poder realizar los preparativos necesarios (colocación de zapatas) para la colocación de los marcos. Una vez colocadas las vigas y el enhuacalado superior, podían colocar los marcos con mayor confianza para después apoyar las vigas en estos.

#### Equipo:

- 1 Jumbo (el mismo de la barrenación)
- 1 Camión plataforma F-600
- 1 Camión de volteo F-600
- 1 Sierra eléctrica de disco
- 1 Planta de soldar
- 2 Pistolas S-48 con martillo
- 1 Lote de herramienta (sierras, picos, pala, martillos, etc.)

#### Material:

- Madera de 8" x 8"
- Madera de 6" x 4"
- Madera de 4" x 4"
- Madera de 2" x 12"
- Clavos de 6"
- Clavos de 4"
- Tornillos de 1" x 2.5"

Tuercas de 1" y 3/4"

Personal:

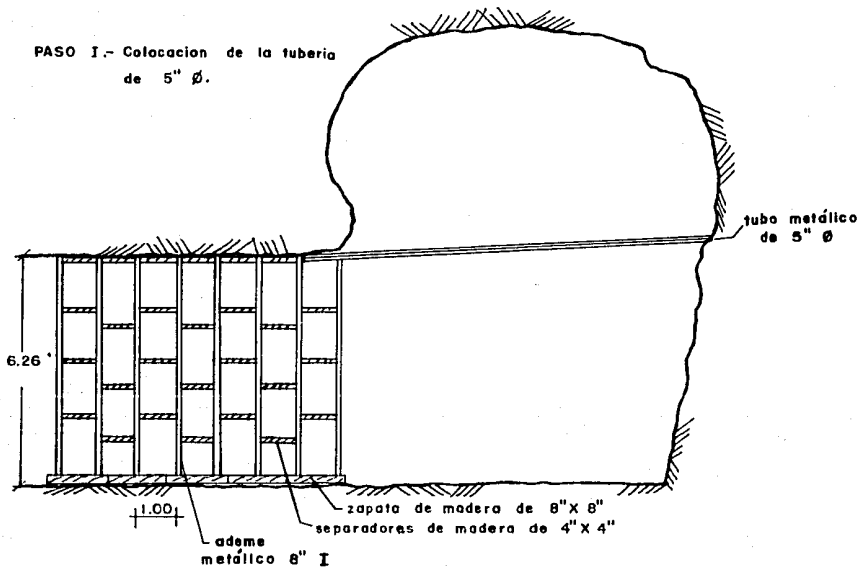
- 3 Carpinteros
- 3 Ayudantes de carpintero
- 1 Soldador
- 1 Ayudante de soldador
- 2 Choferes
- Personal de perforación .

Descripción de las Actividades:

Una vez terminada la rezaga, se transita y coloca el Jumbo cerca del frente; Pero dentro de la zona de protección de los marcos. Se amaciza el terreno desprendiendo las rocas más peligrosas, se pega el Jumbo al frente y se sacan las plataformas de extensión para preparar el piso y poder colocar las zapatas de madera donde se apoyarán los marcos. Al tiempo que se preparan las zapatas, se comienzan a descargar e izar la parte superior del marco (dividido en dos secciones), ayudados de sogas que se atan a los marcos colocados anteriormente. Izadas y atadas cada una de las secciones del marco, se colocan las bases de las patas en las zapatas de madera a la distancia fijada a partir del marco anterior, se hacen coincidir seguidamente las placas de apoyo de la clave y se atornillan, se colocan los separadores y tensores cortados previamente a la medida indicada, quedando de esta manera el marco fijo al anterior. Por medio de cuñas, que se apoyan en las paredes del túnel, se alinea el centro de las placas de unión en la clave, revisando con plomadas que las patas queden en posición vertical (ver dibujo de ademe en el plano general del proyecto). Apoyándose en el marco, se va formando el enhuacalado con madera que previamente se ha transportado al frente, acuñaando primeramente las zonas que se consideren peligrosas.

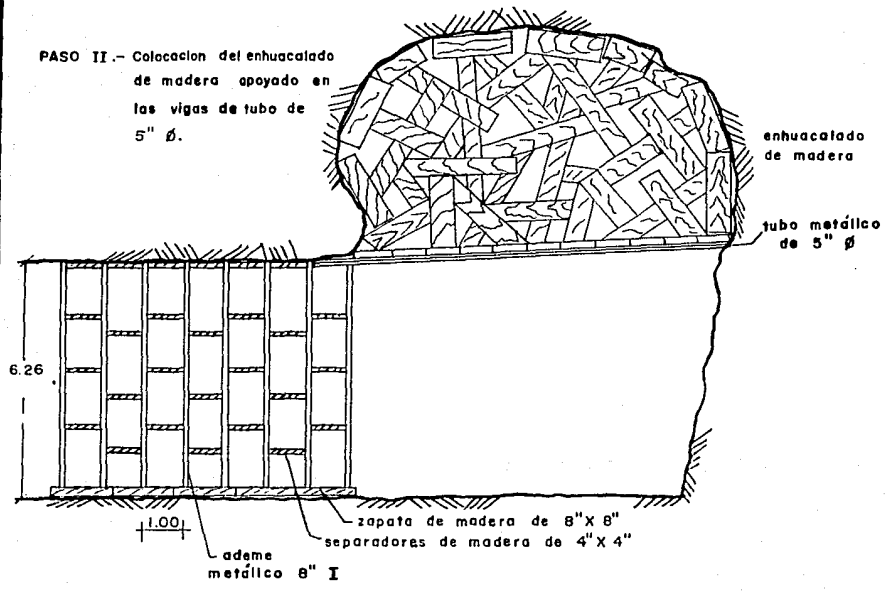
La duración de esta etapa, es muy variable en lo que se refiere a la colocación de madera, distribuyéndose aproximadamente de acuerdo con lo siguiente.

PASO I.- Colocacion de la tuberia  
de 5"  $\phi$ .





PASO II.- Colocacion del enhuacalado de madera apoyado en las vigas de tubo de 5"  $\phi$ .



enuacalado de madera

tubo metálico de 5"  $\phi$

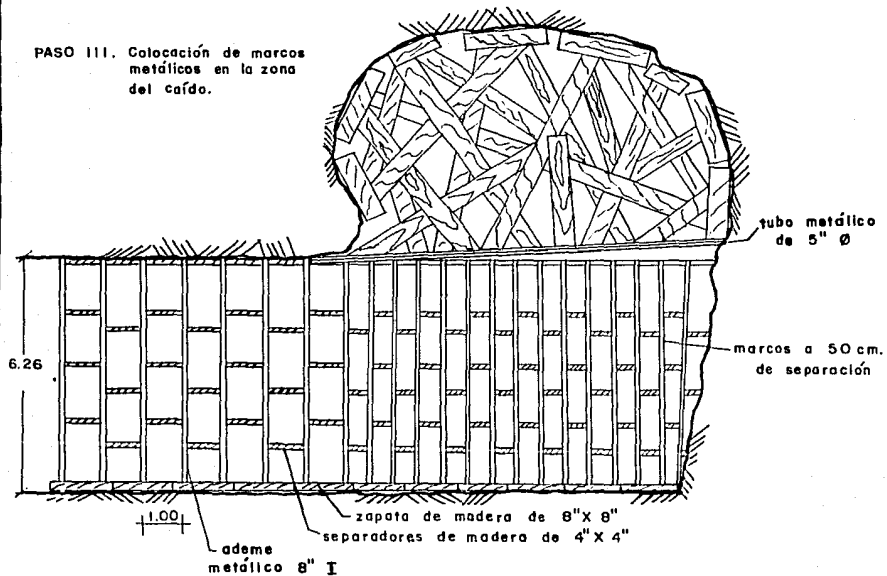
6.26

1.00

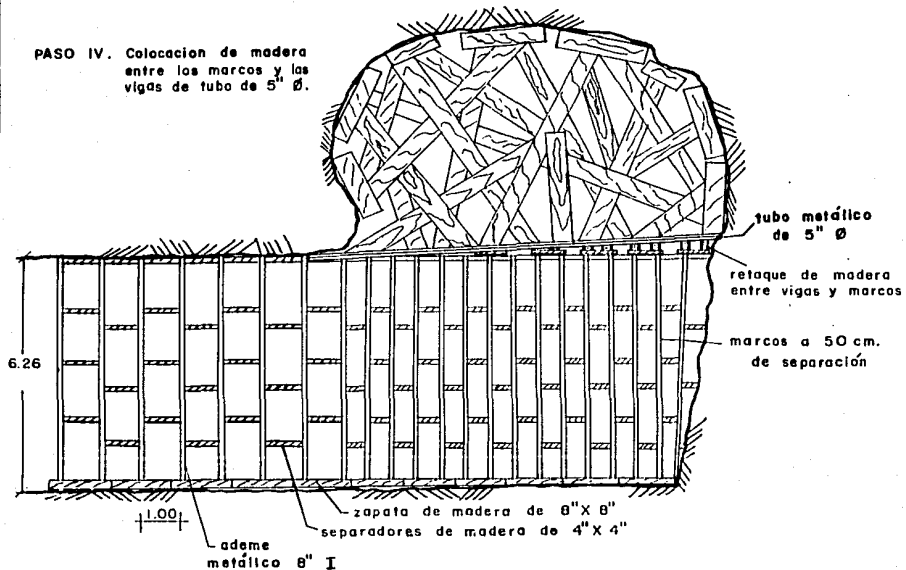
ademe metálico 8" I

zapata de madera de 8" x 8"  
separadores de madera de 4" x 4"

PASO III. Colocación de marcos metálicos en la zona del caído.



PASO IV. Colocacion de madera  
entre los marcos y las  
vigas de tubo de 5" Ø.



Actividad	Duración
Preparación y carga demarcos-	1Hr. (durante el rezagado)
Preparación y carga de madera-	2Hr. (durante el rezagado)
Transito del Jumbo	0.5 Hr.
Colocación del marco	1.5 Hr.
Colocación de la madera del enhuacalado:	
1er. Caso	2.5 Hr. en promedio
2o. Caso	6.0 Hr. en promedio
3er. Caso	72.0 Hr. en promedio

#### 2.2.4. Resumen de la Excavación

##### Determinación de los Tiempos Totales

Duración en días calendario - 790 días

Longitud total excavada - 3,190.47 Metros

Promedio de excavación obtenido con dos frentes =

$3190.47/790 = 4.038$  metros por día

Tiempo total trabajado con un solo frente :

$41 \text{ meses} \times 30.42 \text{ días} \times 0.8 \times 23.0 \text{ Hr.} = 22,948.85 \text{ Hr.}$

DURACION DE LAS ETAPAS

ETAPA	ACTIVIDADES	DURACION DEL CICLO	%
Barrenación y carga	Topografía Barrenación Carga Disparo	5,488 Hr.	24%
Rezagado	Ventilación Amacice Rezagado	6,062Hr.	26%
Ademe	Colocación de marcos Enhuacalado de madera	7,338Hr.	32%
Tiempos Perdidos	Fallas de: Energía Inundaciones Otros	4,061Hr.	18%
TIEMPO TOTAL TRABAJADO		22,949 Hr.	100%

Promedios Totales Obtenidos Por Metro Lineal de Excavación

Barrenación y carga = 5,488 Hr. /3,190.47 M = 1.72 Hr. /M.

Rezagado = 6,062 Hr. /3,190.47 M. = 1.90 Hr. /M.

Ademe = 7,338 Hr. /31,90.47 M. = 2.30 Hr. /M.

Tiempos perdidos = 4,061 Hr. /3,190.47 M. = 1.27 Hr. /M.

Duración promedio obtenida para un ciclo de excavación con avance de un metro lineal = 7.19 Hr.

### 3. Revestimiento de Concreto del Túnel

Para garantizar la estabilidad de la obra después de la excavación en las paredes y la clave del túnel, así como para formar la sección especificada en el diseño hidráulico, se requirió efectuar el revestimiento de concreto de la sección perimetral. El volumen de concreto necesario para la ejecución de los trabajos, fué de aproximadamente 53,100 M3 distribuidos la siguiente forma:

Túnel: 46,827 M3

Relleno de caídos : 4,682 M3

Estructuras complementarias : 1,600 M3

El tiempo disponible para la ejecución de los trabajos, de acuerdo con la construcción de la obra, fué de aproximadamente 300 días efectivos; por lo que fué necesario obtener un rendimiento promedio de 177 M3 por día en la colocación de concreto, para cumplir satisfactoriamente con el programa.

Para lograr lo anterior, había que planear el equipo y las instalaciones que nos permitieran holgadamente garantizar la producción requerida.

Rendimiento promedio por día efectivo: 177 M3

Rendimiento por hora:  $177/8 = 22.125$  M3

Por experiencia en trabajos anteriores, se decidió que requeríamos de una capacidad de producción de 50 M3/Hr. instalada.

#### 3.1 Producción de Agregados

Los volúmenes de agregados necesarios para la fabricación de concreto, de acuerdo con las recomendaciones del laboratorio son:

Arena : 40 %

Grava : 60 %

Volúmen de concreto : 53,109 M3

Desperdicio del 3 % = 1,593 M3

Total = 54,702 M3

Volúmen de agregados=  $54,702 \times 1.25 = 68,378 \text{ M}^3$

Gravas = 41,000 M<sup>3</sup>

Arena = 27,400 M<sup>3</sup>

Para la obtención de arena, se seleccionaron bancos existentes en la zona que requerían únicamente de cribado por la malla de 1/4", despalmes de 0.30 M de espesor promedio y acarreos de 12.0 Km hasta el patio previsto para el almacenamiento de agregados. Los despalmes se ejecutaron utilizando un pequeño tractor D-4 y la carga con un cargador frontal de llantas, utilizándose camiones de volteo pertenecientes a la unión de la región, para los acarreos.

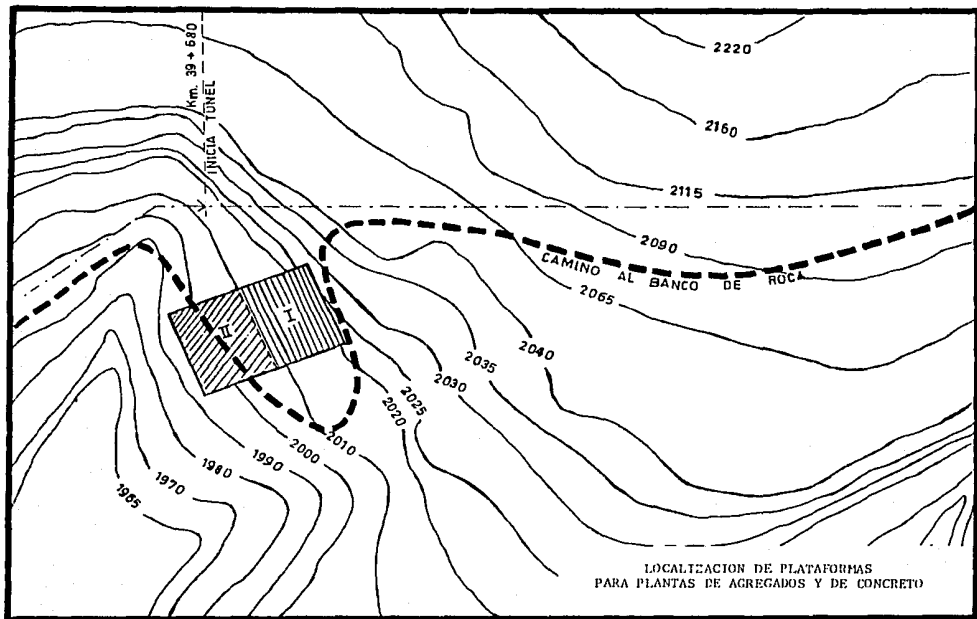
Para la obtención de gravas, se fijó un banco de roca ubicado a 2 Km del portal de la entrada del túnel, compuesto por rocas basálticas fracturadas y que presentó buena fracturación al triturarse.

Por condiciones de acceso, localización de bancos y avance en el proceso de excavación, se decidió iniciar los trabajos de revestimiento del túnel, de la mitad de su longitud hacia la entrada y ubicar las instalaciones en un sitio cercano adecuado topográficamente.

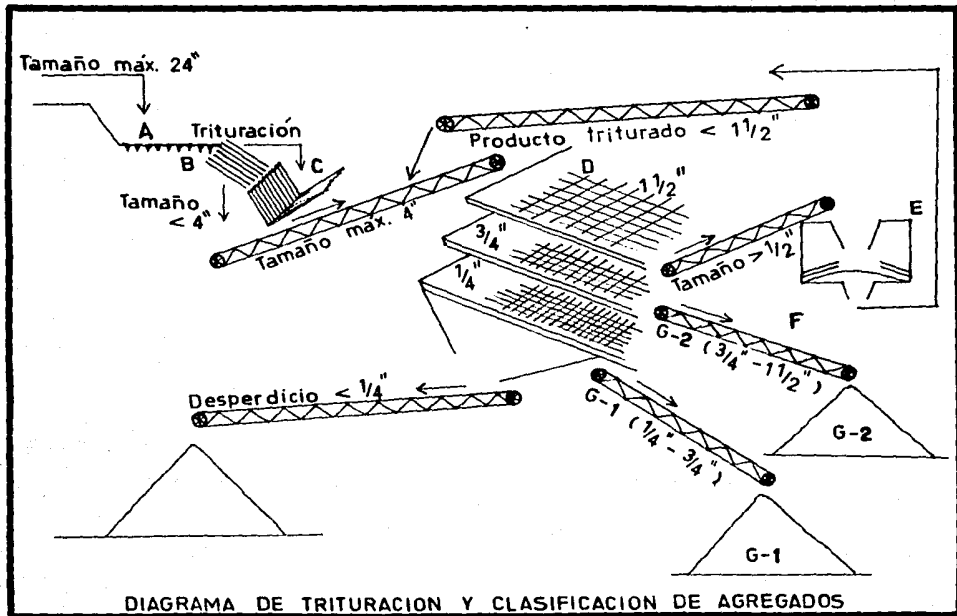
Sobre la ladera de lado derecho del portal de entrada, se acondicionaron dos terrazas de aproximadamente 2.0 Ha. cada una, aprovechando material de excavación del túnel donde se almacenó parte de la rezaga que pudiera utilizarse para la producción de agregados (ver croquis anexo).

Sobre la plataforma No.1, ubicada a desnivel respecto a la otra, se instaló la planta de trituración y clasificación de agregados en seco, la cual consistió en:

- A) Tolva de recepción de material (capacidad de 100 Ton)
- B) Alimentador vibratorio de 48"x12" (capacidad de 300 Ton/Hr)
- C) Quebradora de quijadas de 30"x42" (capacidad de 200 Ton/Hr)
- D) Criba horizontal vibratoria de 3 camas de 6'x16' con capacidad de 300 Ton/Hr
- E) Quebradora secundaria de cono 48S (capacidad de 200 Ton/Hr)







F) 3 Bandas transportadoras de almacenamiento de 30" de ancho por 80' de longitud

Esta actividad se comenzó 3 meses antes de la iniciación de los concretos de acuerdo con el programa de obra, lo que permitió obtener un colchon de aproximadamente 15,000 M3 de agregados.

#### Descripción del Proceso.

Banco de roca. - se ubico a un lado del camino que une la entrada y la salida del túnel, se explotó utilizando un Track-Drill, un compresor de 600 pcm, un tractor D-8 y una pala de 1 1/2 Yd3 de capacidad.

Se utilizaron brocas de 2" de diametro en bancos de 6.0 M de profundidad y una plantilla al tresbolillo con espaciamiento y separación entre barrenos igual a 2 M.

El explosivo utilizado fué básicamente Nitrato de amonio, dinamita extra y cordón\*detonante iniciado con fulminantes.

Con la pala se cargaron camiones de 35 toneladas para alimentar la planta. El resto del proceso queda plenamente ilustrado en el diagrama anexo.

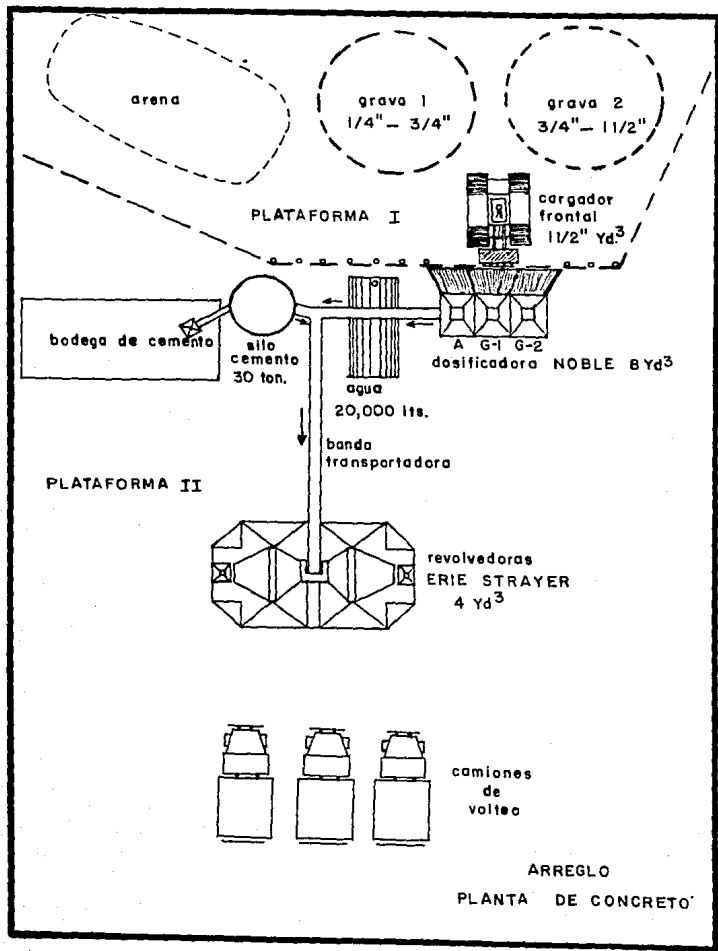
### 3.2 Producción de Concreto

Para la producción del concreto se utilizó una planta dosificadora marca Noble con capacidad de 60 Yd3/Hr (46 M3/Hr), con dispositivos de control electrónico para pesar y dosificar los agregados, el cemento y el agua se agregaba automáticamente previa selección de los pesos de cada componente desde el tablero eléctrico central. Junto a esta planta se planeó la instalación de dos mezcladoras de tipo estacionarias basculantes con capacidad de 4 1/2 Yd3 marca Erie Strayer, para premezclar el concreto y poderlo transportar en camiones de volteo con caja arreglada especialmente para tal uso.

El arreglo general de las instalaciones se puede apreciar en el croquis anexo.

#### Descripción del Proceso

Los agregados previamente almacenados sobre una plataforma situada a desnivel respecto a la planta de concreto, son cargados a la tolva de almacenamiento de la planta dividida



ARREGLO  
PLANTA DE CONCRETO

en tres compartimientos (arena, grava 2 y grava 1), por medio de un cargador frontal de ruedas de 1 1/2 Yd3 de capacidad. Los agregados seleccionados son pesados automáticamente según la dosificación por peso que previamente haya sido indicada en la carátula de la báscula por medio de las agujas indicadoras. El agua almacenada en un tanque con capacidad de 20 000 litros localizado junto a la planta, es bombeada a través de una tubería de 2 pulgadas de diámetro y medida con un cuenta litros que tiene una cabeza electrónica, de tal forma que al completar la cantidad previamente marcada de acuerdo con la dosificación, acciona una válvula que corta el flujo del agua hacia las mezcladoras y la deriva nuevamente al tanque.

Los agregados una vez pesados, son transportados por medio de una banda hasta una de las mezcladoras donde se le incorpora el agua y el cemento para su mezclado.

El cemento envasado, se recibe en una bodega con capacidad de 1000 toneladas. En uno de los extremos de la bodega se localiza una tolva receptora y rompedora de sacos de un gusano transportador, que hace llegar el cemento a otro gusano elevador para almacenar el cemento a granel, en un silo de 30 toneladas de capacidad. Por medio de una compuerta automática, el gusano elevador puede vaciar el cemento a una tolva pesadora, controlada automáticamente desde el tablero central de la planta. El cemento una vez pesado es vaciado a la misma banda que transporta los agregados a la revolvedora.

Las revolvedoras también son controladas en sus funciones desde el tablero central de la planta dosificadora y una vez efectuada la mezcla, esta se vacía a un camión de volteo que lo transporta al sitio de colado.

El agua se obtuvo de un manantial cercano ubicado a 4 Km y se acarreo al tanque de almacenamiento por medio de camiones pipa con capacidad de 7000 litros.

Las revolvedoras se montaron sobre unas estructuras metálicas para alcanzar la altura de descarga suficiente hacia los camiones de volteo o camiones revolvedora.

El revestimiento se vigiló inicialmente por medio de inspección visual y posteriormente desde el tablero de control, a través de un dispositivo para medir el amperaje consumido por los motores.

### 3.3 Colocación del Concreto

Antes de iniciar el revestimiento de concreto en los túneles, es indispensable verificar por medio de secciones topográficas a cada 5 metros, que la sección de proyecto quede libre dentro de la sección de excavación. Esto es que no existan protuberancias que invadan la línea marcada como "A", que limita la excavación y que define el espesor de proyecto para el revestimiento de concreto.

Cuando se encuentran zonas que invadan este espesor, se procede a marcarlas con pintura roja, para lo cual la brigada de topografía se auxilia de un compás graduado cuyo centro se hace coincidir con el centro de la clave, y al detectar las protuberancias, son marcadas por medio de una pértiga. A estas zonas se les denomina zonas de peine y se procede a barrenarlas por medio de pistolas de piso de acuerdo con las profundidades que quedan previamente señaladas, para que después mediante un moneo se realicen las voladuras. Una vez terminado lo anterior, se rezaga el material y se procede nuevamente a comprobar la sección, y en caso de ser necesario se repite la operación. En ocasiones cuando las protuberancias son muy pequeñas pueden utilizarse martillos rompedores en lugar de los explosivos. A toda esta operación se le conoce como "peine".

Es muy importante verificar con anticipación que la sección quede libre de "peines", y si es necesario se utilizará un escantillón con la forma del túnel, lo cual evitará posteriormente entorpecer las actividades de revestimiento.

Una vez efectuado los "peines", se procede a las actividades propias de la colocación del concreto para el revestimiento del túnel, dividiéndose en las etapas siguientes:

- 1a. Colado de Guarniciones
- 2a. Colado de Plantilla
- 3a. Colado de Paredes y Clave.

(ver croquis anexo)

Como una actividad previa a la instalación y colocación de las cimbras, se efectuó una limpia gruesa en el piso del túnel, utilizando un tractor para aflojar y amontonar la capa de material que sirvió de superficie de rodamiento durante el rezagado de la excavación, posteriormente se cargó a camiones y se tiró en el sitio de desperdicios.

## Colado de Guarniciones

Al terminarse las actividades de "peines" y limpia gruesa de la plantilla del túnel, se iniciaron los trabajos de limpia de la roca, primero mediante una cuadrilla con pico y pala y después por medio de chiflón de agua y aire sopleteando y limpiando el material suelto de las oquedades. Cuando el material existente no era roca, se limpiaba hasta la línea de tolerancia de la excavación, (20 centímetros aproximadamente, hasta la línea B) compactándose perfectamente con compactadores neumáticos (bailarinas) y colando hasta la línea "A" una plantilla de concreto pobre (100 Kg/Cm<sup>2</sup>).

Durante la ejecución de los trabajos de limpieza y colado de la plantilla pobre, se colocan anclas de acero de refuerzo en el piso que sirven para sujetar las cerchas y cimbra de enrase de la guarnición.

Una vez colocadas las formas de la guarnición, el departamento de topografía se avocó a nivelarlas y alinearlas correctamente, para su troquelamiento final. Terminada esta actividad, se procedió a la ejecución del colado de la guarnición utilizando una bomba de concreto que fué alimentada con camiones de volteo con la caja acondicionada para vaciar a la bomba por medio de una rampa.

Los tramos de colado fueron de 50 metros por lado, llegándose a colar hasta 150 metros por día en tres turnos de trabajo. Para lograr este rendimiento, fué necesario utilizar cuadrillas de limpieza, perforistas, carpinteros, soldadores y topógrafos que permitían mantener preparado el tramo siguiente de colado.

Esta actividad tuvo una duración total de 65 días calendario, suspendiéndose temporalmente (10 días) para el acceso de las formas de colado de paredes y clave que deberían prepararse e instalarse dentro del túnel.

La planeación general de la obra, marcó la iniciación de los trabajos de revestimiento antes de terminarse la excavación, por lo que el primer frente que se atacó fué el portal de entrada del túnel, cuando se llevaba por este lado un 60 % de la excavación total.

La parte complementaria de la guarnición se efectuó cuando se terminaron las excavaciones al 100 %, abriéndose otro frente con acceso por el portal de salida del túnel.

### Colado de la Plantilla

Cuando hubo suficiente tramo de guarnición ejecutado, se iniciaron los trabajos del colado de la plantilla, para lo cual se construyó un enrasador metálico, constituido de una estructura apoyada en el tramo de plantilla previamente colado con la guarnición (ver figura anexa).

Como con el colado de la guarnición fué totalmente verificada la nivelación y alineamiento, no se hizo necesario un exhaustivo control topográfico en el colado de la plantilla, por el contrario, los topógrafos únicamente vigilaron la alineación del centro de la forma mediante un tránsito, y que no se flotara, mediante un nivel.

El procedimiento del colado, consistió en que una vez recibido el tramo de limpieza, se colocaba el concreto delante de la forma, la cual se movía hacia adelante por medio de tirfors de 3 toneladas, anclados a la guarnición lateral. El concreto se vibraba por la parte delantera de la forma para que se acomodara debajo de esta, una vez que el concreto salía del otro lado, se corría la forma hacia adelante accionándose unos vibradores eléctricos de contacto para despegarla. Al final de la misma y sobre un andamio, una brigada de albañiles se encargaba de dar el acabado del Túnel.

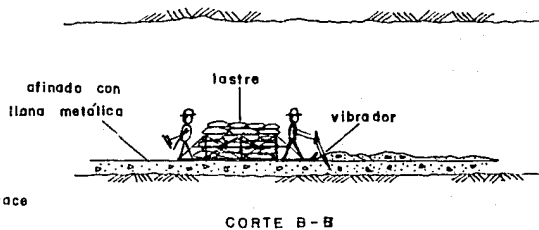
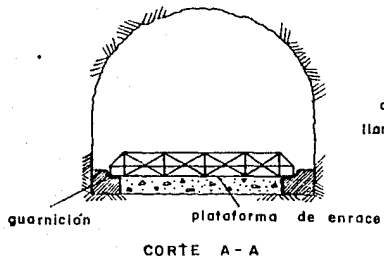
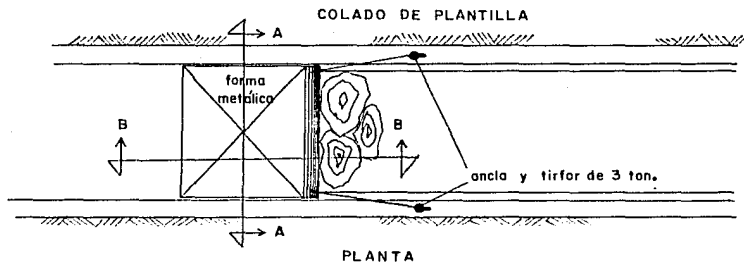
Con este procedimiento, se trabajaba durante las 24 horas del día y la velocidad de colocación dependía únicamente del acarreo dentro del túnel, haciéndose necesario construir libramientos con tramos de plantilla colados previamente en forma convencional. El acarreo se efectuó en camiones de volteo con cajas arregladas para concreto. El mismo procedimiento se utilizó en el portal de salida del Túnel.

Esta actividad tuvo una duración de 65 días calendario, suspendiéndose de igual manera que en las guarniciones para el acceso de las formas.

### Colado de las Paredes y Clave

Para realizar esta etapa se diseñó un sistema de colado continuo, el cual se llevaba a cabo por medio de formas metálicas retráctiles, que al abatirse podían ser transportadas a través de otros módulos similares en posición de colado.

El sistema de colado continuo, fué planeado como única al-



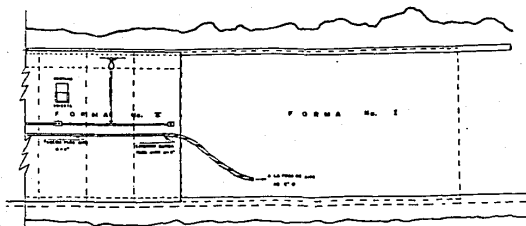
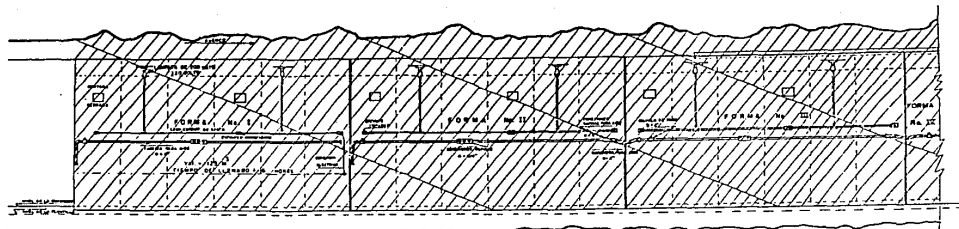


ternativa para poder cumplir con la fecha programada de terminación del revestimiento del Túnel y básicamente está compuesto por:

- Tren de formas metálicas retráctiles cuyos módulos pueden quitarse de un extremo, pasar a través de las otras formas y colocarse en el otro extremo.
- Tren de colados compuesto por una tolva receptora de concreto con un mezclador de aspas accionado por dos motores neumáticos reversibles, dos colocadores de concreto neumáticos (cañones) "Air Placco" de 1 Yd3 de capacidad, una plataforma con rampa para troquelamiento y soporte de la tubería conductora del concreto, un tanque de almacenamiento de aire comprimido y tubería de fierro para la inyección del concreto en la clave del túnel.
- Un transportador de banda con tolva receptora de 3 M3 de capacidad, para recepción del concreto de los camiones y vaciado a la tolva del tren de colado.
- Una rampa metálica para auxilio del vaciado del concreto de los camiones a la tolva.
- Un malacate neumático de 10 toneladas de capacidad montado sobre el tren de colados para su avance.
- Vibradores neumáticos de 2 pulgadas de diametro, dos compresores eléctricos de 1000 pcm y tubería para conducción de aire de 6 pulgadas de diametro.

#### Descripción del Sistema

Tren de formas metálicas.- Las formas metálicas fueron construidas con forro metálico de placa de 1/4" de espesor, soldado sobre canales de 6" liviana que se apoyan en cerchas también metálicas de lámina de 1/2" que dan al contorno del túnel. La separación entre los canales es la mínima necesaria para que el forro de las formas no sufran deformaciones mayores de 1/2 Cm con la presión del concreto, esto mismo debe ser congruente con la capacidad de carga de los canales que están apoyados en las cerchas a cada 1.50 M. Las cerchas únicamente están troqueladas en la parte inferior y contra las paredes del túnel, con maderas que luego son retiradas al llenarse de concreto. La presión del concreto depende de la velocidad de llenado de la forma y del peso específico del mismo.



SECUENCIA EN EL  
 COLADO

Las formas se construyeron en módulos de 1.5 M y tienen cuatro bisagras para retraerse, dos en la parte inferior para los faldones accionados por medio de diferenciales de cadena con capacidad de 5 toneladas cada uno (2 a cada lado), y dos bisagras en los hombros para despegar el molde del muro y parte de la clave, accionados por cuatro gatos hidráulicos de doble acción. La parte superior es fija y carga todo el peso de la forma cuando esta colapsada sobre el carro transportador (jumbo), los módulos están unidos entre sí por medio de tornillos de 3/4" de diámetro para integrar formas de 9.0 metros de longitud.

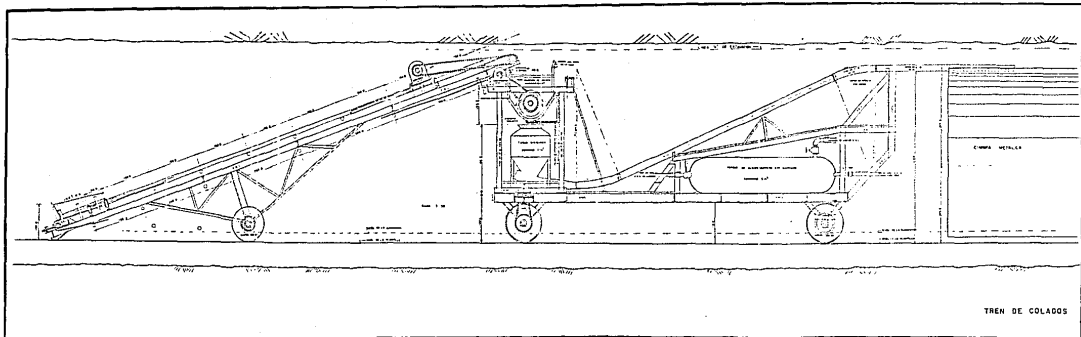
La longitud total del tren de formas fue de 45 M (5 formas de 9 M cada una) y se calculó de acuerdo con el tiempo de llenado de cada forma el cual fué de 6 horas, así como del tiempo necesario para el fraguado del concreto, que era un mínimo de 18 horas según especificaciones de la SARH para este proyecto.

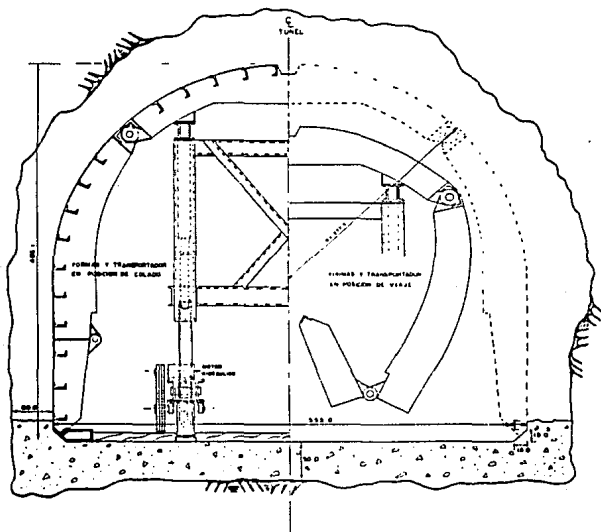
La forma se diseñó con un canal en la clave para alojar la tubería de inyectado del concreto, así mismo se instalaron contactos y tomas de aire para extensiones eléctricas de lámparas necesarias en la iluminación del colado y de los vibradores, estas se conectaban unas a otras por medio de contactos trifásicos y conexiones de aire rápidas de 2" de diámetro, teniendo además su iluminación propia con lámparas de gas neón y cuarzo.

El carro transportador metálico (jumbo), es de 12 metros de longitud y se apoyaba en cuatro columnas telescópicas accionadas por gatos hidráulicos, cada columna contaba con 2 ruedas neumáticas que se movían sobre rieles compuestos de viguetas I 10"L, las cuales también formaban parte del troquel, los dos trenes de ruedas posteriores, tenían un sistema motriz accionado con motores hidráulicos. Todo este sistema se controlaba desde un mando central, que constaba de una bomba hidráulica con motor de 25 HP y un block de válvulas de control.

Tren de Colados.- Este tren se montó sobre una estructura de vigueta metálica, con dos ejes de llantas que se impulsaban por medio de dos motorreductores de 15 HP, en él se montaron los cañones Air placco, la tolva receptora de concreto, el tanque de almacenamiento de aire y la tubería de fierro.

Banda Transportadora.- Un transportador de banda construido exproceso para recibir el concreto de los camiones y vaciarlo a la tolva receptora. En su parte delantera tenía unos patines para apoyarse sobre la plantilla de concreto y dos llantas centrales.





FORMAS METALICAS TELESCOPICAS  
Y TRANSPORTADOR PARA COLADO DE MUROS Y CLAVE

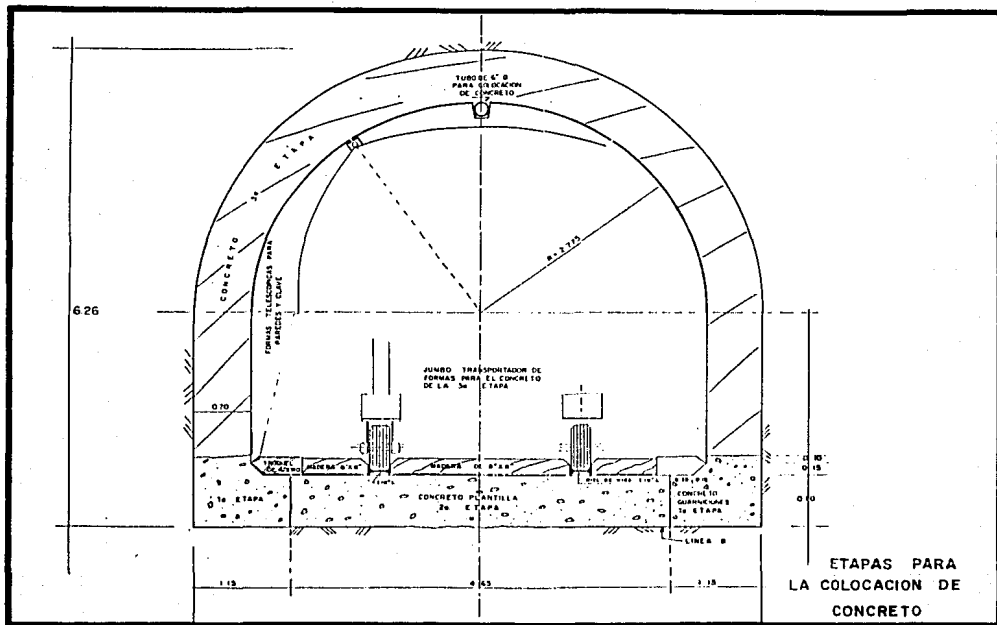
Funcionamiento del Sistema.- Como es un sistema de colado continuo, comenzaremos la descripción desde la posición inicial (1er. colado). Una vez que las cinco formas estan en posición de colado, perfectamente troqueladas y checadas topográficamente en sus niveles y alineación, se coloca un tapón de madera en la primer forma y se inicia el colado con una tubería que va desde el tren de colados hasta el final de la forma, donde descargará el concreto en el centro de la clave. Esta parte del tapón es reforzada y se coloca un amortiguador en el extramo de la tubería.

Al inicio del colado se inyecta primeramente mortero para lubricar la tubería y posteriormente se continúa con el concreto, la cantidad de mortero depende de la longitud de la tubería y es conveniente mojarla previamente inyectando agua.

Una vez que el concreto se ha vaciado a la tolva receptora de los cañones, se remezcla y se coloca dentro de éstos, cuando está lleno se cierra herméticamente y se le inyecta el aire a 100 lbs/pulg<sup>2</sup>, haciendo que el concreto viaje hasta el final de la tubería y deslizandose por las paredes de la forma. Es muy importante vigilar que ambos lados de los muros se llenen uniformemente. Durante este procedimiento el concreto se segrega, por lo que debe cuidarse la reintegración del mismo y que no pase más de 30 minutos desde su fabricación, el operador debe de medir la presión del aire para que no descargue el concreto con toda la fuerza del mismo, una vez que la forma se ha semillado formando un talud de aproximadamente 23 grados y queda perfectamente vibrado, se presenta el problema de llenar el hueco de la clave, el cual se realiza con la tubería semienterrada en el concreto y se descarga la potencia del aire para llenar los huecos hacia arriba.

Cuando se ha cañoneado varias veces la clave, se avanza en el tren de colados conforme se van llenando las formas hasta librar tramos de 3 metros de tubería, que se irán recortando conforme va avanzando este primer colado. Una vez que se han llenado las tres primeras formas la longitud de la tubería es fija y cuando se ha llenado la tercera forma, la primer forma de colado debe destroquelarse, colapsarla, limpiarla y aceitarla para colocarla en el espacio que debe haber entre el tren de colados y la ultima forma y así se seguira avanzando continuamente.

El trabajo se efectuó durante las 24 horas del día, iniciando los lunes al medio día y suspendiendo el sabado a las 7 de la mañana para el mantenimiento del equipo.



La duración de esta actividad fué de 140 días empezando por el frente de la entrada del túnel, repitiéndose el procedimiento en el frente de la salida con el túnel ya comunicado. La duración total de la actividad de colado fué de 260 días.

#### 4. Inyecciones de Contacto Concreto-Roca

Con el objeto de rellenar los huecos que quedan entre el concreto del revestimiento y la roca del túnel, sobre todo en las partes altas de la clave, donde aún cuando se proceda con cuidado especial para retacar el concreto, siempre existe la posibilidad de dejar huecos, se ejecutaron las inyecciones de contacto concreto-roca conforme un patrón de inyectado especificado previamente, consistente en barrenaciones de 3 pulgadas de diámetro y 1 metro de profundidad aproximadamente, 30 centímetros dentro de la roca con secciones alternadas a cada 5 metros de 2 y 3 barrenos (sección A y B de las figuras anexas).

Para la ejecución de este trabajo desarrollado paralelamente con el revestimiento de las paredes y clave con 30 días de desfaseamiento se acondicionó especialmente un jumbo de barrenación y uno de inyecciones montado sobre un chasis de camiones F-600.

El jumbo de barrenación fué construido con una perforadora marca Stenwick (percusión y rotación) con broca de 2 1/2 pulgadas de diámetro, adaptada sobre un eje de tubo reducción 80 de 5 pulgadas de diámetro, paraleleó al eje del túnel montada sobre una estructura que permitió ajustar con cierta facilidad la altura y el giro de la pluma de la perforadora para hacer coincidir los barrenos con la posición de proyecto.

El trabajo de barrenación se ejecutó durante los fines de semana, cuando el revestimiento de las paredes y clave se suspendía para el mantenimiento del equipo, colocando el jumbo en el centro del túnel para hacer coincidir el eje de la perforadora, una vez alineado el eje se hacia coincidir la altura de la misma con el centro de la clave y de ahí se posicionaba el ángulo correcto de barrenación para inmediatamente perforar. Los avances de este trabajo durante los fines de semana fueron de hasta 200 metros (ver figura anexa).

En los tramos de tubo adecuados (con marcas metálicas), se



fijaron tubos de 3 pulgadas soldados a los marcos atrás de la cimbra para ejecutar la inyección posteriormente. En tramos con caídas fuertes en la clave, se dejaron tubos especiales de 3 pulgadas en las partes más altas, haciendo llegar a tope con la roca para poder rellenar los huecos con mortero.

El jumbo de inyección constaba de una bomba tipo moyno (de gusano) 3L10, un tanque mezclador, un tanque agitador y sus plataformas para cemento y arena, el agua, el aire y la energía eléctrica se obtenía de las instalaciones permanentes en el túnel.

Durante el revestimiento de las paredes y clave de la salida hacia el centro del túnel, el tráfico del concreto fué a través del túnel por lo que el jumbo de inyección se colocaba pegado a un costado del mismo, para dar paso a los camiones y desde esta posición se hizo el inyectado.

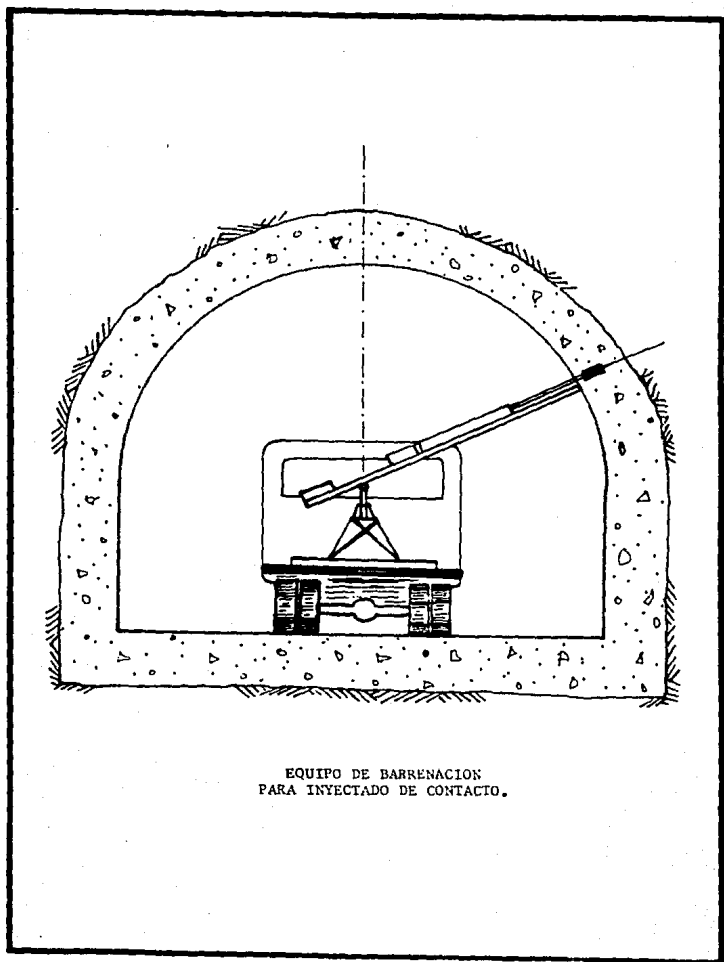
El inyectado se inició con una lechada de cemento-agua, la cual se preparaba en el mezclador para posteriormente vaciarse al tanque agitador de donde se conecta la succión de la bomba, de acuerdo con la presión especificada se comienza el inyectado tomando en cuenta el peso de la columna de lechada de la manguera. Si el barreno toma más de la cantidad programada o el barreno toma muy rápido la lechada, sin presión de rechazo, la siguiente inyección se cambia a mortero cemento-arena que servirá para llenar el hueco, con una proporción de:

1 Saco de Cemento  
50 Litros de Agua  
23 Litros de Arena

El inyectado del barreno se da por terminado cuando la presión de 1 Kg/cm<sup>2</sup> se mantiene por 10 minutos y el consumo es menor de 1 Lt.

En el caso de barrenos especiales para inyección en caídos, se realizaron con mortero cemento-arena con la proporción especificada.

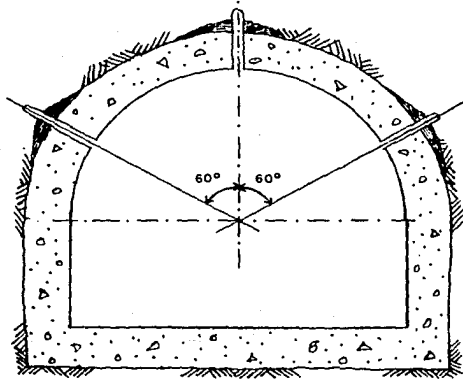
Esta actividad tuvo una duración de 285 días calendario y marca prácticamente la conclusión de los trabajos en el túnel.



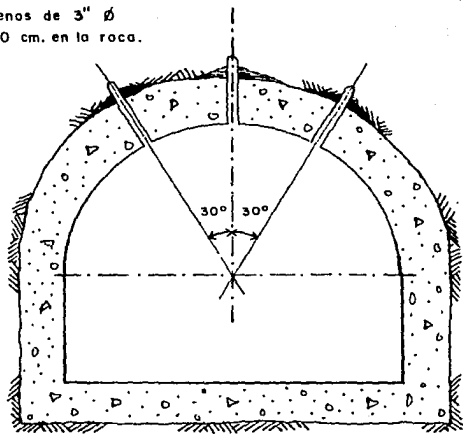
EQUIPO DE BARRENACION  
PARA INYECTADO DE CONTACTO.

Inyección de contacto

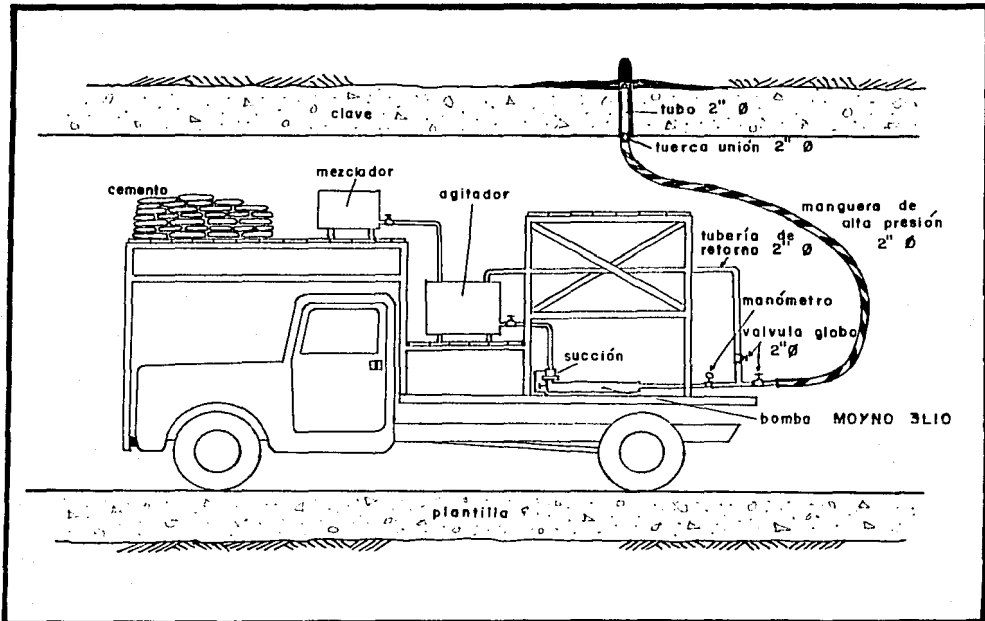
Barrenos de 3"  $\varnothing$   
20 ó 30 cm. en la roca.



SECCION A



SECCION B



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

La finalidad de este proyecto fué aprovechar y desalojar las aguas negras del Valle de México, beneficiando al estado de Hidalgo en especial al Valle de Mezquital y al Valle de Alfajayucan ya que estos se encontraban improductivos por la escasez de agua.

Como se menciona es un Túnel de sección portal de 4.68 m. de altura máxima y 5.55 m. de base ya revestido, esta sección fué la que se eligió despues de varios estudios así como la alternativa de que fuera de 3185.3 m. en lugar de 1865 m., pues aunque esta fuera más corta en longitud, provocaba mayor cantidad de problemas tanto de seguridad como económicos.

La obra tuvo buenas vías de acceso ya que se comunicaba con pueblos y ciudades importantes, además de que no hubo problemas tanto para abastecimiento de agua como de energía eléctrica.

Con respecto a la excavación de tajos y túnel no había otra alternativa más que formar dos frentes de ataque, uno al portal de entrada y el otro en el portal de salida, y que la obra no permitió mas frentes de trabajo, además de que el costo se incrementaría considerablemente. También es importante mencionar que el equipo que se utilizó para efectuar la obra fué el más apropiado por su versatilidad, economía y eficacia.

Al elegirse la alternativa de explosivos se comprobó que la empresa que los utilizaría además de tener experiencia contaba con el personal capacitado y calificado para cumplir con lo que se llamó ciclo de excavación, ya que nunca se tuvo una plantilla de barrenación a seguir, pues casi nunca se presentó el mismo tipo de material.

Se observó que el avance de obra con el método mencionado fué favorable, además de que hubo un buen control en el manejo y almacenaje de explosivos cumpliendo con las normas de la Secretaría de la Defensa Nacional.

Los trabajadores que laboraron en la obra tenían conocimiento de la importancia de cumplir con los ordenamientos indicados, además de que la supervisión tuvo un estricto control gracias a la cual no se presentó ningún tipo de accidente.

El funcionamiento real de este Túnel através del tiempo, ha sido satisfactorio, pues aunque el gasto ha ido aumentando las dimensiones de dicho Túnel son suficientes.

El beneficio social que se ha obtenido en la zona es enorme en comparación con el costo tan bajo de dicha obra, ya que las aguas que se utilizan son aguas negras pues el rendimiento de las tierras regadas es pobre y requerirían de grandes cantidades de fertilizantes incrementado el costo de producción.