

01/21
259



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DEL TUNEL,
NUEVO ACCESO ACAPULCO

T E S I S

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :
JOSE OCTAVIO CORIA OCHOA



DIRECTOR DE TESIS:
M. I. GABRIEL MORENO PECERO

MÉXICO, D.F.

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 142/02

Señor

J. OCTAVIO CORIA OCHOA

Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. GABRIEL MORENO PECERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como TRABAJO ESCRITO de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DEL TUNEL, "NUEVO ACCESO" A ACAPULCO"

- I. ANTECEDENTES
- II. DEARROLLO DE LA CONSTRUCCIÓN
- III. EXCAVACIONES
- IV. INSTALACIONES ESPECIALES
- V. REVESTIMIENTO DEFINITIVO
- VI. INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 3 de octubre de 2002.

EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

C

**A mi Familia por su apoyo moral
Invaluable.**

2

A mi director de Tesis, M.I.
Ing. Gabriel Moreno Pecero
Que con su apoyo fue posible
Hacer este trabajo.

e

**A mi amigo el Ing. Antonio Siañez
Que me dio la mejor oportunidad
De realizar este trabajo.**

f

A todos mis amigos y compañeros.

INDICE

CAPITULO I. ANTECEDENTES.

- I.1. Introducción.
- I.2. Estudios preliminares.
 - I.2.1. Estudios de origen - destino.
 - I.2.2. Reconocimiento de la zona y estudios topográficos.
 - I.2.3. Estudios de factibilidad.
 - I.2.4. Estudios de geotecnia.
- I.3. Proyecto ejecutivo.

CAPITULO II. DESARROLLO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA.

- II.1. Planeación de la obra.
- II.2. Programas de ejecución.
- II.3. Organización y administración de la obra.
- II.4. Sistema de aseguramiento de calidad y control de la obra.

CAPITULO III. EXCAVACIONES.

- III.1. Tajo Farallón.
 - III.1.1. Excavación en rampa del tajo Farallón.
 - III.1.2. Tratamientos de estabilización realizados en los taludes.
- III.2. Instalaciones del tajo para construcción del túnel (Frente Farallón).
- III.3. Emporlamamiento del túnel, Frente Farallón.
 - III.3.1. Procedimiento constructivo.

III.3.2. Sistema de excavación.

III.3.3. Soporte provisional.

III.3.4. Soporte definitivo.

III.4. Excavación del túnel, Frente Farallón.

III.4.1. Procedimiento constructivo y sistema de excavación.

a) Procedimiento de excavación para roca buena a muy buena.

b) Procedimiento de excavación para roca regular a buena.

c) Procedimiento de excavación para roca regular a mala.

d) Procedimiento de excavación para roca mala a muy mala.

e) Excavación en túnel para cualquier calidad de roca.

e.1) Procedimiento 1 y 2

e.2) Procedimiento 3

III.4.2. Soporte provisional del túnel.

III.4.3. Soporte definitivo del túnel.

III.4.4. Tratamientos en el túnel.

a) Tratamiento en la estación de convergencia no. 37.

III.4.5. Sistema de control de filtraciones.

III.4.6. Instalaciones en el túnel para la construcción (excavación).

III.4.7. Excavación en banqueo del túnel (sección inferior).

a) Excavación de la media sección inferior en zona de marcos metálicos.

b) Excavación de la media sección inferior en zona sin marcos.

III.4.8. Excavación y construcción del subdren y prolongación del control de filtraciones.

III.5. Procedimientos especiales.

III.5.1. Comunicación del túnel.

III.6. Estudio del ciclo de la media sección superior del túnel.**III.6.1 Ciclo de excavación.**

- a) Tiempo de barrenación.
- b) Tiempo de carga de explosivos.
- c) Tiempo de rezaga de material.
- d) Tiempo de concreto lanzado.
- e) Tiempo de anclaje sistemático.

III.6.2 Ciclo de terminación de tratamientos.

- a) Tiempo de anclaje sistemático.
- b) Tiempo de concreto lanzado.

CAPITULO IV. INSTALACIONES ESPECIALES.**IV.1. Medición de deformaciones del túnel.****IV.2. Agregados.****IV.2.1. Trituración.****IV.2.2. Almacenaje en frentes.****IV.3. Planta concretos.****IV.4. Aditivos.****IV.5. Pavimentos.****IV.5.1. Subbase y base.****IV.5.2. Asfaltos.****IV.6. Explosivos.****IV.7. Medición de escurrimiento de filtración y control de sedimentos.****IV.8. Montaje de Laboratorio.**

CAPITULO V. REVESTIMIENTO DEFINITIVO.**V.1. Revestimiento definitivo del túnel.****V.1.1. Habilitado de acero para el revestimiento definitivo.****V.1.2. Muros laterales.**

- a) Plantilla de reposición.
- b) Colocacion de acero de refuerzo en muros.
- c) Colocacion de cimbra en muros.
- d) Colocacion de concreto en muros.

V.1.3. Clave.

- a) Colocación de acero de refuerzo.
- b) Colocacion de cimbra en clave.
- c) Colocacion de concreto en clave.
- d) Descimbrado de clave.

V.1.4. Solera (pisos).

- a) Habilitado de canastillas.
- b) Acarreo y colocacion de canastillas.
- c) Cimbrado de la losa.
- d) Colocacion del concreto.
- e) Texturizado y curado.
- f) Aserrado y sellado de juntas.

V.1.5. Guarnición y banquetta.

- a) Guarniciones
- b) Banquetas.

CAPITULO VI. INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS.**VI.1. Acometidas eléctricas de C.F.E.****VI.1.1. Acometida lado México.****VI.1.2. Acometida lado Acapulco.****VI.2. Nicho eléctrico no. 1.****VI.3. Nicho eléctrico no. 2.****VI.4. Sistema de soporte de canalizaciones eléctricas en el túnel (charolas de alumbrado).****VI.5. Sistema de ventilación del túnel.****VI.6. Sistema de alumbrado.****VI.7. Sistema de emergencias.****VI.8. Sistema de combate contra fuego.****VI.9. Sistema de detección de incendios.****VI.10. Sistema de detección de tránsito.****VI.11. Sistema de detección de concentración de gases.****VI.12. Sistema de C.C.T.V.****VI.13. Caseta o módulo de servicio emergente.****VI.14. Casetas de peaje.****VI.15. Edificio administrativo.****VI.16. Edificio de control.****CAPITULO VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIÓN.**

CAPÍTULO I.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

CAPITULO I.

ANTECEDENTES.

I.1. INTRODUCCIÓN.

El puerto de Acapulco ha sido el centro turístico de México por excelencia y en la actualidad es el que mayor afluencia de visitantes recibe, el mayor porcentaje de ellos proviene de la Ciudad de México.

Siendo este puerto uno de los sitios turísticos y de recreación que más promoción y publicidad tiene, esto ha contribuido a que una gran cantidad de turistas, tanto nacionales como extranjeros, visite Acapulco, no solamente en períodos vacacionales sino también durante todo el año.

Por otra parte, la situación geográfica de este puerto es por demás propicia para que tenga una gran afluencia; por su cercanía con los Estados de Puebla, Morelos, Tlaxcala, el Distrito Federal, inclusive en el área del centro de la República Mexicana, como son los Estados de Hidalgo y Querétaro, contribuyen a un gran porcentaje de afluencia de vehículos visitantes.

En los últimos años se ha dado un elevado crecimiento en el flujo vehicular en el tramo de acceso a Acapulco, partiendo de Las Cruces, pasando por La Cima y entroncando con las Avenidas Farallón, Cuauhtémoc y Ruiz Cortines. Esto ha sido motivado por el desarrollo que ha tenido la ciudad, principalmente hacia la zona de Renacimiento y Emiliano Zapata, situadas fuera del denominado "Anfiteatro" y también por la reciente puesta en operación de la nueva Autopista México - Acapulco, que incorpora un importante flujo vehicular hacia otras áreas de la Ciudad. La circulación vial en el tramo Las Cruces - Ruiz Cortines, donde se concentra la mezcla de los dos flujos anteriores, se ha visto afectada de tal forma que presenta una operación muy deficiente.



Figura I.1. Fotografía del intenso tráfico en la Antigua Carretera México - Acapulco.

I.2. ESTUDIOS PRELIMINARES.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.2.1. Estudios Origen - Destino.

Para conocer la movilidad vehicular dentro de Acapulco, se llevó a cabo una encuesta origen - destino, en la que se entrevistaron a los conductores de vehículos foráneos y locales, que entran o salen del puerto empleando el acceso que pasa por La Cima.

En la encuesta se preguntó a los conductores el origen y el destino de su viaje, la frecuencia con que lo realizan y el propósito del mismo.

Las estaciones de encuesta se situaron en las intersecciones: Ruiz Cortines - 6 de Enero y Farallón - Rancho Acapulco, para los vehículos que llegaban a Acapulco; y en La Cima, para los vehículos que salían de Acapulco.

Los resultados obtenidos del análisis se observan en la tabla de la Figura I.2.

Destino	Porcentaje
1.- Centro de la Ciudad	45%
2.- Costera Miguel Alemán Oriente	10%
3.- Costera Miguel Alemán Poniente	4%
4.- Colonia Progreso (Zona Industrial)	5%
5.- Fraccionamiento Hornos	4%
6.- Fraccionamiento Magallanes	4%
7.- Caleta y Caletilla	3%

Figura I.2 Análisis de los vehículos que llegan a Acapulco.

Cabe hacer notar que estas siete zonas reciben el 75% de los vehículos que entran al Anfiteatro.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura I.3 Fotografía del antiguo entronque Acapulco - Pinotepa Nacional.

Se puede advertir entonces que el Centro de la Ciudad es el punto más importante de los viajes vehiculares. De igual manera al analizar los vehículos que salen de Acapulco, se detecta que el Centro de la Ciudad es el generador más importante de viajes vehiculares.

Con los resultados de la encuesta, se hizo una distribución probable del movimiento de entrada a Acapulco en las vías de acceso, en función de las líneas de deseo de viaje a los diferentes destinos, donde se prevé que las Avenidas Cuauhtémoc y Farallón captan el 79% del flujo vehicular.

Por esta razón es que una de las alternativas de ubicación de proyecto del túnel es la línea Las Cruces - Farallón - Cuauhtémoc.

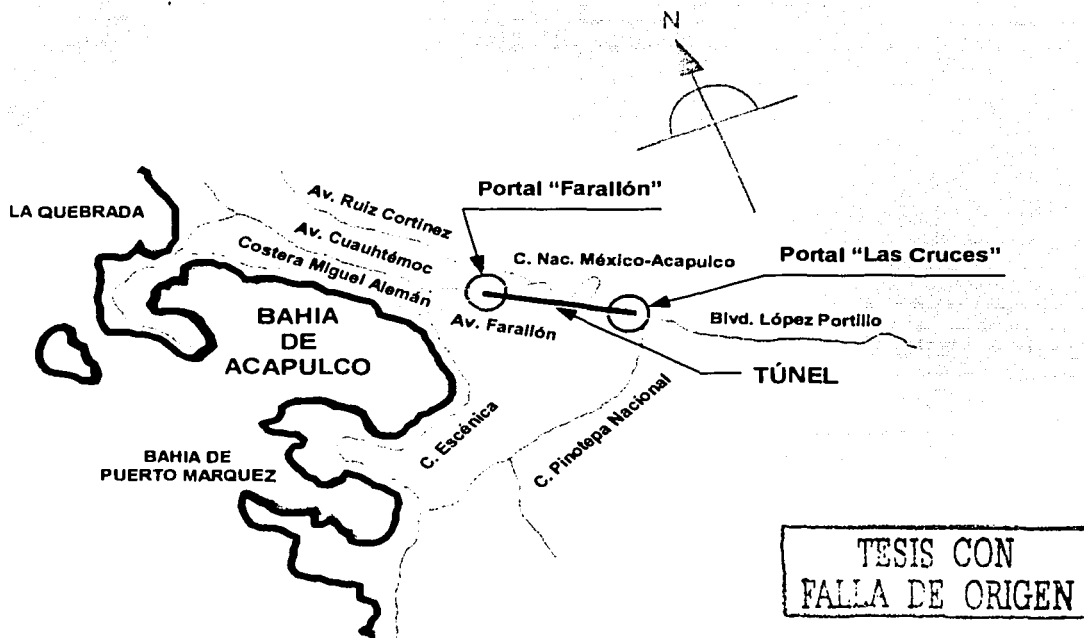


Figura I.4 Croquis de Localización.

I.2.2. Reconocimiento de la Zona y Estudios Topográficos.

La zona en estudio se encuentra localizada al Noreste de la bahía de Acapulco, entre las coordenadas E 14500 a E 18500 y N 8500 a N 11000.

Para elaborar el plano geológico regional, se interpretaron fotografías aéreas con escala 1:10000 de 1985, así como las de un vuelo de 1966, escala 1:10000, cuando el desarrollo urbano de la Ciudad de Acapulco estaba limitado a la zona de la bahía, apreciándose con mayor detalle los rasgos fisiográficos del área.

Los datos obtenidos con la interpretación fueron verificados en el campo por medio de un reconocimiento a la zona y pasaron a un plano fotogramétrico con escala 1:5000 del año 1971, obteniéndose de esta manera el plano geológico en la zona en donde se construyó el Túnel Acapulco.

Una vez realizado el estudio geológico y con los resultados obtenidos de los sondeos de exploración, se definió la alternativa del trazo del túnel en el plano geológico y en el plano general de localización.

1.2.3. Estudios de Factibilidad.

Para la solución definitiva del nuevo acceso, se presentó al Gobierno del Estado y a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tres alternativas de proyecto:

La primera alternativa, sería un camino desarrollado en zona despoblada y montañosa de 6.5 km de longitud aproximadamente, con graves problemas, entre ellos, el promover nuevos asentamientos humanos.

La segunda alternativa fue construir un túnel de 3 km de longitud, con tres carriles, que resolvería por lo pronto el problema actual, pero funcionaría solamente hasta el año 2000.

La tercera alternativa fue dos túneles gemelos de aproximadamente 3 km de longitud que están localizados en la siguiente forma: el portal de entrada hacia Acapulco a 500 metros del actual crucero de Las Cruces; y el portal de salida a 200 metros del cruce de la calle Rancho Acapulco con la Av. Farallón, que desemboca en la Glorieta de la Diana Cazadora en la Costera Miguel Alemán, atravesando de esta manera toda la montaña que circunda la Bahía de Acapulco. Esta alternativa fue la seleccionada por la S.C.T. por ser la más conveniente.

En Abril de 1989 se determinó que el actual acceso por La Cima, manejaba un volumen de tránsito diario promedio anualizado (TDPA) de 32,809 vehículos, a un nivel de servicio "F" (forzado) figura I.6 tabla de niveles de servicio. También se detectó que el 77 % de los viajes vehiculares se generaban en la localidad y el 23 % restante, procedía de la carretera México - Acapulco.

El pronóstico de los volúmenes de tránsito esperado a los horizontes de 1991, 1994, 2000, 2010 considerando el crecimiento demográfico según el Plan de Director Urbano de Acapulco y el incremento de tránsito derivado del ahorro en tiempo que tendrán los usuarios de la nueva Autopista México - Acapulco, se muestra en la tabla de la Figura I.5.

Año	TDPA (Tránsito diario promedio anualizado, estimado para la zona de Las Cruces).
1989	32,809
1991	37,042
1994	44,455
2000	59,568
2010	95,189

Figura I.5 Volúmenes de tránsito.

Con fundamento en las cifras y consideraciones anteriores, referentes al crecimiento de la demanda de tránsito, se calculó que de los 32,809 vehículos por día estimados, 6,000 vehículos por día se desviarán inicialmente al túnel. Este volumen ascenderá a 9,000 en 1997, a 18,231 en el año 2000, a 23,103 en el 2005 y hasta 29,215 vehículos en el año 2010.

Si se considera una sección de dos carriles por sentido para el túnel conforme al tránsito esperado en él, se podrá mantener una operación aceptable hasta unos años después del 2000.

Por otra parte, aún canalizando los 6,000 vehículos iniciales al túnel, el volumen que permanecerá en la vía continuará incrementándose, por lo que aún cuando los dos carriles por sentido planteados en el túnel, serán suficientes para el tránsito esperado en él hasta después del año 2000, los incrementos futuros en el tramo actual tendrían que desviarse a otras opciones viales de penetración y salida a los flujos vehiculares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esto significa que para después del año 2000, en que se requerirán tres carriles por sentido adicionales a la sección de la vía actual, un solo túnel de dos carriles sería insuficiente, por lo cual se deberá pensar en la construcción de una vía adicional a la actual y el túnel propuesto lo cumple, estableciendo su trazo de tal forma de evitar la concentración en la entrada actual y permitir el acceso hacia las zonas de mayor desarrollo urbano y turístico localizadas al oriente de Acapulco, a efecto de evitar desplazamientos regresivos y cuellos de botella a la población periférica que se desplazaría hacia esa zona.

Un túnel de tres carriles de circulación puede manejar 30,000 vehículos por día a un nivel de servicio "C" estable.

Con la capacidad combinada de un túnel de tres carriles y el acceso de superficie por La Cima, trabajando a niveles de servicio "C" y "F" respectivamente, se podrán manejar 63,000 vehículos por día, lo cual permitirá cubrir la demanda total esperada hasta el año 2003.

Dos túneles gemelos de tres carriles de circulación cada uno, combinándose con el acceso de superficie por La Cima, trabajando a niveles de servicio "C" y "F" respectivamente, podrán manejarse 93,000 vehículos por día, que es casi el volumen esperado para el año 2010.

Nivel de Servicio	Circulación	Observaciones
A	Libre	Los conductores pueden elegir su velocidad, dentro de los límites reglamentados.
B	Estable	Los conductores tienen libertad razonable para elegir sus velocidades y el carril de operación.
C	Estable	La mayoría de los conductores perciben la restricción de libertad para elegir sus velocidades, cambiar de carril o rebasar.
D	Poco estable	Los conductores tienen poca libertad de maniobra con la consecuente pérdida de comodidad.
E	Inestable	Pueden ocurrir paros de corta duración.
F	Forzada	Se producen filas de vehículos y paros por congestiónamiento.

Figura 1.6 Niveles de servicio para la hora de máxima demanda.

Si la demanda de tránsito hacia el "Anfiteatro" creciera mas allá de la capacidad combinada de los accesos en túneles gemelos y por La Cima, resultaría aconsejable construir nuevos accesos en las ubicaciones que resulten más eficientes, de acuerdo con las zonas particulares que se deseen.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

comunicar dentro y fuera del "Anfiteatro", evitando así la concentración de vehículos en una sola zona de accesos y los movimientos regresivos que ello ocasionaría.

Por lo antes mencionado, se ha propuesto resolver el nuevo acceso mediante túneles gemelos, de 3 carriles de circulación cada uno, con ancho de 3.50 metros por carril y altura libre de 5.50 metros, como lo señalan las recomendaciones expresadas de la S.C.T. y con banquetas a ambos lados de 0.65 metros, con sangría de 0.25 metros, como se muestra en la Figura 1.7.

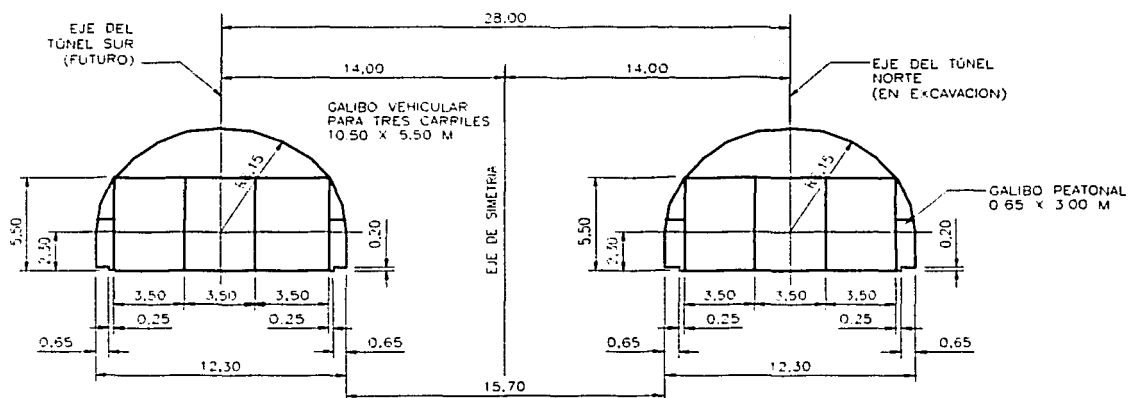


Figura 1.7 Sección del túnel.

Por estrategia financiera, convino construir primero uno de los túneles, aceptando circulación vehicular en dos sentidos y más adelante, cuando el aforo de usuarios lo justifique, construir el otro túnel gemelo.

1.2.4. Estudios de Geotecnia.

a) Geología:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La zona que se estudió se encuentra localizada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, que incluye la región montañosa al sur del eje neovolcánico que se

extiende desde el Estado de Nayarit hasta Tehuantepec. En esta región se encuentra la subprovincia de la vertiente sur que abarca parte de los Estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca y que esta formada por una angosta franja de montañas que corren paralelas a la Costa del Pacífico.

Esta subprovincia esta constituida por rocas metamórficas del Paleozoico (complejo Xolapa) y rocas intrusivas (granitos y graniodioritas), interrumpiendo estas últimas la planicie costera.

El área donde se excavó el túnel, se encuentra en una zona montañosa conocida como Fosa de Acapulco. El principal fenómeno estructural esta representado por la formación de un tronco granítico que intrusionó a las rocas metamórficas preexistentes.

El área se encuentra además, afectada por una falla que presenta una dirección aproximada N60°E y que corre paralela al eje del túnel.

b) Exploración geotécnica:

Para conocer las características y la calidad del macizo rocoso a lo largo de la línea recta entre portales, se efectuaron 16 sondeos de recuperación continua.

Las muestras obtenidas fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar los parámetros geomecánicos que intervienen en los análisis de estabilidad y en el diseño del revestimiento en el túnel.

c) Geología en el túnel.

En el perfil geológico, entre los accesos al túnel, se aprecia que desde el portal Las Cruces hasta aproximadamente 1,900 metros, el túnel se excavó en su totalidad en rocas metamórficas que en general se pueden considerar como fracturadas. Estas rocas están constituidas principalmente por gneis y esquistos, con variaciones tanto en coloración como en litología. Se encontraron zonas de fracturamiento a 820 m, a 1,370 m y a 1,500 m a partir del portal Las Cruces, donde superficialmente se aprecian arroyos rectos, correspondientes con fracturas importantes.

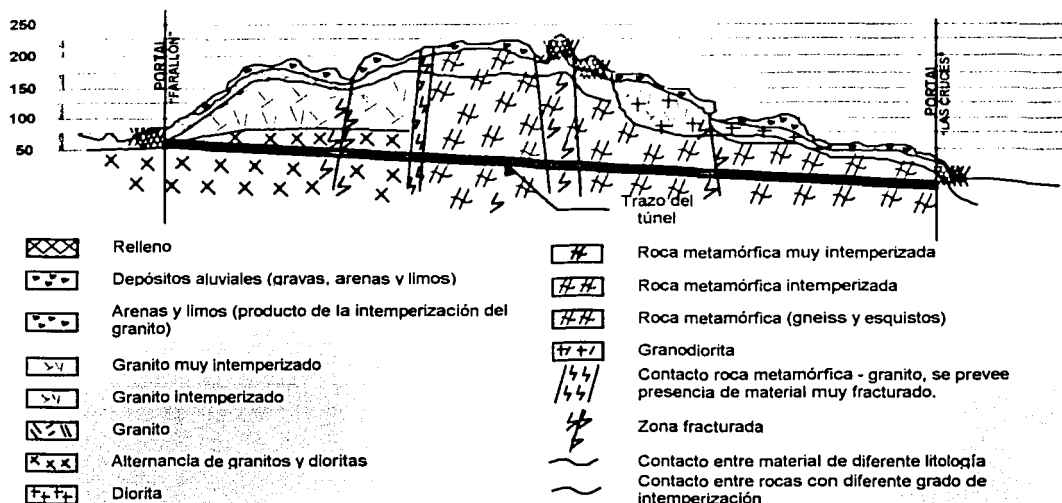


Figura 1.8. Perfil geológico del túnel.

A partir del portal Las Cruces y a una distancia de 1,700 m, se detectó un tramo aproximadamente de 200 m, correspondiente con una zona de falla. La traza de dicha falla, sigue en superficie una orientación similar, tanto a la línea recta entre los portales, como a la vialidad actual por superficie en La Cima.

A una distancia de 2,000 m del portal Las Cruces, se encontró una zona de contacto entre roca metamórfica y granito sobre un tramo que se estima en unos 50 m.

Los sondeos de exploración no detectaron presencia de agua, sin embargo se apreciaron fracturas oxidadas en muestras recuperadas en los sondeos. Es posible que en las zonas de fracturamiento antes indicadas, se presenten algunas pequeñas filtraciones.

d) Trazo del túnel.

Tomando como base los resultados de la exploración geotécnica y la interpretación a lo largo de la línea de los portales, resultó aconsejable alejar el trazo del túnel de la línea que forma la zona de falla, con objeto de evitar los riesgos que ésta implicaría en la excavación.

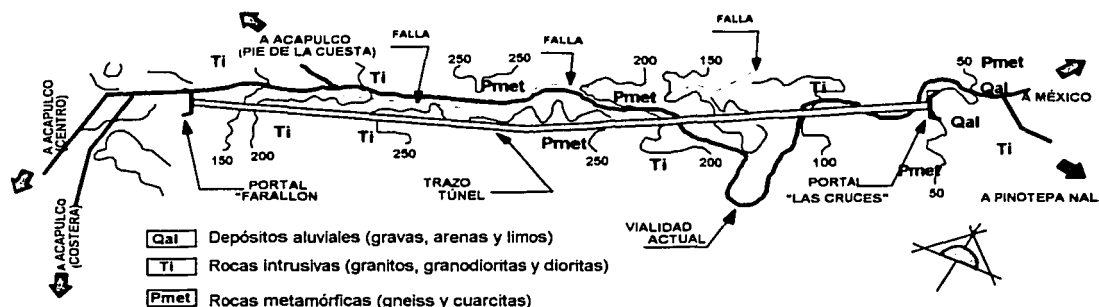


Figura I.9 Trazo del túnel.

Se tuvo que realizar un libramiento de la zona de falla mediante un trazo que separa casi 120 m de la línea recta entre los portales, dejando a nivel del túnel una separación de por lo menos 50 m entre este y la zona de falla. Las curvas requeridas en el trazo, tienen radios de curvatura tan amplios que puede conservarse una velocidad de 100 kph, correspondiente a la velocidad máxima de operación propuesta para el proyecto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.3. PROYECTO EJECUTIVO.

Los túneles gemelos del nuevo acceso tienen capacidad para tres carriles de circulación cada uno y banquetas para emergencias y eventuales trabajos de mantenimiento, dando un ancho libre total de 12.30 m.

Tomando en cuenta las características geotécnicas de la roca explorada, se juzgó conveniente dejar una separación de 28 m entre los ejes de cada túnel, para asegurar que entre sus paños quede una pared de material rocoso de espesor similar al ancho libre.

Conservando la separación de 28 metros entre ejes a todo lo largo del tramo subterráneo y tomando en cuenta la probable interferencia con la zona de falla descubierta en la exploración

geotécnica, se decidió proyectar el trazo alejándolo prudentemente de dicha zona mediante una simple deflexión.

De acuerdo a la topografía del área donde se construyó el nuevo acceso, la elevación de rasante en el portal de Las Cruces, está en la cota 48.83 metros y por el lado de La Garita, quedará en la cota promedio de 97.40. Es decir, el trazo se eleva 48.57 metros en 2,947 metros de desarrollo, lo cual da una pendiente del orden de 1.7 % ascendente cuando los vehículos se muevan hacia Acapulco y descendente en el sentido contrario.

Los túneles contarán con dos retornos que permitirán movimientos vehiculares entre ambos túneles, en situaciones de emergencia a futuro.

Para definir la ubicación más aconsejable de los portales de construcción, tomando en cuenta las propiedades geotécnicas de la roca, se utilizó el concepto del Arco de Carga para asegurar que la redistribución de esfuerzos inducida por la excavación, no sobrepase la resistencia del macizo rocoso.

Con ello se definió claramente la zona en tajo y el principio del túnel propiamente dicho, en cada extremo.

Con el mismo concepto se analizó la estabilidad del túnel en el interior de la masa rocosa verificando sus requerimientos de soporte primario, basándose para ello en la clasificación CSIR de los macizos rocosos fisurados, propuesta por Bieniawsky y en el índice de calidad de los túneles (NGI), propuesto por Barton.

Como consecuencia del análisis anterior se seleccionó como soporte primario, concreto lanzado y anclas de fricción, con las siguientes particularidades:

Concreto lanzado (f_c 250 kg/cm²):

Se aplicó formando una capa de 8 cm en toda la clave y paredes del túnel, reforzándola con malla metálica 66-66 o similar.

Anclas (f_y 4200 kg/cm²):

Son de varilla corrugada con 1 pulgada de diámetro y 4.5 metros de longitud, colocadas en barrenos de 2 ½" de diámetro sobre la clave del túnel. Se instalarán al tresbolillo, sobre aureolas separadas entre sí a cada 1.5 metros y en las cuales las anclas también estén separadas a cada 1.5 metros.

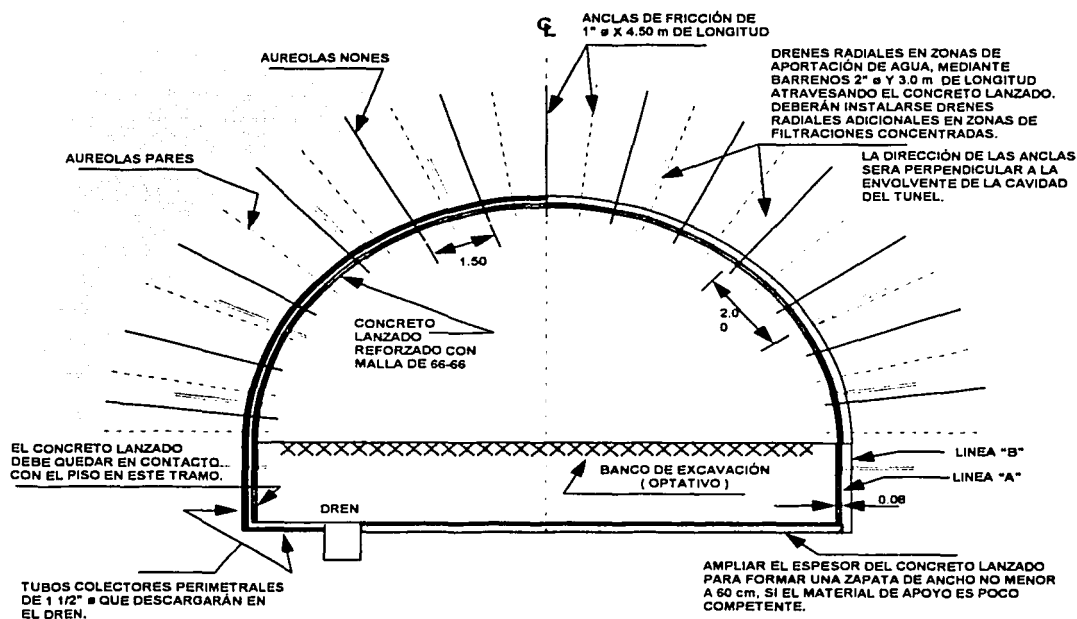


Figura I.10 Soporte primario del túnel.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En cuarenta metros a partir del portal de Las Cruces, bajo la carretera del acceso actual por superficie, se colocaron además, marcos metálicos de 8" x 5 ¼" como complemento al soporte primario.

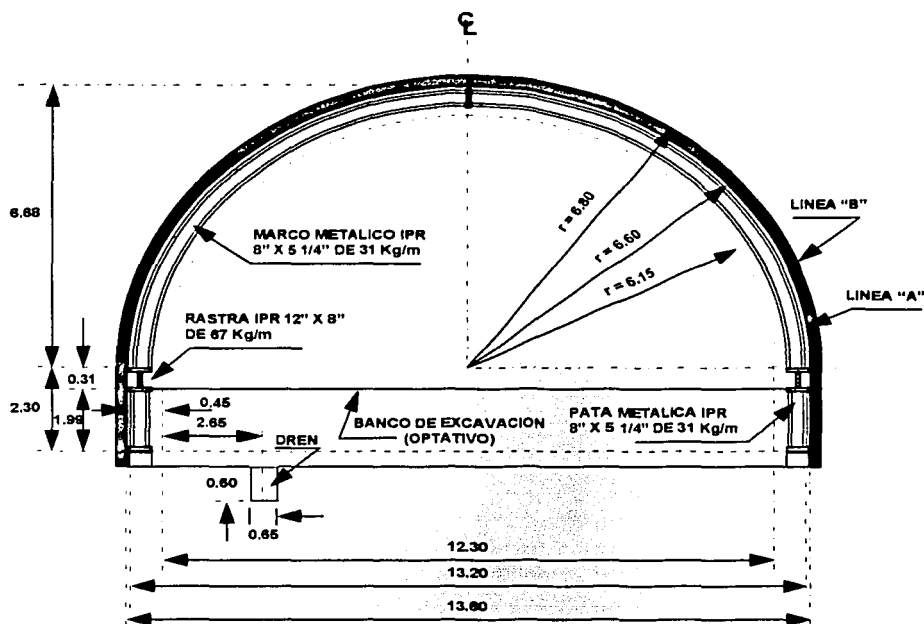
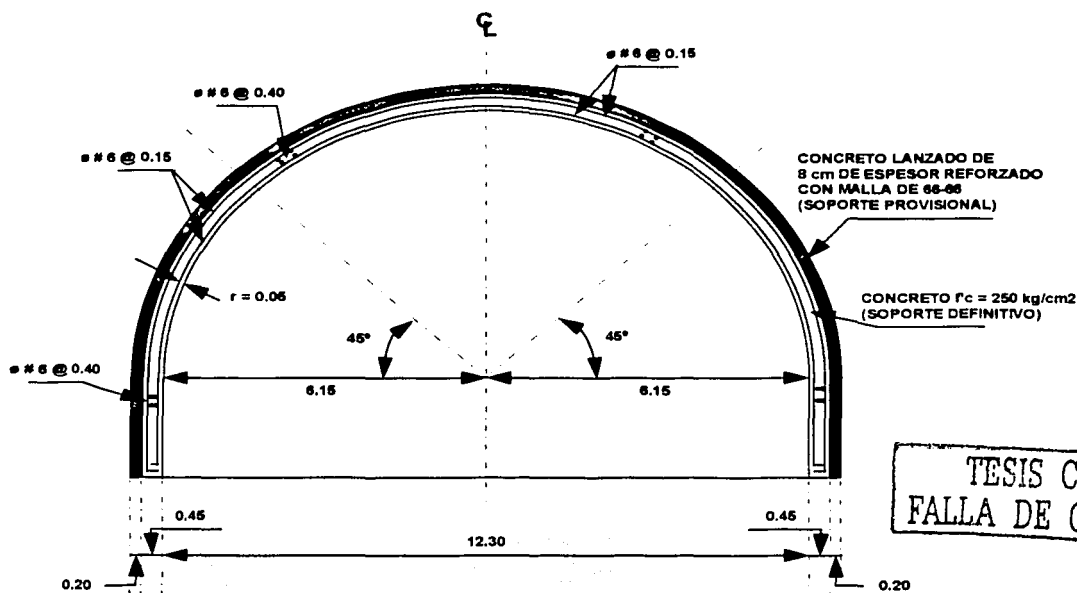


Figura I.11 Soportes metálicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Posteriormente en los primeros 150 metros de túnel a partir de los portales, donde la roca aparece muy fracturada e intemperizada, fueron protegidos con un revestimiento secundario de concreto armado colado en el lugar, que al integrarse con los 8 cm del concreto lanzado, alcanzo 45 cm de espesor a partir de la línea "A".



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura I.12 Soporte secundario del túnel.

El resto del túnel se quedó solo con el soporte primario mencionado, excepto en los tramos de roca muy fracturada que necesitó un soporte secundario adicional.

El pavimento en el interior del túnel es de concreto hidráulico, por tener un color más claro que el pavimento asfáltico, lo cual mejora las condiciones de visibilidad, además de reducirse con tal solución los trabajos de mantenimiento en el interior de los túneles.

Estudio de Luminosidad

Durante la construcción de los túneles se llevaron a cabo observaciones directas de los frentes de excavación, para confirmar, o en su caso, ajustar las recomendaciones constructivas dadas.

Los niveles de luminosidad requeridos para el proyecto, fueron los que se detallan en la siguiente tabla:

Zona	Ubicación	Pavimento	Luminosidad	
			Diurna	Nocturna
Preparación.	100 metros antes de entrar al túnel.	Oscuro	17,500 LUX *	5 a 10 LUX
Entrada.	150 metros después de entrar al túnel.	Claro	1,750 LUX	25 LUX
Transición A.	50 metros después de la zona de entrada	Claro	800 LUX	25 LUX
Transición B.	50 metros después de la transición "A"	Claro	400 LUX	25 LUX
Transición C.	50 metros después de la transición "B"	Claro	200 LUX	25 LUX
Transición D.	50 metros después de la transición "C"	Claro	100 LUX	25 LUX
Central.	Resto del túnel.	Claro	50 LUX	25 LUX

Figura I.13 Estudio de luminosidad del túnel.

* En la zona de preparación a la entrada de los túneles, se oscurecieron los cortes laterales y se sembró vegetación de gran follaje sobre el talud frontal y en el camellón central, para reducir la luminosidad natural exterior, supuesta en 60,000 LUX, a valores cercanos a 17,500 LUX.

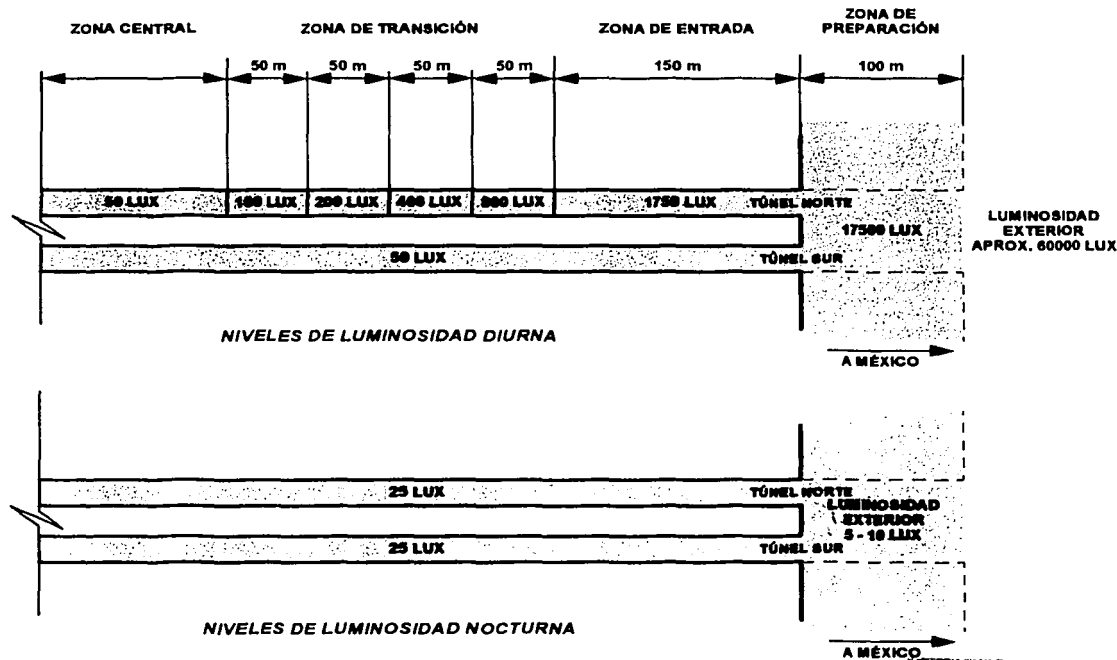


Figura I.14 Croquis de niveles de luminosidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las luminarias que se instalaron utilizan fuentes luminosas de vapor de sodio de alta presión (VSAP), sin provocar deslumbramientos a los usuarios del túnel.

Al ocurrir apagones, entra en funciones un sistema ininterrumpible mientras la planta de emergencia desarrolla su capacidad de operación.

El objetivo es evitar la ocurrencia de apagones totales y súbitos en el interior del túnel, por el peligroso desconcierto que ello puede provocar en los usuarios. Redundantemente se pedirá a los usuarios que enciendan las luces de sus vehículos al entrar al túnel.

Los túneles son ventilados mecánicamente con un sistema lineal, mediante ventiladores independientes de flujo reversible, colgados de la media sección superior del túnel, fuera del gálibo vehicular y repartidos uniformemente a lo largo de cada túnel.

Por la seguridad de los usuarios del túnel, no se permite el acceso a vehículos de carga que transporten productos inflamables o explosivos.

Para garantizar la seguridad del tránsito en el interior del túnel y proporcionar comunicaciones de emergencia entre el centro de control y los usuarios, se instalaron una serie de accesorios y sistemas.

Relación de los Sistemas Operativos del Tunel

- a) Sensores del movimiento vehicular que anticipen potenciales situaciones de congestionamiento que obliguen a un desvío parcial o total del tránsito fuera de los túneles.
- b) Señales de tránsito que informen a los vehículos que están a punto de entrar al túnel, sobre la velocidad permitida según las condiciones del tránsito en el interior, sobre eventuales obstáculos en alguno de los carriles y en ultima instancia, si el acceso esta momentáneamente cerrado.
- c) Para un contacto visual con el centro de control, hay cámaras de un circuito cerrado de televisión, para facilitar la pronta toma de decisiones en casos de emergencia.
- d) Habrá teléfonos para que los usuarios puedan comunicarse con el centro de control, dando informaciones relevantes sobre eventuales situaciones de emergencia.

- e) Habrá alarmas y extinguidores contra incendio, cuyo uso sea automáticamente detectado por el centro de control.
- f) Sistema de iluminación de emergencia.
- g) Tuberías, tanque de almacenamiento de agua y bombas del sistema contra incendios.
- h) Sistema de ventilación automática.

Nota: En el capítulo VI se describirán detalladamente los sistemas operativos del túnel.

Todos estos accesorios son controlados en su operación desde el Centro de Control, donde además se concentrarán las funciones de suministro de corriente eléctrica, de ventilación y de los niveles de iluminación requeridos, de acuerdo a la información que envíen sus respectivos sensores.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO II.

CAPÍTULO II.

DESARROLLO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA.

II.1 PLANEACIÓN DE LA OBRA.

La Gerencia asignada al proyecto, realizó un cuaderno de planeación inicial de la obra en donde se definió el organigrama Técnico-Administrativo, el programa general de obra en donde se estableció un periodo de construcción de 21 meses en el túnel, un diagrama de picos y un programa de ruta crítica para la excavación y los concretos del túnel, se definió también la distribución de las instalaciones preliminares. Además se propusieron procedimientos para la excavación a cielo abierto, excavación en tajos de acceso, excavación del túnel y excavación y construcción de lumbreras. Se realizó un estudio de ciclos de excavación del túnel, tomando en cuenta rendimientos de otros proyectos similares, por último se hizo un proforma de utilización de recursos para la obra (maquinaria, materiales básicos y mano de obra).

II.2. PROGRAMAS DE EJECUCIÓN.

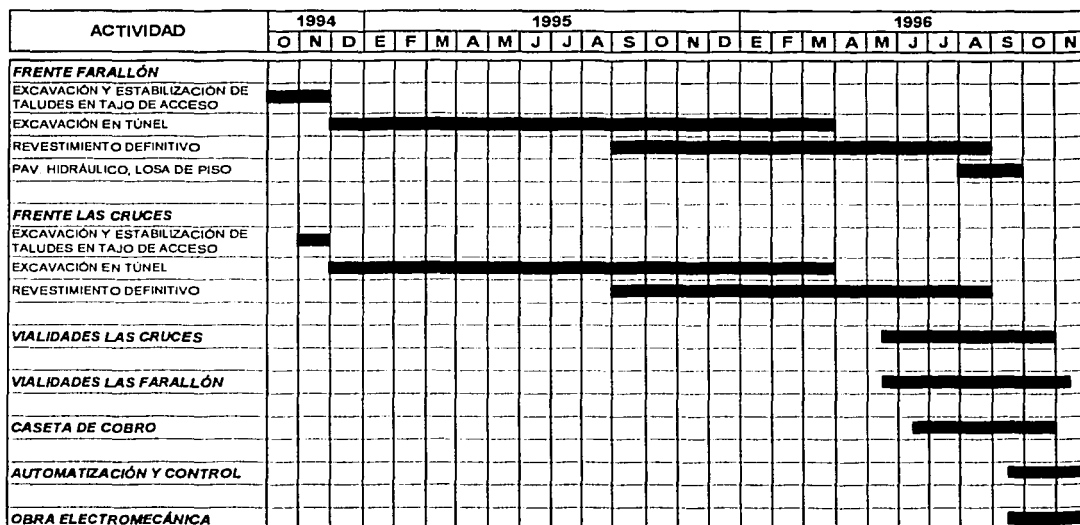


Figura II.1 Programa general de obra.

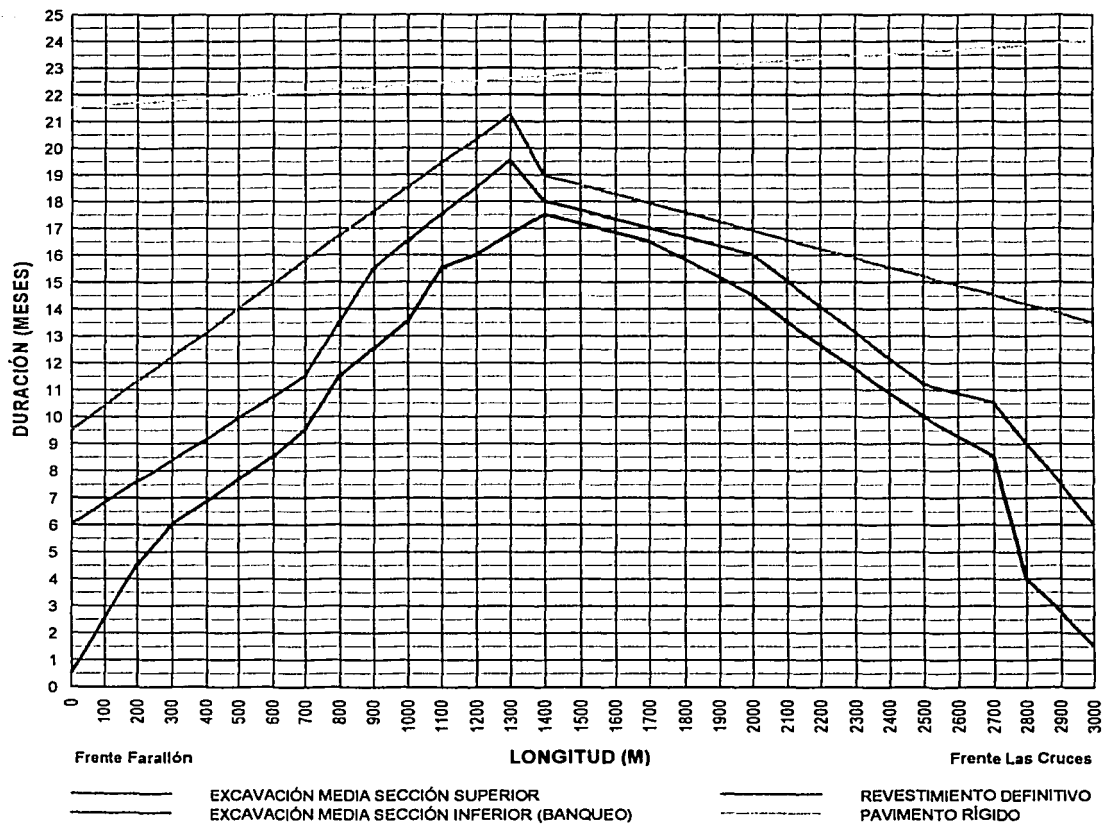


Figura II.2 Diagrama de picos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II.3. ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA OBRA.

El personal técnico - administrativo que laboró en la construcción de la obra, opero de acuerdo al siguiente organigrama:

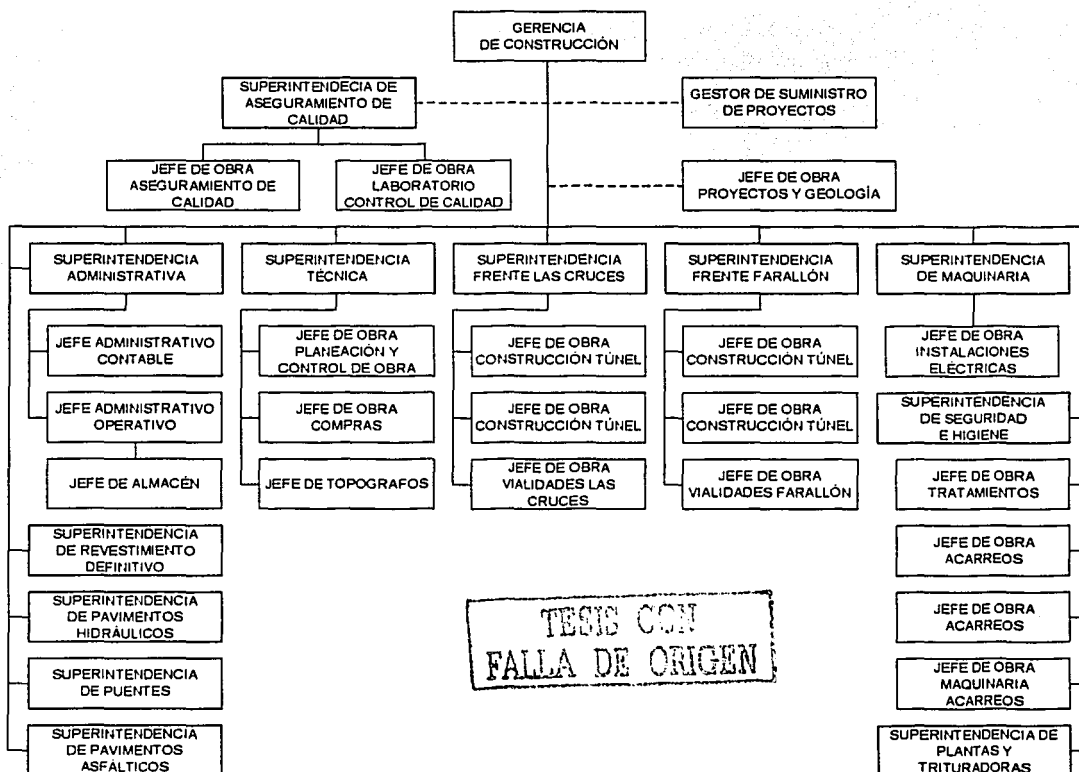


Figura II.3 Organigrama.

II.4. SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD Y CONTROL DE OBRA.

La ejecución de la obra se llevó a efecto aplicando un Sistema de Aseguramiento de Calidad, apegado a la normatividad ISO-9002/94, en donde se definieron, la planeación de la obra, un plan de calidad en donde se estableció como se iban a cumplir los requisitos de dicha norma, los procedimientos constructivos e instrucciones de trabajo aplicables, las evidencias objetivas o registros de calidad en donde se documentaban los resultados de las actividades, un plan de inspección y prueba en donde se definía el tipo y periodicidad de las pruebas de control de calidad que se realizaron para asegurar la calidad del producto final (túnel), apegado a las especificaciones y normas de calidad vigentes o particulares para el proyecto. Al programa de obra establecido se le dió seguimiento apoyados en un paquete de software llamado Primavera Projet Planner, con el que se tiene la ventaja de poder tomar decisiones oportunas en caso de posibles desviaciones.

Aplicando los softwares y el Sistema de Aseguramiento de Calidad conjuntos, se realizó el control de la obra, comparando los datos alimentados al sistema, derivados de la planeación del proyecto con los datos generados por la ejecución de la obra, para estar en condiciones de detectar las desviaciones, analizar sus causas y aplicar la corrección necesaria y estar en condiciones de cumplir con el programa de calidad en tiempo y costo garantizado.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO III.

CAPÍTULO III. EXCAVACIONES.

III.1. TAJO FARALLÓN.

III.1.1. Excavación en Rampa del Tajo Farallón.

Para la excavación en rampa del tajo y debido a las características del material, se llevó a efecto en dos formas, con medios mecánicos y utilizando explosivos.

a) Con medios mecánicos:

Una vez que la brigada de topografía realizó el trazo correspondiente, se removió la capa vegetal con tractor D8N, retirando el material resultante con un cargador 966F y/o una retro, y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo del material hacia un tiradero autorizado.

La estrategia era llegar lo antes posible al portal del túnel, por lo cual se trazó una rampa con 10% mas de pendiente para alcanzar el objetivo y paralelamente conformar los taludes de 1/4:1 y colocar el tratamiento al tiempo de ir bajando el banqueo. En esta etapa ya se comenzó a utilizar explosivos y trackdrill para la perforación con diagramas adecuados de barrenación, carga y encendido.



TES CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.1 Fotografía de un tractor D8N excavando en el Portal Farallón.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura III.2 Fotografía de una retro cargando material producto de la excavación a tractocamiones de 10 m³.

b) Con explosivos:

Una vez que se descubrió roca, la excavación se realizó mediante el uso de explosivos; para la barrenación se utilizaron trackdrills utilizando brocas de 2 1/2" y 3" $\varnothing$, con una cuadrícula de 3 m x 2.50 m, los avances de cada barrenación alcanzaron una penetración de 3.2 metros, para tener un avance de 3 metros; en la zona donde hubo precorte, la separación entre barrenos fue de 0.4 metros y se cargaron en forma alternada (uno si y otro no), la carga con explosivos (emulsión de 1" x 8" $\varnothing$) fue distribuida en el barreno por medio de una vara, los noneles utilizados fueron MS de 12', posteriormente se utilizaron tapones de madera o detritos de la barrenación para taponar el barreno, se realizó el amarre final de los conectores que salen de cada uno de los barrenos ya cargados, empleando primacord y/o ecord.

Se protegió la zona por excavar con llantas y malla electrosoldada sujetadas con cable de acero, esto con el fin de evitar la proyección de la voladura, se amarró la mecha con el fulminante y se avisó por medio de una sirena colocada en este frente, que se iba a realizar una voladura, para que el personal de Seguridad e Higiene de la obra acordonara la zona y evitara el paso de personal y maquinaria, una vez que se realizó la detonación, se retiró la protección de la voladura y se procedió a la rezaga del material producto de la excavación utilizando un cargador 966F y camiones de 6 y 10 m³ para el acarreo del material y tiro en los bancos autorizados.

En cada etapa de corte con explosivos se fue realizando el tratamiento del talud de acuerdo a proyecto. La excavación del tajo de acceso se terminó a nivel de subrasante, solamente se dejó una rampa de material suelto para alcanzar la media sección del túnel, esto con el fin de poder iniciar con la excavación del túnel.

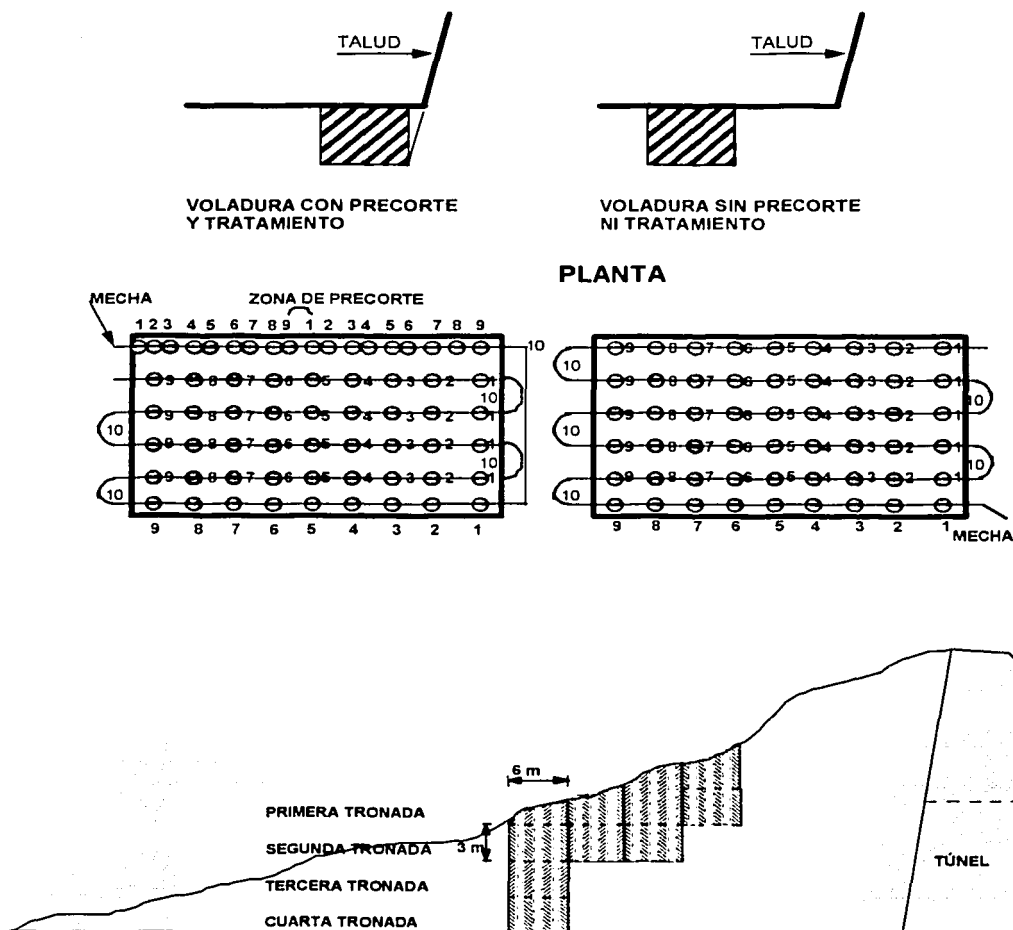


Figura III.3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura III.4 Fotografía de la excavación del tajo del Portal Farallón.

PROTECCIÓN DE LA VOLADURA

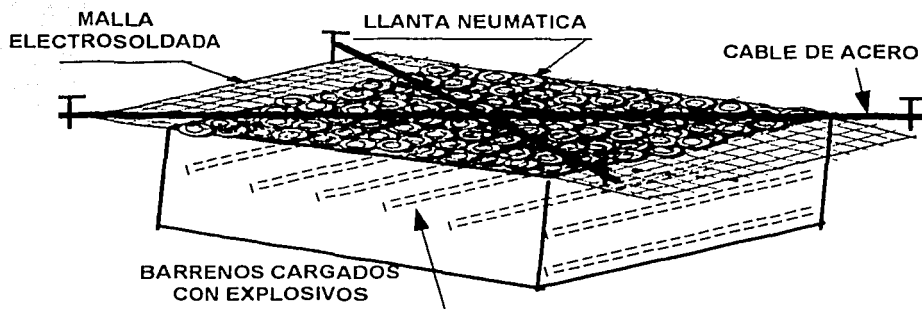


Figura III.5 Protección de la voladura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

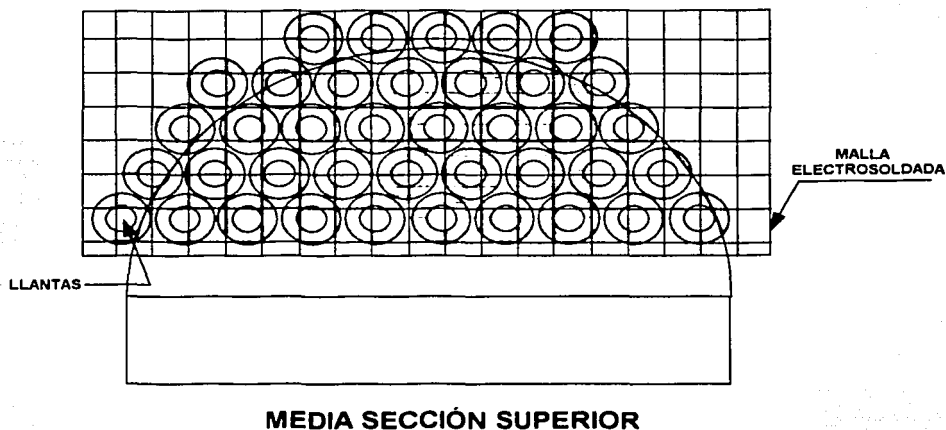


Figura III.6 Protección del portal del túnel.

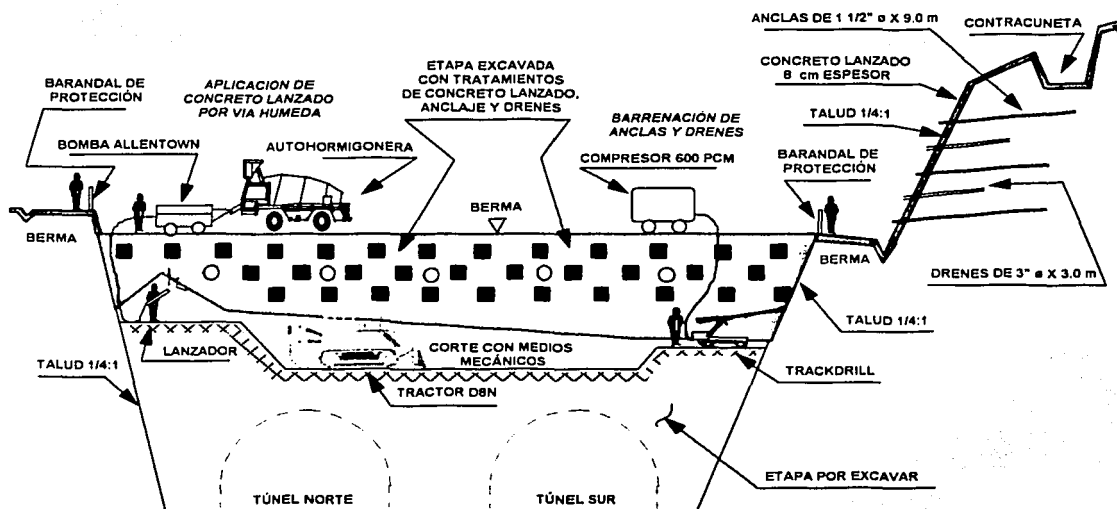


Figura III.7 Protección del portal del túnel.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura III.8 Fotografía de excavación del tajo del Portal Farallón

III.1.2. Tratamientos de Estabilización Realizados en los Taludes.

En cada etapa de corte del tajo del túnel, se realizaron los tratamientos a los taludes, los cuales consistieron en la colocación de concreto lanzado con resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ de 10 cm de espesor, reforzado con malla electrosoldada 66-66, utilizando un equipo de vía seca (aliva) y/o de vía húmeda (bomba Allentown); la colocación de retícula de anclas de fricción de $1\frac{1}{2}" \text{ } \varnothing$ por 9 metros y 6 metros de longitud a cada 2 metros de separación, colocadas al tresbolillo e inyectadas con lechada o mortero de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días, para la barrenación de las anclas se utilizaron trackdrills, el cual realizaron barrenos de $3" \text{ } \varnothing$ por 8.90 y 5.90 metros de longitud, esto para garantizar que el ancla colocada quede 10 cm como mínimo salida del barreno; se colocaron drenes de alivio con tubo PVC ranurado de 3" de espesor por 3 metros de longitud colocados al tresbolillo, utilizando y barrenando similar al proceso de las anclas, pero con broca de $3\frac{1}{2}" \text{ } \varnothing$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

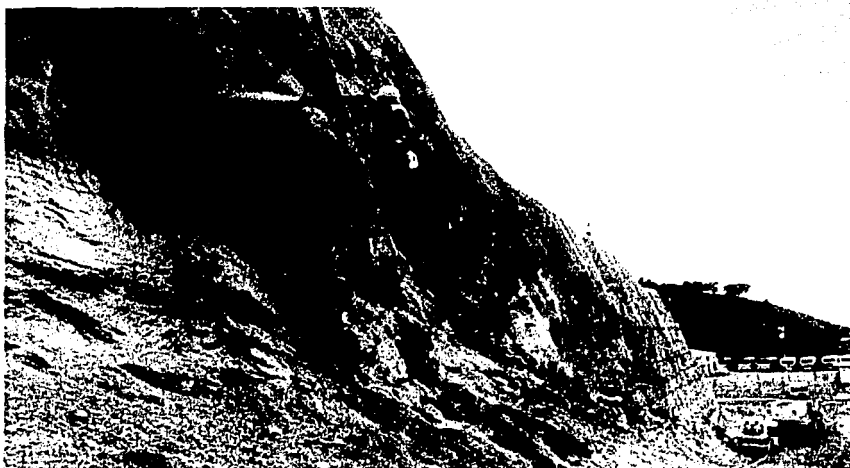


Figura III.9 Fotografía de aplicación de concreto lanzado en talud del Portal.



Figura III.10 Fotografía de excavación en tajo del Portal Farallón.

III.2. INSTALACIONES DEL TAJO PARA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL (FRENTE FARALLÓN).

Entre las instalaciones provisionales que se levantaron para la construcción del túnel en el tajo Farallón, se cuenta con un taller mecánico para la revisión y el mantenimiento de maquinaria, equipos y vehículos de este frente, una bodega para el resguardo de materiales e insumos, un Laboratorio para la realización de las diferentes pruebas de control de calidad, una planta de concreto ODISA con tres silos para el almacenamiento de cemento a granel, mamparas para el almacenamiento de agregados de diferentes tamaños y dos camper oficina, uno para el Superintendente de Construcción y dos Jefes de Obra, y el otro para el Superintendente de Maquinaria y el Jefe de Obra de instalaciones eléctricas. Además se instaló la suficiente iluminación para los trabajos en el turno de noche, utilizando lámparas de cuarzo. En la parte alta del talud sur, se construyó un tanque de almacenamiento de agua, con capacidad de 80, 000 litros, suficiente para suministrar agua a los jumbos autopropulsados para los trabajos de barrenación del túnel y el sistema de enfriamiento de la unidad.

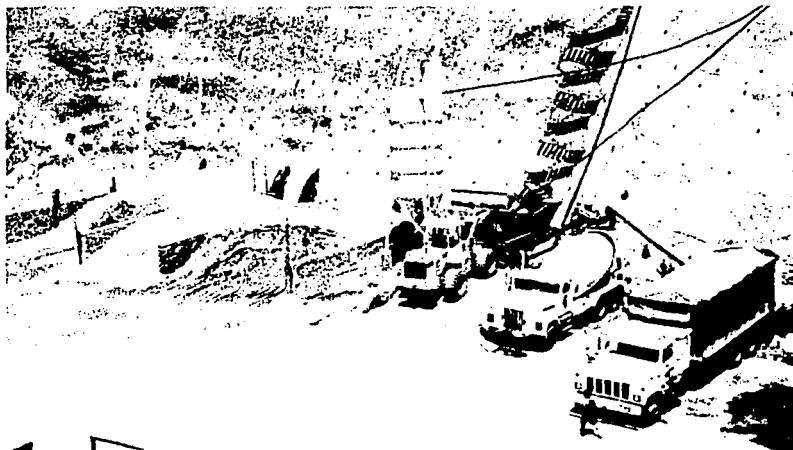


Figura III.11 Fotografía de mamparas para el almacenamiento de agregados y silo para cemento a granel.

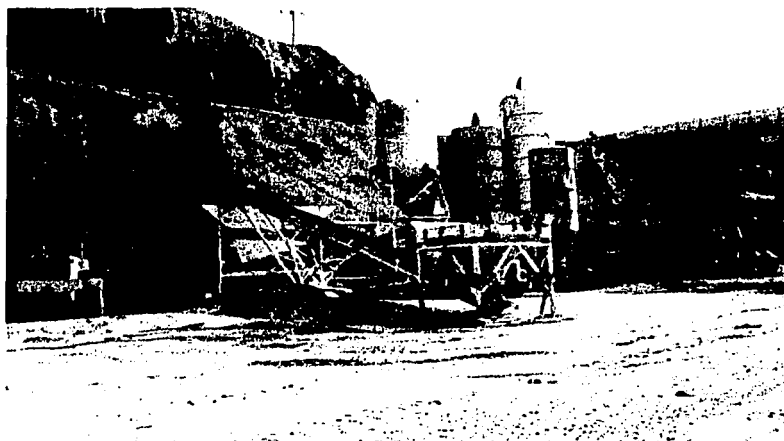


Figura III.12 Fotografía de planta de concreto instalada en el Portal.

III.3. EMPORTALAMIENTO DEL TÚNEL, FRENTE FARALLÓN.

III.3.1. Procedimiento Constructivo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

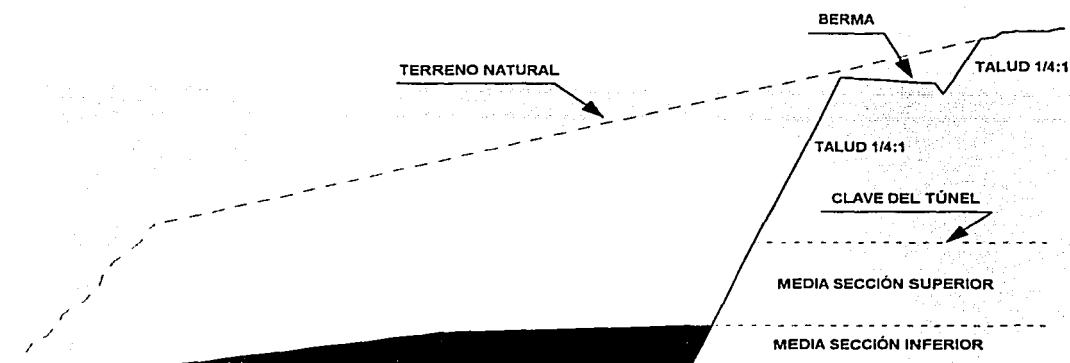


Figura III.13 Rampa de rezaga para alcanzar la media sección superior

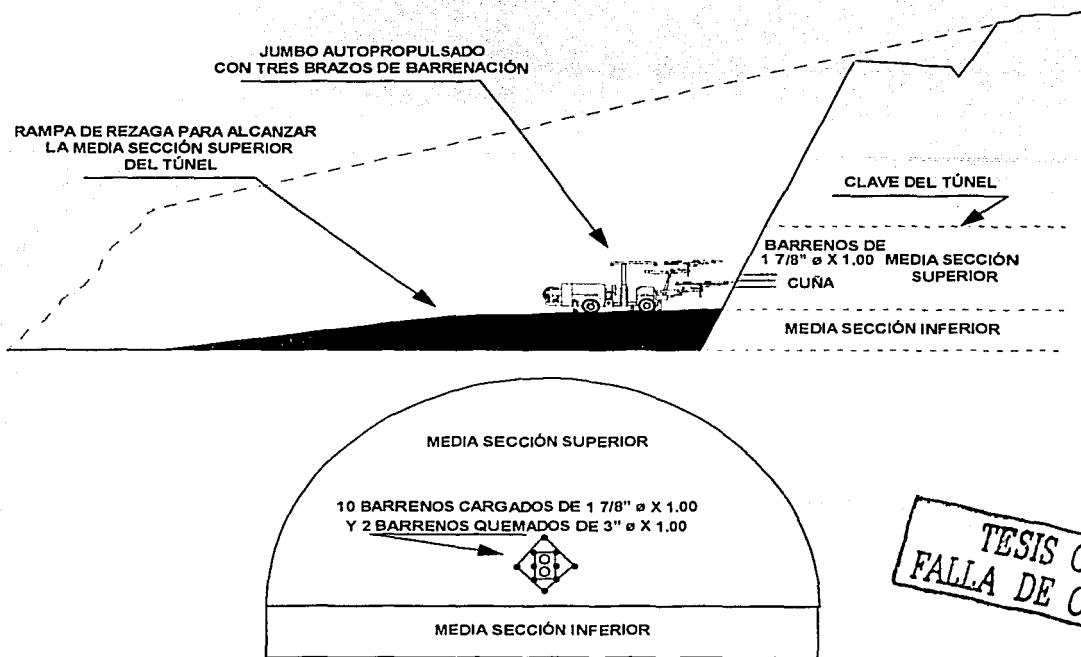


Figura III.14 Barrenación y voladura de cuña a 1.0 m



Figura III. 15 Fotografía de barrenación de la media sección superior del túnel sobre la rampa de material

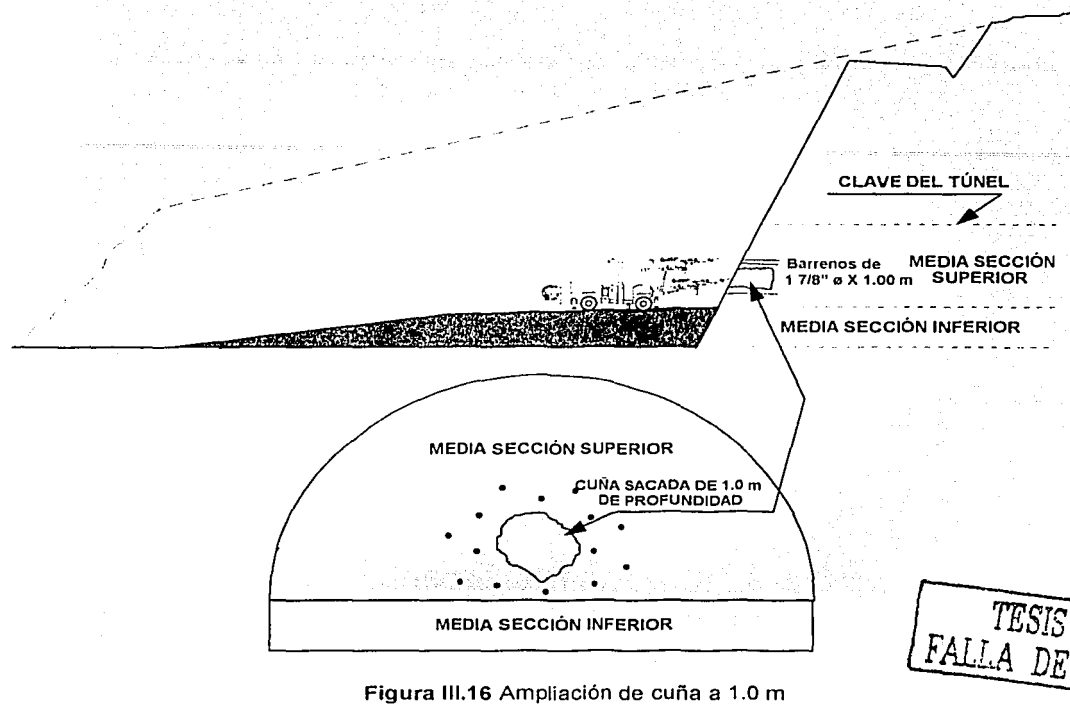


Figura III.16 Ampliación de cuña a 1.0 m



Figura III.17 Fotografía de barrenación de la ampliación de la cuña de la media sección superior del túnel

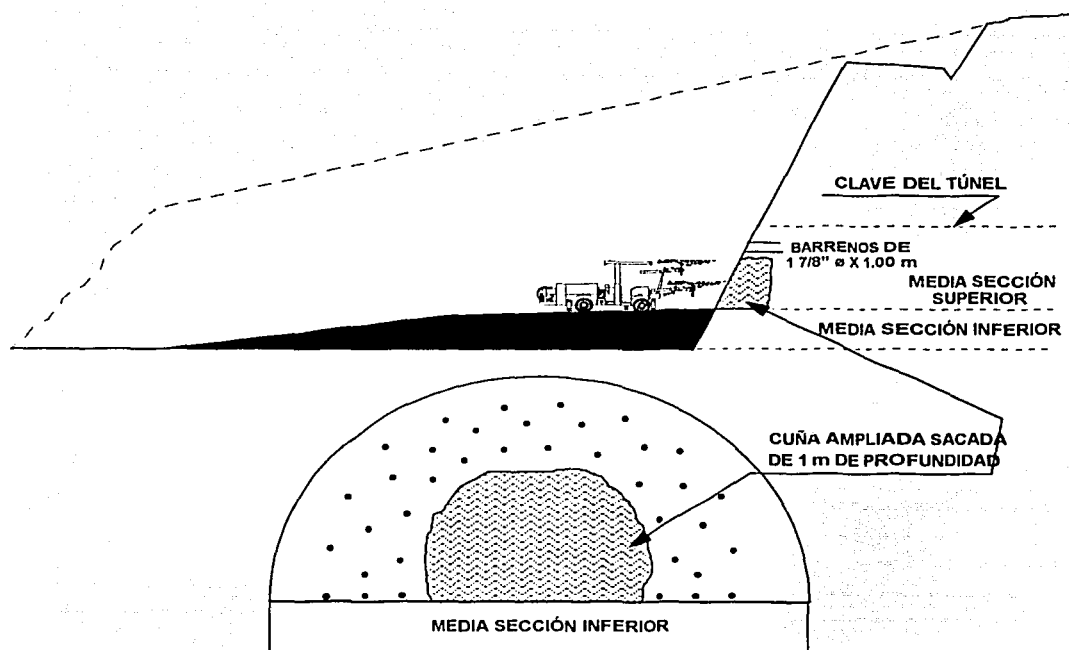


Figura III.18 Ampliación de cuña a 4.0 m

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

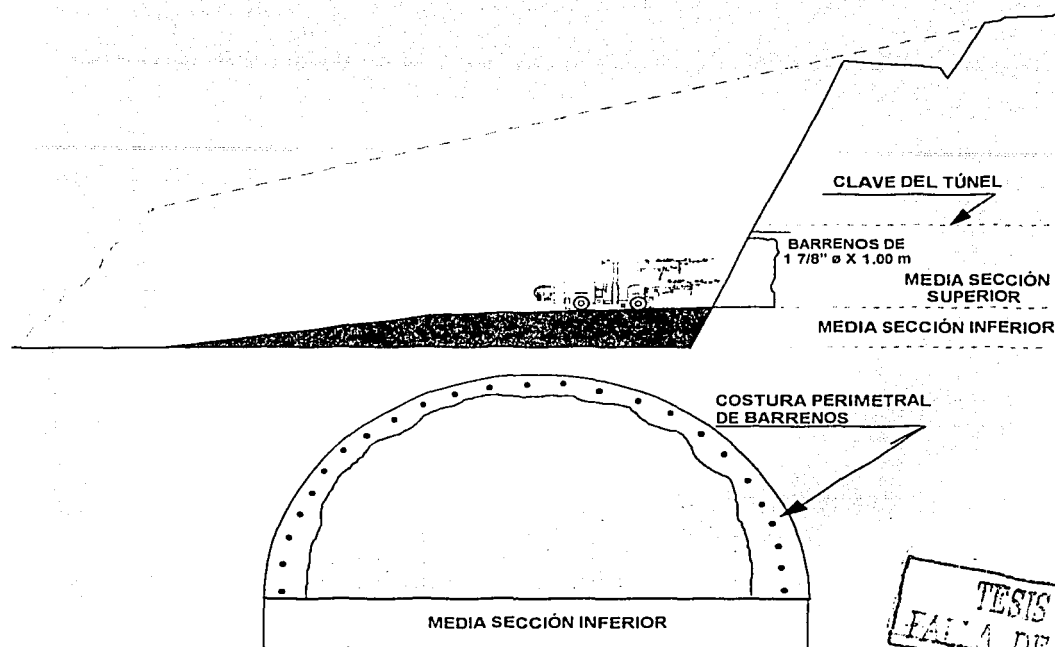


Figura III.19 Recorte del perímetro de la sección

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



Figura III.20 Fotografía de barrenación de la media sección superior del túnel sobre la rampa de rezaga

PRIMER AVANCE DEL TÚNEL

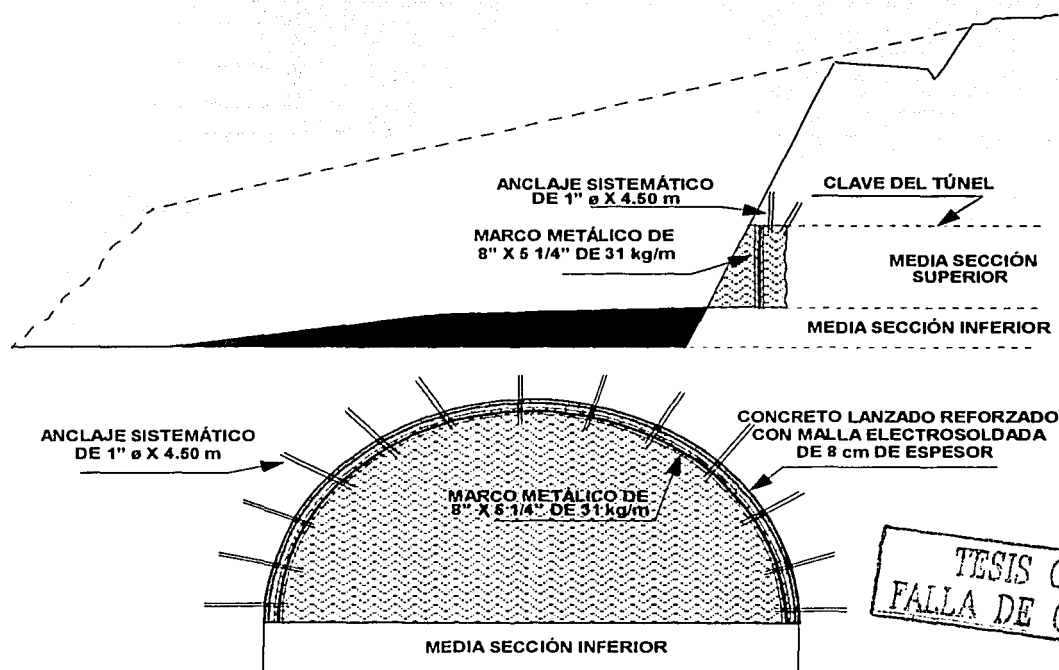


Figura III.21 Sistema de soporte en cada avance del emportalamiento del túnel

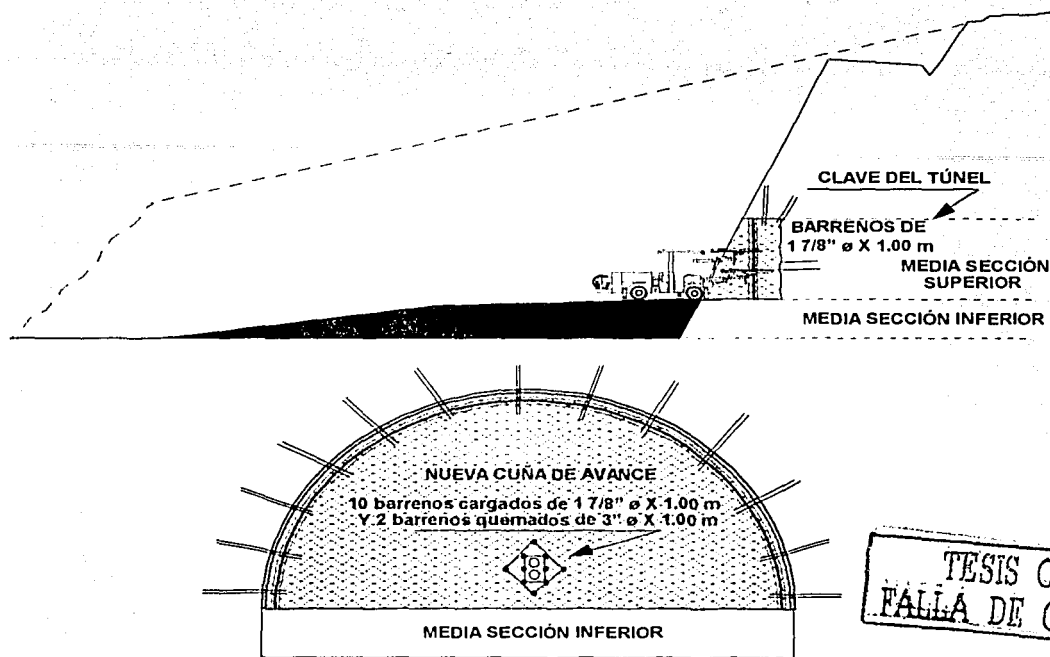


Figura III.22 Siguiente avance de excavación del emportalamiento del túnel.



Figura III.23 Fotografía de la excavación del portal del túnel en los primeros avances

III.3.2. Sistema de Excavación del Túnel.

La zona de emportalamiento del túnel en este frente, comprendió del portal (km 928+150) al cadenamiento 928+000.

Una vez que se tuvo la excavación del tajo de acceso del túnel, topografía marcó el radio del túnel por excavar y se construyó una aureola de anclas a cada 1 m alrededor de la sección por excavar, a cada 0.30 m de la línea de corte, con anclas de fricción de 1" $\varnothing$ x 3.0 m de longitud para garantizar la estabilidad de la boca del túnel durante el primer avance de excavación.

El procedimiento de excavación fue por medios mecánicos y explosivos. Para la excavación con medios mecánicos, se utilizó un martillo hidráulico modelo TABE 1200 o equivalente, el cual estaba montado sobre una retroexcavadora modelo 220; para la excavación con medios explosivos, se utilizaron dos jumbos autopropulsados TAMROCK con tres brazos, con el cual realizaban la barrenación del frente, el diámetro de barrenación fue de 3" para los barrenos quemados y 17/8" para los barrenos que llevan carga.

La sección media superior se dividió en dos partes, primeramente se atacó una media sección, el avance de excavación fue a cada metro al principio, en el cual el material producto de la excavación se cargaba con un cargador 966F y camiones de 6 y 10 m³ para el acarreo y tiro en los bancos autorizados; posteriormente se colocaba una capa inicial de concreto lanzado con un espesor promedio de 4 cm, se reforzaba con una malla electrosoldada 66-66 sujeta con clavos Hilti o similar, después se colocaba una segunda capa de concreto lanzado para completar un total de 8 cm de espesor, realizado con equipo de vía húmeda, una bomba Allentown y un brazo robot lanzador montado sobre un camión plataforma.

Se colocó el anclaje de fricción de 1" $\varnothing$ por 4.50 metros de longitud en aureolas a cada 1.50 metros de 13 y 14 anclas respectivamente, utilizando un jumbo TAMROCK con dos brazos de barrenación y un brazo como canastilla, la longitud del barreno fue de 4.40 metros con un diámetro de barrenación de 2½" $\varnothing$, se realizó la inyección de las anclas con lechada o mortero utilizando un agitador de lechada para la preparación de la mezcla y una bomba para la inyección de la lechada.

El siguiente paso consistió en la excavación de la segunda media sección del túnel con un avance hasta emparejar con la sección anterior, se realizaba su rezaga y posteriormente los tratamientos indicados anteriormente. Una vez emparejado el frente, se colocaron los marcos metálicos a cada metro de separación, apoyados sobre una rastra metálica y ademados con polines de madera

(para este frente, de acuerdo a proyecto, se tuvieron que colocar marcos metálicos los primeros 40 metros y posteriormente debido a la calidad de la roca, de regular a mala y de mala a muy mala, se colocaron 49 marcos, entre los cadenamientos 928+090 - 928+041).

Este proceso se repitió sistemáticamente hasta lograr avanzar los primeros 150 metros de la zona de portal del túnel.

III.3.3. Soporte Provisional.

El soporte provisional colocado sistemáticamente en la zona de portales del frente Farallón, consistió en la colocación de una capa de concreto lanzado de 8 cm de espesor con una resistencia de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con malla electrosoldada 66-66. Se colocó un anclaje de fricción de 1" $\varnothing$ por 4.50 metros de longitud a cada 1.50 metros colocadas al tresbolillo con una separación entre aureolas de 1.50 metros, inyectadas con lechada o mortero de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días, la longitud del barreno fue de 4.40 metros con un diámetro de barrenación de 2½" $\varnothing$. Se colocaron drenes de alivio con tubo PVC de 2" $\varnothing$ y 3 metros de longitud a cada 2 metros de separación.

Como soporte adicional, en la media sección superior del túnel se colocaron marcos metálicos colocados a cada metro, formados con perfiles IPR de 8" x 5¼", de 31 kg/m ligados entre sí por tensores de varilla de 5/8" $\varnothing$ con doble tuerca en cada extremo y separadores de madera, apoyados y unidos con soldadura sobre una rastra metálica de 3 metros de longitud formada con un perfil IPR de 12" x 8", de 67 kg/m, unidas entre sí con placas de unión de 0.24 x 0.20 x ½" de espesor colocadas en los patines superior e inferior y en el alma expuesta, soldadas perimetralmente a la rastra; en la sección inferior del túnel se colocaron patas metálicas a cada metro, formados con perfiles IPR de 8" x 5¼" de 31 kg/m, unidas a la rastra en su parte superior y apoyadas sobre calzas de madera en su parte inferior.

Los 150 metros comprendidos de zona de portal de este frente (928+150 - 928+000), de acuerdo al proyecto, obligatoriamente los primeros 40 metros se instalaron marcos metálicos a cada metro de separación (928+148.85 - 928+108.85), y de acuerdo al resultado de la clasificación de la calidad de la roca, de regular a mala y de mala a muy mala, se colocaron entre los cadenamientos 928+090 - 928+041 a cada metro de separación, resultando que en esta zona (portal) se colocaron un total de 91 marcos metálicos.

III.3.4. Soporte Definitivo.



El soporte definitivo en la zona de portales de este frente, consistió en un revestimiento de concreto hidráulico con resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ de 0.45 m de espesor, reforzado con acero del numero 6 a cada 0.15 m en el sentido transversal y a cada 0.40 m en el sentido longitudinal, colados en módulos de 9 metros de longitud, con juntas de colado, utilizando bandas de PVC de 30 cm de ancho y 5 mm de espesor, marca Sika o equivalente. Una vez que fraguó el concreto, se le aplicó una membrana de curado y se realizó una inyección de contacto entre el concreto lanzado y el revestimiento con lechada de cemento en proporción a/c = 1 a una presión de 2 kg/cm^2 como máximo, en las preparaciones dejadas durante los colados, tubos de $1\frac{1}{2}" \text{ } \phi$ a cada 5 m colocadas al tresbolillo, con un patrón 2, 1; posteriormente los ductos se sellaron con mortero.

III.4. EXCAVACIÓN DEL TÚNEL, FRENTE FARALLÓN.

III.4.1. Procedimiento Constructivo y Sistema de Excavación.

El proceso de excavación del túnel consistió en dar avances, aplicando diferentes procedimientos, de acuerdo a la calidad de la roca clasificada por el Geólogo de la obra. Estas clasificaciones fueron de roca buena a muy buena, roca regular a buena, roca regular a mala y roca mala a muy mala.

RECOMENDACIONES RESPECTO AL "TIEMPO LIBRE DE SOPORTE", SEGUN LA CALIDAD DE LA ROCA EXCAVADA.

ROCA	BIENIAWSKI CSIR CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	BARTON NGI INDICE DE CALIDAD DE TÚNELES	TIEMPO "LIBRE DE SOPORTE" ANTES DE COLOCAR ANCLAJE HORAS (DÍAS)	TIEMPO PARA COLOCAR EL CONCRETO LANZADO DESPUES DE HABER COLOCADO EL ANCLAJE HORAS (DÍAS)
BUENA	65 a 100 BUENA A MUY BUENA	10 a 1000 BUENA, MUY BUENA, EXTR. BUENA Y EXCEP. BUENA	96 (4)	48 (2)
REGULAR	44 a 65 REGULAR	1 a 10 MALA, REGULAR	48 (2)	48 (2)
MALA	30 a 44 MALA	0.2 a 1.0 MUY MALA	12 (1/2)	24 (1)
MUY MALA	0 a 30 MUY MALA	0.001 a 0.2 EXTR. MALA Y EXCEP. MALA	RECOMENDACIONES PARTICULARES	

Figura III.24 Tabla de tiempo libre de soporte VS calidad de la roca excavada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se mencionan los diferentes procedimientos utilizados, de acuerdo a la calidad de la roca clasificada.

a) Procedimiento de excavación para roca buena a muy buena.

Para esta zona, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 12.60 m, debido a que no se requirió instalar marcos metálicos como soporte provisional, por lo que el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 12.60 m y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 12.60 m de base por 2.65 m de altura, fig. III.25.

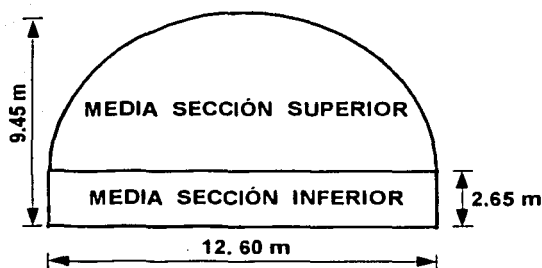


Figura III.25 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior

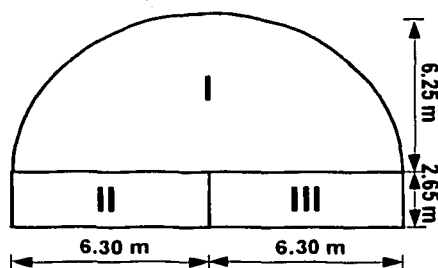


Figura III.26 Ataque de la sección para roca buena a muy buena

Se marcó la media sección superior, fig. III.26, el cuál se atacó en forma completa, debido a la calidad de la roca de buena a muy buena, considerando que el frente se encuentra como se indica en la fig. III.27.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

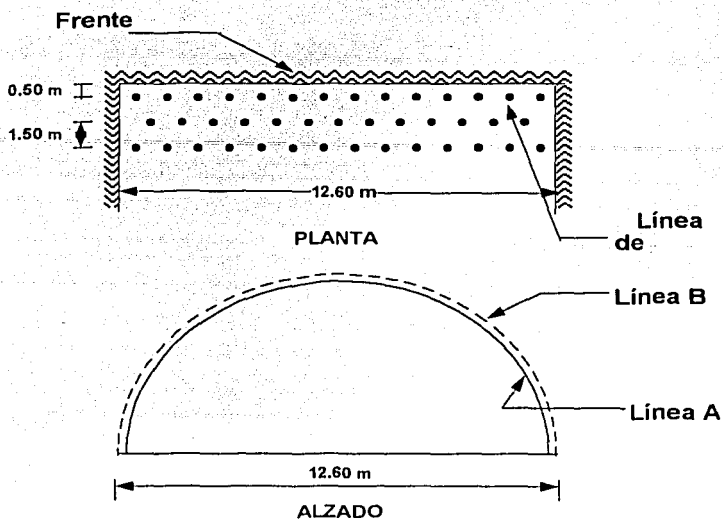


Figura III.27 Frente parejo para el inicio del procedimiento

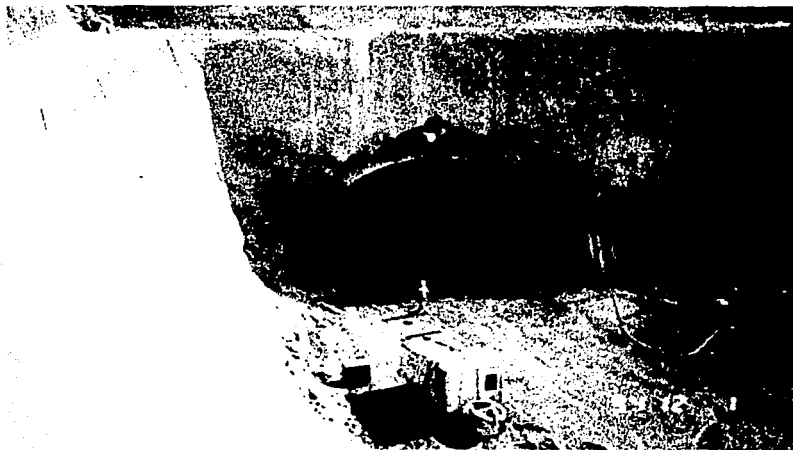


Figura III.28 Fotografía de una sección de excavación completa

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en la sección superior completa, fig. III.26, de tal manera que el avance fue de 3.5 m, para lograr una geometría similar a la indicada en

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

la fig. III.29, se rezagó el material producto de la voladura, utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro a los bancos autorizados, se lanzó una primera capa de concreto reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/.50 o similar, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, esto para proteger la roca excavada contra los efectos del intemperismo, así como para prevenir los desprendimientos de la misma, fig. III.30, se procedió a colocar las anclas centrales de la aureola correspondiente utilizando elementos de 1" $\varnothing$ por 4.2 m de longitud, fig. III.32.

Al término de lo anterior, se procedió con la siguiente excavación en la sección media superior completa, mediante barrenación y explosivos, ayudándose con el uso de noneles que permitan la detonación de la cuña central, hasta alcanzar un avance de 3.5 m, fig III.29 y fig. III.33.

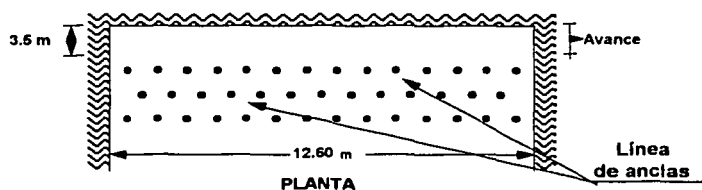
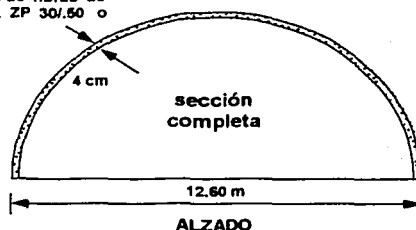


Figura III.29 Extracción de la media sección superior completa

Concreto lanzado reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/.50 o similar.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.30 Capa primaria de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm

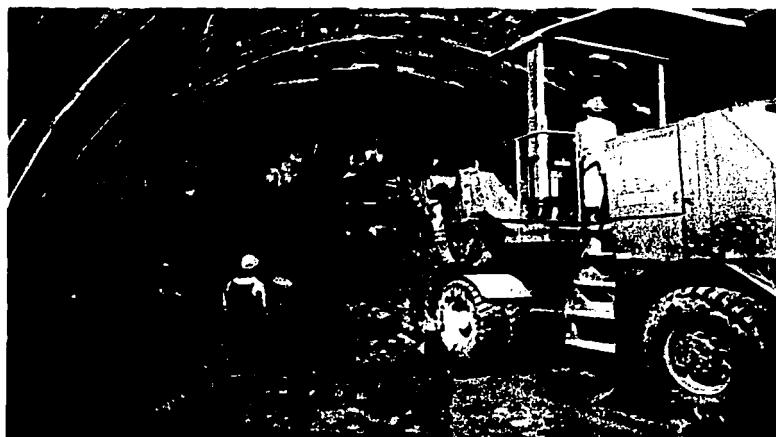
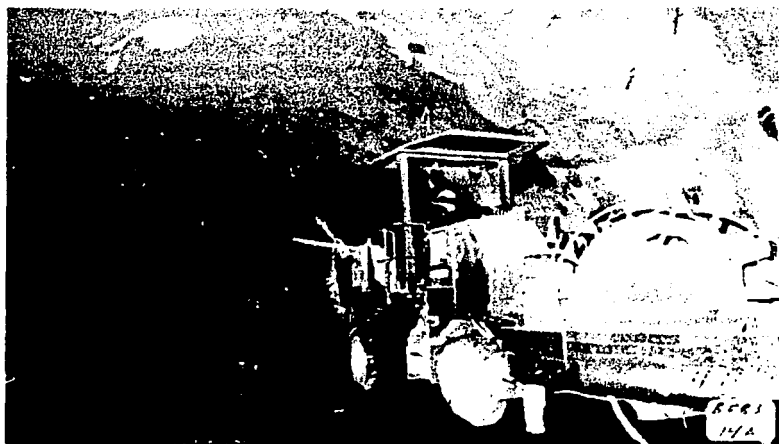


Figura III.31 Fotografías de jumbo barrenando una sección de excavación del túnel

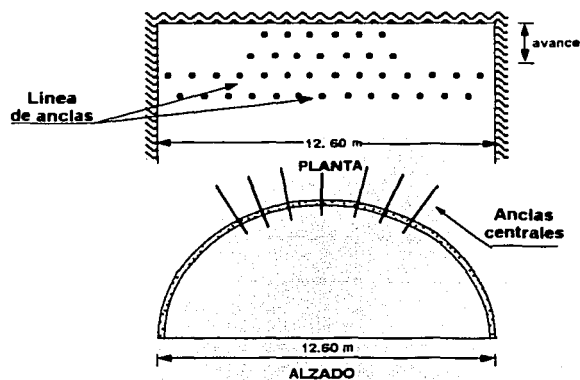


Figura III.32 anclaje central, elementos de 1" ϕ x 4.2 m

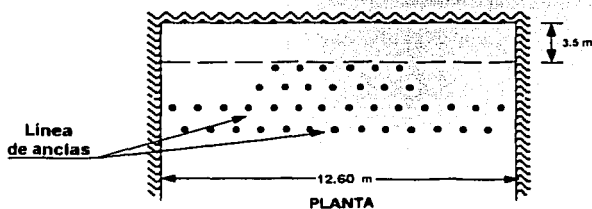


Figura III.33 Siguiente avance de excavación a sección completa

Se rezagó el material producto de la voladura utilizando un cargador de descarga lateral 966 y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro del material, posteriormente se procedió a lanzar una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, fig. III.34, después se colocó el anclaje sistemático en la zona central de la excavación efectuada, fig. III.35.

La segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero de 4 cm de espesor, para lograr los 8 cm de proyecto, así como la colocación de las anclas faltantes en las zonas laterales del túnel, para completar las aureolas, se realizó posteriormente, conservando un tiempo entre 8 a 15 días de desfasamiento entre el frente de excavación y el de terminación de tratamientos, fig. III.36.

Concreto lanzado reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50 o similar.

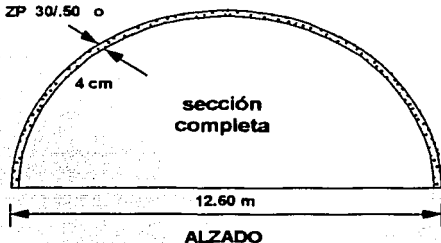


Figura III.34 Capa primaria de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm

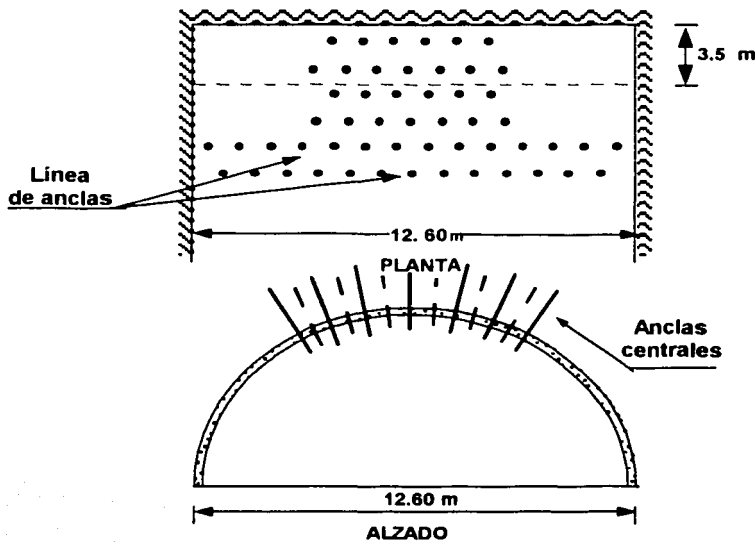


Figura III.35 anclaje central, elementos de 1' ø x 4.2 m

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

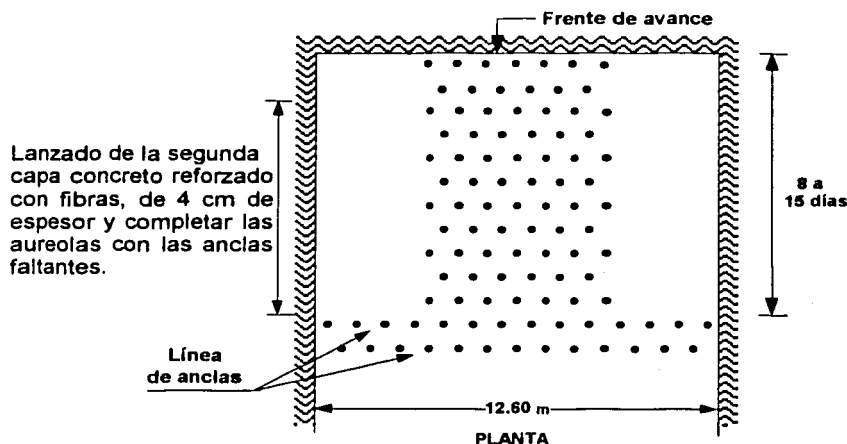


Figura III.36 Frente de terminación de tratamientos conservando un tiempo entre 8 y 15 días de desfasamiento entre el frente de excavación.

Se realizó la barrenación y colocación de drenes en zonas que presentaron aportación de agua.

b) Procedimiento de excavación para roca regular a buena (con barrenación y voladura).

Un procedimiento para la excavación del túnel, para la clasificación de la roca de regular a buena, fue atacar el frente en $2/3$ y $1/3$ de sección.

Para estas zonas, el proyecto reduce el ancho de la sección excavada de 13.6 a 12.86 m, debido a que no se requiere instalar marcos de acero como soporte provisional; por lo que el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 12.6 m y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 12.6 m de largo por 2.65 m de altura, fig. III.37.

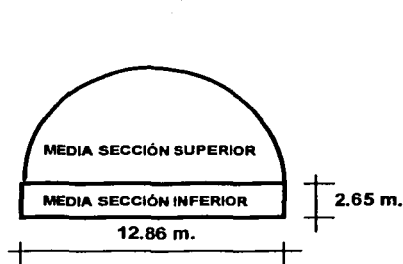


Figura III.37 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior

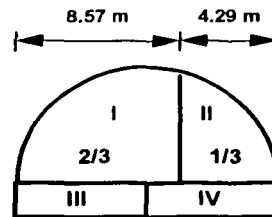


Figura III.38 Subdivisión de la media sección superior e inferior

Se dividió la media sección superior en dos partes, una de 8.57 m ($\frac{2}{3}$ de sección) y la otra de 4.29 m ($\frac{1}{3}$ de sección), como indica la fig. III.38, con un desfase de 16 m., fig. III.39. Se atacaron ambos frentes de manera simultánea, para acercarlos, de tal manera que la separación entre ambos sea entre 7 y 10 m., fig. III.40, para reducir las interferencias entre los jumbos durante la operación simultánea.

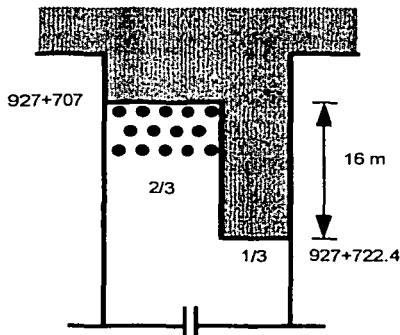


figura 3. Defasamiento actual

Figura III.39 Defasamiento actual

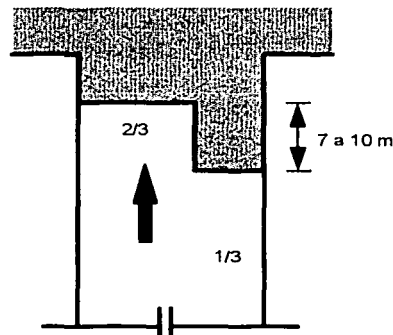


figura 4. Defasamiento requerido para el frente de excavación.

Figura III.40 Defasamiento requerido para el frente de excavación.

Por las características de la roca, el proyecto especificó un soporte definitivo a base de anclas de acero, a cada 1.5 m (1" $\varnothing$ x 4.20 m de longitud), las anclas se colocaron en aureolas perpendiculares al eje del túnel, espaciadas 1.5 m entre sí, fig. III.41.

Asimismo, el proyecto especificó que la sección recién excavada se proteja con una capa de 8 cm de espesor de concreto lanzado, reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50, tanto para proteger la roca contra el intemperismo como para prevenir desprendimientos de la misma, fig. III.42.

Debido a que el jumbo de barrenación tuvo limitaciones de espacio, en la sección 2/3, solo se pudieron colocar las anclas de la clave y en los laterales la que el equipo permitió, fig. III.43. De acuerdo con recomendaciones del Director del Proyecto, se especificó que solo se podría dar otro avance de excavación, una vez que se tuvieran colocadas las anclas de la clave y al terminar la excavación de la sección 1/3, se concluyó con el 100% de las anclas de la aureola correspondiente, fig. III.44.

Después de la voladura, la ventilación y el amacize, se rezagó el material producto de la voladura para dejar despejada el área a la actividad de la aplicación del concreto lanzado reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 8 cms, utilizando para esto un brazo o robot lanzador montado sobre camión plataforma, fig. III.45. Posteriormente se procedió con la barrenación y colocación del anclaje sistemático, con elementos de 1" $\varnothing$ por 4.2 metros de longitud, separadas entre sí 1.50 m.

En este frente se tuvo una pendiente contraria a la salida, por lo que se construyeron una serie de cárcamos separados a una distancia aproximada de 300 m, para el bombeo al exterior del agua acumulada en el frente de trabajo, fig. III.46.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

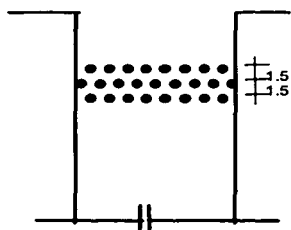


Figura III.41 Aureolas de anclas pares y
nones, colocadas al tresbolillo

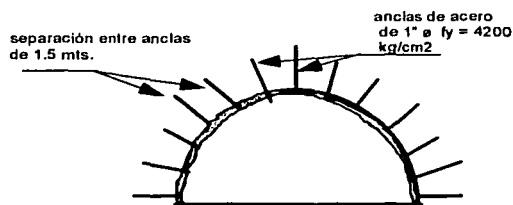


Figura III.42 Soporte con anclas de acero
y concreto lanzado con fibras

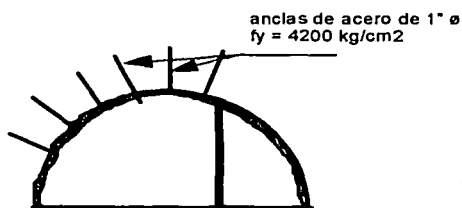


Figura III.43 Colocación de anclas en la
clave

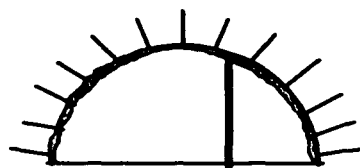


Figura III.44 Colocación de anclas al
100%

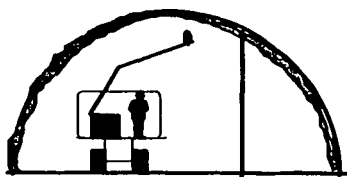


Figura III.45 Aplicación de concreto lanzado
reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero,
hasta alcanzar un espesor de 8 cm.

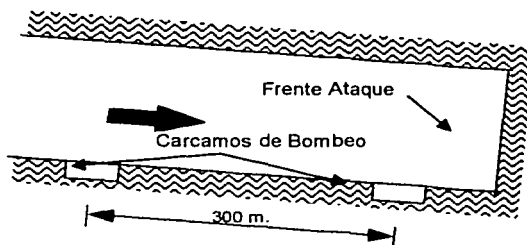


Figura III.26 Construcción de cárcamo de
bombeo para el desalojo del agua fuera del
túnel.

Otra forma de realizar la excavación del túnel, para la clasificación de la roca de regular a buena, fue la de atacar el frente en dos medias secciones.

Para estas zonas, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 12.86 m, debido a que no se requirieron instalar marcos de acero como soporte provisional; por lo que el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 12.86 m y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 12.86 m de base por 2.65 m de altura, fig. III.47.

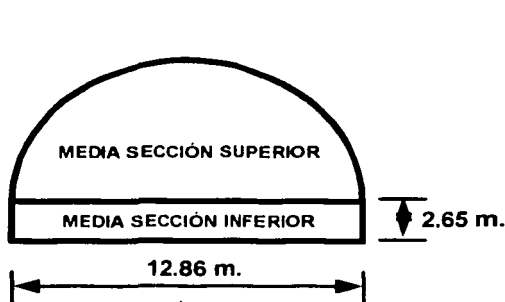


Figura III.47 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior

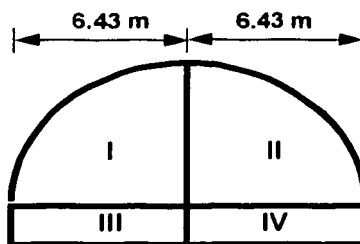


Figura III.48 Subdivisión de la media sección superior e inferior

Se subdividió la media sección superior en dos partes iguales, de acuerdo como se indica en la fig. III.48, considerando que el frente se encuentra parejo, como se indica en la fig. III.49.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

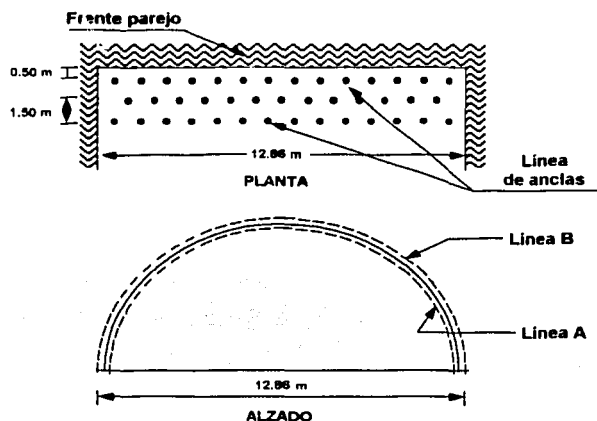


Figura III.49 Frente de excavación parejo, para el inicio del procedimiento.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en la sección izquierda, fig. III.48, de tal manera que el avance fue de 3.0 m, para lograr una geometría similar a la indicada en la fig. III.50, se lanzó una primera capa de concreto reforzado con 40 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/.50, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, fig. III.51, se rezago el material producto de la voladura utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro del material a los bancos autorizados, se procedió a la colocación de las anclas centrales de la aureola correspondiente, con elementos de 1" $\varnothing$ por 4.20 m de longitud, fig. III.52., posteriormente se dieron avances de excavación de 3.0 m en la misma sección, hasta alcanzar un defasamiento de $\pm$ 13 m con respecto a la sección derecha, fig. III.53.

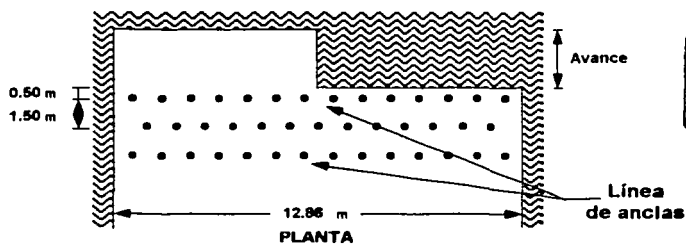


Figura III.50 Excavación de la mitad de la media sección superior.

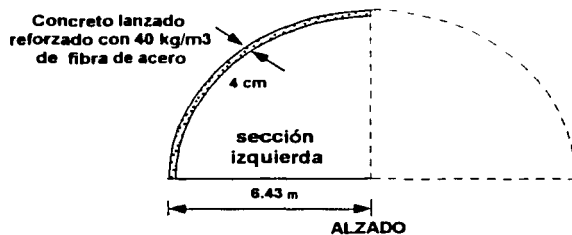


Figura III.51 Colocación de capa primaria de concreto lanzado

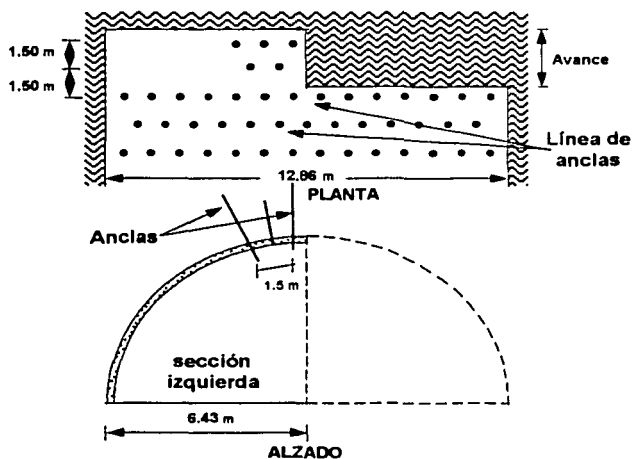
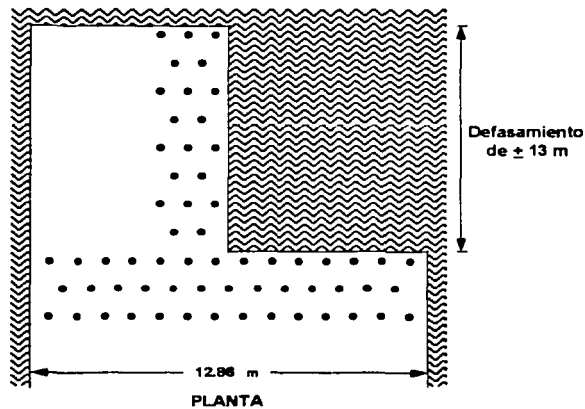


Figura III.52 Anclaje de la sección en la zona central, utilizando elementos de 1" $\varnothing$ x 4.2 m



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.53 Defasamiento de la sección excavada con respecto a la Sección derecha.

Una vez que se logró el defasamiento deseado, se continuó con la siguiente excavación del frente, mediante barrenación y explosivos, en las secciones izquierda y derecha simultáneamente, con avances de 3.0 m, fig. III.54.

Posteriormente, se realizaron los tratamientos del concreto lanzado reforzado con fibras de acero, en las zonas excavadas y la colocación de anclas de 1" $\varnothing$ por 4.20 m de longitud, en las zonas centrales de la excavación, fig. III.55.

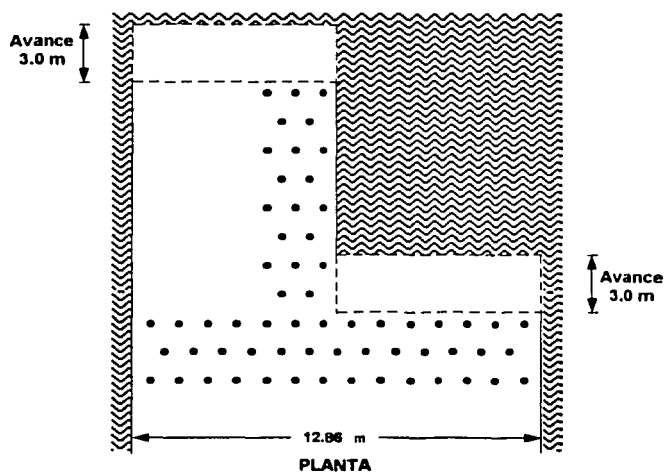
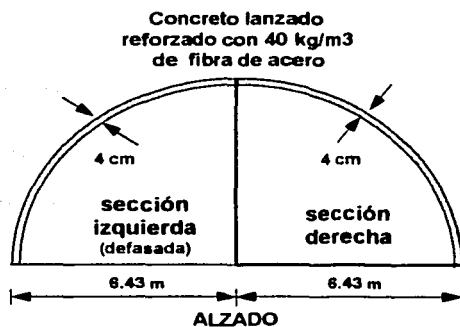


Figura III.54 Avance de excavación simultanea en ambas secciones



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

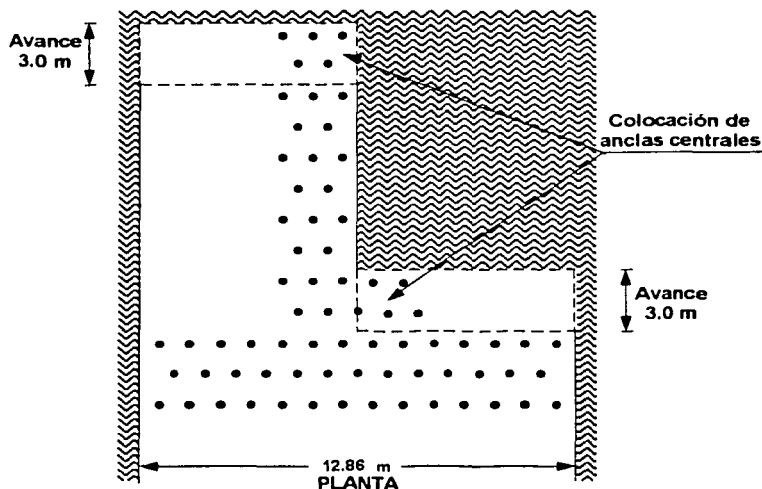
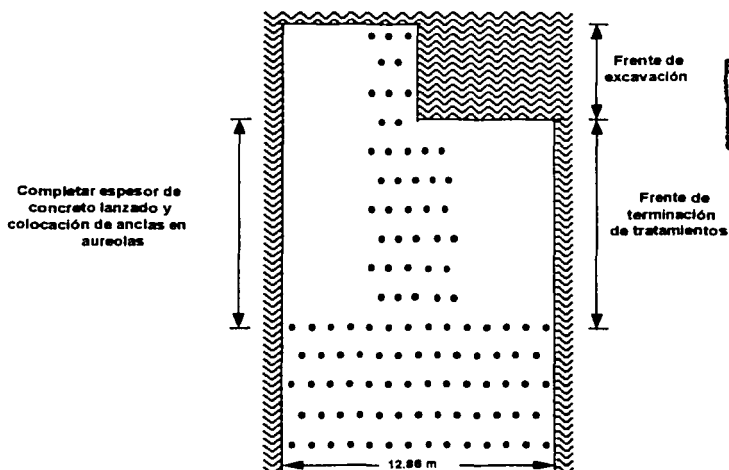


Figura III.55 Colocación de concreto lanzado y anclajes en zonas centrales de la excavación.

Con la finalidad de dar un mayor avance al túnel, se propuso que la conclusión de la segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero de 4 cm de espesor, para lograr los 8 cm de proyecto, así como la colocación de las anclas faltantes en las zonas laterales del túnel, para completar las aureolas, se realicen posteriormente, teniendo una longitud entre 30 y 50 m del frente de excavación, fig. III.56.

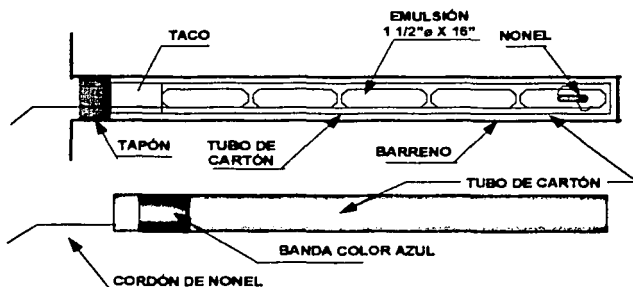


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

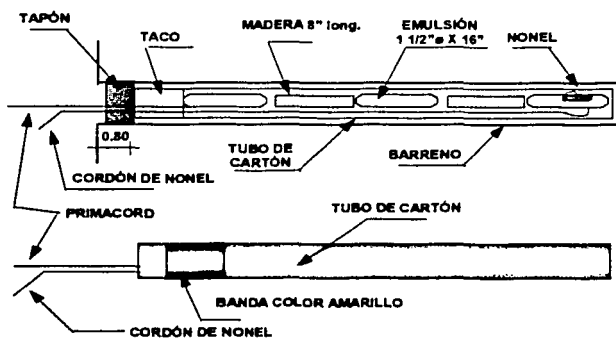
Figura III.56 Frentes de excavación y tratamiento en el túnel.

Preparación de explosivos en tubos de cartón para cargar a los barrenos del frente:

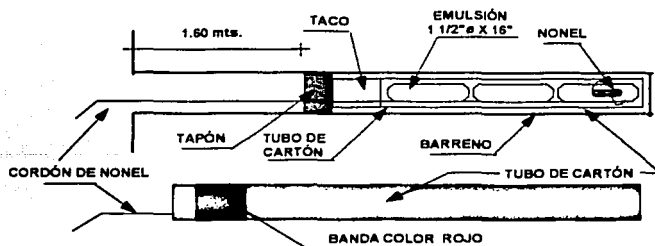
BARRENO DE CUÑA Y PATA



BARRENO DE PRECORTE O POSTCORTE



BARRENO DE DESTROZA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

c) Procedimiento de excavación para roca regular a mala.

Para estas zonas, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 13.6 m debido a que se requirió instalar marcos de acero como soporte provisional; por lo tanto el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 13.6 m y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 13.6 m de base por 2.65 m de altura, fig. III.57.

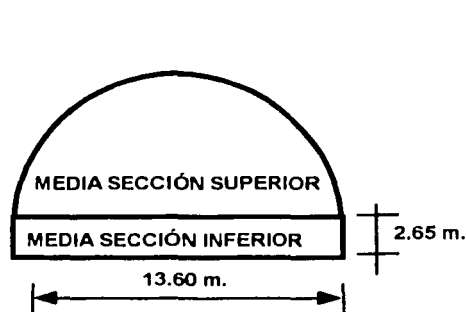


Figura III.57 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior

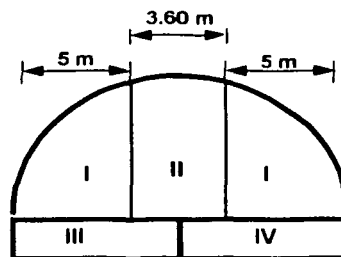
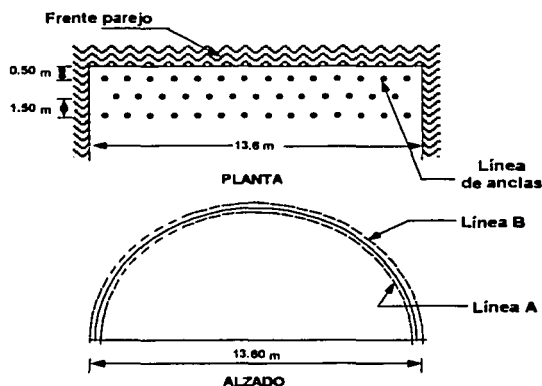


Figura III.58 Sección transversal subdividida en dos laterales (I), un núcleo (II) y dos inferiores (III y IV)

Se subdividió la media sección superior en tres partes, dos laterales de 5 m y un núcleo de 3.6 m, como se indica en la fig. III.58, considerando que el frente se encuentra como se indica en la fig. III.59.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.59 Frente parejo para el inicio del procedimiento.

Antes de iniciar el ciclo de excavación, se realizó un preanclaje al frente de la excavación, en la zona central superior, con anclas de 1" $\varnothing$ por 4.2 m de longitud, colocadas a cada 60 cm, con un ángulo para anclar los estratos entre 30° y 40° con la horizontal, cubriendo la zona de mayor alteración de la roca, fig. III.60.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en los laterales (I), fig. III.58, de tal manera que el avance fue entre 1.5 m y 3.0 m para lograr una geometría similar a la indicada en la fig. III.61, se lanzó una primera capa de concreto reforzado con 40 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, fig. III.62, se procedió a rezagar el material producto de la voladura, utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro del material a los bancos autorizados, se colocó el anclaje sistemático utilizando elementos de 1" $\varnothing$ por 4.2 m y 6 m de longitud, fig. III.63, posteriormente se colocó la segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero para completar los 8 cm de espesor de proyecto, fig. III.64.

Cuando el material lo permitió, se procedió a excavar el núcleo (II), mediante barrenación y explosivos, de lo contrario, se realizó la excavación con medios mecánicos, utilizando un martillo hidráulico montado sobre una retroexcavadora; con la excavación de esta sección, quedó nuevamente el frente parejo, y se inició otro ciclo de excavación en laterales, fig. III.65; inmediatamente después, se colocó una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, fig. III.66, y después el anclaje sistemático en la zona del núcleo, fig. III.67.

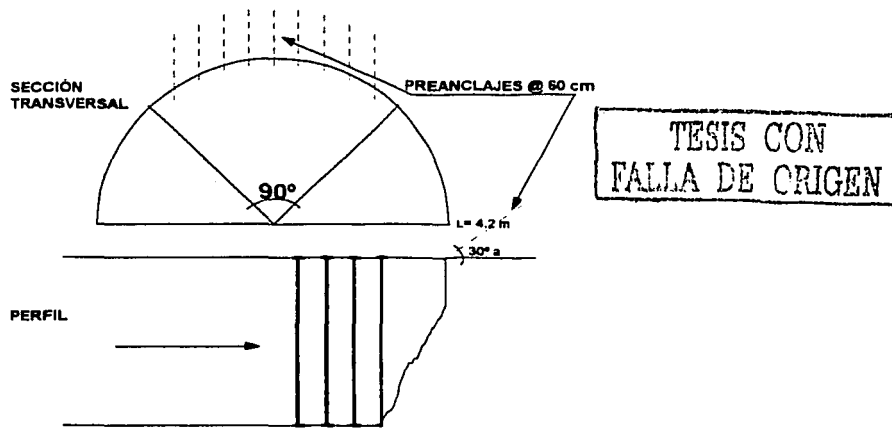


Figura III.60 Colocación de preanclajes en el frente de excavación

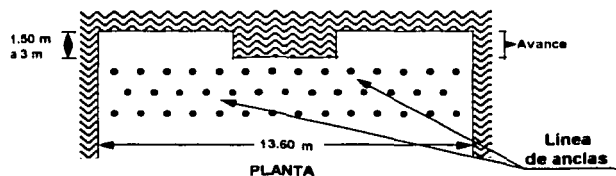
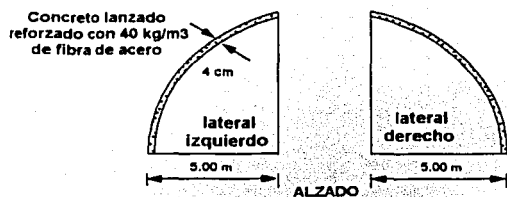


Figura III.61 Excavación de los laterales de la media sección superior.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.62 Colocación de una capa primaria de concreto lanzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm.

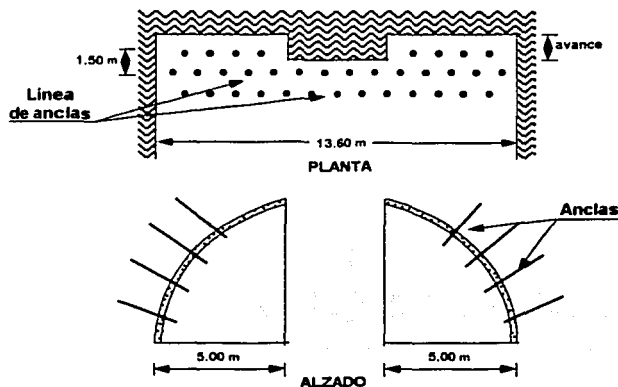
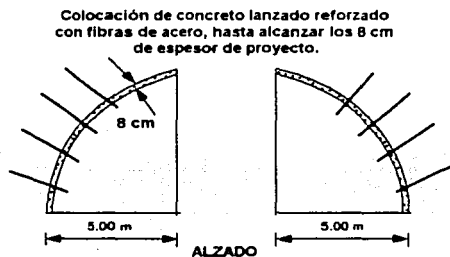


Figura III.63 Anclaje de los laterales utilizando elementos de 4.2 o 6 m



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.64 Colocación de la segunda capa de concreto lanzado de 4 cm.

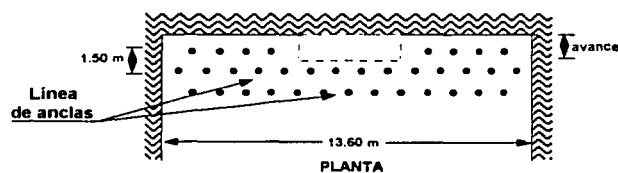


Figura III.65 Excavación en el núcleo para dejar el frente parejo.

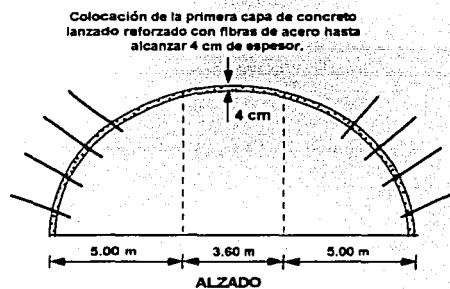


Figura III.66 Colocación de la primera capa de concreto lanzado de 4 cm de espesor en el núcleo.

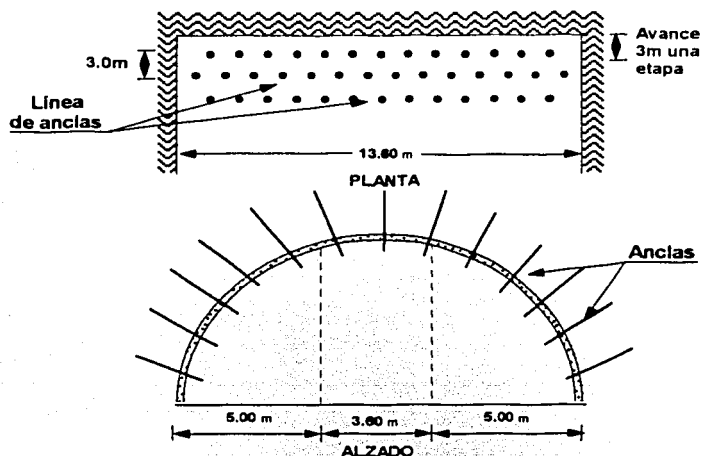


Figura III.67 Anclaje en el núcleo utilizando elementos de 4.2 o 6 m.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Posteriormente, se procedió a colocar el marco de acero n+1, dando una separación entre marcos de 1.0 m, ademándolo o castigándolo con madera, fig. III.68.

Se procedió a lanzar la segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero en el núcleo hasta completar los 8 cm de espesor de proyecto, procurando que no se lanzara sobre el retaque de madera.

Posteriormente se cimbró contra el paño interior de los patines de los marcos, para colar posteriormente concreto hidráulico y formar así un marco de concreto continuo, fig. III.69.

Después se aplicó una inyección de contacto entre el colado de concreto hidráulico y el perfil excavado, mediante preparativos formados con tubo de PVC de 2" $\varnothing$, colocando 5 piezas por aureola, ubicándose a cada 3.0 m en sentido longitudinal del túnel; los barrenos se distribuyeron al tresbolillo, la inyección consistió a base de una lechada de agua-cemento en proporción 1:1 en peso del cemento y una presión máxima de 1.0 kg/cm², fig. III.70.

Las anclas sistemáticas de 6.0 m de longitud, se colocaron en las zonas donde el grado de alteración de la roca condicionen su calidad de muy mala. Cuando en la periferia de un frente se

presentaron diversas calidades de la roca, las anclas de 6.0 m se colocaron únicamente en la roca clasificada como muy mala.

Las anclas que no alcanzaron una profundidad (penetración en la roca) del 80% de proyecto, tuvieron que reemplazarse, esto es, si la varilla penetró 3.4 m cuándo debió ser 4.2 m, se aceptó, de lo contrario debió reemplazarse; si penetró 4.8 m cuándo debe ser 6 m, se aceptó, de lo contrario debió reemplazarse.

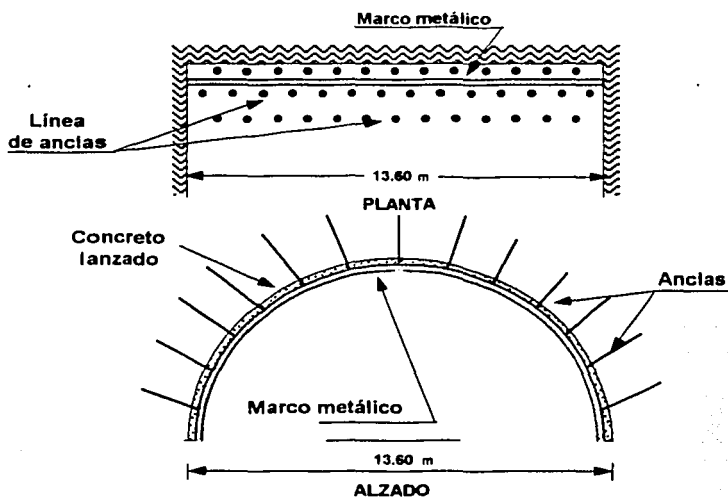
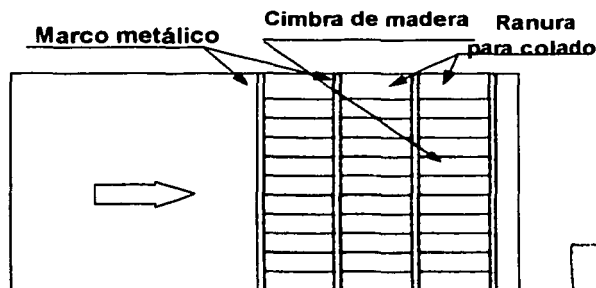


Figura III.68 Colocación de marco metálico.



TESIS CON
FOLIO DE ORIGEN

Figura III.69 Cimbrado y colado con concreto hidráulico.

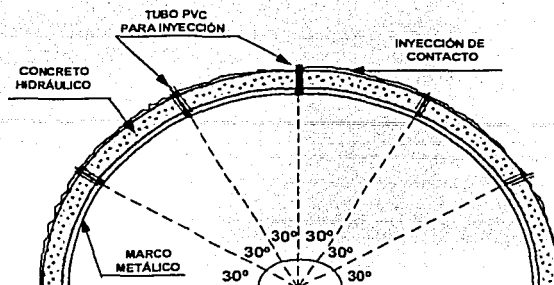


Figura III.70 Inyección de contacto entre el concreto hidráulico y el perfil excavado del túnel.



Figura III.71 Fotografía de colocación de marcos metálicos en el túnel

d) Procedimiento de excavación para roca mala a muy mala.

El procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 12.54 m y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 12.54 m de base por 2.65 m de altura, fig. III.72.

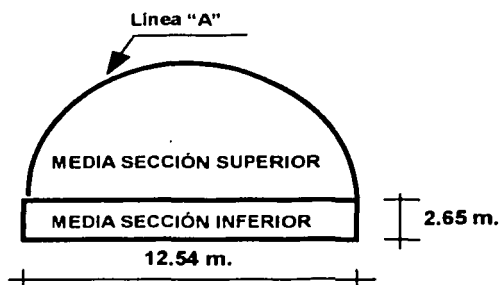


Figura III.72 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior

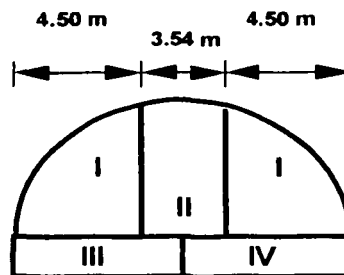


Figura III.73 Sección transversal subdividida en dos laterales (I), un núcleo (II) y dos inferiores (III y IV)

Se subdividió la media sección superior en 3 partes, dos laterales de 4.50 m y un núcleo de 3.54 m, como muestra la fig. III.73, considerando que el frente se encuentra como se indica en la fig. III.74.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en las zonas laterales (I), fig. III.73, de tal manera que la penetración fue de 1.5 m para lograr una geometría similar a la indicada en la fig. III.75, se procedió a rezagar el material producto de la voladura, utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro a los bancos autorizados, se lanzó concreto reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 12 cm en tres etapas de 4 cm cada una, (dos capas en el ciclo actual y la tercera en el siguiente ciclo), esto con la finalidad de proteger la roca contra el intemperismo como para prevenir desprendimientos de la misma, fig. III.76, se procedió a colocar un soporte a base de anclas de acero de 1" $\varnothing$ x 6 m de longitud, de la manera propuesta en la fig. III.77, según lo permitió el equipo de barrenación y anclaje.

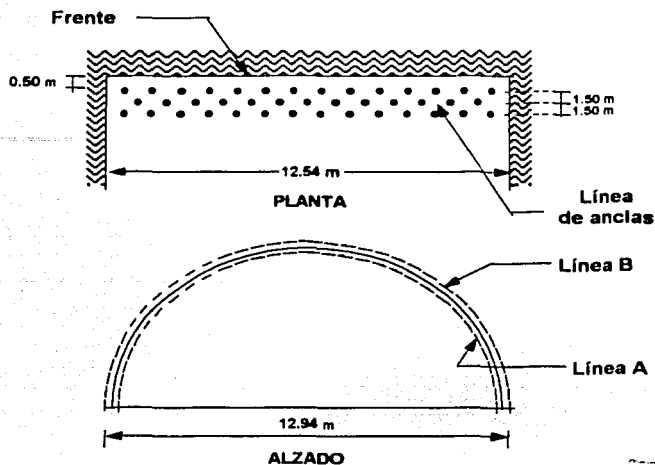


Figura III.74 Frente parejo para el inicio del ciclo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

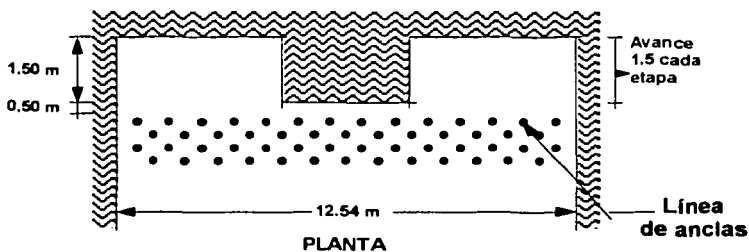


Figura III.75 Excavación de los laterales de la media sección superior.

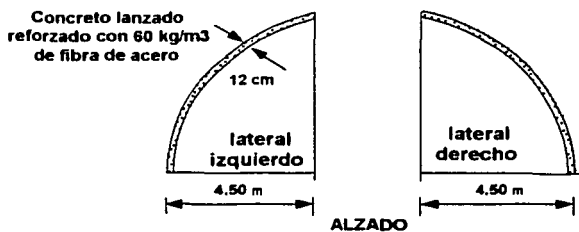


Figura III.76 Colocación de una capa primaria de concreto lanzado con fibras de acero en tres etapas de 4 cm cada una hasta alcanzar un espesor de 12 cm.

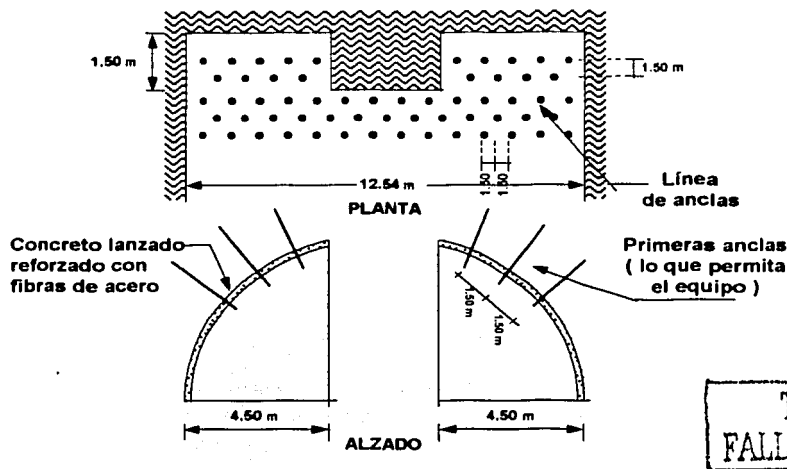


Figura III.77 Anclaje de los laterales utilizando elementos de 6 m.

Al término del anclaje y colocación de las dos capas de concreto lanzado reforzado con fibras de acero en los laterales, se procedió con la siguiente excavación de los laterales y núcleo mediante barrenación y explosivos, hasta alcanzar otra penetración igual a 3.00 m, conservando un defasamiento entre los laterales y el núcleo del orden de 3.00 m, fig. III.78.

Se procedió a lanzar la primera capa de concreto lanzado, con un espesor de 4 cm en la zona del núcleo y la tercera capa de 4 cm en la zona de los laterales del ciclo anterior, esto para completar los 12 cm de proyecto, se realizó la rezaga del material producto de la voladura, se aplicó la segunda capa de 4 cm de concreto lanzado en la zona del núcleo y la primera capa de 4 cm en la zona de los laterales de la excavación del ciclo actual, fig. III.79, se procedió a colocar las anclas en la clave del núcleo y los laterales recién excavados, según lo permitió el equipo de barrenación y anclaje, como se indica la fig. III.80, se lanzó la segunda capa de 4 cm de concreto lanzado en las zonas de los laterales y la tercera capa de 4 cm de concreto lanzado en la zona del núcleo, para completar los 12 cm de proyecto, fig. III.81; finalmente, se repitió el ciclo con una nueva penetración de 1.5 m, conservando un defasamiento de 1.5 m entre el núcleo y el frente de los laterales, durante el ciclo actual, se procedió a colocar la tercera capa de 4 cm de concreto lanzado en la zona de los laterales, para completar los 12 cm de proyecto.

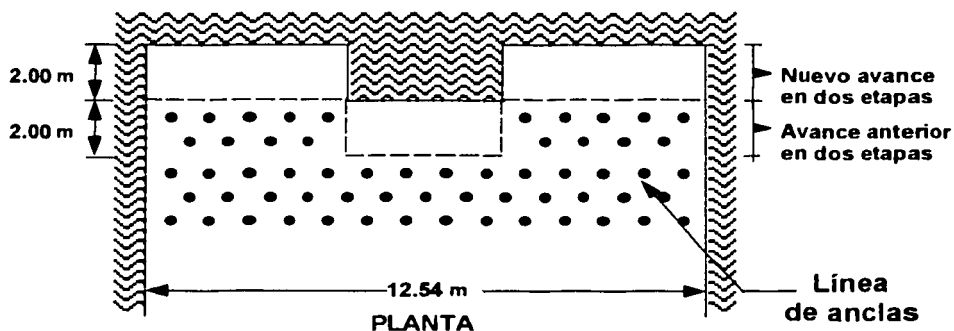
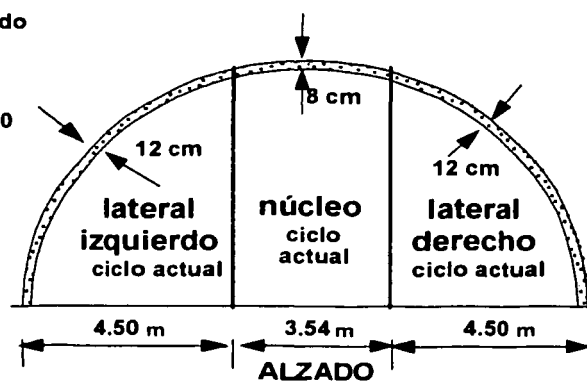


Figura III.78 Nuevo avance de excavación.

Concreto lanzado
reforzado con
60 kg/m³ de
fibras de acero
dramix ZP 30/50



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.79 aplicación de concreto lanzado en las zonas recién excavadas.

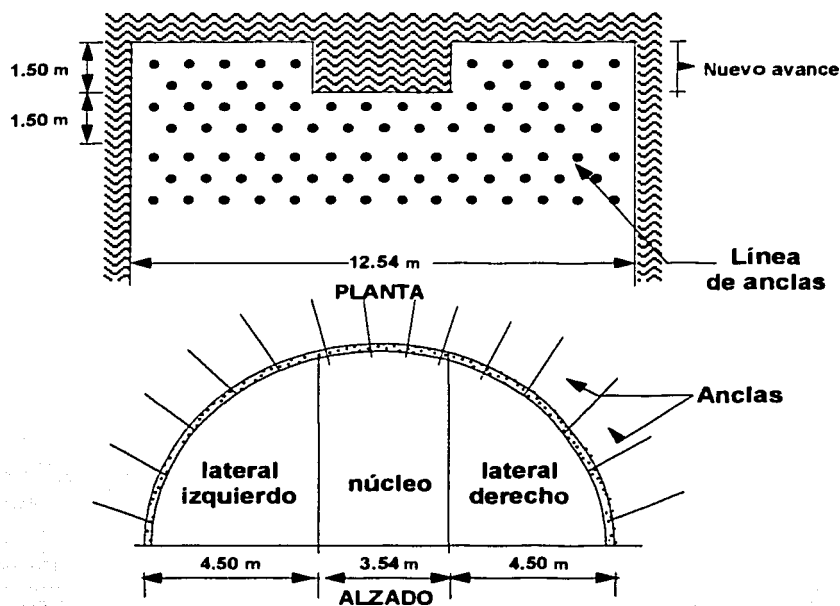
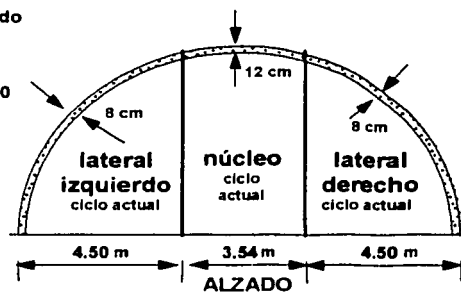


Figura III.80 Anclaje en clave del núcleo y laterales.

Concreto lanzado
reforzado con
60 kg/m³ de
fibras de acero
dramix ZP 30/50



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.81 aplicación de concreto lanzado en las zonas excavadas.

e) Excavación en túnel para cualquier calidad de roca.

e.1 Procedimiento 1 y 2

Debido a la problemática que se tenía en el túnel con las variaciones de la clasificación de la calidad de roca, se estableció, que para evitar el cambio de procedimiento constructivo cada vez que se tenía una diferente clasificación de la roca, se definió que se trabajaría con un solo método de excavación del túnel, esto es, que el ataque del frente de excavación sería de igual manera sin importar la clasificación de la roca, esto trajo como consecuencia mejores rendimientos en los avances, ya que no se perdía el tiempo en los cambios del método constructivo, además de que el personal operativo logró dominar el proceso y por ende una mejor eficiencia en los ciclos de excavación.

Para estas zonas, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 12.86 m o de 13.6 m cuando se requirieron instalar marcos de acero como soporte provisional; por lo tanto el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 12.86 m, fig. III.82, o de 13.6 m, fig. III.84 y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 12.86 m o de 13.6 m de base, por 2.65 m de altura.

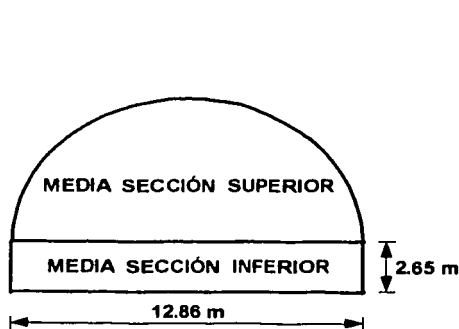


Figura III.82 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior

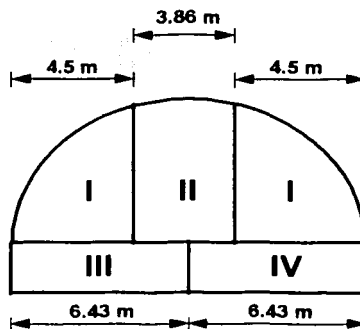


Figura III.83 Sección transversal subdividida en dos laterales (I), un núcleo (II) y dos inferiores (III y IV)

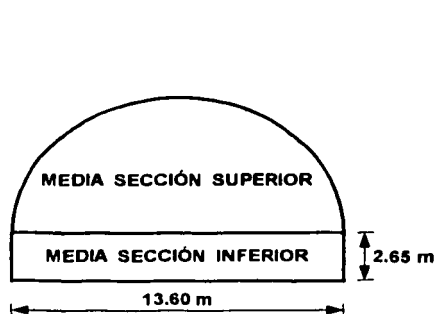


Figura III.84 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior. Para la instalación de marcos metálicos.

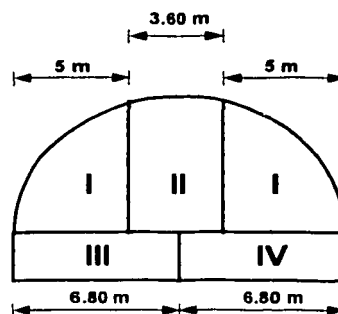


Figura III.85 Sección transversal subdividida en dos laterales (I), un núcleo (II) y dos inferiores (III y IV)

Se subdividió la media sección superior en tres partes, dos laterales de 4.5 m y un núcleo de 3.86 m, fig. III.83, o bien si se requirieron instalar marcos metálicos, será con dos laterales de 5 m y un núcleo de 3.60 m, fig. III.85, considerando que el frente se encuentra parejo, como se indica en la fig. III.86.

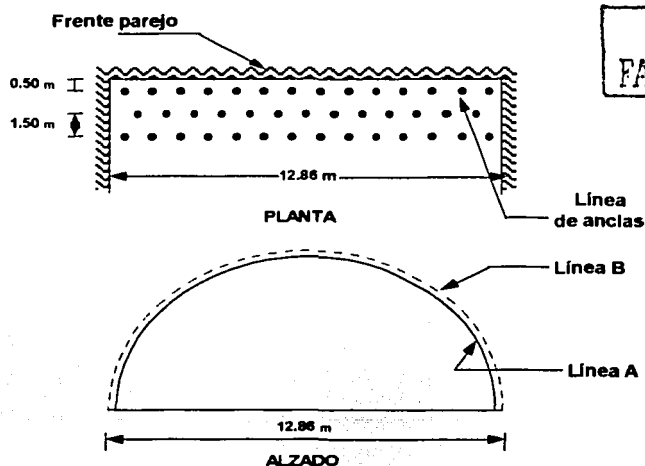


Figura III.86 Frente parejo para el inicio del ciclo.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en los laterales (I), fig. III.83, de tal manera que el avance fue entre 1.5 m y 3.0 m, según la calidad de la roca, para lograr una geometría similar a la indicada en la fig. III.87, se procedió a rezagar el material producto de la voladura, utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro a bancos autorizados, se lanzó una primera capa de concreto reforzado con 40 kg/m³ en zona de marcos o 60 kg/m³ en zona sin marcos, de fibras de acero dramix ZP 30/.50 o similar, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, esto para proteger la roca excavada contra los efectos del intemperismo, así como para prevenir los desprendimientos de la misma, fig. III.88, se procedió a colocar las anclas centrales de la aureola correspondiente utilizando elementos de 1" $\varnothing$ por 4.2 m de longitud, fig. III.89.

Al término de lo anterior, se procedió con la siguiente excavación en los laterales y núcleo simultáneamente, mediante barrenación y explosivos, ayudándose con el uso de noneles que permitieron la detonación de las dos cuñas de los laterales con dos o tres segundos de diferencia entre ellas, hasta alcanzar un avance de 1.5 a 3.0 m, según la calidad de la roca, conservando un defasamiento entre los laterales y núcleo del orden de 1.5 a 3.0 m, fig. III.90.

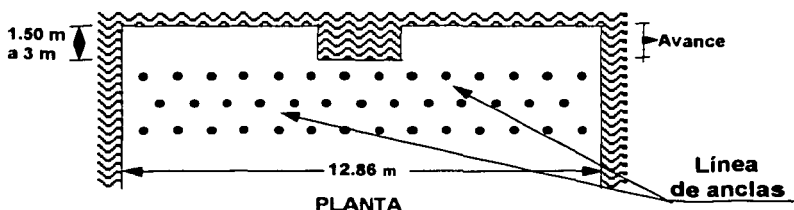
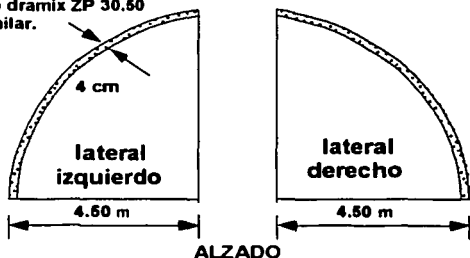


Figura III.87 Excavación de los laterales de la media sección superior.

Concreto lanzado reforzado con 40 kg/m³, en zona de marcos o 60 kg/m³, en zona sin marcos, de fibras de acero dramix ZP 30.50 o similar.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.88 Colocación de una capa primaria de concreto lanzado reforzado con fibras de acero hasta alcanzar un espesor de 4 cm.

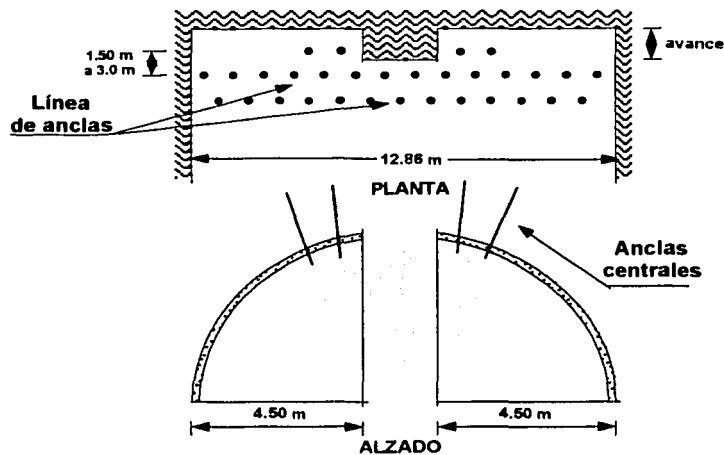


Figura III.89 Anclaje centrales utilizando elementos de $1'' \varnothing \times 4.2$ m.

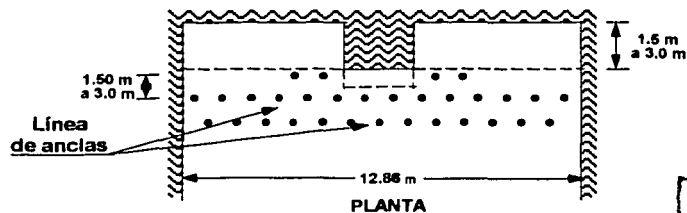


Figura III.90 Avance de excavación laterales y núcleo simultáneos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se procedió a rezagar el material producto de la voladura y posteriormente lanzar una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, fig. III.91, después se colocó el anclaje sistemático en la zona central de la excavación efectuada, fig. III.92.

La segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero de 4 cm de espesor, para lograr los 8 cm de proyecto, así como la colocación de las anclas faltantes en la zonas laterales del túnel, para completar las aureolas, se realizó posteriormente, conservando una longitud no mayor

entre 30 m a 50 m, o entre 10 a 20 días, según la calidad de la roca, entre el frente de excavación y el de terminación de tratamientos, fig. III.93.

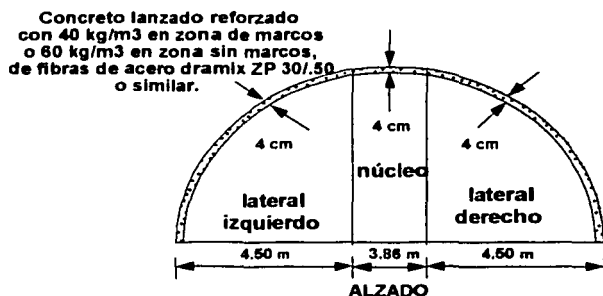


Figura III.91 Colocación de una capa primaria de concreto lanzado con fibras de acero hasta alcanzar un espesor de 4 cm en los laterales y el núcleo.

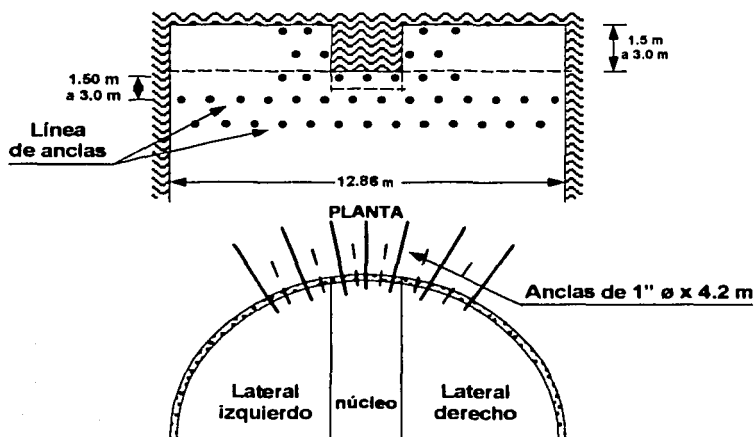


Figura III.92 Colocación de anclajes en la zona excavada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

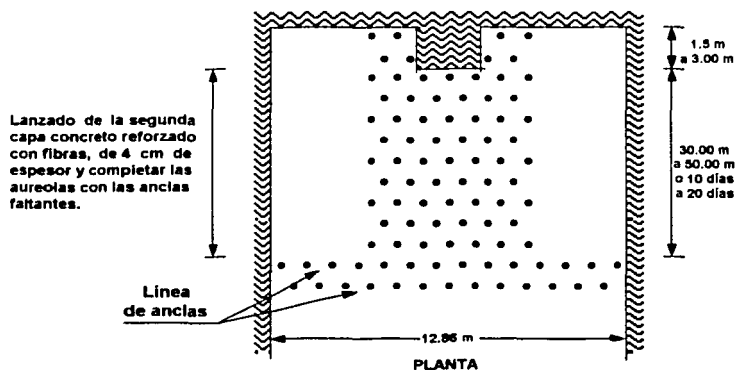


Figura III.93 Frente de terminación de tratamientos a una distancia no mayor de 30.0 a 50.0 m o de 10 a 20 días, con respecto al frente de excavación.

Cuando se requirieron marcos metálicos como soporte provisional en el túnel, de acuerdo a la clasificación de la roca, y se tuvo el frente de excavación defasado entre los laterales y el núcleo de 3 m, el siguiente avance solo se dió en la sección del núcleo a 1.5 m, para dar cabida a la colocación del marco metálico, dándole una separación entre marcos de 1.0 o 1.5 m, según se requiera, fig. III.94.

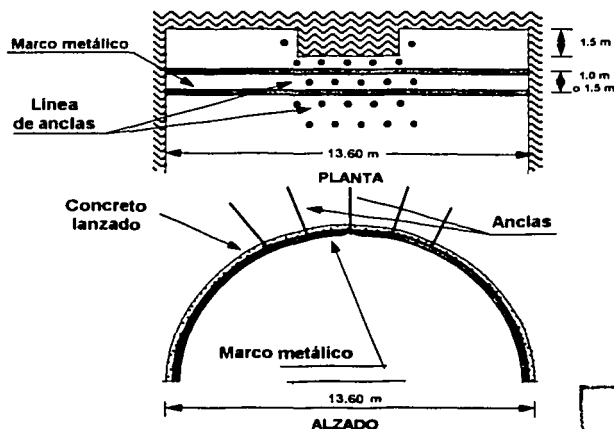


Figura III.94 Colocación del marco metálico

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Después de haber tenido el frente de excavación y el de tratamientos a una longitud no mayor entre 30 a 50 m, o haber transcurrido entre 10 a 20 días, se procedió a completar los 8 cm de concreto lanzado reforzado con fibras de acero y la colocación de las anclas faltantes sobre las paredes del túnel (tablas), fig. III.95.

Se inició con la barrenación y colocación de las anclas faltantes, con elementos de 1" $\varnothing$ por 4.2 m de longitud, utilizando para esto uno de los dos jumbos del frente para la barrenación, fig. III.96.

Posteriormente se lanzó la segunda capa de concreto reforzado con 40 kg/m³ en zona de marcos o 60 kg/m³ en zona sin marcos, de fibras de acero dramix ZP 30/.50 o similar, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, para con esto lograr los 8 cm de espesor de proyecto, utilizando para esto un robojet autopropulsado, fig. III.97.

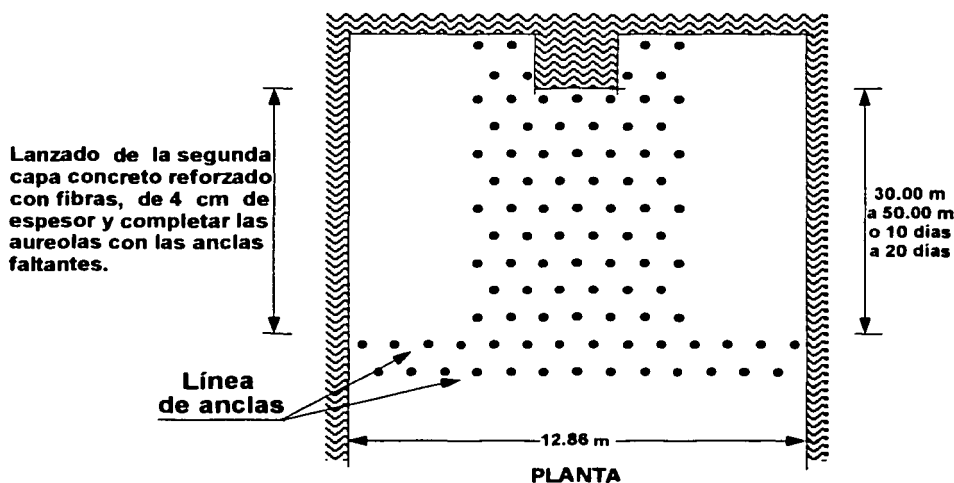


Figura III.95 Frente de terminación de tratamientos a una distancia no mayor de 30.0 a 50.0 o de 10 a 20 días, con respecto al frente de excavación.

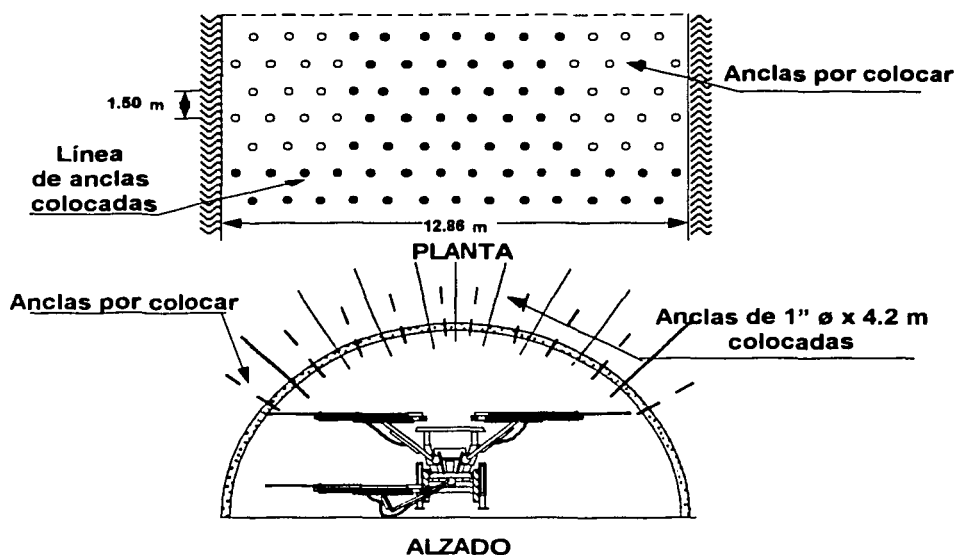


Figura III.96 Colocación de anclajes laterales utilizando un jumbo autopropulsado.

Concreto lanzado reforzado con 40 kg/m³ de fibras de acero en zona de marcos o 60 kg/m³ de fibras de acero en zona sin marcos.

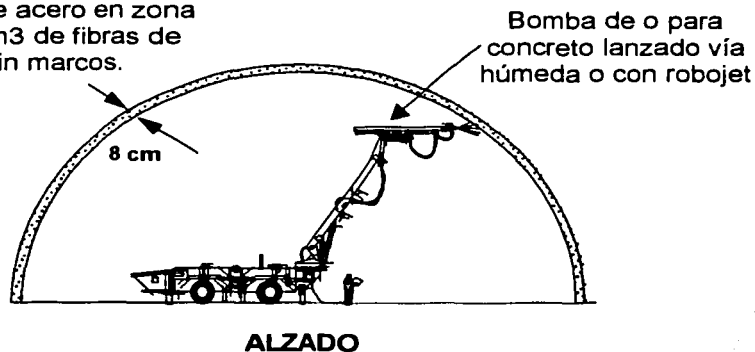


Figura III.97 Colocación de la segunda capa de concreto lanzado reforzado de 4cm de espesor, Para lograr los 8 cm de espesor de proyecto.

e.2 Procedimiento 3

Excavación en túnel para el tramo comprendido entre los cadenamientos 925+360 y 925+700 utilizando el método de marchavantes.

Para estas zonas, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 13.6 m debido a que se requirió instalar marcos de acero como soporte provisional, por lo tanto el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 13.6 m, y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 13.6 m de largo por 2.65 m de altura, fig. III.98.

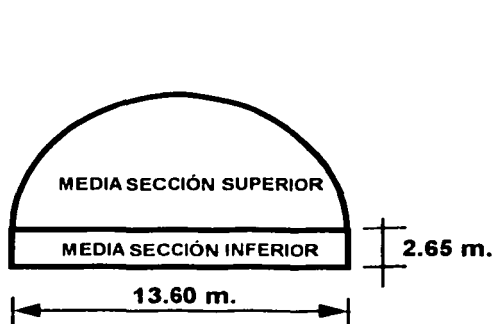


Figura III.98 Sección transversal dividida en media sección superior y media sección inferior.

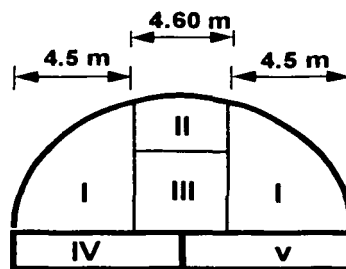


Figura III.99 Sección transversal subdividida en dos laterales (I), un núcleo (II) y (III) y dos inferiores (IV y V)

Se subdividió la media sección superior en tres partes, dos laterales de 4.50 m y un núcleo de 4.60 m como se indica en la fig. III.99, considerando que el frente se encuentra como se indica en la fig. III.100.

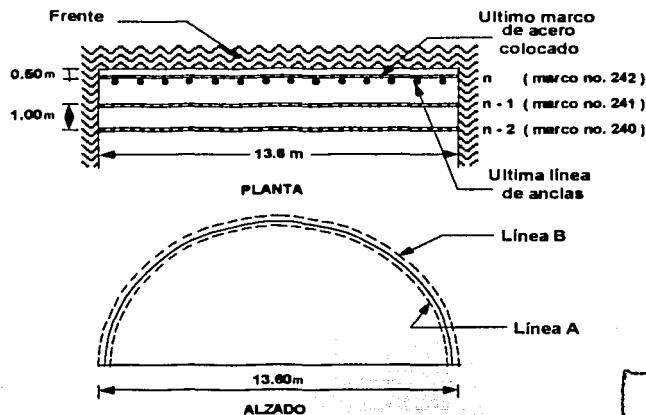


Figura III.100 Se ilustra el frente al final del caído.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para reiniciar el avance al frente, fue necesario hincar marchavantes de tubo de 2" $\varnothing$ x 6.0 m de longitud para la primera aureola entre los marcos 241 y 242, colocado a una separación entre sí de 30 cm y ocupando los 60° de la zona de la clave indicados en la fig. III.101.

De acuerdo a la calidad del material detectado por la línea de anclas barrenada, se suprimieron algunos tubos que se consideren innecesarios.

Los marchavantes tubulares tuvieron perforaciones de 3/8" $\varnothing$ @ 20 cm a la mitad de la longitud del tubo, esto con la finalidad de lograr una inyección efectiva, fig. III.102.

Los extremos de cada tubo se formaron de la siguiente manera:

Por un lado tuvieron forma de punta de lápiz y por el otro lado cuerda para reducir a una boquilla de 1" $\varnothing$ para su inyección, considerando que para el hincado de estos tubos se abrieron perforaciones con broca de 3" $\varnothing$ y en algunos casos se empujó solamente con el brazo del jumbo de perforación.

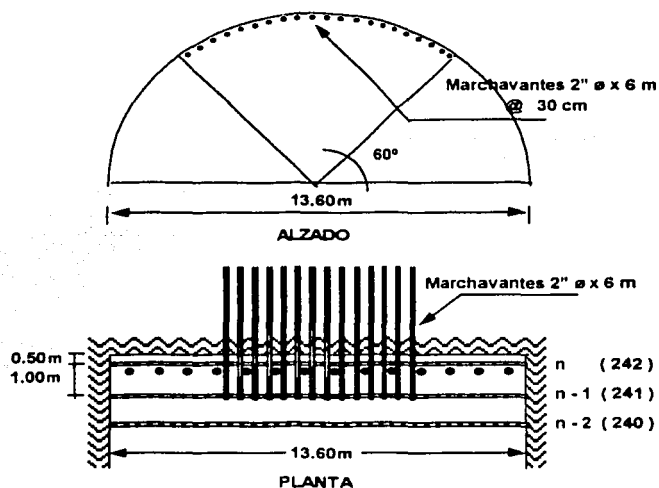


Figura III.101 Ubicación de marchavantes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

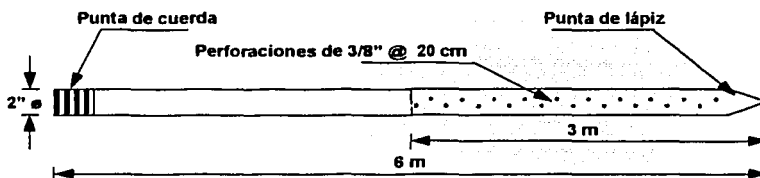


Figura III.102 Detalle de tubo de marchavante.

La primera aureola de marchavantes fue de 6.0 mts y sirvió como exploración para detectar las zonas de mala calidad donde se concentró el tratamiento de inyección.

La inyección de estos tubos fue realizada con un equipo de inyección MOYNO a una presión de 1.0 kg/cm² y con esta presión dar por sellado cada barreno ejecutado.

Se calafateó adecuadamente con mortero e inclusive se aplicó concreto lanzado en la zona cercana al barrenado de cada marchavante, esto con la finalidad de no tener desperdicios de lechada en zonas donde existió el ademe de la madera.

La lechada fue elaborada a base de cemento con proporción 1:1 en peso, considerando la posibilidad de hacer ajustes a la misma de acuerdo a las condiciones que se presentaron.

Terminando el hincado y la inyección de esta aureola, se procedió a excavar el frente lo necesario para ir avanzando marco a marco.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en las zonas laterales (1), fig. 99, de tal manera que el avance fue de 1.20 m y lograr una geometría similar a la indicada en la fig. III.103, se lanzó concreto reforzado con 40 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 16 cm, fig. III.104, se procedió a rezagar el material producto de la voladura utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro a los bancos autorizados, se procedió posteriormente a colocar anclas de la manera propuesta en la fig. III.105 según lo permitió el equipo de barrenación y anclaje.

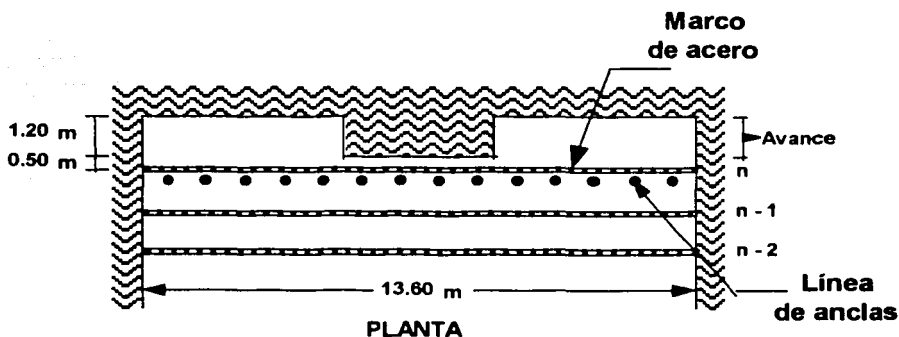


Figura III.103 Excavación de los tercios laterales de la media sección superior

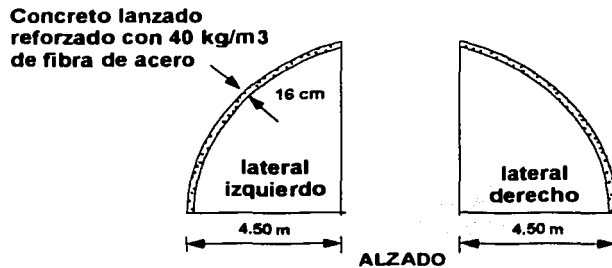


Figura III.104 Colocación de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 16 cm

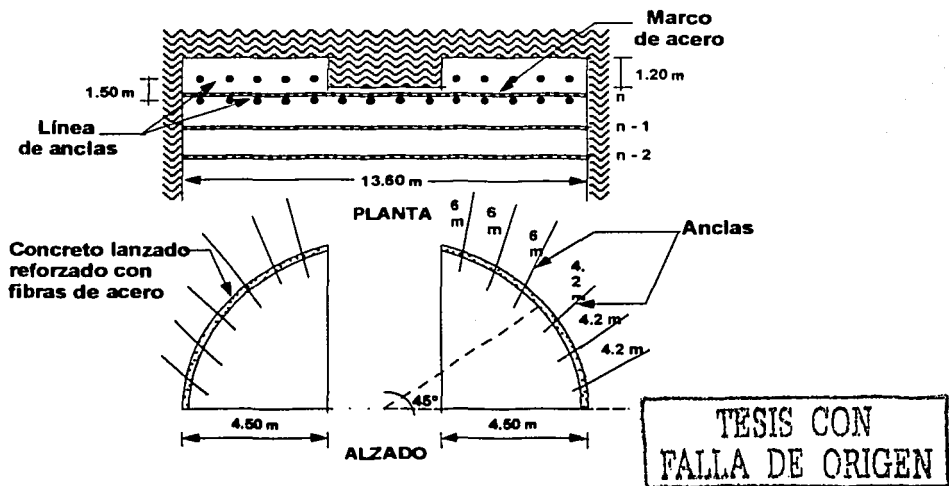


Figura III.105 Anclaje de los laterales utilizando elementos de 6 m arriba de la inclinación de 45° y de 4.2 m abajo

Al término del anclaje lateral, se procedió a excavar una ranura de 2 m de altura y 1.20 m de penetración, referida al marco anterior en el núcleo, fig. III.106, mediante demolición con martillo hidráulico cuando el material lo permite, o con barrenación y explosivos controlando la voladura a fin de no dañar el techo de la excavación.

Cuándo se terminó la excavación, se lanzó inmediatamente concreto reforzado con 40 kg/m³ de fibras metálicas para proteger la clave, hasta alcanzar un espesor de 16 cm, fig. III.106.

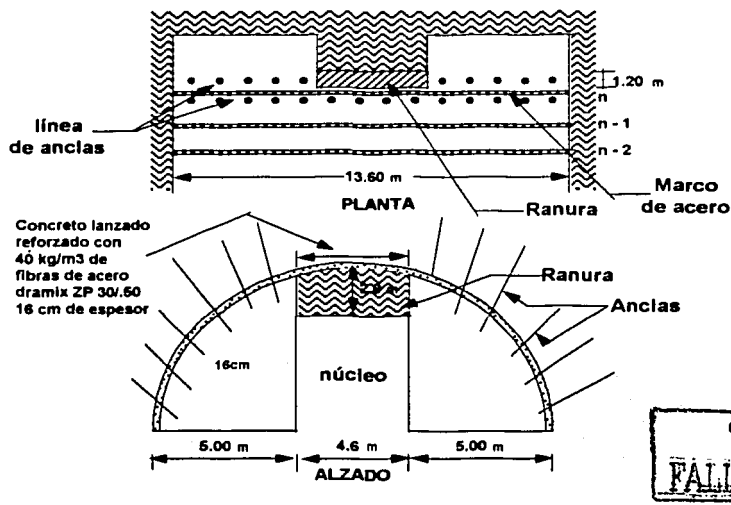


Figura III.106 Excavación de la porción superior central y colocación de concreto lanzado en la clave.

Una vez protegida la clave de la excavación, se procedió a colocar el marco de acero $n + 1$ de la manera especificada en el plano TA-PG-06, dando una separación entre marcos de 1.0 m, según indica la fig. III.107, después de colocar y ademar el marco, se procedió a excavar el núcleo mediante barrenación y explosivos hasta alcanzar una nueva penetración o avance igual a 1.20 m, fig. III.108.

Después de la voladura y rezaga del material del núcleo, se procedió a terminar el anclaje de la clave, como lo indica la fig. III.108 y posteriormente a continuar el ciclo con un nuevo avance de 1.20 m, como se ilustra en la fig. III.106.

Con el propósito de agilizar algunas acciones, como la carga de barrenos con explosivos, se planeó preparar las cargas dentro de tubos de cartón fabricados exprofeso, con las dimensiones apropiadas para el diámetro de los barrenos. Asimismo, la barrenación para el anclaje de la

sección se realizó utilizando brocas de $1 \frac{3}{4}$ " $\varnothing$ a fin de eficientar el trabajo del ancla, reducir el tiempo de barrenación y disminuir el consumo de resina.

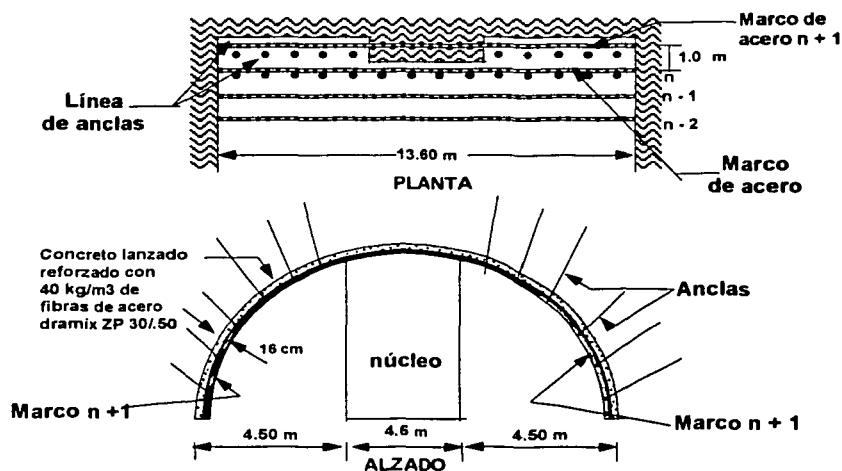


Figura III.107 Colocación del marco n+1

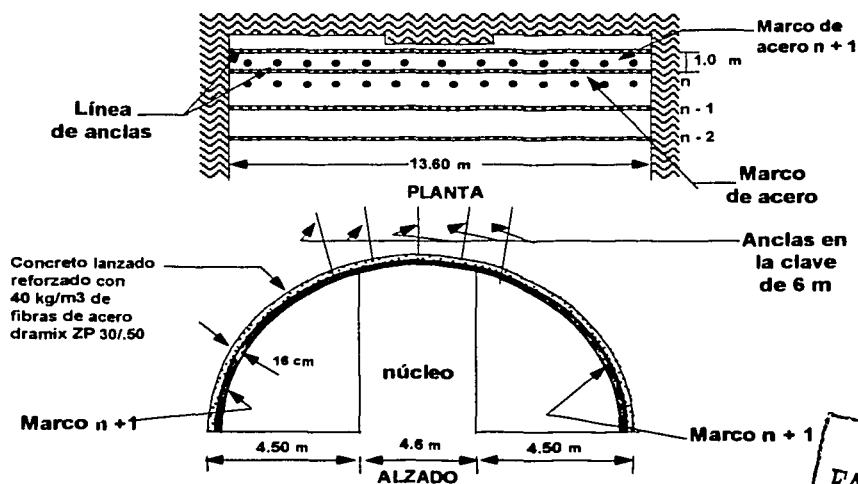


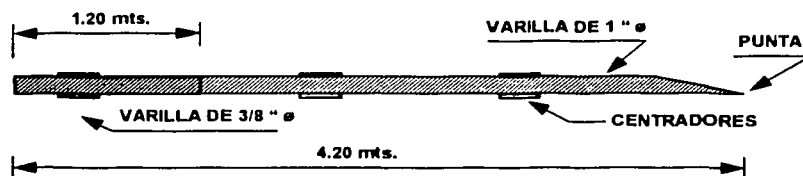
Figura III.108 Excavación del resto del tercio central y anclaje de bóveda.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

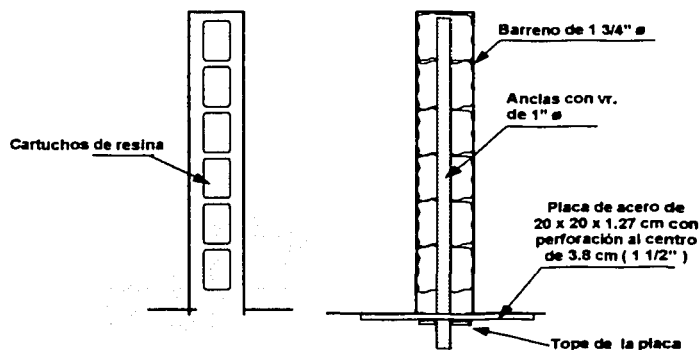
III.4.2. Soporte Provisional del Túnel.

El soporte provisional colocado sistemáticamente y adicionalmente, de acuerdo a las recomendaciones del Geólogo de la obra, en la zona central del túnel del frente Farallón, consistió en la colocación de una capa de concreto lanzado de 8 cm de espesor con una resistencia de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ reforzado fibras de acero dramix ZP 30/50. Se colocó un anclaje de fricción de 1" $\varnothing$ por 4.50 metros de longitud a cada 1.50 metros colocadas al tresbolillo con una separación entre aureolas de 1.50 metros, inyectadas con salchichas de resina epóxica en la clave y/o con lechada de cemento, la longitud del barreno fue de 4.40 metros con un diámetro de barrenación de 2½" $\varnothing$. Se colocaron drenes de alivio con tubo PVC de 2" $\varnothing$ y 3 metros de longitud a cada 2 metros de separación.

TRAMO RECUBIERTO CON
PINTURA ANTICORROSIVA

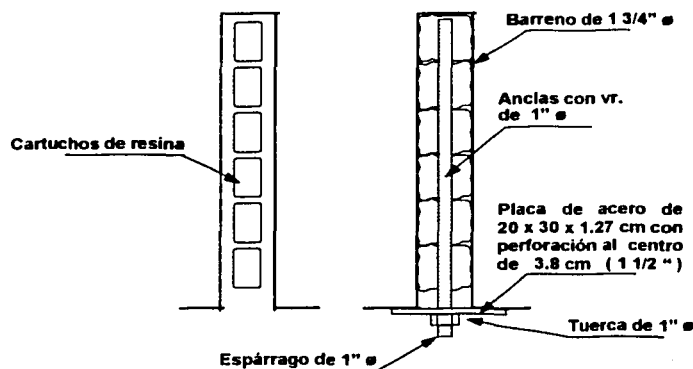


DETALLE DE HABILITADO DE ANCLA

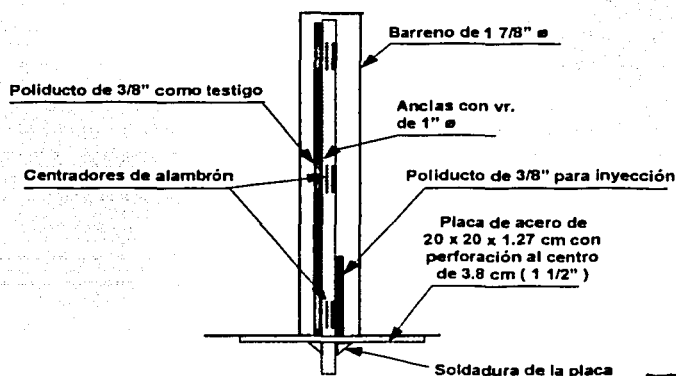


ANCLAJE CON RESINA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ANCLAJE CON RESINA



ANCLAJE CON LECHADA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como soporte adicional, en la media sección superior del túnel se colocaron marcos metálicos colocados a 1.0 o 1.50 metros de separación, formados con perfiles IPR de 8" x 5 1/4", de 31 kg/m ligados entre sí por tensores de varilla de 5/8" ø con doble tuerca en cada extremo y separadores de madera, apoyados y unidos con soldadura sobre una rastra metálica de 3 metros de longitud formada con un perfil IPR de 12" x 8", de 67 kg/m, unidas entre sí con placas de unión de 0.24 x 0.20 x 1/2" de espesor colocadas en los patines superior e inferior y en el alma expuesta, soldadas

perimetralmente a la rastra; en la sección inferior del túnel se colocaron patas metálicas a cada metro, formados con perfiles LPR de 8" x 5¼" de 31 kg/m, unidas a la rastra en su parte superior y apoyadas sobre calzas de madera en su parte inferior.

El tramo comprendido en este frente fue del cad. 928+000 (límite de zona portal) al cad. 926+780 (comunicación del túnel), se colocaron un total de 318 marcos metálicos como soporte provisional, en las zonas donde la clasificación de la roca resultó de mala a muy mala, dando un gran total entre la zona del portal y zona central del frente Farallón de 409 marcos metálicos colocados.

III.4.3. Soporte Definitivo del Túnel.

El soporte definitivo en la zona central del túnel, consistió en un revestimiento de concreto hidráulico con resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ de 0.45 m de espesor, reforzado con acero del número 6 a cada 0.15 m en el sentido transversal y a cada 0.40 m en el sentido longitudinal, (en zonas no estructurales se colocó un solo armado, en zonas si estructurales se colocaron dos parrillas armadas), los colados se realizaron en módulos de 9 metros de longitud, con juntas de colado, utilizando bandas de PVC de 30 cm de ancho y 5 mm de espesor, marca Sika o equivalente. Una vez que fraguó el concreto, se le aplicó una membrana de curado y se realizó una inyección de contacto entre el concreto lanzado y el revestimiento con lechada de cemento en proporción a/c = 1, a una presión de 2 kg/cm² como máximo, en las preparaciones dejadas durante los colados, tubos de 1½" $\varnothing$ a cada 5 m colocadas al tresbolillo, con un patrón 2, 1; posteriormente los ductos se sellaron con mortero.

III.4.4. Tratamientos en el Túnel.

a) Tratamiento en la estación de convergencia No. 37.

La estación no. 37 del frente "Farallón", ubicada en el cadenamiento 926+910 revestido, presentó velocidades de deformación del orden de 0.17 mm/día, notoriamente superiores a los 0.03 mm/día que mostraba cuando el tramo aun no recibía su revestimiento definitivo.

En el tramo donde se ubica la estación no. 37, fue necesario realinear la posición de los marcos metálicos del soporte inicial, antes de colar el revestimiento definitivo, estos marcos habían quedado en "línea" al ser instalados por primera vez.

Inspecciones realizadas a la zona, mostraron que en la vecindad de la estación no. 37, hubo notorias humedades y filtraciones de agua, que se manifestaron en la superficie del revestimiento definitivo de concreto armado, e inclusive los barrenos que se ejecutaron para la colocación de "tierras", se encontraron saturados.

La zona de la estación de convergencia no. 37, (cadenamiento 926+910), comprende del cadenamiento 926+898 al 926+922.

La solución dada por el proyectista para esta zona fue la siguiente:

Se comenzó con la barrenación de drenes radiales de alivio en el cadenamiento 926+910 (estación de convergencia no. 37); los barrenos fueron de 1 7/8 " de diámetro por 6 metros de longitud, colocados a cada 2 metros a partir del eje del túnel, sobre el lado izquierdo, (fig. III.109).

Posteriormente se barrenó la siguiente aureola en el cadenamiento 926+914, con barrenos de 1 7/8 " de diámetro por 6 metros de longitud a cada 2 metros, perforando desde el eje del túnel hacia el lado izquierdo, de tal manera que las aureolas de barrenos radiales quedaran al tresbolillo.

Se siguió la misma secuencia para los cadenamientos 926+918, 926+922 hacia el sentido Acapulco y los cadenamientos 926+906, 926+902 y 926+898 hacia el sentido México, (fig. III.110).

Cuando al perforarse los drenes radiales en los cadenamientos antes mencionados, se observó demasiada agua, se intensificaron los drenes, barrenando toda la aureola para así desalojar rápidamente el agua, (fig. III.111).

Una vez drenada toda el agua, se inició la etapa de inyección de los drenes radiales.

Posteriormente cuando aparecieron nuevas filtraciones, se procedió a barrenar los drenes y se canalizaron al subdren del túnel.

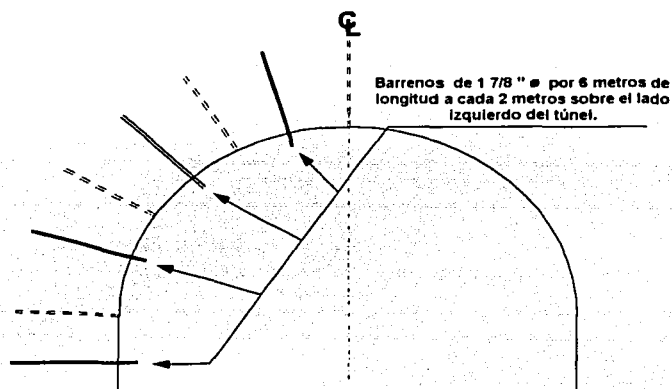


Figura III.109 Barrenación de drenes en el cad. 926+910
(estación de convergencia no. 37)

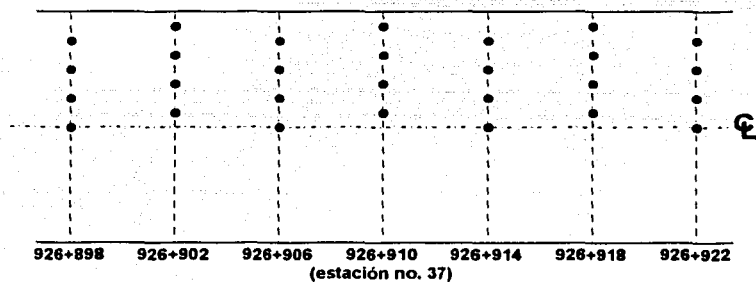


Figura III.110 Aureolas de drenes radiales en la zona de la estación no. 3, colocadas
al tresbolillo sobre el lado izquierdo del túnel.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

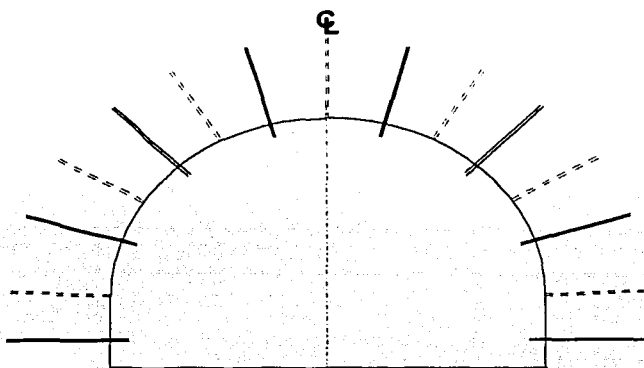


Figura III.111 Barrenación de toda la aureola, si se observa demasiada agua

En la zona del piso, el proyectista recomendó un tratamiento de marchavantes de concreto, separados con franjas de material de filtro de 2" ϕ , para reforzar la zona de la estación no. 37.

La zona del tratamiento se tomó de la estación de convergencia no. 37 (km 926+910), hacia el lado México a una distancia de 13.50 m y hacia el lado Acapulco la misma distancia del anterior, dando un total de 27.00 m.

Se colaron marchavantes de concreto de 3.00 x 12.30 m (ancho total del túnel), reforzado con doble parrilla de acero del no. 5, de 25 cm de espesor, con un $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, separados con una franja de 1.00 m de material de filtro de 2" ϕ . En cada tramo de concreto, se colocaron anclas dobles de 1" ϕ x 2.0 m, separadas a 2.00 m, en tres hileras inyectadas con mortero (ver figura III.112).

Posteriormente al tratamiento de la estación no. 37, se realizó normalmente el colado del pavimento rígido del túnel.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

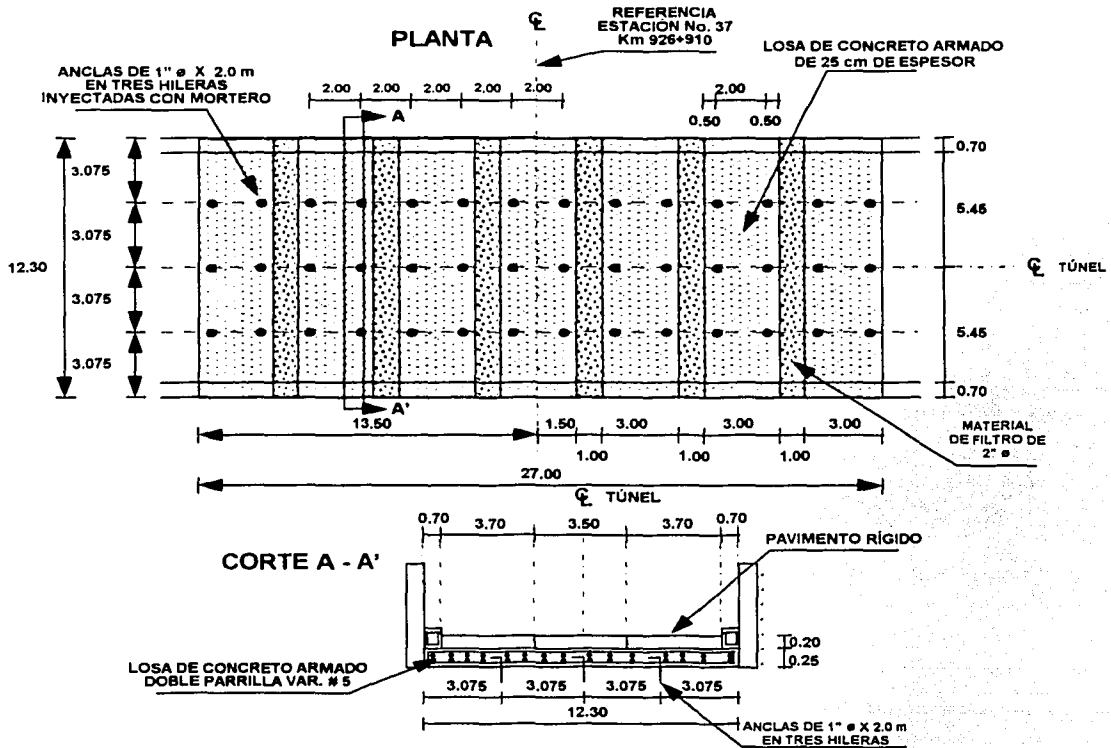


Figura III. 112 Tratamiento en el piso de la estación no. 37.

III.4.5. Sistema de Control de Filtraciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para el control de filtraciones dentro del túnel, en zonas donde hubo mayor aportación de agua, se colocaron mangueras de 2", 1½", 1" $\varnothing$, según el chorro de agua, también se colocaron tramos de Enkadrain, el cual se canalizaron los escurrimientos perimetralmente por la clave del túnel hacia las paredes y el subdren, quedando estas ahogadas entre el concreto hidráulico del revestimiento definitivo. Cuando se presentaron escurrimientos o lloraderos una vez que se concluyó el revestimiento definitivo, se realizó la canalización de estos a través de mangueras transparentes de 3/8" $\varnothing$ hacia el subdren del túnel, en cada lloradero presentado.

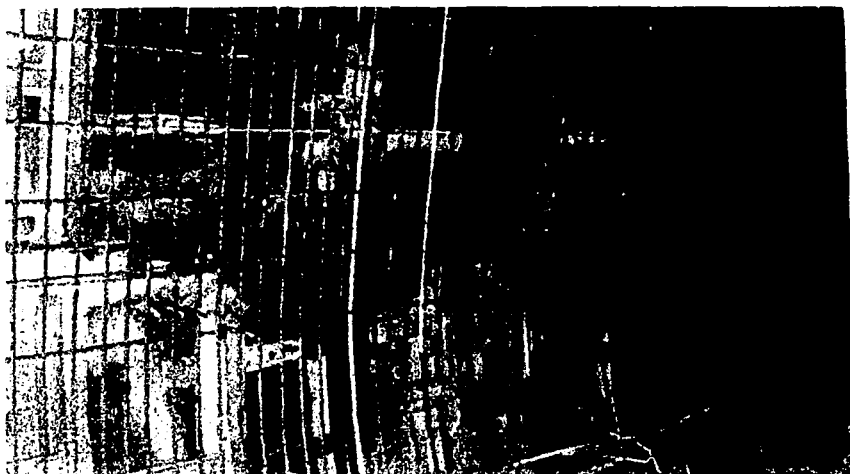


Figura III.113 Fotografía de canalización de escurrimientos en zona de muros del túnel

III.4.6. Instalaciones en el Túnel para la Construcción (Excavación).

Listado de instalaciones provisionales para la excavación del túnel.

- Ventiladores de motor eléctrico de 36" de diámetro de 150 HP.
- Tubería de lona tipo ventiflex de 1.20 m de diámetro.
- Tubería naylor de 4", 6" y 8".
- Lámparas de cuarzo.
- Cableado de alta tensión.
- Cableado para tierras.
- Sierra circular.
- Bomba sumergible eléctrica para lodos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las instalaciones colocadas para la excavación del túnel en este frente, consistió en la colocación de tubería naylor para el suministro de agua técnica y aire comprimido para los jumbos de barrenación, se colocaron tubos de lona tipo ventiflex de 1.20 m de $\varnothing$, en donde se inyectaba aire

para ventilar el frente ante la contaminación de polvo, humos y gases productos de las voladuras, el aire era suministrado por dos ventiladores de motor eléctrico de 150 HP y 36" de diámetro, colocados sobre unas torres de perfil de acero localizadas en el portal; se colocó dentro del túnel cable de alta tensión para alimentar a los jumbos de barrenación y cables de tierra, además se instalaron lámparas de cuarzo para la suficiente iluminación del túnel; debido a la contrapendiente que se tenía en este frente, se tuvo la necesidad de construir cárcamos de bombeo a cada 150 metros para el bombeo y desalojo del agua que se acumulaba en diferentes zonas del túnel, para lo cual se instalaron tuberías naylor de 6" y 8" de diámetro para la conducción del agua hacia el decantador que se localizaba en el portal del túnel, para al bombeo del agua, en los cárcamos se instalaron bombas sumergibles eléctricas para lodos (flygth). Dentro del túnel, se instaló una sierra circular eléctrica para el habilitado de polines utilizados en el adomado de marcos metálicos.

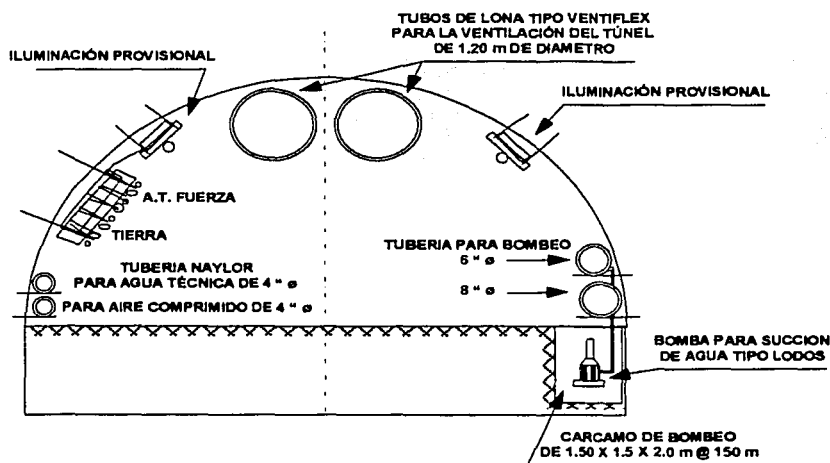


Figura III.114 Diagrama de instalaciones de construcción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

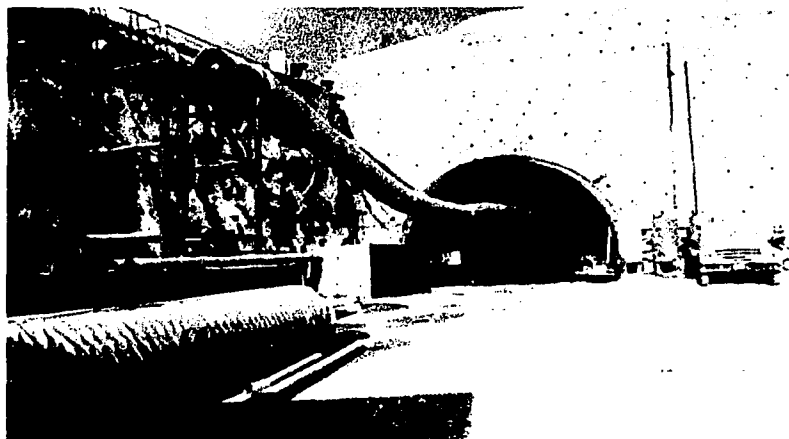
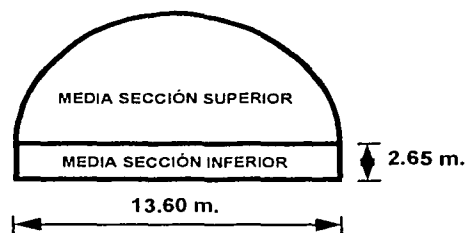


Figura III.115 Fotografía de instalación de ventiladores para el suministro de ventilación dentro del túnel

III.4.7. Excavación en Banqueo del Túnel (Sección Inferior).

a) Excavación de la media sección inferior en zona de marcos metálicos.

Para estas zonas, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 13.6 m, debido a que se requirió instalar patas metálicas a los marcos de acero, como soporte provisional; por lo tanto y de manera general, el procedimiento consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cuál corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 13.6 m y otra inferior que puede representarse como un rectángulo de 13.2 m de largo por 2.65 m de altura, fig. III.116.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.116 Sección del túnel dividida en media sección superior y media inferior

Se subdividió la media sección inferior en dos secciones, derecha e izquierda, cuando se realizó la excavación en cualquiera de ellas, la otra sirvió como rampa de acceso a la media sección superior, fig. III.117.

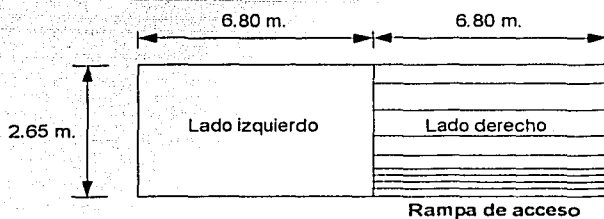


Figura III.117 Croquis del banqueo de la media sección inferior.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.118 Fotografía de excavación en la media sección inferior del túnel (banqueo)

Antes de iniciar la barrenación en la sección por excavar, se debieron tener ancladas las bases de los marcos (esto es a cada dos metros, o sea un marco si y otro no), por medio de anclas de 1" de diámetro x 3 m de longitud, la barrenación se realizó con un jumbo autopropulsado de 3 brazos,

con brocas de 17/8" ϕ , las anclas colocadas se inyectaron con lechada, con una relación agua - cemento de 0.40, las cuales formaron un candado que se soldó a los marcos metálicos, para asegurar la estabilidad del túnel al quitar el apoyo de las rastras, fig. III.119.

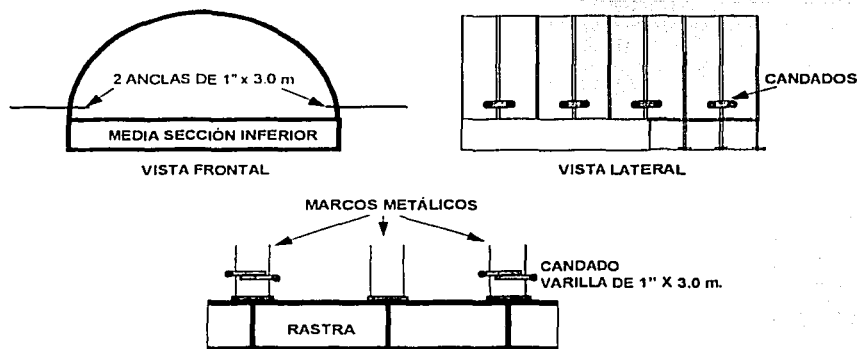


Figura III.119 Detalle de candados en bases de marcos



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.120 Fotografía de excavación en la media sección inferior del túnel (banqueo)

Una vez que se tuvo asegurada la media sección superior, se procedió a efectuar la barrenación horizontal con la utilización del jumbo autopropulsado de 3 brazos, ya sea de la sección derecha o izquierda, con avances en cada barrenación de 1.7 m o la necesaria para excavar 1.50 m, el acero de barrenación será de 1¼" $\varnothing$ con brocas de 17/8" $\varnothing$.

El explosivo utilizado fue emulsión de 1" x 8" $\varnothing$ y la densidad de carga igual a 1.18 kg/m³, la carga específica en barrenos fue entre 0.8 - 1.3 kg/m³.

Se procedió a realizar la detonación del banqueo y posteriormente a la ventilación para desalojar del túnel los gases y humos producidos por la voladura.

Posteriormente, se procedió a rezagar el material producto de la voladura, utilizando un cargador de descarga lateral 966 y tractocamiones con capacidad de 10 m³ para el acarreo y tiro a los bancos autorizados.

Terminado lo anterior, se colocó una pata metálica de 8" x 5¼" $\varnothing$ que se fijó por medio de soldadura a la rastra metálica, en la siguiente voladura se colocaron 2 patas metálicas; una vez que se tuvieron colocadas 4 piezas de patas metálicas, se procedió a colocar concreto lanzado reforzado con 40 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/50 hasta alcanzar un espesor de 8 cm, se colocó un candado similar al que se colocó a las bases de los marcos, colocado al tresbolillo con respecto a los mismos, fig. III.122.



Figura III.121 Fotografía de colocación de concreto lanzado en zona de marcos de la media sección inferior del túnel

Una vez que se tuvo un avance de excavación de 50 m del banqueo de una sección, se cambió de lugar la rampa de acceso y se procedió a efectuar la barrenación de la otra sección. Se diseñaron dos tipos de plantillas de barrenación, una cuando se tuvieron dos caras libres y otra con tres caras libres, fig. III.122.

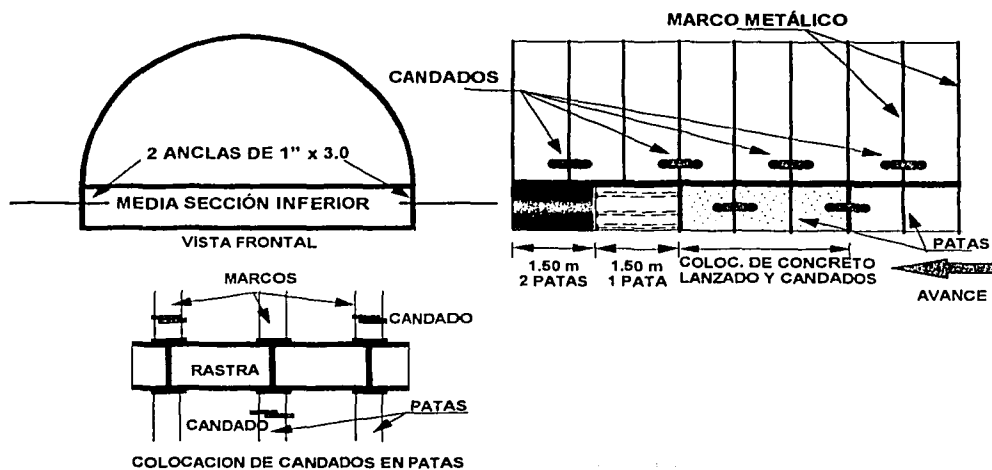


Figura III.122 Detalle de candados en patas, longitud de avance y concreto lanzado

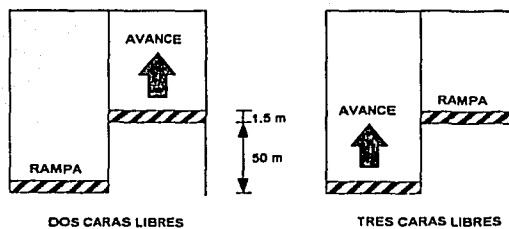


Figura III.123 Tipos de coladuras a diseñar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura III.124 Fotografía de excavación de la media sección inferior del túnel en zona de marcos metálicos

b) Excavación de la media sección inferior en zona sin marcos.

Topográficamente se marcó la zona por barrenar (principalmente la zona de precorte y el nivel del piso).

Una vez que se tuvo la cuadrícula, se inició con la barrenación por medio de dos track drill, la separación entre barrenos varió, dependiendo de la calidad de la roca, siendo para roca sana de 1.5×1.5 m al tresbolillo y para roca de calidad media hasta 2.30×2.30 m. El tiempo promedio por barreno es de 5 minutos, se barreno a una profundidad entre 2.80 a 3.0 m, dependiendo de los datos que marco topografía. La longitud de la voladura fue de 6.60×10 m, fig. III.125. Se realizó una subbarrenación de 20 cm para asegurar que no quedara pata.

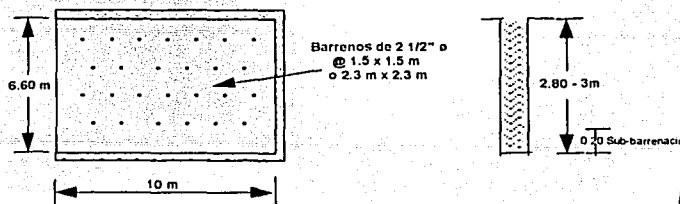


Figura III.125 Diagrama de barrenación (dos caras libres).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El precorte se hizo con un track drill, el cual tuvo una pluma recortada de 3 metros, este uso barras de 6', se metieron 2 barras por barreno y la distancia entre barrenos fue de 0.60 m, fig. III.126.

Debido a que el aire fue insuficiente para los dos track drill, se colocó un compresor 1500 PCM y 3 tanques de almacenamiento de aire para asegurar su suministro eficiente.

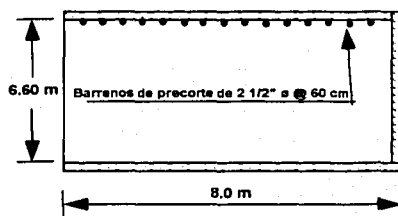
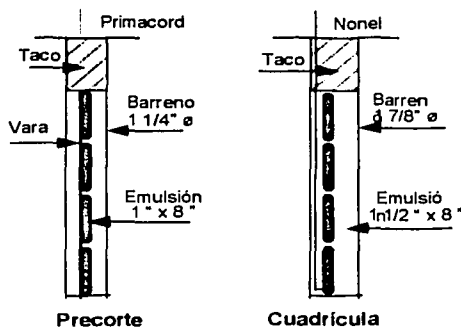


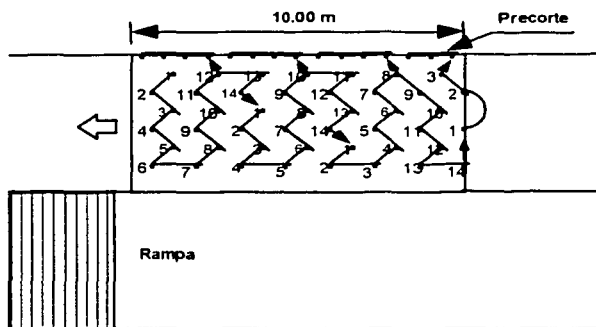
Figura III.126 Diagrama de barrenación de precorte

Terminada la barrenación, se inició la carga con explosivos, usando emulsión sensitiva de 1" x 8" o de 1 1/2" x 8", se cargó 1 kg de explosivo por barreno, variando dependiendo de la calidad de la roca, con lo cual se obtenían factores de carga del orden de 0.1 a 0.3 kg/m³, fig. 127, también se utilizaron noneles con tiempos del 1 al 15, con los que se hicieron series del 1 al 14 y el 15 sirvió como puente entre las líneas y el precorte, el cual fue amarrado con primacord, las salchichas se amarraron por medio de una vara y quedaron separadas a cada 60 cm de centro a centro, se dejó un taco de 60 cm, fig. III.128.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.127 Croquis de carga de barrenos con explosivos.



PLANTA

Figura III.128 Diagrama de carga de explosivos por tiempos (planta).

Al detonar una línea, se hicieron dos puentes, una para que inicie la siguiente línea y otro para que inicie una serie de precorte (4 o 5 barrenos por 1 línea), el volumen de material desalojado fue de aproximadamente de 198.0 m³, el factor de carga de 0.66 kg/m³, terminada la carga, se regresó el explosivo sobrante al polvorín.

Se colocó una protección a la voladura, utilizando llantas, malla electrosoldada, bandas de hule de 1 m de ancho, cables de acero y se quitaron las lámparas fluorescentes que alumbraban al túnel y que se encontraron en la zona por detonar, para evitar y prevenir su daño.

Se realizaron los preparativos para la voladura, como el desalojo de personal y equipo cercano, se dió aviso al supervisor de seguridad para que encienda la sirena y se avisó al personal que se encontró en cerca del área de la detonación, como medida de seguridad se colocó a una persona por cada lado del túnel para detener al personal cuando vayan transitando mientras se realiza la voladura y evitar así un accidente.

Una vez que todo se encontró en condiciones, se prendió la mecha para la detonación del banqueo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Realizada la voladura, se procedió al retiro de la protección y posteriormente se realizó la rezaga del material producto de la voladura, utilizando para esto un cargador 966F y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo.

NOTA: La rezaga de las primeras dos voladuras, debido a que es frente cerrado, se tuvo que hacer por medio de una retroexcavadora.

Terminada la rezaga, se procedió a la barrenación y carga con explosivos, además de la protección para realizar otra voladura, al tener 20 m de avances, se procedió a lanzar concreto reforzado con fibra metálica hasta alcanzar un espesor de 8 cm de acuerdo al proyecto.

Para este caso, en zona sin marcos, se abrieron dos frentes de ataque, el cual se procuró que estos quedaran siempre sobre el mismo carril, en el otro carril se construyó una rampa para el acceso libre de personal y maquinaria, fig. III.129.

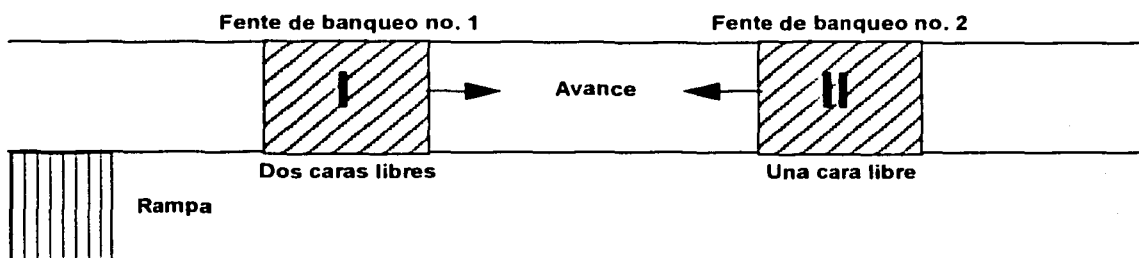


Figura III.129 Frentes de banqueo por atacar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El cambio de carril y de rampa se realizó cuando se tuvieron 30 metros de avance.

NOTA: Este procedimiento de ataque en dos frentes de banqueo, también se probó utilizando dos trackdrills, sobretodo en los tiempos en que los jumbos se mantenían ocupados en los frentes de excavación.

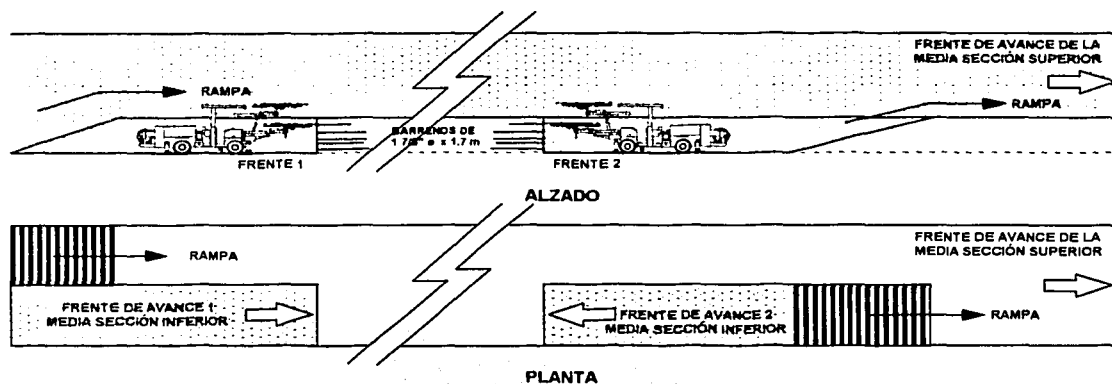


Figura III.130 Barrenación de la media sección inferior del túnel.

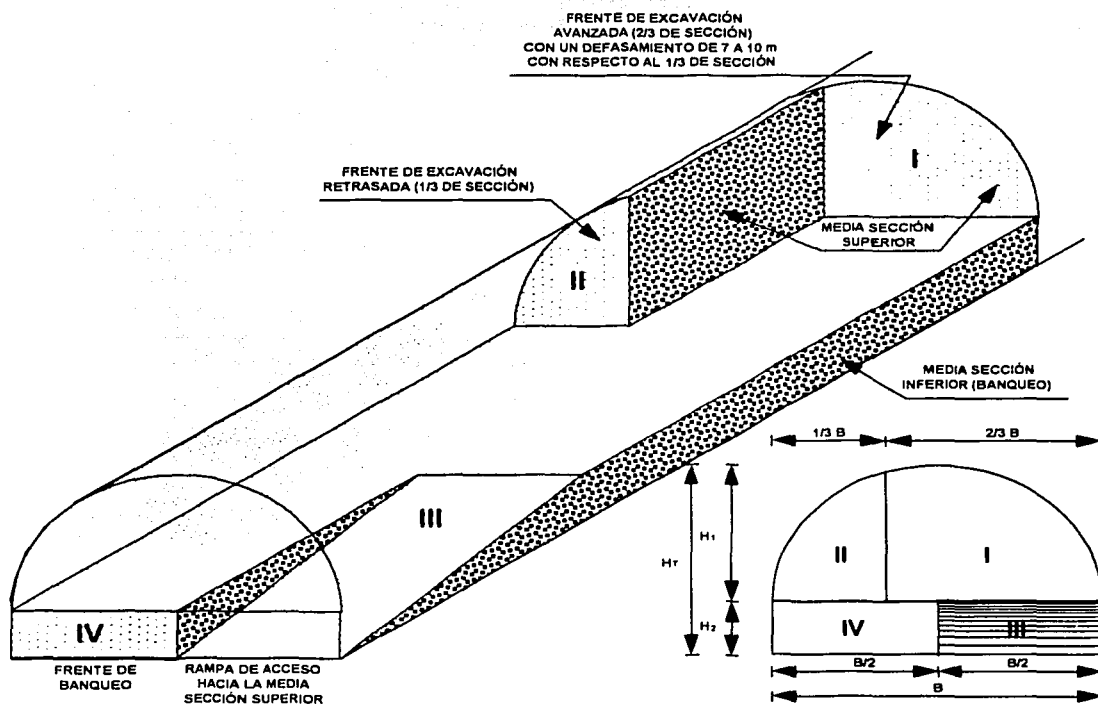


Figura III.131 Perspectiva de las etapas de excavación del túnel.

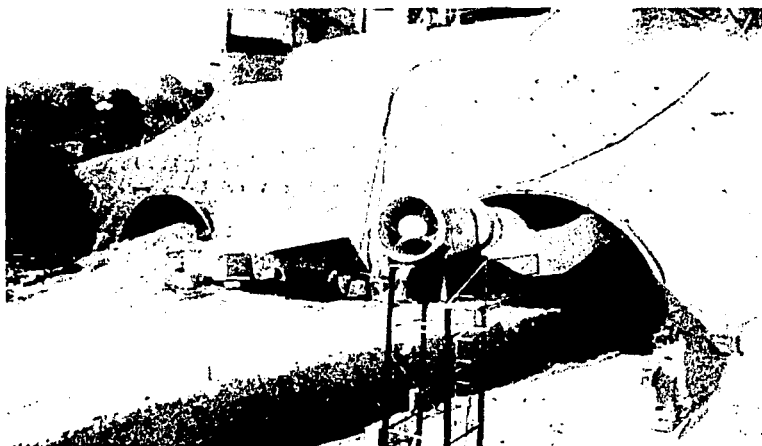


Figura III. 132 Fotografía de excavación de la media sección inferior del túnel (banqueo)

III.4.8. Excavación y Construcción del Subdren y Prolongación Del Control de Filtraciones.

El subdren se construyó a una distancia de 3.5 metros del eje del túnel hacia el lado derecho en el sentido del cadenamiento, topográficamente se controló el trazo, el nivel de la tubería colocada y el alineamiento de la misma, la pendiente de la tubería fue similar a la del túnel, es decir 1.7 %, y se trata de una zanja excavada con una sección aproximada de 1.20 m de ancho x 1.0 de profundidad, con un tubo de concreto perforado de 60 cm de diámetro.

Una vez que se realizó el trazo por topografía, se procedió a realizar la excavación de la zanja utilizando para esto una retroexcavadora o un cargador con retro (páchara) para las zonas en donde el material removible sea suave, para las zonas en donde se encontró roca, se utilizaron explosivos para la excavación, para el afine de la zanja, se utilizaron rompedoras de pavimento neumáticas y herramienta portátil para la extracción de la roca. Posteriormente se realizó la rezaga del material producto de la excavación por medio de la retro y se cargó a tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro a bancos autorizados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con la finalidad de obtener una superficie uniforme, se colocó una plantilla de material para filtro, afinando la superficie y dándole una apisonada para que resulte una superficie resistente y evitar con ello el asentamiento de la tubería.

Al haber tenido un tramo de zanja excavada y colocada la plantilla de filtro, se inició con la colocación de la tubería de concreto perforada de 45 cm de diámetro, esta actividad se inició a partir del portal de entrada hacia el interior del túnel, los tubos se colocaron con las perforaciones sobre la parte inferior del mismo, la unión entre ellos fue sin juntear, se dejaron durante la colocación de los tubos, preparaciones para la construcción de pozos de visita.

Una vez que se tuvieron colocados parte del tramo de tubos de concreto, se inició con la colocación de filtro, el cual se dosificó en la planta de concreto, de acuerdo al diseño proporcionado por el laboratorio de control de calidad, el material fue transportado al sitio de su colocación por medio de ollas revolvedoras sobre camión, las cuales descargaban directamente sobre la zanja y posteriormente se distribuía y apisonaba para la obtención de un mejor reacomodo y mantener fija la tubería.

Terminado el relleno del filtro y para evitar que el lodo existente de la zona de rodamiento penetrara y contaminara el material, se le colaba una plantilla de concreto de forma provisional de 5 cm de espesor con una resistencia de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

A cada 60 metros de la longitud total del subdren y en las preparaciones que se dejaron al colocar la tubería de concreto, se construyeron los pozos de visita, la excavación se realizó por medios mecánicos o explosivos, según el material encontrado, el afine se realizó utilizando rompedoras de pavimento, la excavación de los pozos de visita fue de 30 cm mayor al del subdren, se colocó primeramente la plantilla de concreto con resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ y 10 cm de espesor, a partir de la plantilla, se desplantaron los muros del pozo de visita, los cuales fueron hechos de tabique rojo recocido, la forma del pozo de visita fue de forma circular con un diámetro inferior de 100 cm y 60 cm de diámetro superior, con una altura de 1.20 metros. El pozo de visita en su parte inferior fue aplanado con mortero cemento - arena, en su parte superior se dejaron unas preparaciones con brocales para la colocación de una tapa de acero de 60 cm de diámetro.

Las preparaciones de escurrimientos de filtraciones que se dejaron en la zona donde se construyó la banqueta, se prolongaron hacia el subdren.

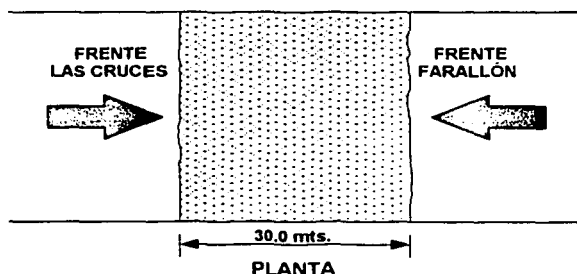
III.5. PROCEDIMIENTOS ESPECIALES.

III.5.1 Comunicación del Túnel.

Cuándo la distancia calculada entre frentes de ataque llegó a los 100 metros, se comenzó a monitorear cada voladura, colocando un sismógrafo en el frente opuesto a dicha voladura y cuándo le tocó realizar la voladura al otro frente, se hizo lo contrario, es decir, se cambió el sismógrafo de frente. Esto fue con el objeto de ir midiendo las vibraciones y obtener todos los datos posibles del sismógrafo, comprobando la distancia de la zona de influencia (19 metros aproximadamente). Desde esta distancia entre frentes se comenzaron a avisar en el momento preciso en que se realizaba una voladura y el momento en que esta terminaba.

Una vez que faltaron 30 m de excavación para la comunicación en el túnel, se procedió a parar un frente de ataque, fig. III.133.

El frente que siguió con la excavación, realizó un "barreno de exploración" para verificar la comunicación hacia el otro frente.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.133 Suspensión del avance de un frente cuándo faltan 30m para la comunicación.

Se reanudó la excavación por ambos frentes hasta llegar a una distancia de 20 metros de separación, pero haciendo las voladuras alternadamente, primero un frente y luego el otro, avisando con anticipación cuándo se realizaba la voladura y avisando en el momento de haber sido realizada.

Según sea el frente, la excavación se atacó a sección completa o con dos laterales y un núcleo, según la calidad de la roca encontrada en ese momento, fig. 134.

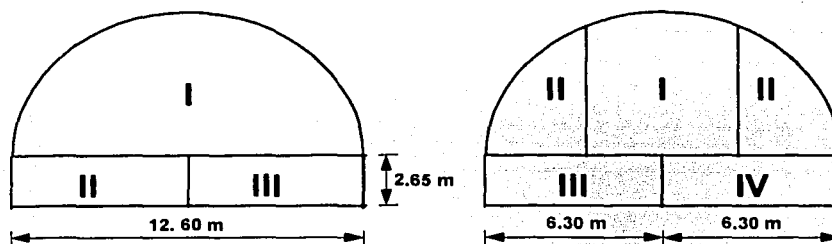
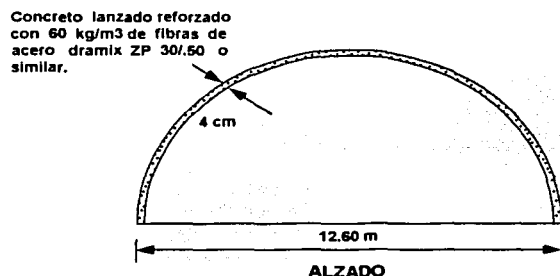


Figura III.134 Ataque de excavación a sección completa o con dos laterales y un núcleo, según la calidad de roca encontrada.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en la sección superior, de tal manera que el avance fue de 3.0 m, para lograr una geometría similar a la indicada en la fig. III.134, se procedió a rezagar el material producto de la voladura, utilizando un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones de 10 m³ para el acarreo y tiro a bancos autorizados, se lanzó una primera capa de concreto reforzado con 60 kg/m³ de fibras de acero dramix ZP 30/.50 o similar, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, esto para proteger la roca excavada contra los efectos del intemperismo, así como para prevenir los desprendimientos de la misma, fig. III.135, se procedió a colocar las anclas centrales de la aureola correspondiente utilizando elementos de 1" $\varnothing$ por 4.2 m de longitud, fig. III.136.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.135 Colocación de una capa primaria de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm.

Una vez que se logró alcanzar 10 metros mas de avance y que quedó solamente de excavación 20 metros, se procedió a realizar un "barreno de exploración" para ver si este ya lograba pasar del otro lado, fig. III.137, cuando logró su objetivo, se procedió con la siguiente excavación en la sección superior mediante barrenación y explosivos, ayudándose con el uso de noneles que permitan la detonación de la cuña central, hasta alcanzar un avance de 3.5 m, fig. III.138.

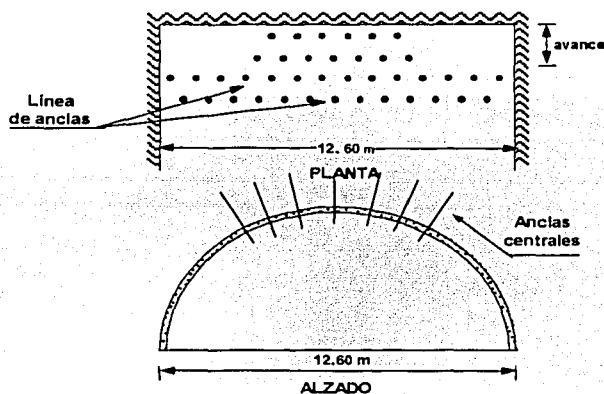
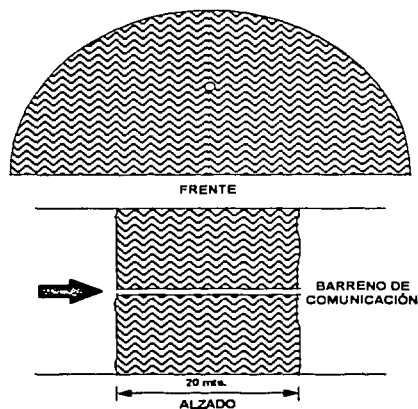


Figura III.136 Anclaje central utilizando elementos de 1" $\varnothing$ x 4.2 m.



TEST
FALLA DE ORIGEN

Figura III.137 Realización de barreno de comunicación.

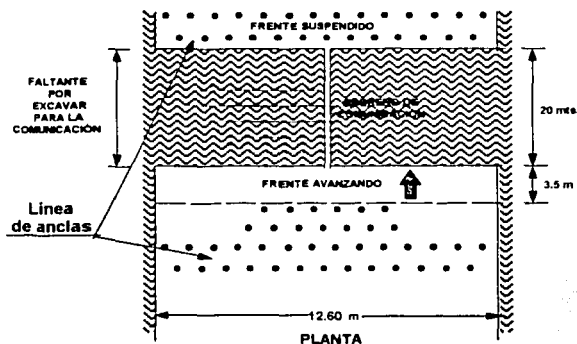
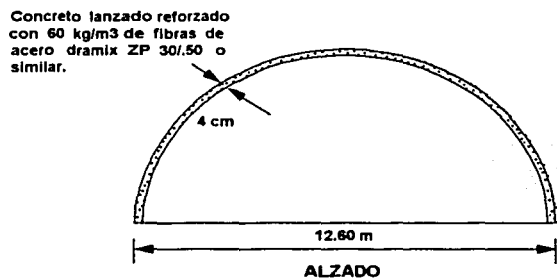


Figura III.138 Siguiente avance de excavación.

Se procedió a rezagar el material producto de la voladura y posteriormente a lanzar una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm, fig. III.139, después se colocó el anclaje sistemático en la zona central de la excavación efectuada, fig. III.140.

La segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero de 4 cm de espesor, para lograr los 8 cm de proyecto, así como la colocación de las anclas faltantes en la zonas laterales del túnel, para completar las aureolas, se realizó una vez que se comunicó el túnel.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.139 Colocación de una capa primaria de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm.

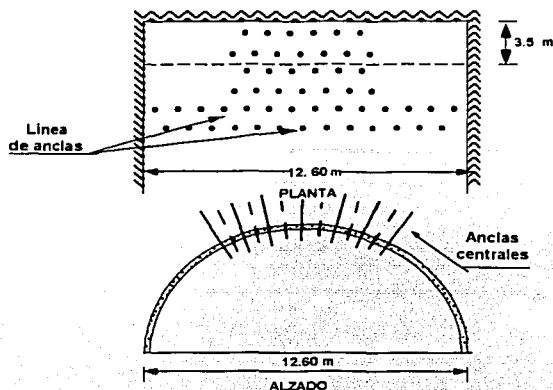
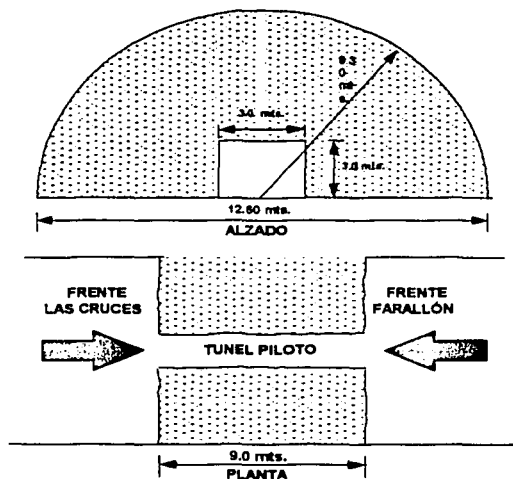


Figura III.140 Anclaje central utilizando elementos de 1" $\varnothing$ x 4.2 m.

Se realizó la barrenación de drenes en zonas que presentaron aportación de agua, con barrenos de 2½" $\varnothing$ a una profundidad mínima de 3.0 mts, los drenes fueron de tubo de PVC de 1½" $\varnothing$ por 3.0 metros de longitud, previamente habilitado con perforaciones al tresbolillo.

Una vez que se avanzaron 11 metros mas de excavación de túnel y quedaron solamente 9.0 metros para la comunicación, se realizó la excavación de un "túnel piloto" de 3.0 metros de ancho por 3.0 metros de altura, hasta la comunicación del túnel, fig. III.141.



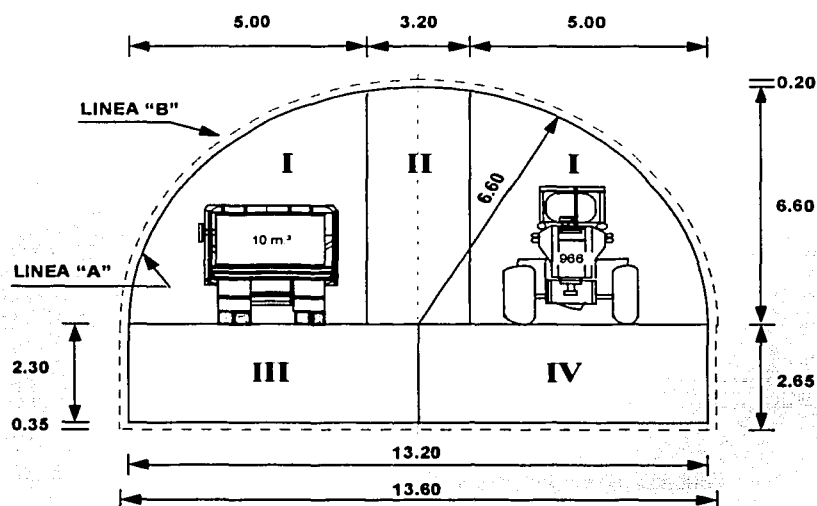
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.141 Excavación de un túnel piloto para lograr la comunicación.

Una vez que se logró la comunicación del túnel por medio de la excavación piloto, se barrenó el resto de la sección para proceder a su excavación por medio de una voladura, se rezagó el material producto de la voladura, se aplicó una primera capa de 4 cm de espesor de concreto lanzado reforzado con fibras de acero dramix ZP 30/50 o similar y finalmente se procedió a la barrenación y colocación del anclaje sistemático central de la sección excavada.

Una vez que se logró la comunicación total del túnel, se procedió a realizar los tratamientos faltantes de concreto lanzado y anclas sistemáticas laterales.

III.6. ESTUDIO DEL CICLO DE LA MEDIA SECCIÓN DEL TÚNEL.



ÁREA I (L.I.): 23.77 m²

ÁREA I (L.D.): 23.77 m²

ÁREA II: 20.88 m² 68.42 m² MEDIA SECCIÓN SUPERIOR

ÁREA III: 17.49 m²

ÁREA IV: 17.19 m² 34.98 m² MEDIA SECCIÓN INFERIOR

Σ LÍNEA "A": 103.4 m²

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.6.1 Ciclo de la Excavación.

Tomando como ejemplo el procedimiento de excavación en túnel para cualquier calidad de roca.

a) Tiempo de barrenación.

Número de barrenos:	Se toma una plantilla tipo con 120 barrenos, 50 barrenos para cada lateral y 20 barrenos en el núcleo.
Diámetro de barrenación:	1 7/8" $\varnothing$
Longitud de barrenación:	3.5 m máximo.
Rendimiento de barrenación:	1:3 minutos por metro.
Longitud total de barrenación:	120 barrenos totales x 3.5 metros de penetración = 420 metros.
Tiempo total de barrenación:	420 metros de barrenación x 1.3 min. por metro = 546 minutos.
Consideraciones:	Se consideran dos jumbos hidráulicos autopropulsados, utilizando dos brazos para barrenar, así como perforación de laterales simultánea.
Tiempo de barrenación utilizando dos jumbos simultáneos:	546 minutos entre 4 brazos (dos por cada jumbo) = 136.5 minutos.

Para el ciclo se toman 145 minutos para 120 barrenos, por lo tanto para 50 barrenos en cada lateral barrenando de manera simultánea, se toman 115 minutos y para 20 barrenos en el núcleo, se toman 30 minutos.

b) Tiempo de carga de explosivos.

Número de barrenos:	Se toman 120 barrenos totales, 50 barrenos para cada lateral y 20 barrenos para el núcleo.
Tipo de explosivo:	Emulsión de 1" $\varnothing$ x 8" y/o 1 1/2" $\varnothing$ x 16"
Rendimiento de carga:	4 minutos por barreno.
Número de pobladores:	Se toman 4 pobladores mas 4 ayudantes para cada lateral, el cuál deberá ser de manera simultánea, 3 pobladores mas 3 ayudantes para el núcleo.
Tiempo total de carga:	120 barrenos x 4 minutos por barreno = 480 minutos.

Tiempo de carga con pobladores:	480 min entre 7 pobladores (4 laterales + 3 núcleo) = 68 minutos.
---------------------------------	---

Para el ciclo se toman 75 minutos para 120 barrenos, por lo tanto para 50 barrenos en cada lateral cargando de manera simultánea, se toman 60 minutos y para 20 barrenos en el núcleo, se toman 15 minutos.

c) Tiempo de rezaga de material.

Área de la sección media superior:	68.42 m ²
Barrenación (penetración):	3.5 metros (roca regular a buena).
Avance efectivo (94 %):	3.2 metros.
Factor de abundamiento:	40 %
Factor de sobreexcavación:	10 %
Capacidad del tractocamión:	10 m ³ , se toman para el cálculo 8 m ³
Equipo para cargar:	1 cargador de descarga lateral 966. 1 cargador John Deere 544 F.
Tiempo para cargar 8m ³ :	4 minutos.
Volúmen de rezaga:	68.42 m ² x 3.2 m x 1.40 x 1.10 = 337.17 m ³
Número de tractocamiones:	337.17 m ³ entre 8m ³ por tractocamión = 42 camiones.
Tiempo total de rezaga:	42 camiones por 4 minutos por camión = 168.59 minutos.
Tiempo con dos cargadores:	168.59 entre dos cargadores = 84.29 minutos.

Para el ciclo se toman 85 minutos, utilizando para rezagar el material producto de la voladura 2 cargadores en forma simultánea, uno de descarga lateral 966 y otro John Deere 544 F.

d) Tiempo de concreto lanzado.

Perímetro de la sección:	$\pi \times r = 3.1416 \times 6.60 \text{ m} = 20.73 \text{ metros.}$
Área por aplicar concreto lanzado:	20.73 metros por 3.5 metros de la voladura = 72.57 m ²
Espesor de concreto lanzado:	Una capa primaria de 4 cm.
Factor de rebote:	10 %

Rendimientos de equipos:	Aliva = $2.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ Bomba de concreto = $8 \text{ m}^3/\text{hr}$ Robojet = $16 \text{ m}^3/\text{hr}$
Volúmen por lanzar:	$72.57 \text{ m}^2 \times 0.04 \text{ m} \times 1.10 = 3.20 \text{ m}^3$
Tiempo de lanzado con equipo (se toma el rendimiento de la aliva):	$3.20 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min/hr}$ entre $2.5 \text{ m}^3/\text{hr} = 76.8$ minutos.

Para el ciclo se toman 80 minutos, utilizando un robojet autopropulsado con brazo de lanzado (robot), el cuál aplicará una capa primaria de 4 cm de espesor.

e) Tiempo de anclaje sistemático.

Número de anclas:	Se colocarán en la zona central del túnel, el cuál en la aureola par se colocarán 6 anclas y en la aureola non 7 anclas, dando como resultado 13 anclas, la separación entre aureola será de 1.5 metros y entre anclas la separación será de 1.5 m colocadas al tresbolillo, se tomará como número de anclas para el cálculo del ciclo 6.5 anclas (promedio).
Longitud de barrenación:	4.20 metros de longitud por barreno.
Diámetro de barrenación:	$1 \frac{3}{4}'' \varnothing$
Rendimientos:	Barrenación = 1.10 minutos por metro. Carga del barreno con resina = 3 minutos. Colocación del ancla = 1.5 minutos por ancla.
Equipo de barrenación:	Jumbo hidráulico autopropulsado de 3 brazos, el cuál se usará un brazo para barrenación, otro para colocación del ancla y el tercer brazo se le implementará una canastilla para la carga de barrenos con resina.
Tiempo de barrenación:	$4.20 \text{ m de longitud} \times 1.10 \text{ minutos por metro} = 4.6$ minutos.
Anclaje por barreno:	Barrenación = 4.6 minutos. Carga con resina = 3 minutos. Colocación del ancla = 1.5 minutos Sumatoria total = 9 minutos.

Colocación de aureola:	6.5 anclas por 9 minutos = 58.5 minutos.
------------------------	--

Para el ciclo se toman 60 minutos, para barrenar, cargar y colocar 6.5 piezas anclas utilizando un jumbo de tres brazos, un brazo para barrenar, otro con canastilla para cargar y el tercero para insertar el ancla.

CONCEPTO	TIEMPO EN MINUTOS	TIEMPO ACUMULADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TOPOGRAFÍA	15	15									
BARRENACIÓN LATERAL IZQUIERDO	115	130									
BARRENACIÓN LATERAL DERECHO	115	130									
BARRENACIÓN NÚCLEO	30	160									
CARGA CON EXPLOSIVOS L. D.	60	160									
CARGA CON EXPLOSIVOS L. I.	60	160									
CARGA CON EXPLOSIV NÚCLEO	15	175									
VOLADURA, VENTIL., AMACICE	50	225									
REZAGA DE MAT LATER Y NÚCLEO	85	310									
CL.R.F.A LAT. Y NÚCLEO	80	390									
ANCLAJE SISTEMAT. ZONA CENTRAL	60	450									
BARRENACIÓN DE DRENES.	15	455									
COL. RASTRAS.	60	455									
COL. MARCOS MET.	25	480									
ADEMADO MARCOS	120	480									

Figura III.142 Tabla del ciclo de actividades para la excavación.

III.6.2 Ciclo de Terminación de Tratamientos.

a) Tiempo de anclaje sistemático.

Número de anclas:	Se colocarán en los laterales del túnel (tablas), el cuál en la aureola par se colocarán 4 anclas por lado y en la aureola "non" 3 anclas por lado, dando como resultado 7 anclas, la separación entre aureolas será de 1.5 m y entre anclas será de 1.5 m colocadas al tresbolillo, para efecto del cálculo del ciclo, se tomará que por lado se colocarán 17 anclas.
-------------------	--

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Longitud de barrenación:	4.20 metros de longitud por barreno.
Diámetro de barrenación:	1 ¾ " Ø
Rendimientos:	Barrenación = 6 minutos por metro. Colocación del ancla = 2 minutos. Inyección de lechada = 3 minutos.
Equipo de barrenación:	Trackdrill con rendimiento de 10 m/hr.
Equipo de inyección:	Bomba de propulsión o neumática inyectando a una presión no mayor de 2 kg/cm ² .
Tiempo de barrenación:	4.20 m de longitud x 6 min/m = 25 minutos.
Anclaje por barreno:	Barrenación = 25 minutos. Colocación del ancla = 2 minutos. Inyección de lechada = 3 minutos. Sumatoria total = 30 minutos.
Colocación de anclas:	17 anclas por 30 minutos = 510 minutos.

Para el ciclo se toman 510 minutos, para barrenar con dos trackdrill, uno por cada lado barrenando simultáneamente, colocar anclaje e inyectar con lechada con relación agua cemento de 0.40, a una presión no mayor de 2 kg/cm².

b) Tiempo de concreto lanzado.

Perímetro de la sección:	$\pi \times r = 3.1416 \times 6.60 \text{ m} = 20.73 \text{ metros.}$
Área por aplicar concreto lanzado:	20.73 metros por 6 metros de la voladura = 124.38 m ²
Espesor de concreto lanzado:	Una capa secundaria de 4 cm para completar los 8 cm de proyecto.
Factor de rebote:	10 %
Rendimientos de equipos:	Aliva = 2.5 m ³ /hr. Bomba de concreto = 8 m ³ /hr. Robojet = 16 m ³ /hr.
Volúmen por lanzar:	124.38 m ² x 0.04 m x 1.10 = 5.47 m ³
Tiempo de lanzado con equipo (se toma el rendimiento de la aliva):	5.47 m ³ x 60 min/hr entre 2.5 m ³ /hr = 131.28 minutos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para el ciclo se toman 160 minutos, utilizando un robojet autopropulsado con brazo de lanzado (robot), el cuál aplicará una capa secundaria de 4 cm de espesor, para completar los 8 cm de proyecto.

CONCEPTO	TIEMPO EN MINUTOS	TIEMPO ACUMULADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TOPOGRAFÍA	10	10												
BARR. Y COLOC. ANCLAS L. DER.	510	520												
BARR. Y COLOC. ANCLAS L. IZQ.	510	520												
C.L.R.F.A. 4 cm esp.	160	680												

Figura III.143 Tabla del ciclo de actividades de terminación de tratamientos.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO IV.

CAPÍTULO IV

INSTALACIONES ESPECIALES SOLO PARA CONSTRUCCIÓN

IV.1. Medición de Deformaciones del Túnel.

La observación del comportamiento del túnel, se visualizó en las estaciones de convergencia colocadas para tal propósito, mediante mediciones sistemáticas realizadas con extensómetros de cinta invar, con una resolución de 0.05 mm., para saber las deformaciones de la roca y del concreto del revestimiento definitivo.

La media sección superior incluyó generalmente tres puntos de medición, uno en la clave y dos en los arranques del arco, con los cuales se definió el diámetro horizontal H y las diagonales derecha D e izquierda I.

En la media sección inferior o banqueo, incluyó también tres puntos de medición, uno en la clave del túnel y dos a 50 cm del piso del túnel, con los cuales se definió la horizontal A y las diagonales derecha D' e izquierda I'.

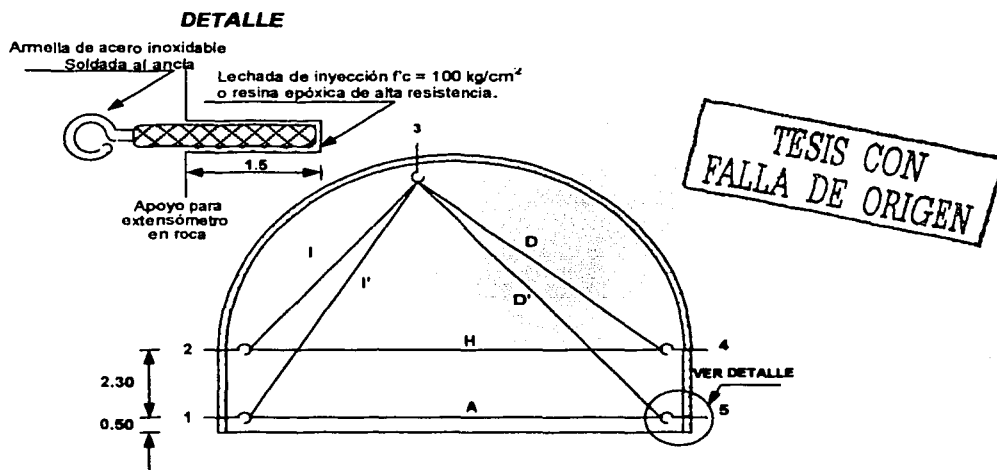


Figura IV.1 Esquema de distribución de los puntos de referencia para la medición

de convergencia y divergencia.

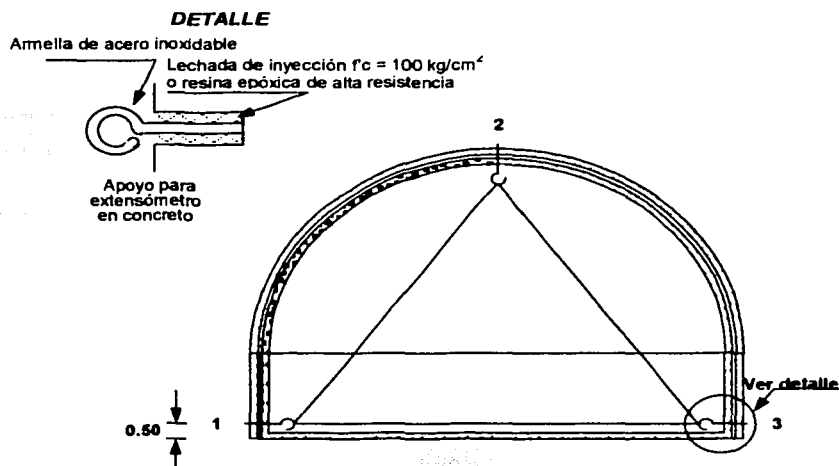


Figura IV.2 Instalación típica con puntos de medición de convergencia y divergencia en el revestimiento definitivo.

IV.2. Agregados.

IV.2.1. Trituración.

Con objeto de obtener los agregados requeridos para el concreto lanzado, los concretos hidráulicos y los filtros, así como también para los pavimentos, se instaló una trituradora en la margen derecha del Río Papagayo.

Para ello fue necesario alquilar un terreno ejidal para tal fin, llegar a un acuerdo con ejidatarios y comuneros para fijar una cuota conveniente para la empresa, del pago de regalías por la explotación del banco de material. También se obtuvo una concesión (otorgada) para la explotación por parte de la C. N. A.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

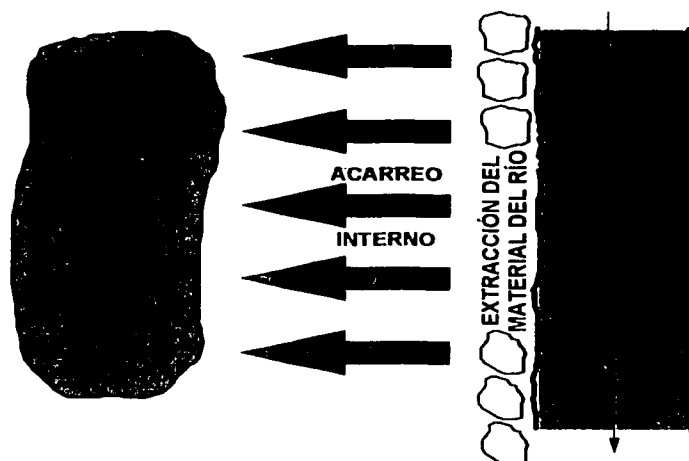


Figura IV.3 Croquis del banco de Agregados.

En el terreno se hizo la siguiente instalación de la trituradora:

DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROCESAR AGREGADOS DE 1 1/2" A 3/4", DE 3/4" A 1/4" Y ARENA LAVADA

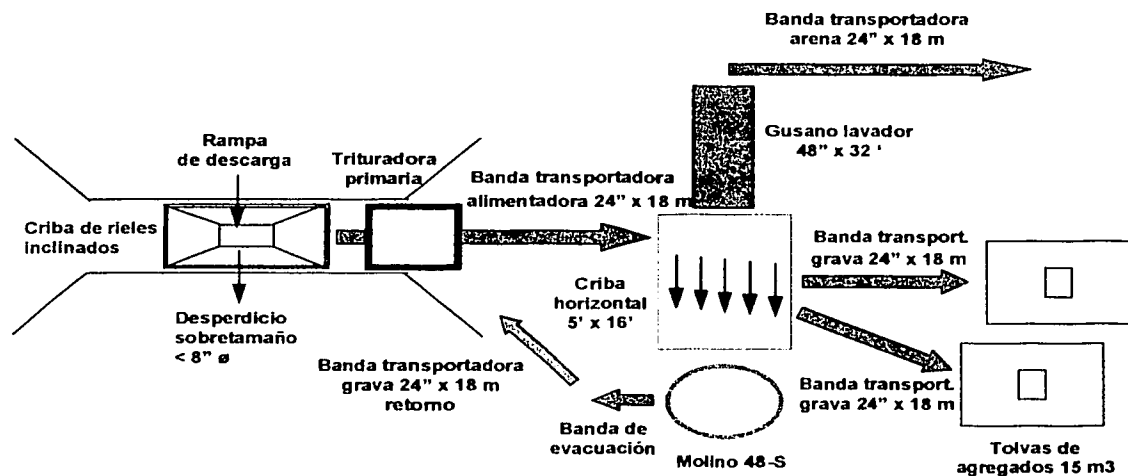


Figura IV.4 Croquis del proceso de Agregados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las instalaciones de trituración consistieron de las siguientes partes:

1. Zona de extracción.
2. Zona de acarreo interno.
3. Almacén en greña.
4. Tolva de entrada de materiales a triturar y banda.
5. Trituradora primaria.
6. Trituradora secundaria.
7. Cribadora y lavado.
8. Bandas de distribución y tolvas.
9. Gusano lavador de arena.
10. Almacenes de triturado.
11. Planta de luz.
12. Acarreos.

IV.2.2 Almacenaje en Frentes.

Para el almacenaje de los agregados pétreos que se requirieron para la fabricación de concreto hidráulico, se utilizaron dos lugares:

El almacén denominado "El Cayaco", que se localizó sobre la Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional, a 5 km del frente Las Cruces, en donde se tenían los siguientes materiales:

- Grava de 3/4" ϕ .
- Grava de 3/8" ϕ .
- Arena.

Estos almacenes se encontraban perfectamente apilados y separados entre sí a 3.0 m para evitar la contaminación de los materiales.

El almacén denominado "El Quemado", localizado a 6 km del frente Las Cruces, sobre la carretera Acapulco-Chilpancingo (libre), en donde se tenían los siguientes materiales:

- Grava de 1 1/2" ϕ .
- Grava de 3/4" ϕ .
- Grava de 3/8" ϕ .
- Arena.

Al igual que el caso anterior, también se tenían apilados y separados entre sí.

En los frentes en donde se tenían las plantas de concreto (Farallón y Las Cruces), se almacenaron agregados divididos con mamparas de mampostería y con piso de concreto, para evitar la contaminación entre sí y con el terreno natural.

La capacidad de almacenaje en la planta del frente Farallón fue:

- Grava de 1 1/2" ø. 100 m3.
- Grava de 3/4" ø. 250 m3.
- Grava de 3/8" ø. 25 m3.
- Arena lavada. 300 m3.

La capacidad de almacenaje en la planta del frente Las Cruces.

- Grava de 1 1/2" ø. 150 m3.
- Grava de 3/4" ø. 150 m3.
- Grava de 3/8" ø. 150 m3.
- Arena lavada. 150 m3.

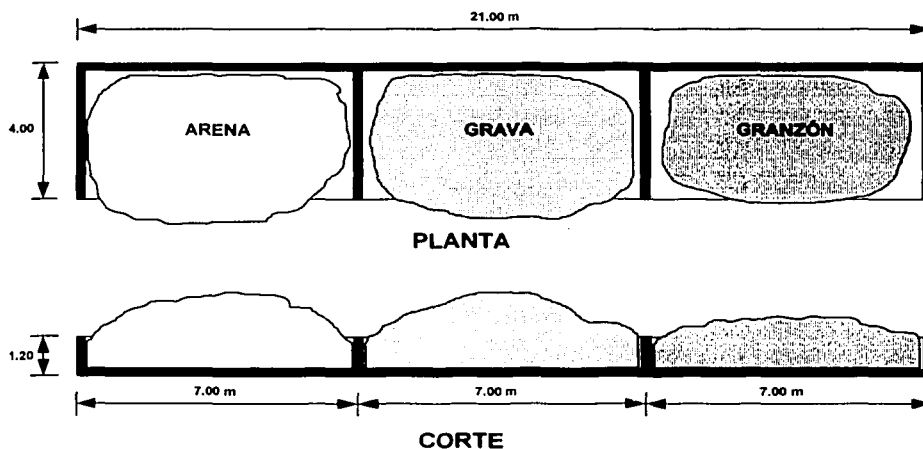


Figura IV.5 Croquis de almacenaje de agregados.

El almacenaje del cemento a granel, para la fabricación del concreto hidráulico, se llevó a cabo en silos estacionarios verticales, ubicados en los frentes donde se instalaron las plantas de concreto (Farallón y Las Cruces).

La capacidad de almacenamiento de cemento a granel en la planta Farallón fue:

- Silo no. 1. 90 tons.
- Silo no. 2. 80 tons.
- Silo no. 3. 90 tons.
- Pulmón. 40 tons.

La capacidad de almacenamiento de cemento a granel en la planta de Las Cruces fue:

- Silo no. 1. 60 tons.
- Silo no. 2. 90 tons.
- Silo no. 3. 90 tons.
- Pulmón. 40 tons.

Cada planta de concreto contó con tanques para almacenar agua, con capacidad mayor a los 20, 000 lts. de agua, los cuales estuvieron techados y pintados de color blanco para repeler el calor.

La capacidad de almacenaje de agua del tanque del frente Farallón fue de 60, 000 lts. y la capacidad del tanque del frente Las Cruces fue de 40, 000 lts.

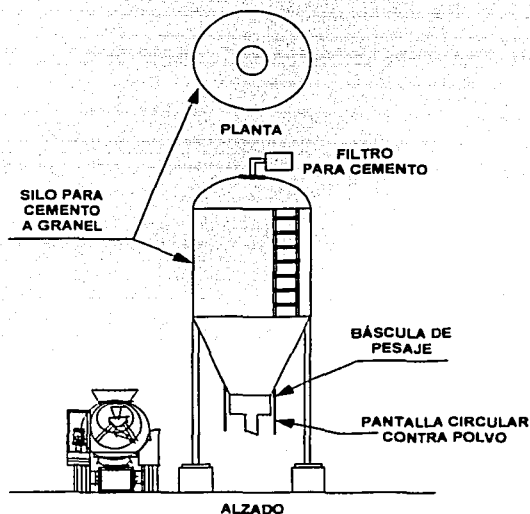


Figura IV.6 Croquis de un silo de almacenamiento de cemento.

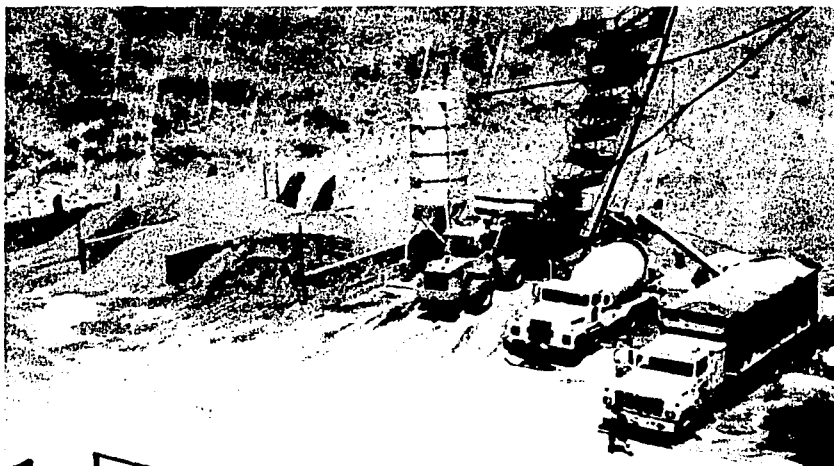


Figura IV.7 Foto de mamparas para el almacenamiento de agregados y silo para cemento a granel.

IV.3. Planta de Concretos.

En cada frente de trabajo (Farallón y Las Cruces), se instaló una planta de concreto para la fabricación de la mezcla de concreto hidráulico para las estructuras de la obra.

Las características de la planta, era una planta dosificadora ODISA 6000 y el cual tenían los siguientes componentes:

- Tolvas de almacén de agregados.
- Silo vertical para almacenaje de cemento a granel.
- Báscula para el pesaje del cemento.
- Filtros contra polvo.
- Báscula para el pesaje de agregados.
- Báscula para el pesaje del agua.
- Banda transportadora de material.
- Compresor de aire.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Tablero de fuerza y control.
- Estructura donde se localizan todos los componentes antes descritos.

El equipo utilizado para la fabricación de concretos en cada planta de concreto fue:

- 1 Traxcavo s/neumáticos John Deere 936.
- 6 Revolvedoras s/camión de 7 m³.
- 1 Soplador de aire SYCSA 450906.
- 1 Compresor de aire comprimido Ingersoll Rand P250WD.
- 3 Silos verticales para almacenamiento de cemento a granel.
- 1 Soldadora rectificadora ISSA BMS3300.
- 1 Pipa de agua s/camión de 8, 000 lts. de capacidad.
- 5 Tanques de agua con capacidad de 60, 000 lts.
- 2 Rompedoras de pavimento ATLAS COPCO TEX-11.



Figura III.8 Fotografía de Planta de Concreto instalada en el Portal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.4. Aditivos.

Los aditivos utilizados durante la construcción de la obra, se resguardaron en el almacén central de la obra, en un área techada, para protegerlos de la lluvia, las presentaciones de los aditivos fueron en tambos de 200 lts., cubetas de 19 lts. y/o sacos de 25 kg. para aditivos en polvo.

Resumen de los diferentes aditivos usados en las mezclas de concreto hidráulico:

MARCA	NOMBRE	TIPO	f _c (PROYECTO)	f _c (PROMEDIO OBTENIDO)
MBT	Rheobuild 1000	Fluidizante	200	270
MBT	Rheobuild 1000	Fluidizante	250	330
MBT	Pozzoloth 1050	Retardante	200	300
MBT	Pozzoloth 1050	Retardante	250	277
PROCONSA	MEL-MEX 2000	Acelerante	150	240
PROCONSA	MEL-MEX 2000	Acelerante	200	259
PROCONSA	MEL-MEX 2000	Acelerante	250	317
SEALCRET	Dispersil 5000 NL	Fluidizante	150	175
SEALCRET	Dispersil 5000 NL	Fluidizante	200	263
SEALCRET	Dispersil 5000 NL	Fluidizante	250	327
SEALCRET	Dispersil 7000 RAC	Acelerante	200	251
SEALCRET	Dispersil 7000 RAC	Acelerante	250	274
S/M	Fabricado en obra	Acelerante	200	270
S/M	Fabricado en obra	Acelerante	250	307

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.5. Pavimentos.

IV.5.1 Subbase y Base.

Para la fabricación de las diferentes mezclas estabilizadas para la construcción de vialidades del túnel, se instaló una planta estabilizadora y equipo auxiliar con las siguientes características:

- 1 Planta estabilizadora CEDARAPIDS 696 c/mezclador, banda transportadora y tolva de agregados.
- 1 Traxcavo s/neumáticos John Deere 936.
- 2 Camiones de 6 m³ de capacidad para apoyo interno de la planta.
- 1 Silo vertical para almacenamiento de cemento de 30 ton de capacidad.
- 2 Tanques de agua con capacidad de 60, 000 lts.
- 1 Bomba de agua de 4".
- 1 Planta de luz.

La planta estabilizadora se ubicó el patio denominado "El Quemado", localizado a 6 km del frente Las Cruces sobre la carretera Acapulco-Chilpancingo (libre).

En el lugar, se tuvieron almacenados los agregados pétreos que se requirieron para la fabricación de mezclas estabilizadas, perfectamente apilados y separados entre sí a 3 m, para evitar su contaminación, estos materiales fueron:

- Grava de 1 ½" ø (base).
- Grava de 1 ½" ø.
- Cementante

IV.5.2 Asfaltos.

Para la fabricación de las diferentes mezclas asfálticas para la construcción de vialidades del túnel, se instaló una planta de asfalto y equipo auxiliar con las siguientes características:

- 1 Planta de asfalto CMI PVM con tolvas, bandas transportadoras, secador-mezclador, baghouse, tanque horizontal para almacenaje del cemento asfáltico con serpentín, elevador de calientes y silo vertical para almacenaje de mezclas.
- 1 Planta de luz de 370 KW.
- 1 Traxcavo s/neumáticos John Deere 936.
- 1 Camión de 6 m3 para apoyo interno en la planta.
- 1 Caldera externa.

La planta de asfaltos se ubicó en el patio denominado "El Quemado", localizado a 6 km del frente Las Cruces sobre la carretera Acapulco - Chilpancingo (libre).

En el lugar, se tuvieron almacenados los agregados pétreos que se requirieron para la fabricación de mezclas asfálticas, perfectamente apilados y separados entre sí a 3 m, para evitar su contaminación, estos materiales fueron:

- Grava de $\frac{3}{4}$ " ϕ .
- Limo (para las mezclas que lo requirieron).

IV.6. Explosivos.

Para el resguardo de los explosivos, se habilitó un almacén o polvorín, utilizando contenedores de acero proporcionados por el proveedor.

El polvorín se ubicó a 13.5 km del frente Las Cruces, en la desviación de Tuncingo al poblado de El Salto, Gro.

El terreno del polvorín, se cercó con malla ciclón y se instaló una caseta de vigilancia para el resguardo de los explosivos las 24 horas del día. Se tuvieron dos contenedores cercados también con malla ciclón.

En un contenedor, con dimensiones de 2.50 x 5.00 m, se resguardaban los noneles, fulminantes y la mecha.

En otro contenedor, con dimensiones de 2.50 x 10.00 m, se resguardaban las emulsiones y el cordón detonante (primacord y ecord).

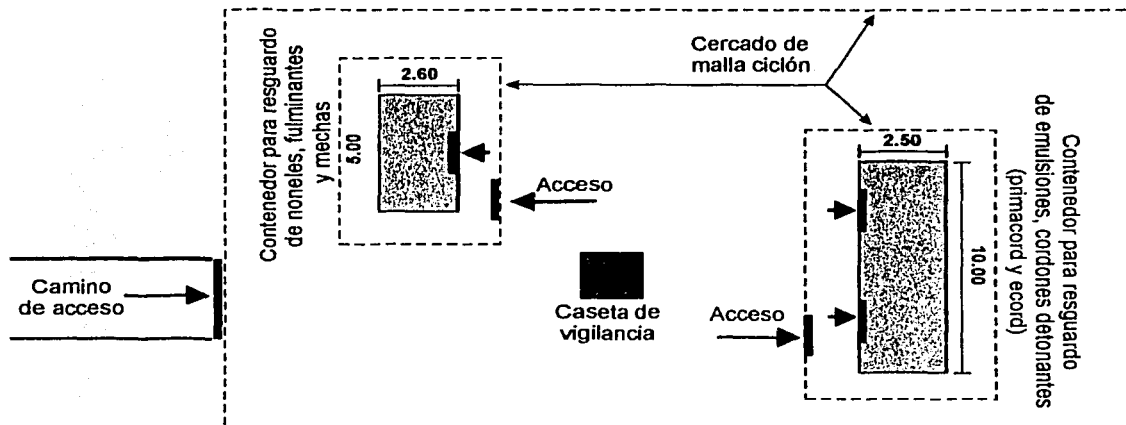


Figura IV.9 Croquis del polvorín.

IV.7. Medición de Escorrimento de Filtración y Control de Sedimentos.

La estructura de medición del gasto de las filtraciones consistió en un vertedor de cresta viva de sección rectangular conocida, en donde se midieron los tirantes del efluente.

Esta estructura fue construida en forma de un doble tanque sedimentador, ubicada en cada portal del túnel, (frente Farallón y Las Cruces), en donde se subdividió en tres secciones por medio de muros aquietadores del flujo, en donde uno de los tanques se limpiaba mientras el otro sedimentaba y viceversa.

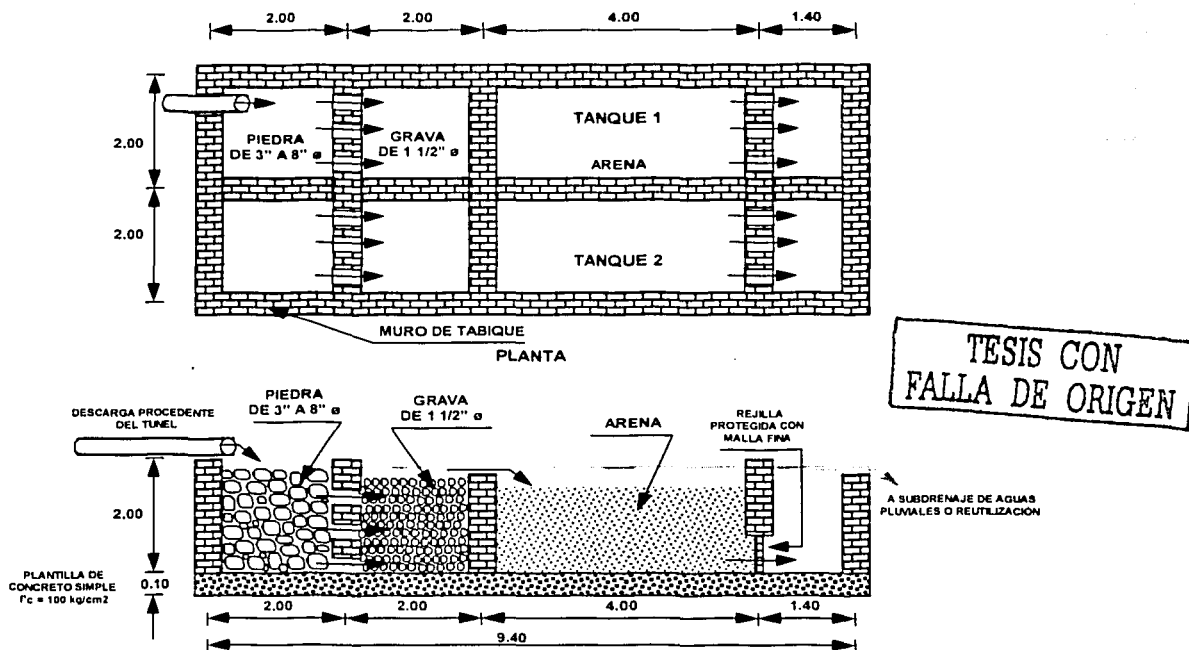


Figura IV.10 Estanque decantador de agua.

IV.8. Montaje de Laboratorio.

Consistió en la ubicación, adaptación y montaje de una caseta, con la distribución del croquis siguiente:

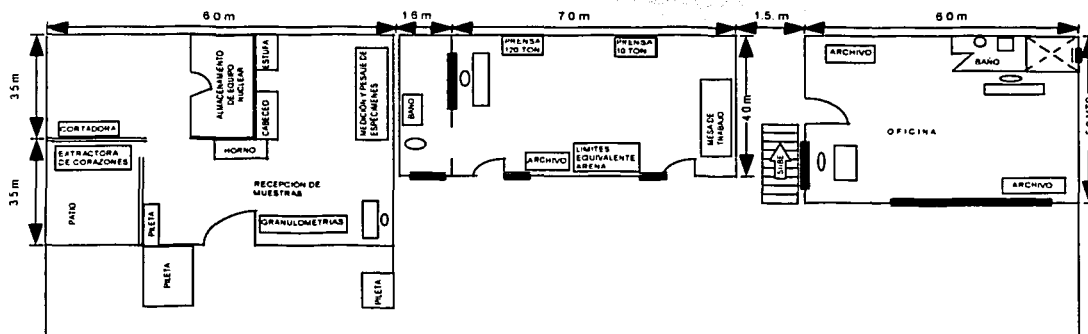


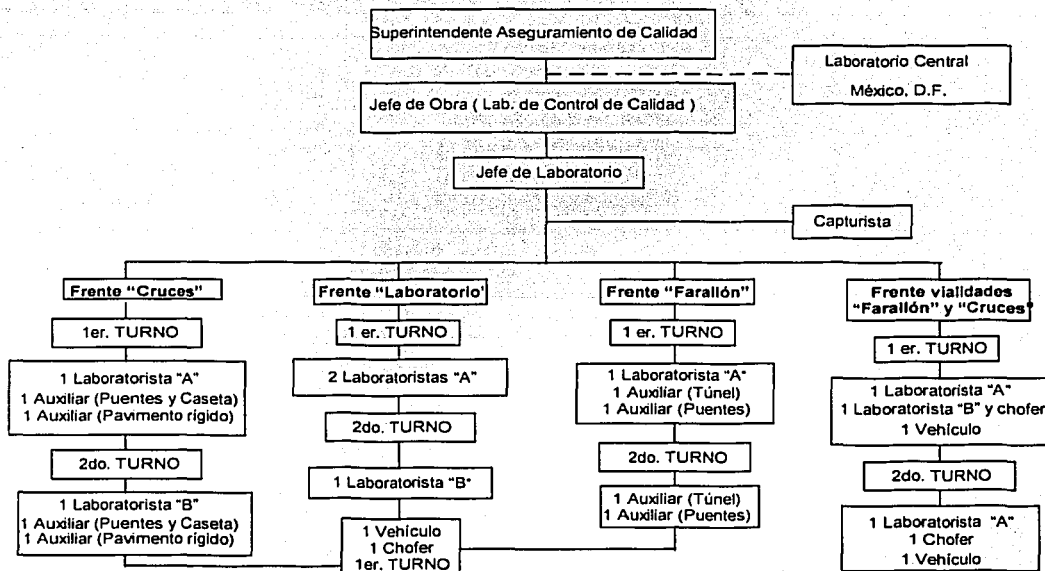
Figura IV.11 Montaje de Laboratorio.

El laboratorio tuvo la encomienda de dar los siguientes servicios a la obra:

1. Toma de muestras o calas para compactación.
2. Obtención de pesos.
 - a) Específicos.
 - b) Húmedo.
 - c) Seco.
3. Sacar revenimientos.
4. Cilindros de resistencias.
5. Pruebas extracción de anclas.
6. Elaborar reportes.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El organigrama del laboratorio fue el siguiente:



CAPÍTULO V.

CAPÍTULO V.

REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

V.1. Revestimiento definitivo del túnel.

V.1.1 Habilitado de Acero para el Revestimiento Definitivo.

El acero de refuerzo se habilitó en el "Patio de Habilitado" llamado "El Quemado", ubicado en el km 2+600 del lado izquierdo de la Autopista Cuemavaca-Acapulco. Ahí se contó con el siguiente equipo para el habilitado del acero de refuerzo:

- Cortadora de varilla eléctrica.
- Dobladora de varilla eléctrica.
- Grúa hidráulica de 20 ton.
- Grúa hiab.
- Planta rectificadora.
- Camión de redilas.

Se habilitó el acero de refuerzo, conforme a las especificaciones y/o a las tablas de despiece que se mostraron en los planos del proyecto:

- a) Rolado para parilla inferior y superior, según sea el caso para cada radio del túnel.
- b) Radio de doblez de las escuadras para cada diámetro de varilla.
- c) Longitud de traslape de acuerdo al diámetro de cada varilla.
- d) En una sola sección no se permite traslapar mas del 50% del acero de refuerzo principal.

La descarga del acero del camión del transportista, se realizó con el apoyo de una grúa hidráulica de 20 ton de capacidad, depositándolo sobre bancos de concreto, construidas específicamente para este fin, clasificándolo por diámetros y registrando el lote al que corresponde, para su muestreo, ensaye y su identificación para el almacenaje y colocación.

El acero paso del almacén de descarga al banco de corte (en caso necesario), en donde el acero se cortó de acuerdo a cada medida solicitada, con una cortadora de varilla eléctrica.

Del banco de corte, el acero paso a la dobladora de varilla para realizar dobleces y/o rolados. El acero sobrante se almacenó en un banco de desperdicio bien identificado.

Una vez habilitado el acero de refuerzo, se etiquetó para su identificación y se almacenó en lotes de 100 piezas, sobre madera o burros de acero para evitar que se ensucie o contamine.

Para el habilitado, se hicieron primeramente unas pruebas hasta que las piezas habilitadas coincidieran con las que muestran las especificaciones y de esta manera se realizó el habilitado de la cantidad total de cada varilla. Durante el habilitado se hizo una selección de 3 piezas de varilla para su verificación, de acuerdo a las especificaciones y normas aplicables, si una pieza no pasó la verificación, se tomó otra muestra de 3 piezas, si ésta no volvió a pasar la verificación, se verificó todo el lote y se rehabilitó el que no cumplió reutilizándolo en otra estructura.

El acero habilitado se transportó a los frentes de colocación, según las necesidades de cada uno, en un camión de redilas, para el manejo del acero, se utilizó una grúa hidráulica para agilizar las maniobras y garantizar los rendimientos propuestos.

V.1.2 Muros Laterales.

a) Plantilla de reposición.

Con los datos del trazo y nivelación que proporcionó topografía, se procedió a dar el piso para el desplante de los muros, limpiando y retirando todo el material suelto hasta encontrar roca sana, utilizando medios mecánicos, explosivos y/o herramienta portátil.

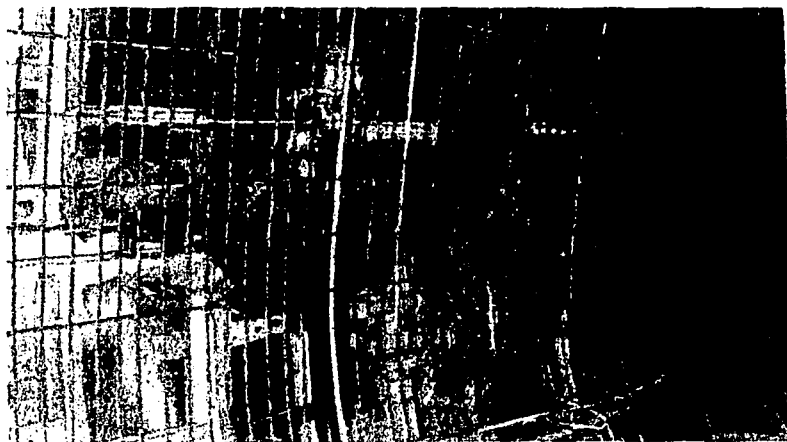
Este piso se niveló colocando una plantilla de reposición de concreto de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$, de 1.00 m de ancho aproximadamente y una longitud tal que se adelante al frente de armado de los muros, cuando menos 27.00 m, con un espesor variable según las condiciones de la excavación.

b) Colocación de acero de refuerzo en muros.

Se retiraron las instalaciones provisionales existentes (tuberías y líneas eléctricas) por lo menos un metro de la pared, para no interferir con el armado de acero de refuerzo, posteriormente que estuvieron colados los muros, las instalaciones quedaron fijas a éstos mediante unos soportes que se soldaron a unos insertos que quedaron embebidos en el concreto de los muros.

Las paredes del túnel, la plantilla y la junta de cada colado anterior, se limpiaron con chorro de agua a presión y/o aire comprimido, para que quedarán libres de lodo, polvo y basura.

Durante y/o después del armado, se colocaron los drenes radiales en donde hubo filtraciones, esto para encausar el agua hacia el subdren; se incrustó un tubo de PVC perforado de 2 m de longitud en un barreno, que se hizo en donde se encontró la filtración, el cual se conectó a una "tee" o codo, según su posición y a una manguera de poliducto y ésta al subdren general del túnel.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura V.1 Fotografía de armado de muros del túnel y colocación de drenes radiales

En la colocación del acero de refuerzo no se dejó más del 50% de traslapes en una misma sección, se colocaron las varillas verticales de 5 m y 7 m de longitud, alternadamente, de igual manera se procedió con el armado del acero longitudinal (horizontal), dando la altura efectiva de armado de 2.65 m., este se amarró con alambre recocido y se alineó con pedacera de varilla

adosadas a las paredes del túnel, posteriormente se colocaron pollos de mortero para garantizar el recubrimiento especificado entre acero y cimbra.

Para las zonas de revestimiento "estructural", se utilizó varilla de $\frac{3}{4}$ " $\varnothing$ con una cuadrícula de 15 x 40 cm, o sea las varillas verticales (refuerzo transversal) se colocaron a cada 15 cm y las varillas horizontales (refuerzo longitudinal) a cada 40 cm.

En zonas donde existieron marcos metálicos, se colocó una sola parrilla y donde no hubo marcos metálicos, se colocó doble parrilla, de acuerdo a las especificaciones del proyectista.

Para las zonas de revestimiento "no estructural", se utilizaron varillas de $\frac{1}{2}$ " $\varnothing$ con una cuadrícula de 35 x 35 cm, o sea las varillas verticales (refuerzo transversal) y las horizontales (refuerzo longitudinal) se colocaron a cada 35 cm. En todas las zonas "no estructurales" se colocó una sola parrilla.

La colocación del acero de refuerzo en muros se realizó como se describe a continuación:

Se colocaron anclas de varilla a una altura de 3 m en las paredes del túnel, para que Topografía pusiera los datos necesarios y requeridos (trazo y nivelación).

Sobre la plantilla de reposición, se colocó una varilla horizontal como guía con pollos de concreto y de ésta se fueron colocando en cada extremo y en el centro de un módulo una varilla vertical (acero transversal) de 5 o de 7 m.

Después, se colocó una varilla longitudinal al centro de la altura del muro y otra hasta los 3 m, posteriormente se fueron colocando alternadamente todo el acero transversal de 5 y 7 m de longitud.

Por último, se colocaron todas las varillas longitudinales amarrándolas con alambre recocido al acero transversal.

Después, se alineó y se fijó el acero armado a las paredes del túnel y se colocaron pollos de mortero por la cara de la cimbra.

c) Colocación de cimbra en muros.

Una vez que se tuvo armado el acero de refuerzo de los muros, se colocó una banda de PVC en el centro de la junta de colado transversal, considerando por lo menos unos 50 cm de sobrelongitud para vulcanizarla posteriormente con la banda de la clave. Ya que no pudo colocarse de una sola pieza, por procedimiento constructivo, la banda se sujetó y se alineó con el acero de refuerzo.

Considerando la geometría del túnel, se colaron los muros hasta 2.65 m de alto, ubicando ahí la junta longitudinal de colado, fig. V.2, en la parte superior del muro, a 0.60 metros abajo de la junta de construcción, se dejaron anclas o insertos sujetos al acero de refuerzo, que quedaron embebidos en el concreto y de los cuales, se sujetaron los she-bolts para sostener el sistema o mecanismo de apoyo para la coraza de la cimbra de clave del túnel, fig. V.3.

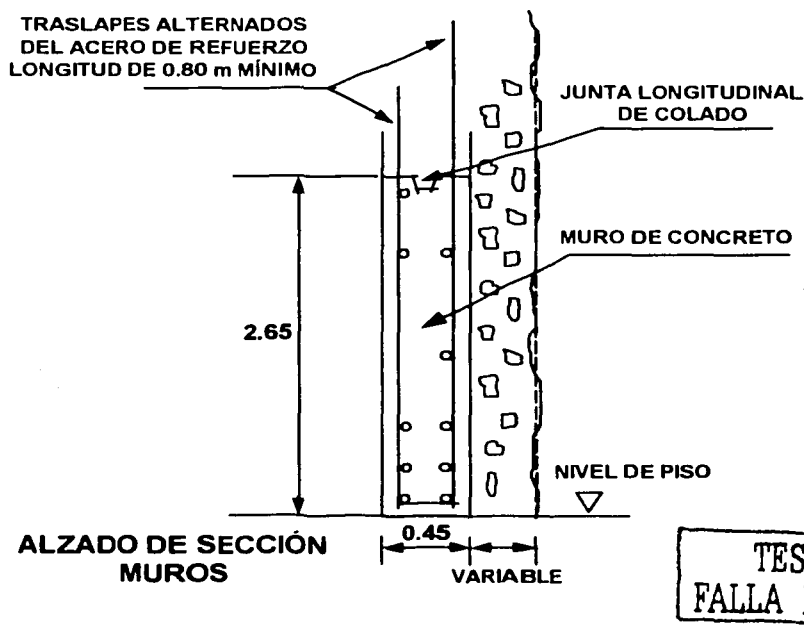


Figura V.2 Muro de concreto y junta longitudinal de colado.

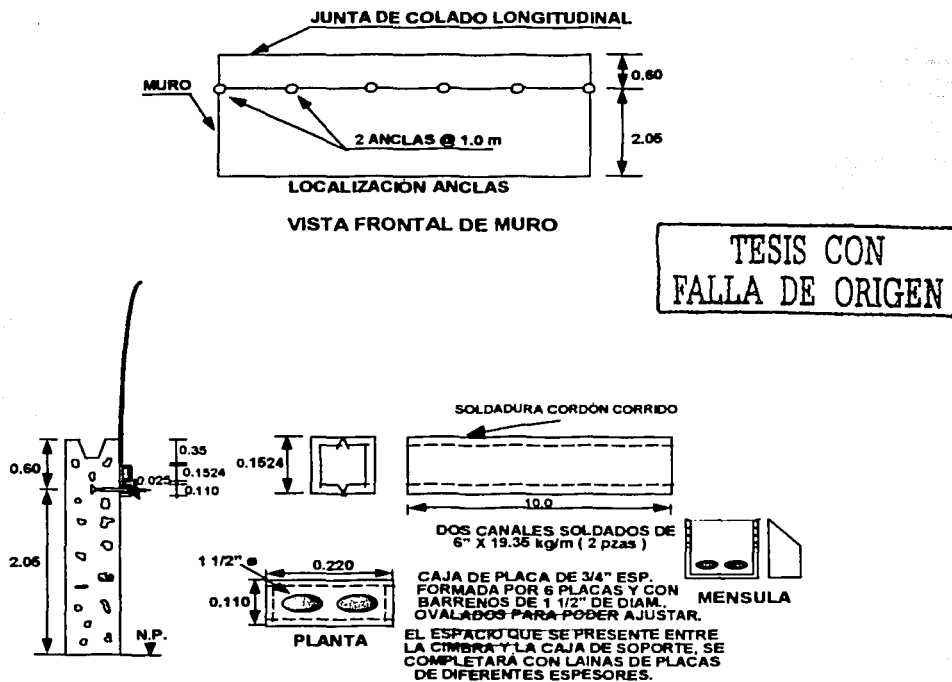
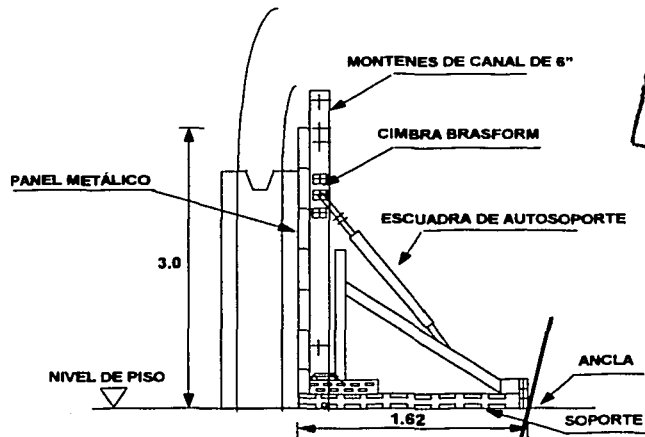


Figura V.3 Mecanismo de apoyo para la coraza de la cimbra

La cimbra que se utilizó en los muros es del tipo Brasform, el cual constó de tres paneles metálicos de 3 x 2.80 m para dar una longitud de 9 metros por lado, estos paneles se fijaron mediante el mecanismo de soporte con el que contó la propia cimbra.

Para troquelar la cimbra por la parte inferior, se hicieron en el suelo una serie de barrenos de 0.80 m de profundidad con perforadoras de piso, para colocar posteriormente anclas de varilla de 1 1/2", como se muestra en la fig. V.4.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura V.4 Cimbra en muros tipo Brasform.

Por la parte superior, cuando existieron marcos metálicos, se soldaron varillas de éstos y al troquel de reforzamiento, que sujetó los yugos de soporte de la cimbra, para que la cimbra no perdiera su alineamiento. Cuando no existieron marcos metálicos se realizaron barrenos en la pared del túnel y se colocaron anclas, de las cuales se soldaron varillas y éstas al troquel de reforzamiento. Se colocaron separadores de varilla y pollos de concreto para garantizar el recubrimiento del acero de refuerzo; se alineó la cimbra y se colocó el tapón a base de metal desplegado y/o madera, cuidando el alineamiento de la banda de PVC.

Una vez que se tuvieron armados los paneles de 3 m con sus yugos y sistema de troquelamiento, se limpió perfectamente la superficie de contacto con espátulas y/o cardas de acero para retirar residuos de concreto, se le aplicó un desmoldante con rodillo manual para evitar que el concreto se adhiriera a la superficie.

Se procedió a limpiar nuevamente el área por colar, sopleteando, lavando y retirando los residuos de alambre recocido, madera, concreto, basura, lodo, etc.

Después que se tuvo el trazo, se colocaron los paneles de la cimbra con la grúa Hiab y se unieron con tornillos para formar un módulo de 9 m.

Se verificó que la banda de PVC estuviera bien colocada para proceder a la colocación del tapón de la junta transversal de colado, el cual se realizó con madera y/o metal desplegado, troquelándolo contra la roca y el acero de refuerzo, al colocar este tapón, se tuvo especial cuidado con la banda de PVC, para que quede al centro de la junta, bien extendida y tensada y que el bulbo coincida con la junta de colado.

Se colocaron los she-bolts atomillados a sus insertos o anclajes (que sirvieron posteriormente para troquelar la cimbra de la clave), y se nivelaron para poder cerrar la cimbra de acuerdo al trazo marcado por topografía.

La cimbra se alineó por la parte inferior y se troqueló con sus yugos y escuadras calzadas con madera al piso, el troquelamiento se llevó a cabo utilizando unas anclas de varilla de 1" $\varnothing$ y/o varillas de 1½" de $\varnothing$, para lo cual, se hicieron los barrenos necesarios en la roca con perforadoras de piso; las anclas se insertaron en los barrenos a presión golpeándolas con marro. Posteriormente entre las anclas, los yugos y las escuadras, se colocaron cuñas de madera a presión para garantizar que la cimbra no se deslizara.

Después se alineó la cimbra por la parte superior, ajustando los "gatos de tornillo" con que cuenta la cimbra, los cuales iban fijos por la parte inferior a las escuadras y en la parte superior a los yugos de la cimbra.

Por último se alinearon y nivelaron los she-bolts, sujetándolos a la cimbra, topografía verificó el alineamiento y los niveles de la cimbra.

Se autorizó una orden de colado por Topografía y por Aseguramiento de calidad para que sea recibida por la planta de concreto y así poder dar inicio al colado.

d) Colocación de concreto en muros.

Una vez revisada y autorizada la orden de colado por Aseguramiento de Calidad (donde se especifica el tipo de revestimiento y la resistencia del concreto), se entregó una copia a la planta de concreto para que suministrara el volumen de concreto requerido. La mezcla de concreto se trasladó al frente del colado en ollas revolvedoras sobre camión. Se procedió a realizar el colado

del muro, utilizando una motobomba de concreto y vibradores eléctricos de 1½" y/o 1" ø para el acomodo y compactación del concreto.

En zonas de "revestimiento estructural" se colocó concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

En zonas de "revestimiento no estructural" se colocó concreto de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

El concreto se fue colocando en capas de 40 cm cada 15 minutos, compactándolo con los vibradores de inmersión. Entre capa y capa de concreto, la cimbra se revisaba para evitar que tuviera desplomes o que el tapón tuviera fugas, en caso contrario, se interrumpía la colocación del concreto para corregir las fallas posibles; una vez enmendada esta acción, se continuaba con la colocación de concreto.

Terminado el colado y cuando el concreto tenía un fraguado inicial, se procedió a elaborar la "llave" o junta de construcción con herramienta manual, siempre y cuando hubiera el suficiente espacio entre la cimbra y la pared de roca y que el armado lo permita. Después de que fraguaba totalmente el concreto, se retiraba el tapón de la junta vertical y se procedía a realizar la preparación de dicha junta para el siguiente colado.

Después de descimbrar y retirar los paneles de la superficie colada, se aplicaba una membrana de curado sobre la superficie del concreto, utilizando un rodillo con, O bomba de aspersión.

Una vez que se retiraba la cimbra Brasform, ésta se movía hacia el siguiente módulo previamente armado y preparado, utilizando una grúa hiab; se limpiaban los residuos de concreto y se le aplicaba un desmoldante a la superficie de contacto.

Cuando se descimbraba y aparecían defectos en la cara de concreto, debido a mal vibrado, a la mala colocación del concreto o a alguna junta fría, la superficie del concreto se reparaba de la siguiente manera:

Defecto "no estructural" :

Se retiraba todo el concreto malo de la zona defectuosa con herramienta portátil y/o rompedora neumática de tal manera que formara una caja rectangular o cuadrada, se limpiaba y se

humedecía la zona preparada y se aplicaba adhecón o similar que servía para unir concreto viejo con uno nuevo.

Se colocaba una pasta preparada previamente a base de arena y cemento con proporción de 1:1 y cemento blanco para igualar el color del concreto, agua y adhecón para garantizar la adherencia, se daba el acabado similar al concreto utilizando una llana metálica.

Defecto "estructural": cuando quedaban huecos considerables en el concreto colocado y se observaba a simple vista el acero de refuerzo.

Se retiraba todo el concreto malo de la zona defectuosa con herramienta portátil y/o rompedora neumática), de tal manera que formara una caja rectangular o cuadrada, se sopleteaba y se lavaba la caja, posteriormente se cimbraba la zona defectuosa, dejando suficiente espacio para poder rellenar de concreto con aditivo estabilizador de volumen. Después, se humedecía la zona preparada y se le aplicaba adhecón o similar que servía para unir un concreto viejo con uno nuevo.

Se rellenaba la zona defectuosa con concreto de la misma resistencia, se vibraba o se picaba lo suficiente para garantizar el llenado del hueco y se esperaba el fraguado; posteriormente se retiraba la cimbra, se retiraban las rebabas de concreto y se daba el acabado final con herramienta manual para enrasar acorde a la pared, después se le aplicaba una membrana de curado.

V.1.3 Clave.

a) Colocación de acero de refuerzo.

En cuanto había suficientes módulos de muros colados, se procedía a la colocación y armado del acero de refuerzo de la clave, utilizando una plataforma metálica (jumbo), el cual se desplazaba sobre rieles, fig. V.5, esto para que pudiera haber paso de vehículos por debajo de la parte central, además contaba con una serie de plataformas de trabajo escalonadas, que servían tanto para acceso, como para almacenar acero habilitado (máximo 1 ton).

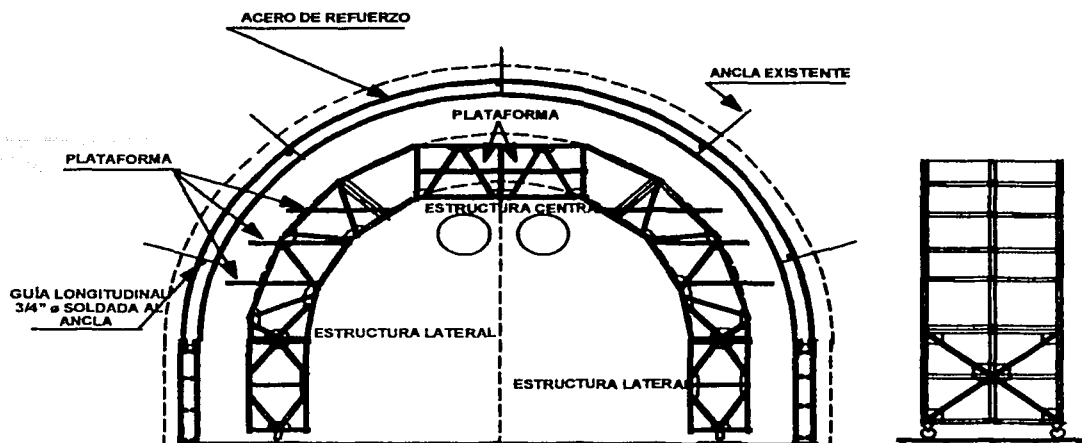


Figura V.5 Croquis de la plataforma para la colocación de acero en la clave del túnel.

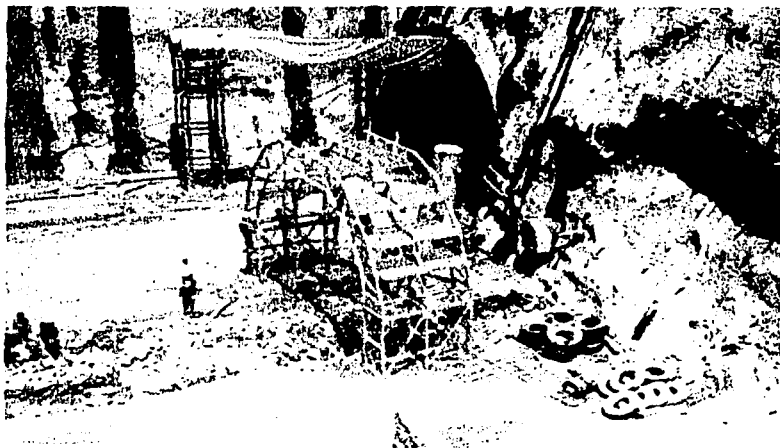


Figura V.6 Foto de plataforma metálica (jumbo) para la colocación de acero en la clave del túnel

Para las zonas de revestimiento "estructural" se utilizaban varilla de $\frac{3}{4}$ " ϕ con una cuadrícula de 15 x 40 cm, o sea las varillas verticales (refuerzo transversal) se colocaban a cada 15 cm y las

varillas horizontales (refuerzo longitudinal) a cada 40 cm.

En zonas donde existían marcos metálicos, se colocaba una sola parrilla y donde no había marcos metálicos, se colocaba doble parrilla, de acuerdo a las especificaciones del proyectista.

Para las zonas de revestimiento "no estructural" se utilizaban varillas de $\frac{1}{2}$ " $\varnothing$ con una cuadrícula de 17.5 x 17.5 cm, o sea las varillas verticales (refuerzo transversal) y las varillas horizontales (refuerzo longitudinal) se colocaban a cada 17.5 cm. En todas las zonas "no estructurales" se colocaba una sola parrilla.

El armado del acero de refuerzo de la clave se realizaba utilizando un jumbo o plataforma metálica, montado sobre los rieles y jalado por tirfors y cable de acero.

Se colocaban varillas que se soldaban a las anclas de fricción que se dejaban durante el proceso de excavación del túnel; cuando no se encontraban anclas, se colocaban clavos de acero con una pistola Hilti y de éstos se soldan dichas varillas.

Una vez que topografía tenía el trazo, se colocaban cinco varillas de $\frac{3}{4}$ " $\varnothing$ longitudinalmente como "maestras", amarradas con alambre recocido a las varillas que se soldaban a las anclas, dichas "maestras" servían como guías para el armado, ya que estaban colocadas de acuerdo a la geometría y recubrimientos especificados para el revestimiento del túnel. A estas maestras se le colocaban y amarraba todo el acero transversal de acuerdo a las especificaciones del proyectista. Posteriormente se colocaba y amarraba el acero longitudinal tal como lo indican los planos.

Después se colocaban pollos de mortero amarrados a la parrilla para garantizar el recubrimiento especificado.

De igual manera que en los muros, se colocaban los drenes radiales durante el armado del acero de refuerzo de la clave, utilizando el mismo andamio, estos drenes se conectaban a los que se dejaban en los muros.

Una vez que se tenía el armado de la clave, se colocaba la banda de PVC, uniéndola y vulcanizándola primeramente a la del muro de un lado, una vez unida a un extremo, se procedía a tensarla y fijarla de acuerdo al radio del centro del espesor del colado, para posteriormente cortarla

y vulcanizarla al otro extremo de la del muro contrario; esta debía quedar bien extendida, formando perfectamente el medio círculo de la clave; la banda de PVC se colocaba en cada junta de colado, o sea a cada 9 m.

b) Colocación de cimbra en clave.

Teniendo varios módulos de clave armados con acero de refuerzo, se procedía a la colocación de la cimbra para colado de la misma.

Para iniciar esta actividad, se requería nivelar el piso a nivel de subrasante cuando menos 3 m de ancho, desde el muro hacia el eje del túnel en ambos lados y en el sentido longitudinal a la distancia que se llevaban coladas las plantillas para el desplante de muros.

Para colocar y deslizar la cimbra para el colado de la clave, se colocaban rieles apoyados sobre madera para nivelarlos, posteriormente la cimbra se colocaba en posición para el colado de clave.

En la parte superior de la cimbra, se acondicionó una plataforma de trabajo, en donde se instaló la tubería para el bombeo, distribución y colocación de concreto.

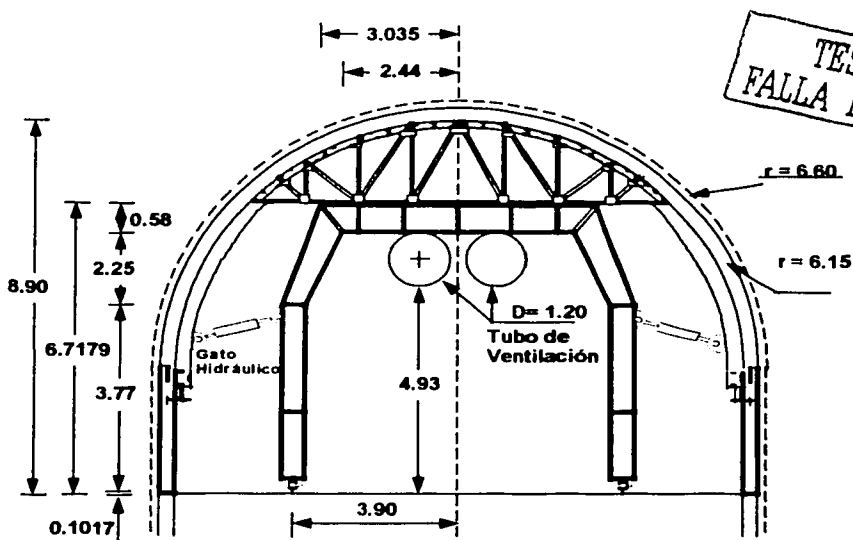


Figura V.6a Croquis de la cimbra para el colado en la clave del túnel.

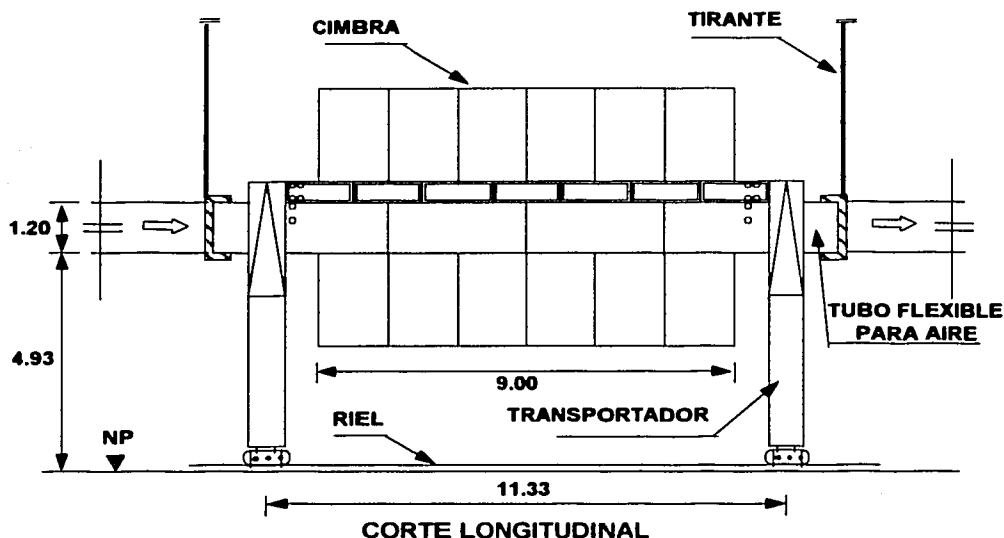
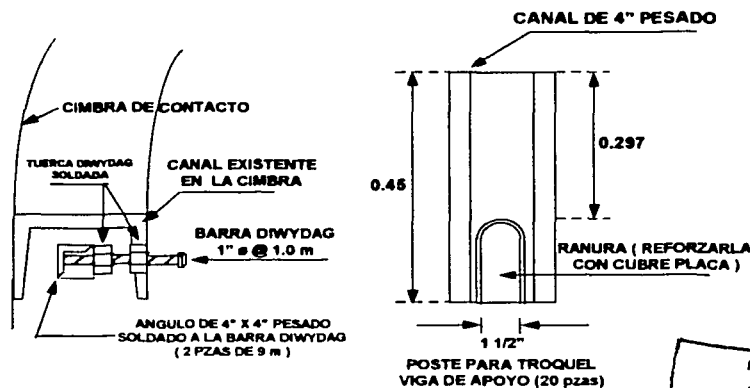


Figura V.6b Croquis de la cimbra para el colado de la clave en el túnel.

La cimbra contó con una longitud de 9 m, la coraza se troqueló en los extremos inferiores, apoyada sobre el dispositivo mostrado en la fig. V.7. Para lograr esto, se utilizaron los gatos hidráulicos ubicados en las columnas del transportador, que son los que nivelan la cimbra; los 4 gatos hidráulicos laterales que van en cada uno de los extremos de la coraza (faldones), que tienen la función de abrir y cerrar la parte inferior de la cimbra y los 2 gatos hidráulicos que se encuentran en la parte superior del transportador, que sirven para dar el alineamiento transversal de la cimbra. Con la cimbra en posición, se abrieron los faldones con los 4 gatos hidráulicos laterales. Para fijar la cimbra se troquelaron los faldones con she-bolts que se atomillaron a los insertos que se dejaron embebidos en el concreto de los muros, a continuación se bajó el transportador con los 4 gatos de las columnas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura V.7 Croquis del dispositivo de apoyo de la cimbra

Una vez que la cimbra estuvo en posición, se colocaron las preparaciones para la inyección de contacto, sujetas del armado de acero de refuerzo, para que no tuvieran movimiento durante el colado de la clave, estas preparaciones fueron de tubo de 2" de diámetro de acero o PVC, con coples de los mismos diámetros, según sea el caso y se colocaron de acuerdo al proyecto.

Cuando las secciones de topografía marcaron sobreexcavaciones mayores a 65 cm en la clave, el colado de ésta se realizó hasta línea "B", o sea, hasta 65 cm de espesor con concreto de $f'c=250$ Kg/cm², pero solamente en la parte superior, para que con el siguiente colado se rellenará el faltante.

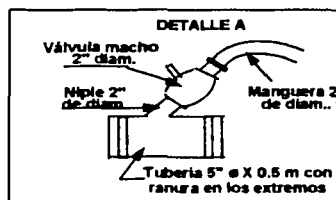
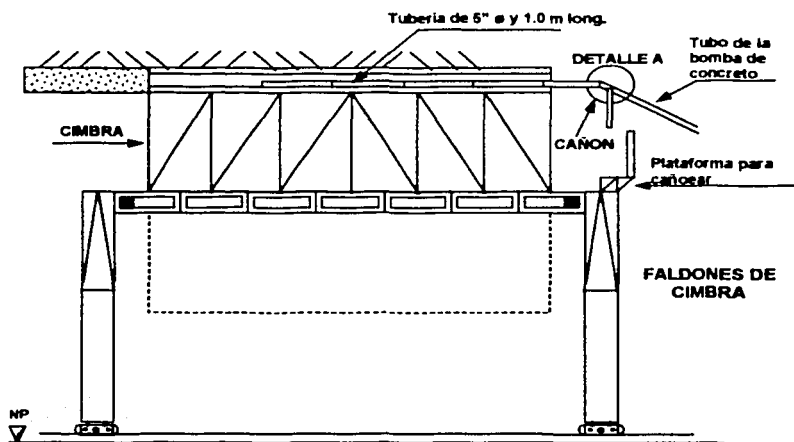
La frontera o tapón transversal se realizó con metal desplegado y/o con duela de madera troquelado a la misma cimbra metálica y a las paredes de la roca. En cuanto inició el fraguado, se retiró la madera de este tapón y se preparo la junta de colado para el siguiente módulo.

c) Colocación de concreto en clave.

Se colocó la bomba para concreto pegada al muro y a la cimbra metálica de la clave, el brazo de la pluma se extendió hasta la parte superior del transportador (en el caso de cuando se utilizó una motobomba) o se tendió la tubería y se conectó a la bomba (en el caso de cuando se utilizó una

bomba estacionaria), esto es, a la altura de la plataforma de trabajo, donde se conectó a la tubería preparada, tal como se muestra en el esquema.

De la tubería que llegó de la bomba, se conectó al codo no. 1, el cual tuvo instalado el cañón, que consistió en acoplarle una tubería de 2" ϕ por la cual se suministró el aire a presión y el cual se accionó con una válvula de cierre rápido, del codo se acopló a una tubería y al codo no. 2 que llega al centro de la plataforma sobre el transportador, del codo no. 2, se va acoplando tubería de 1.50 m de longitud para poder dar las distancias requeridas para distribuir el concreto a las diferentes ventanas y boquillas, en donde se acopló otro codo, del cual, se colocó la tubería necesaria para hacer llegar el concreto a cada una de las ventanas para el llenado de las partes laterales y a cada una de las boquillas que van conectadas a la parte superior de la cimbra, donde se acopló la tubería para el llenado de concreto en la parte superior de la clave.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura V.8 Esquema de bombeo de concreto.

Para el llenado hasta la primera hilera de ventanas, se utilizó aparte de la tubería, canalones para vaciar en concreto y para el llenado de las otras hileras de ventanas, se utilizó sólo tubería y codos.

La colocación del concreto, se inició en la parte de la junta de colado hacia adelante, es decir, hacia el tapón transversal de la cimbra, necesariamente se tuvieron que ir balanceado las capas de concreto en las partes laterales de la cimbra, como se describe a continuación:

Primero, se hizo el llenado de la capa del lado izquierdo del molde, de unos 80 cm de altura, la cual, durante el llenado se vibró por las mismas ventanas, utilizando vibradores de inmersión y también se utilizaron los vibradores de contacto o de pared con el que cuenta la cimbra, sólo se accionaron éstos cuando el área que abarcan contenga concreto.

Segundo, se llenó la capa del lado derecho hasta 80 cm y se vibró como en el paso anterior. En el transcurso de estas actividades, se lavaron con agua a presión los muros inferiores al colado, de los escurrimientos de lechada producto del concreto, para evitar que las paredes queden manchadas de lechada o concreto.

Tercero, se lleno del mismo lado otra capa igual, con el mismo procedimiento, y

Cuarto, se llenaron otras dos capas del lado izquierdo como en el segundo y tercer paso, y así sucesivamente hasta llegar a la parte superior de la clave, donde el llenado ya no se pudo hacer por las ventanas.

Quinto, se hace el llenado por las boquillas, que consistió en conectar la tubería a la boquilla más próxima de la junta de colado, se inyectó concreto y se accionaron los vibradores de pared; se dejó de bombear concreto hasta que por la boquilla más próxima comenzó a salir concreto.

Después, se recortó tubería y se acopló a la segunda boquilla repitiendo la misma operación que en la etapa anterior, y así sucesivamente se continuo hasta que por el tapón se dieron muestras de que esta llena la cimbra.

Por último, se accionaron los vibradores de pared de la parte superior, para garantizar un buen acabado y una buena compactación del concreto.

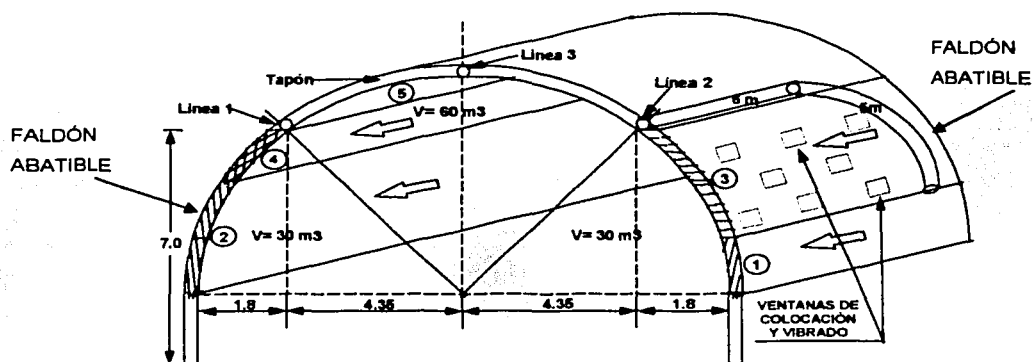


Figura V.9 esquema de líneas y ventanas de colado y vibrado

Después de haber terminado el colado de la clave, se lavó con agua toda la tubería, vibradores y accesorios empleados, para evitar que los residuos de concreto se endurezcan, así como también, la plataforma de trabajo. También se retiraron todos los desperdicios de concreto para que no se hicieran piedra y obstruyeran el paso. La bomba de concreto de igual manera, se lavó y lubricó después de cada colado, para que siempre estuviera en buenas condiciones.

Cuando se descimbraba y aparecían defectos en la cara de concreto, debido al mal vibrado, a la mala colocación de concreto o a alguna junta fría, la superficie del concreto se reparaba de la misma forma que la de los muros laterales.

d) Descimbrado de clave.

Una vez que transcurrieron 8 horas del colado del modulo y este alcanzó la resistencia mínima deseada del 40% de proyecto, se procedió a realizar el descimbrado, el cual da inicio con la elevación del transportador hasta la soportería estructural del molde, mediante los gatos hidráulicos verticales ubicados en las columnas del transportador de la cimbra, y una vez posicionado, se bloquean estos gatos por seguridad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Después, se quitaron las calzas y lanas de placa, para posteriormente, retirar los troqueles aflojando los she-bolts. Estos troqueles y accesorios se cuelgan en la misma cimbra, para facilitar las maniobras para el próximo módulo.

Posteriormente, se accionaron simultáneamente por par, los gatos laterales para retraer los faldones de la coraza, de un lado de la cimbra, hacia el centro del túnel.

Se desbloquearon los gatos verticales procediendo a quitar presión, con lo cual, al irse retrayendo el vástago de dichos gatos, se fueron despegando la cimbra del concreto fraguado. Para el nuevo posicionamiento de la cimbra, durante el tiempo de colado y el tiempo de fraguado, se colocaron los rieles para ganarle tiempo a esta actividad.

Ya que estuvieron listos los rieles para el corrimiento de la cimbra, con los motorreductores con que cuenta la cimbra, se inició el corrimiento del transportador hasta la nueva posición para el inicio de un nuevo ciclo.

Durante el corrimiento de la cimbra hacia otro módulo, se aplicó la membrana de curado a la cara de concreto del módulo descimbrado, mediante el uso de una bomba de aspersión, aprovechando la misma cimbra semicircular cuando se está trasladando y procurando hacer el rebabeo de las juntas, cuando menos en la parte superior.

V.1.4 Solera (pisos).

Una vez que se terminaron los trabajos de colocación de base estabilizada con cemento portland, se procedió a la terminación de la última capa del pavimento, la cual consistió en una losa de concreto hidráulico de 20 cm de espesor y de 10.90 m de ancho.

Para su ejecución, se definió pavimentar con un frente de ataque que inició en el km. 925+200 y terminó en el km. 928+150.

Con la planta de concreto instalada en el frente Las Cruces, se suministró la mezcla de concreto del km 925+200 al 927+120 y de la planta de concreto que se instaló en el frente Farallón, se suministró del km 927+120 al 928+150.

A su vez, para facilitar los trabajos de maniobra de colocación del concreto y el acabado del mismo, se dividió el ancho total de la calzada de 10.90 m, que comprendió tres carriles de circulación, que se atacaron independientemente los dos de los extremos de 3.70 m de ancho y el central de 3.50 m, la longitud de cada franja fue de 320 m formando en su totalidad 30 secciones.

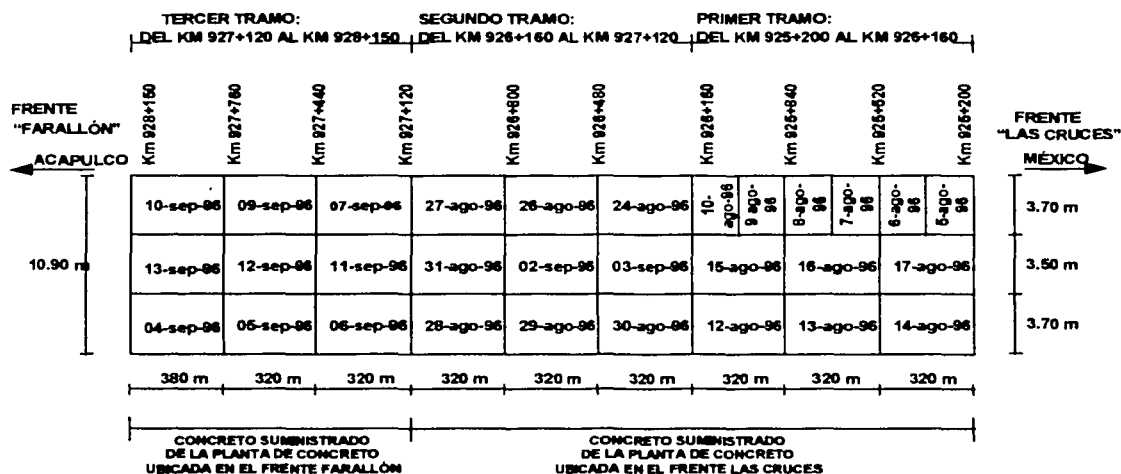


Figura V.10 Croquis de colocación de concreto en el piso del túnel.

El concreto que se utilizó para la losa de rodamiento cumplió con una resistencia a la flexión de 46 kg/cm², un revenimiento en su colocación de 8 cm y alcanzó el 55 % de su resistencia a mas tardar 4 días, esto con el fin de poder transitar sobre el pavimento con las ollas.

El proceso de colado de la losa de concreto se dividió en las siguientes etapas:

a) Habilitado de canastillas:

Con la finalidad de economizar la fabricación de canastillas(prearmados) y lograr un diseño que tuviera un mejor comportamiento durante su acarreo y utilización, se fabricaron con varillas de 3/8" $\emptyset$ y acero redondo de 1 1/4". Para esto se diseñó una prensa para facilitar totalmente el doblado de las varillas que sirvieron para darle su posición final al acero redondo, el cual se fue soldando a las varillas durante el armado de las canastillas (prearmados).

b) Acarreo y colocación de canastillas:

Con la finalidad de evitar al máximo el acarreo de las canastillas, debido al volumen que ocupó cada una de ellas, se decidió fabricarlas en obra. De esta manera, únicamente se tuvo el acarreo del taller de habilitado a su lugar de colocación en el túnel a cada 5 metros, para lo cual se utilizó una grúa hiab.

c) Cimbrado de la losa:

Para el cimbrado de la losa, se fabricó la totalidad de la cimbra que se ocupó en un turno, que son 640 m, de los cuales 320 m fueron normales y 320 m fueron machihembrados. Esta cimbra se fabricó con canal de 8" y para el caso de la machihembrada se le unió un ángulo de 2" X 2" X 1/8" .

Para la colocación de la cimbra, topografía fue dando el trazo y los niveles con la finalidad de ir dejando perfectamente bien alineada y nivelada la cimbra, ya que de esto dependió en gran parte el estado final de la losa. El movimiento de la cimbra se hizo con ayuda de la grúa hiab, se calzó la cimbra y se troqueló con varillas ancladas al terreno.

Una vez realizado el cimbrado de la losa, se procedió a la limpieza enérgica de la superficie por colar.

d) Colocación del concreto:

Cuando ya se tuvieron las canastillas de armado de pasadores para las juntas de colado ya colocadas y la totalidad de la cimbra perfectamente bien alineada, nivelada y liberada por topografía, Aseguramiento de calidad verificó y liberó el colado.

La colocación del concreto se hizo a tiro directo desde las ollas revolvedoras que transportaron el concreto desde la planta dosificadora hasta la zona de colado. Estas ollas se colocaron a un lado de la zona de colado, desde donde se fue tirando el concreto, esto con el fin de que no le estorbaran las canastillas y a la cimbra. En esta zona se tuvo el personal necesario para que se fuera distribuyendo el concreto en todo lo ancho de la losa y los vibradoristas detrás de estos para el vibrado del concreto, inmediatamente venía la colocadora de concreto para ir dándole el afine a la losa, esta colocadora consistió en tres rodillos giratorios que se apoyaron sobre la misma

cimbra, que fueron vibrando superficialmente el concreto y afinándolo. Posteriormente se le dió el afinado final a toda la superficie terminada con la ayuda de llanas de aluminio, que fueron dejando la superficie lisa y lista para el texturizado final.



Figura V.11 Fotografía de colocación de concreto en el piso del Portal del túnel a la caseta de peaje



Figura V.12 Fotografía del colado del piso del Portal del túnel a la caseta de peaje

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN****e) Texturizado y curado:**

Una vez que se inició el fraguado inicial de la losa de concreto, se procedió a realizar un rayado longitudinal ligero a base de tela de yute o tapete tipo pasto sintético, con el fin de darle una rugosidad ligera en este sentido, para posteriormente realizar un rallado enérgico en el sentido transversal, al tendido con un peine manual que dejó un ranurado de 3 mm a 6 mm de profundidad X 4 mm a 5 mm de ancho, con un espaciamiento entre cada ranura de 9 mm, de acuerdo a las especificaciones de S.C.T.

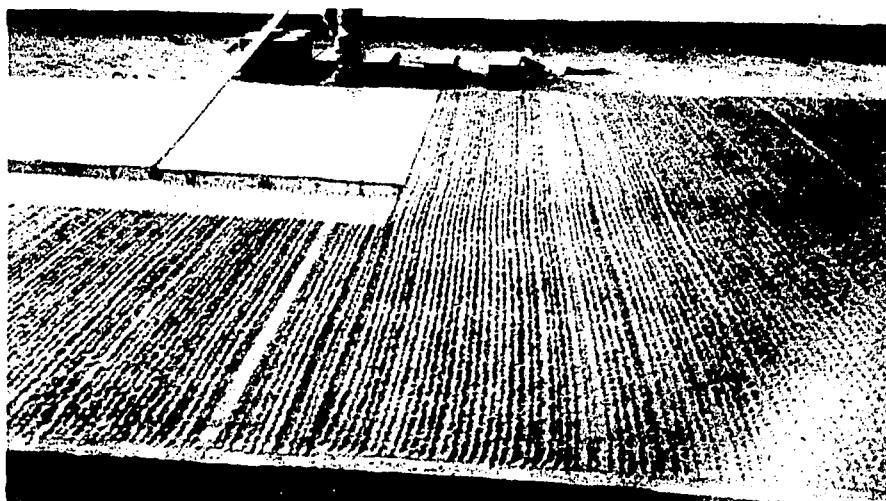


Figura V.13 Fotografía del proceso del acabado final del pavimento (texturizado)

Una vez que transcurrieron 30 minutos y se observó que no se marcaron las huellas sobre el pavimento, se procedió con el curado de la losa mediante una membrana de curado con base agua de pigmentación blanca especial para riego por aspersión. Fue muy importante que no se atrasara esta actividad, ya que de lo contrario se pudieron presentar una serie de microfisuras, las cuales se agrandarían con el transcurrir del tiempo.

f) Aserrado y sellado de juntas:

Cuando transcurrieron las 6 horas posteriores al colado, se realizó una verificación de la dureza del concreto y en cuanto este pudo soportar perfectamente la máquina cortadora sin dejar huella alguna sobre la superficie, se llevó a cabo el primer aserrado transversal de 1/8" de ancho sobre las marcas dejadas con anterioridad durante el colado de la losa. Este aserrado fue el mas importante, ya que de no haberlo realizado en forma oportuna, el concreto empezaría su proceso de contracción y presentaría un agrietamiento descontrolado, lo cual es antiestético y estructuralmente podría presentar problemas, ya que las juntas se presentan fuera de donde fueron proyectadas.

Posteriormente al primer aserrado transversal, se llevó a cabo el primer aserrado longitudinal, el cual fue de 1/4" de espesor, ya que no sufrió evolución como el caso de las juntas transversales, que se tienen que dejar unos 10 días en reposo para que trabajen, y posteriormente se realizó el segundo y definitivo corte a 1/4".

El sellado de las juntas se llevó a cabo una vez realizado el segundo corte mediante un sopleteo de aire a presión y una herramienta en forma de charrasca, con el fin de remover todos los residuos que se quedaron dentro de la ranura. Después de realizada la ranura, se colocó el respaldo o relleno de polietileno de 3/8" de diámetro con lo que se evitó el consumo exagerado de silicón de poliuretano, el cual se colocó con ayuda de una bomba de aplicación de presión.

V.1.5 Guarnición y banquetta.**a) Guarniciones.**

Para poder haber iniciado con la construcción de las guarniciones del interior del túnel, debieron estar terminadas las franjas laterales del pavimento rígido del túnel. La construcción de las guarniciones, se realizó de acuerdo a las siguientes etapas:

Primera etapa.

Se realizó el armado correspondiente de las guarniciones, fuera del sitio sobre la losa del pavimento rígido, para facilitar su armado. Cabe mencionar que todo el acero de refuerzo, se habilitó en el patio de habilitado y se transportó al sitio del armado.

Se hizo limpieza del cajón de las guamiciones, retirando todo el material suelto y residuos de concreto en una longitud mínima de 50 m, de acuerdo con los datos que marcó topografía.

Se colocó el acero de refuerzo prearmado, alineándolo y nivelándolo de acuerdo a los planos del proyectista.

Se colocaron maestras de varilla amarradas del acero de refuerzo, a cada 4 m de separación para garantizar los niveles de la losa inferior del cajón.

Se colocó una junta de celotex de 20 cm de ancho adosada al pavimento rígido, tal como lo indicó el proyecto en forma vertical de canto.

Topografía recibió el tramo listo, verificando niveles y alineamiento para proceder a firmar la orden de colado.

El inspector de calidad verificó las condiciones de esta etapa y se autorizó la orden de colado, el cual se llevó a la planta de concreto, para que suministrará el volumen de concreto correspondiente con la resistencia y revenimientos especificados.

Se tendieron lonas sobre el pavimento rígido, en la longitud por colar de esta etapa, para evitar que se ensucie éste.

Se realizó el colado de esta etapa a tiro directo, utilizando vibradores de inmersión para su compactación y se hizo el extendido y regleado del concreto con una regla que se apoyó precisamente de las maestras de varilla colocadas anteriormente.

Una vez terminado el acabado de la superficie que quedó expuesta, se aplicó una membrana de curado.

Se prepararon las juntas de colado para el desplante de la segunda etapa de las guamiciones.

Se procedió a hacer limpieza de toda el área, retirando todos los residuos de concreto, equipo y herramienta utilizados.

Segunda etapa:

Se colocó la cimbra interior correspondiente a la segunda etapa de las guamiciones, previamente acondicionada para este fin, limpias las superficies de contacto y con desmoldante aplicado.

Se alineó y niveló la cimbra interior de acuerdo a las referencias que colocó Topografía y se troqueló.

Después se colocó la cimbra exterior, la cual tuvo el mismo tratamiento que la interior, se alineó y se troqueló al pavimento rígido.

Posteriormente se repitieron los mismos pasos que el de la primera etapa.

La colocación de concreto se realizó a tiro directo utilizando canalones y palas para el llenado de las guarniciones, se realizó el vibrado con vibradores de inmersión de 1½" ø.

Después del fraguado inicial, se dió el acabado en los remates de las guarniciones, utilizando herramienta manual.

A las cuatro horas del fraguado, se procedió a descimbrar, retirando primero la cimbra exterior, posteriormente, se retiró la cimbra interior, procediendo a limpiarlas y aplicándoles su respectivo desmoldante, para su utilización en otro ciclo.

Una vez retiradas las cimbras, se retiraron las rebabas de concreto y se dio el acabado final a las guarniciones, para posteriormente aplicarles su membrana de curado con rodillo manual.

Estos ciclos se repitieron las veces necesarias de acuerdo a las longitudes que se prepararon y hasta completar toda la longitud del túnel.

b) Banquetas.

Las banquetas son precoladas en el patio de habilitado "El Quemado" y transportadas al túnel para su colocación sobre las guarniciones.

El armado que se utilizó en las prelosas de banquetas, se habilitó y armó en el mismo patio de habilitado.

La prefabricación de las banquetas se llevó de la siguiente manera:

Sobre dos plantillas construidas exprofeso para el precolado de las banquetas, se realizó la limpieza con herramienta manual y escobas, se colocó y se fijó la cimbra de cuatro módulos donde caben 42 prelosas y un módulo de 35 prelosas, que hacen un total de 203 prelosas de 1.00 x 0.55 x 0.08 m por cada plantilla.

Una vez colocada la cimbra de los cinco módulos, se procedió a aplicar el desmoldante en todas las fronteras de la cimbra y el piso de la plantilla, para garantizar el fácil despegue de las piedras.

Después se colocaron las parillas de acero de refuerzo prearmadas, con sus orejas y sus pollos de varilla para dar el recubrimiento requerido, se alinea cada parilla en cada casilla.

Posteriormente, el inspector de aseguramiento de calidad realizó su verificación y autorizó la orden de colado por el volumen de concreto que corresponda con el número de piedras listas por colar.

Una vez suministrado el concreto para cada módulo, la colocación se realizó a tiro directo, el llenado de cada piedra se completo con palas y el extendido se hizo con reglas que abarcaron las siete piedras transversales de cada módulo.

Después se realizó el escobillado en todas las piedras y se paso el volteador en todo el perímetro de cada piedra para dar un buen acabado.

Se aplicó una membrana de curado sobre la superficie expuesta de cada piedra.

Después de ocho horas de fraguado, se inició el descimbrado de todas las fronteras transversales.

Se comenzó a despegar y retirar piedra por piedra e ir sacando la frontera longitudinal, esta actividad se repitió hasta retirar todas las piedras de cada plantilla.

Se procedió con la limpieza de cada frontera por ambos lados y se limpió completamente la superficie de cada plantilla.

Este ciclo se repitió las veces necesarias hasta completar aproximadamente 6, 000 banquetas precoladas.

Una vez fabricadas las prelosas de las banquetas, se acarrearón en una grúa hiab, hasta el lugar de su colocación final.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO VI.

CAPÍTULO VI.

INSTALACIONES DEFINITIVAS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI.1. Acometidas Eléctricas de C.F.E.

Dadas las características y requerimientos de las cargas eléctricas, se hicieron dos acometidas de energía, una en cada extremo del túnel y con alimentadores independientes, esto con la intención de permitir una mayor confiabilidad del suministro de energía.

VI.1.1 Acometida lado México.

Esta acometida se contempla desde el poste que se localiza dentro de la barda, incluyendo el equipo de medición de CFE, hasta el registro que se encuentra frente al Edificio de Distribución México (EDM).

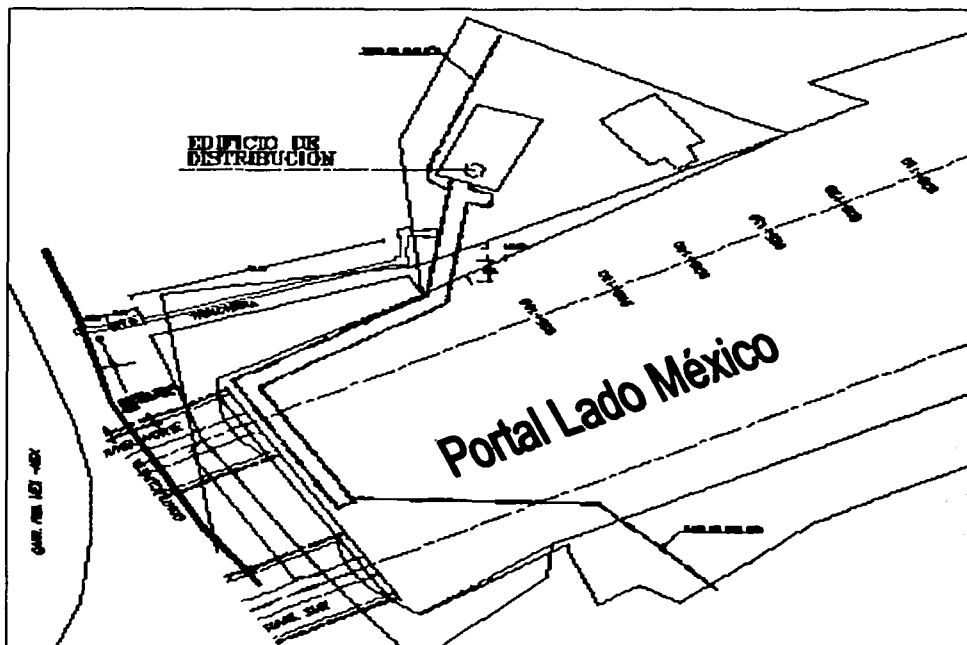


Figura VI.1 Acometida lado México

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El suministro e instalación de la Acometida lado México, se realizó de acuerdo al siguiente diagrama unifilar.

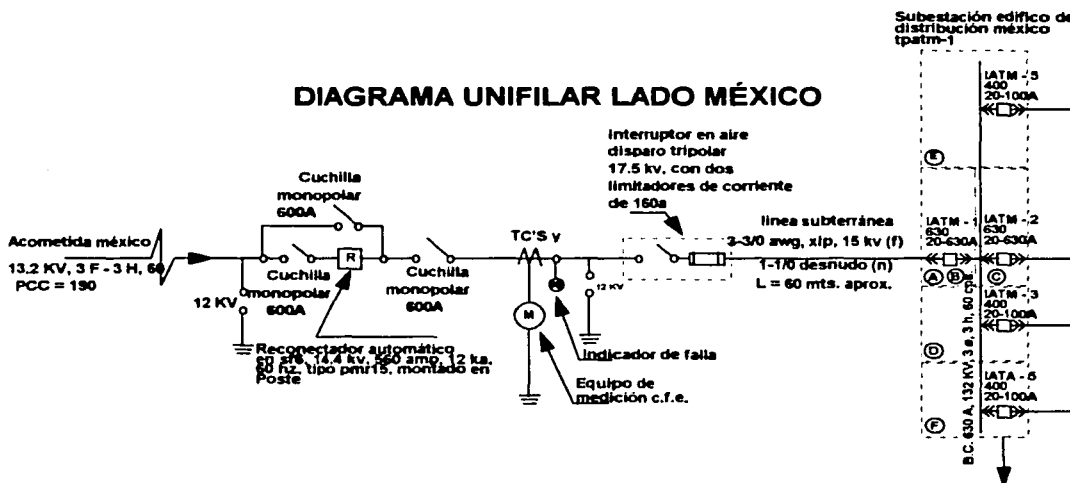


Figura VI.2 Diagrama unifilar lado México.

La tensión es de 13, 200 volts. por parte de Comisión Federal de Electricidad, teniéndose una potencia de corto circuito disponible en el lado México de 190 MVA (30 fases) y un factor de potencia (f.p.) de 0.93.

Se instaló soportería para los cables en cada registro, de acuerdo con las especificaciones de CFE, en todos los registros se dejó un excedente de cable por fase, de longitud igual al perímetro del mismo.

Se instalaron conectores tipo premoldeado separable de 600 A, apertura sin carga que cuentan con punto de prueba capacitivo. El cable neutro es de cobre desnudo calibre 1/0 AWG el cual se conectó al electrodo de tierras por medio de soldadura fundente en cada registro primario y donde existe equipo.

El alimentador en media tensión es con cable de energía vulcanel XLP tipo DS para 15 KV, calibre 3/0, 133% de nivel de aislamiento clase B de cobre.

Los pozos de visita se ubicaron en la deflexión de la ruta del circuito, en cambios de nivel o elevaciones significativas de la ruta.

El equipo de medición de los TC'S y TP'S, fueron proporcionados por CFE.

VI.1.2 Acometida lado Acapulco.

Esta acometida se contempla desde el poste que se localiza dentro de la barda colindante con la Av. Rancho Acapulco, incluyendo el equipo de medición de CFE, hasta el paño del muro del Closet lado Acapulco, donde se ubica la boca de la llegada de los ductos.

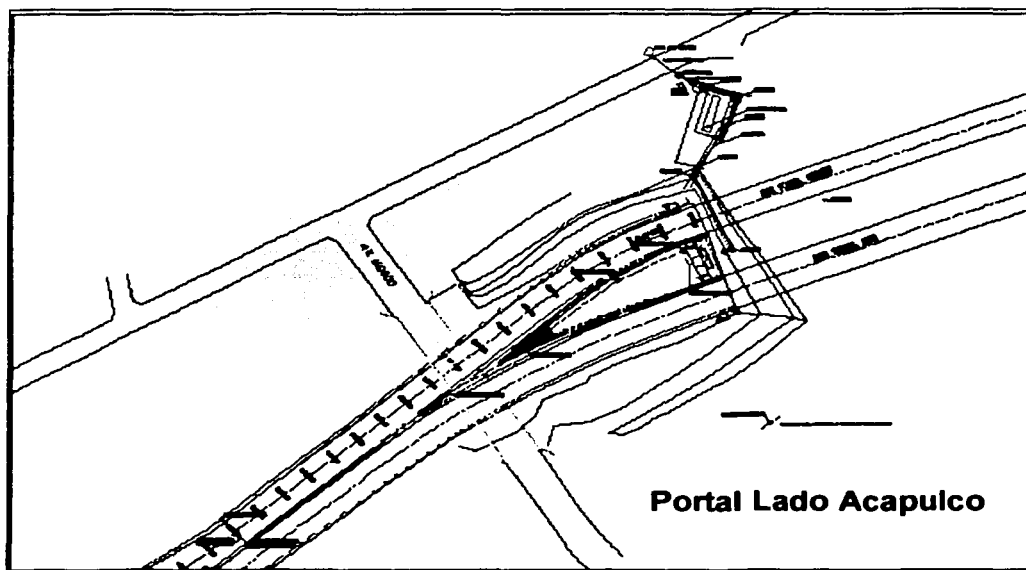


Figura VI.3 Acometida lado Acapulco.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

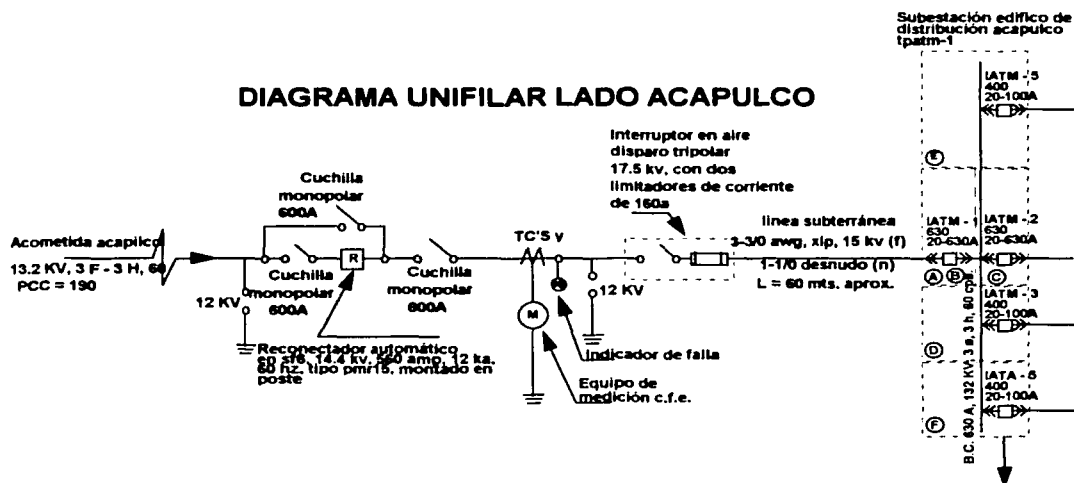


Figura VI.4 Diagrama unifilar lado Acapulco

La tensión es de 13, 200 volts. por parte de Comisión Federal de Electricidad, teniéndose una potencia de corto circuito disponible en el lado Acapulco de 182 MVA (3 fases) y un factor de potencia (f.p.) de 0.94.

Los detalles de instalación y las características de los materiales que se utilizaron en la Acometida lado Acapulco son los mismos que se utilizaron en la Acometida lado México.

VI.2. Nicho eléctrico no. 1.

El Nicho Eléctrico no. 1, se encuentra ubicado dentro del túnel en el cadenamamiento 926+175 y esta construido en forma semicircular con un radio $R=3.19$ mts y una longitud de 13.50 mts, las paredes tienen un recubrimiento de 8 cms de espesor de concreto lanzado, también tiene una losa de concreto armado de 15 cms de espesor terminado pulido y endurecedor metálico preparado.

El Nicho contempla dos áreas: El área de subestación y el área para equipos de baja tensión.

Estas áreas están divididas por un muro de tabique de barro rojo recocido con aplanado cemento-arena, acabado pulido.

El tendido de cables se hizo sobre charolas metálicas sostenidas en el techo y sobre trincheras de 0.45 mts de ancho por 0.50 mts de alto, quedando cubiertas con rejillas a base de soleras metálicas y sobre un marco metálico.

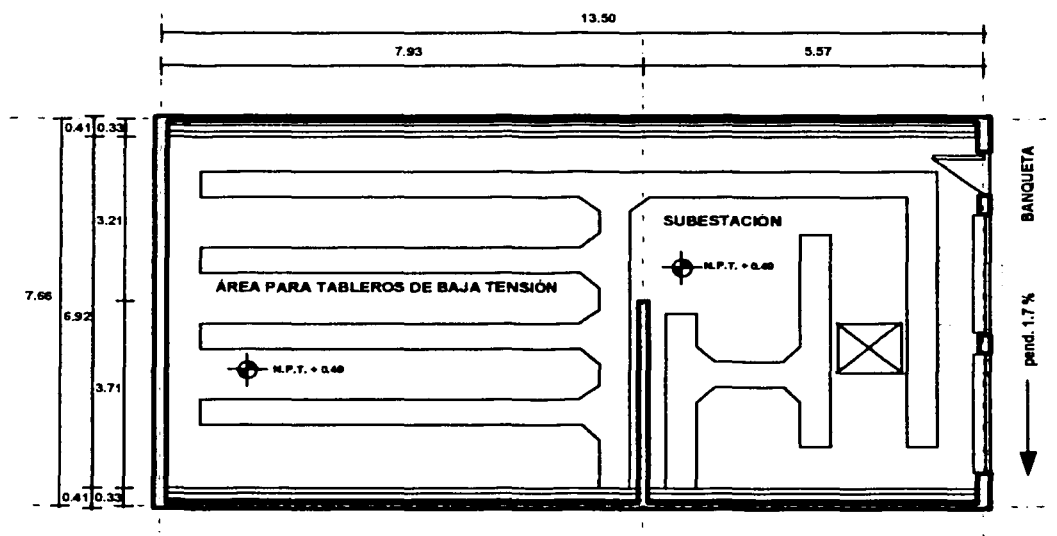


Figura VI.4 Planta del Nicho eléctrico no. 1.

La fachada del nicho consta de una puerta metálica y una cortina metálica tubular de acero de 5/8" ϕ acabado en pintura de esmalte MATE C.S.M.; en la parte superior de la fachada se encuentra instalado un extractor de aire con ductos repartidos en todo el nicho para expulsar el polvo y humos que entran y se almacenan en esta área y que pueden afectar el funcionamiento de los equipos instalados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

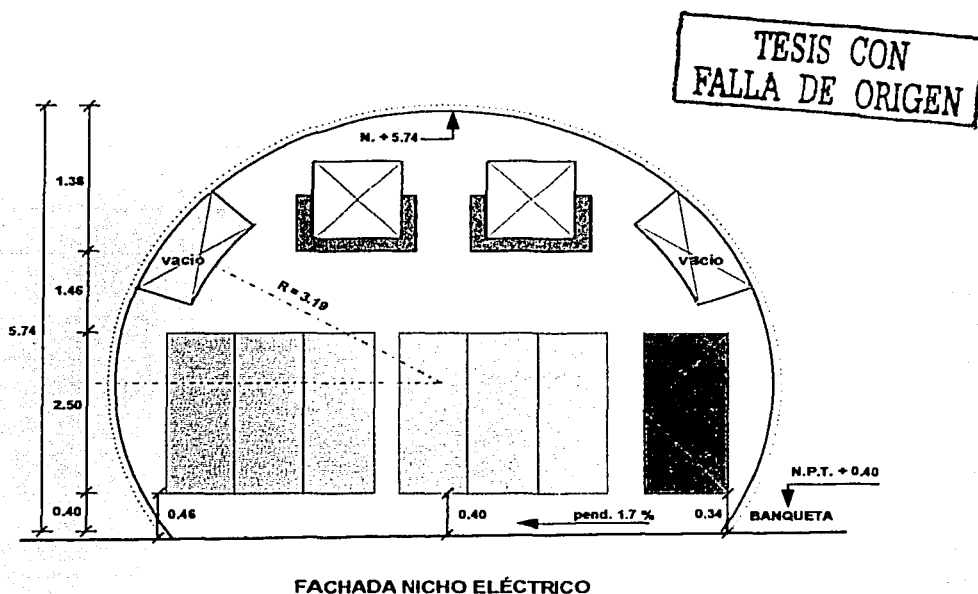


Figura VI.6 Fachada del nicho eléctrico no. 1

VI.3. Nicho eléctrico no. 2.

El Nicho Eléctrico no. 2 se encuentra ubicado dentro del túnel, en el cadenamiento 927+160 y esta construido de la misma forma que el Nicho Eléctrico no. 1.

Se ha considerado un enlace eléctrico en 13.2 KV que une las subestaciones N.E. 1.01 a N.E. 1.02 en el interior del túnel, con la intención de que un solo alimentador, bajo condiciones extremas de emergencia, pueda suministrar energía eléctrica a la totalidad del sistema propuesto, ya sea por el lado México o por el lado Acapulco, según se requiera.

VI.4. Sistema de soporte de canalizaciones eléctricas en el túnel (Charolas de alumbrado).

La interconexión eléctrica entre las subestaciones E.D.M. a N.E. 1.01, E.D.A. a N.E. 1.02, así como el enlace entre los nichos eléctricos N.E. 1.01, N.E. 1.02, se hizo mediante el empleo de charolas para cables.

Las charolas tienen rigidez y resistencia adecuada para proporcionar el soporte apropiado para todo el cableado que contengan. El arreglo de las charolas para cables fue de la siguiente forma:

a) Se emplearon dos caminos en interior del túnel, uno al lado derecho y otro al lado izquierdo, con los siguientes arreglos (visto desde el sentido del cadenamiento, de México a Acapulco).

LADO IZQUIERDO

- Charola A: Cables MV de media tensión 13.2 KV.
- Charola B: Cables multiconductores de fuerza para motores de ventilación.
- Charola C: Cables multiconductores de alumbrado de interior de túnel, servicio normal.
- Charola D: Cables multiconductores de control y señalización.

LADO DERECHO

- Charola A: Cables multiconductores de fuerza para motores de ventilación y alimentadores generales a 440/254 volts a nichos eléctricos.
- Charola B: Cables multiconductores de alumbrado de interior de túnel, servicio de emergencia y alimentadores a tableros de control localizados en nichos de llamadas de emergencia..
- Charola C: Cables multiconductores de control y señalización.

Se tiene una provisión de una charola para cables en cada lado para uso en reserva.

VI.5. Sistema de ventilación del túnel.

Ventilación natural.

La ventilación tiene la función de diluir hasta una concentración aceptable, a través de suministro de aire fresco los elementos contaminantes que se generan en el túnel. Básicamente se debe discernir entre una ventilación natural y una ventilación mecánica.

La ventilación natural se presenta en cualquier túnel. La misma se genera a razón de pequeñas diferencias de presión entre los portales, debido al efecto pistón de los vehículos y a través del efecto chimenea. Si una ventilación natural es suficiente o no, depende en gran medida de la cantidad del tránsito vehicular, de la longitud del túnel y de las condiciones meteorológicas. En caso de un volumen reducido de tránsito de 100 o 200 vehículos por día hasta un túnel muy largo de 5 o más kilómetros de longitud se puede prescindir de una ventilación mecanizada. Cuando el volumen de tránsito es tan reducido, la mayor parte del tiempo se encuentran en el túnel sólo uno o dos vehículos. Habrá también momentos prolongados sin que en el túnel se encuentren vehículos. La producción de contaminantes es pequeña, de manera que la ventilación natural es suficiente para la dilución de los mismos.

En caso de no ser suficiente la ventilación natural para la dilución de los contaminantes, se deberá instalar una ventilación mecanizada.

Ventilación Longitudinal.

En un sistema de ventilación longitudinal, el aire fresco es suministrado en dirección longitudinal hacia el túnel. Por ello este tipo de ventilación se denomina ventilación longitudinal. La ventilación longitudinal es el tipo de sistema más barato posible, pues casi no demanda instalaciones civiles auxiliares.

Ventilación Longitudinal con Jet Fans.

Para la creación de la corriente de aire longitudinal, se instalaron en la zona del túnel, ventiladores jet fans.

Los ventiladores aspiran el aire y lo impulsan con velocidad elevada fuera del túnel. El impulso de las paletas se transmite hacia el aire del túnel. Los ventiladores generalmente son del tipo reversible a manera de permitir la marcha reversible. Esto da lugar a la posibilidad de generar corriente de aire en uno u otro sentido. Así podrá ser apoyada la ventilación longitudinal, pues es posible dirigir los ventiladores en el mismo sentido. La concentración de contaminantes aumenta en forma lineal. El límite de aplicación de este sistema se alcanza en el momento en que la velocidad de la corriente longitudinal de aire es mayor que 10 a 11 m/seg. En el caso en que las velocidades sean aún mayores, existe el peligro que personas que abandonen su vehículo se vean sometidas a un gran empuje de aire.

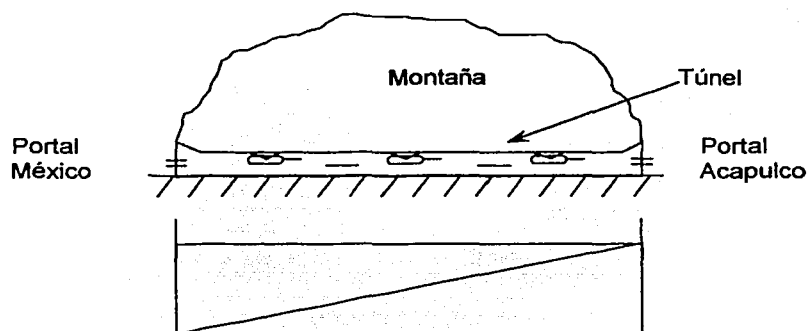


Figura VI.7 Croquis de ventilación longitudinal con jet fans.

Sistema de ventilación escogido (El efecto de pistón y el efecto de autoventilación).

Cada vehículo que circula por el túnel, tiene el efecto de un pistón en un ducto largo. Por delante del vehículo se produce una sobrepresión y por atrás se genera una reducción de la presión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

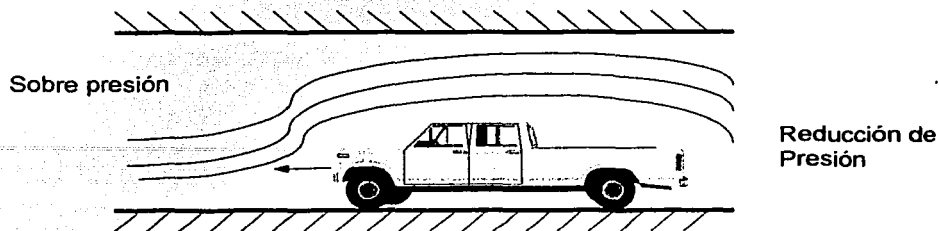


Figura VI.8 Croquis del efecto pistón

De esta manera se produce una fuerza que pone en movimiento el aire del túnel. La dimensión de la corriente de aire que se genera de este modo, depende en gran medida del tipo de vehículo (vehículo de pasajeros o camión), de la velocidad del tránsito, de características geométricas (vehículo-túnel) y de las condiciones aerodinámicas del túnel, respectivamente del vehículo.

En caso de existir tránsito bidireccional en el túnel, los vehículos que circulan en un sentido producen un impulso en una dirección, pero los que circulan en sentido contrario lo contrarrestan. El impulso total se contrarresta totalmente en caso de tránsito uniforme.

En caso de tránsito asimétrico o no estacionario, se puede generar por corto plazo en una u otra dirección un impulso.

Con base en el estudio realizado para ICA Ingeniería sobre las alternativas del sistema de ventilación del Túnel Acapulco, se determinó que la ventilación longitudinal con ventiladores axiales (Jet-Fans), tiene un menor costo que un sistema auxiliado con lumbreras. Considerando que el túnel no tuviese recubrimiento alguno y estimando una rugosidad absoluta de 30 cm que corresponde a un factor de fricción de 0.060, se determinó que con 36 ventiladores se obtendrían condiciones satisfactorias en los niveles de concentración de monóxido de carbono (CO), para las condiciones de operación esperadas.

Subsecuentemente se decidió el revestimiento del túnel, lo que modifica las condiciones aerodinámicas puesto que el esfuerzo cortante en la pared se ve reducido. Con una rugosidad absoluta de 3 mm, el coeficiente de fricción resultante es 0.015 y en consecuencia se reduce el número de ventiladores requerido para mantener las mismas condiciones de calidad del aire.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El túnel es equipado con 24 ventiladores bidireccionales tipo "Jet Fan" distribuidos en grupos de 6 y tiene como característica de operación que desde varios medios (sitios), se puede realizar el control de los ventiladores: dentro del túnel y al pie de cada par de ventiladores se encuentra un tablero denominado panel local, en donde a través de un selector y de botones se pueden operar los dos ventiladores. Dentro del Edificio de Distribución lado Acapulco, Nichos Eléctricos no. 1 y no. 2, así como en el Edificio de Distribución lado México se encuentran los tableros correspondientes a los arrancadores de los motores de los ventiladores en grupos, en cada Edificio o Nicho se pueden operar hasta 6 ventiladores a través de selectores y botones. Otro medio de control son los paneles de operación de emergencia ubicados en el Edificio de Distribución lado Acapulco y en el Edificio de Distribución lado México, donde a través de una pantalla sensible al tacto se pueden operar hasta 12 ventiladores. Por último desde el Centro de Control se pueden operar los 24 ventiladores.

Los 24 ventiladores bidireccionales tipo "Jet Fan" son accionados por motores eléctricos de 60 HP (45 KW) c/u, 4 polos, 1770 R.P.M., eficiencia de 92.4%, factor de potencia 0.85, reversibles y arranque a tensión plena en ambos sentidos.

Dependiendo de las condiciones interiores de contaminación, funcionan mediante control en pares, es decir, entran en operación 2, 4 o 6 ventiladores por grupo (4 grupos), hasta estabilizar las características requeridas de la calidad del aire interior.

Ventilación en caso de incendio y de catástrofe.

Como lo demuestran investigaciones realizadas en distintos países, los casos de incendio y de catástrofe en un túnel no son más frecuentes que en calles. Esto está seguramente relacionado con el hecho que los usuarios conducen con más precaución que en secciones abiertas. No por ello sin embargo se pueden descartar accidentes o incendios en los túneles.

En caso de un incendio o de un accidente deben ser diferenciados dos casos:

- Tránsito unidireccional en dos tubos separados.
- Tránsito bidireccional en un tubo.

Tránsito unidireccional:

Un túnel con dos tubos, que es circulado con tránsito unidireccional brinda una seguridad muy elevada para los usuarios en el caso de un incendio. No es posible tratar a todos los casos de incendio, pues los mismos se pueden desarrollar de muy distinta manera. La decisión final sobre como se ha de manejar a la ventilación, siempre depende del tipo de ventilación, de las características locales y del transcurso del incendio. Aquí solamente se hará referencia a algunos aspectos importantes.

En caso de producirse un incendio con circulación fluida de tránsito unidireccional, los vehículos que se encuentran por delante del fuego (visto en dirección del tránsito) podrán abandonar el túnel sin problemas, la sección del túnel que se encuentra por delante del fuego en poco tiempo queda vacía. Los vehículos que se encuentran por detrás de la zona del accidente deberán detenerse. Como el impulso generado por los vehículos origina una corriente longitudinal que se aleja de los vehículos detenidos, los mismos no serán afectados por el humo.

La posibilidad de abandonar rápidamente la zona de la catástrofe es de gran importancia para los usuarios del nivel. Por ello entre ambos tubos del túnel deben ser dispuestas galerías de comunicación, de manera de permitirle a los usuarios en caso de peligro una rápida huida al otro túnel.

Tránsito bidireccional:

En caso de un túnel con un solo tubo que es circulado con tránsito bidireccional, las condiciones no son tan claras. Si se origina un gran incendio los vehículos que se están alejando del lugar del fuego abandonarán en general sin dificultades el túnel. Aquellos que se dirigen hacia el fuego deberán detenerse de manera que de ambos lados del fuego habrá vehículos detenidos. La forma en que en un túnel de tránsito bidireccional se maneja la ventilación en caso de incendio, depende en gran medida del tipo de ventilación.

Para el caso de ventilación longitudinal con Jet Fans, la velocidad longitudinal del aire se deberá reducir a un valor de ~ 1 m/seg. De este modo la estratificación térmica del humo (gases calientes arriba, aire libre de humo cerca del piso), puede ser mantenida por un cierto lapso de tiempo. Durante este tiempo los usuarios en peligro deben huir de la zona del accidente. Después los gases calientes se enfrían y ocupan la sección completa del túnel.

En caso de existir una ventilación semitransversal reversible, se deberá cambiar la ventilación de su posición de suministro de aire fresco a la de aspiración de humo. Esto sin embargo toma un cierto tiempo, el que dependiendo de las condiciones locales, puede ascender de 5 a 10 minutos. Durante este tiempo de conmutación, el humo puede dispersarse, luego será posible su aspiración por el techo.

En caso de ventilación transversal, este tiempo de conmutación no es necesario, pues existe un canal de extracción de aire contaminado. Inmediatamente después de la detección del incendio, los ventiladores se permutan a la función de máxima aspiración de humo. El tiempo total que transcurre entre la detección del incendio y la extracción del humo es mucho menor que en el caso de ventilación semitransversal, por lo que la posibilidad de dispersión del humo es relativamente baja.

VI.6. Sistema de alumbrado.

Alumbrado dentro del Túnel.

El objetivo del sistema de iluminación para el Túnel Interurbano Acapulco, es proporcionar una buena visibilidad, por lo que para la realización del diseño, se consideraron las características del túnel en sí y su área adjunta. Muchos factores contribuyen a disminuir la visibilidad, tales como:

- a) Características de aproximación de la vialidad.
- b) Características de la superficie rodante del túnel, paredes y techo.
- c) Características del área circundante en la entrada del túnel.
- d) Condiciones atmosféricas y ambientales.
- e) Características de operación del tráfico.
- f) Orientación del túnel con respecto al sol.

Requisitos durante el día.

- a) Zona de entrada o umbral.

El conductor que se acerca a la entrada del túnel durante el día, ha de adaptar sus ojos de un alto nivel de luminancia que prevalece en el exterior a la luminancia del interior. Por consiguiente, como

el túnel es largo, el nivel de luminancia dentro de él, es mucho más bajo que el exterior y el túnel se presenta como un "hueco negro", con lo que no será visible ningún detalle de su interior.

Para hacer visibles los obstáculos dentro del túnel, hay que aumentar el nivel de luminancia de su entrada, esto es en la zona de umbral. El nivel de luminancia requerido en esta zona, depende de la denominada "luminancia externa de adaptación" el valor máximo de luminancia externa de adaptación que se observa es la que corresponde a una iluminación horizontal de alrededor de 100, 000 luxes y varía las medidas tomadas, entre 3, 000 cd/m² y 8, 000 cd/m².

La luminancia externa de adaptación para el Túnel Interurbano Acapulco, son:

Zona de acceso Portal México: $L = 3,750 \text{ cd/m}^2$.

Zona de acceso Portal Acapulco: $L = 3,250 \text{ cd/m}^2$.

La luminancia necesaria en la zona de entrada, cumple con la recomendación dada por la NOM-001-SEMP-1994, tabla 905-8, la cual de acuerdo al volumen y velocidad del tráfico, recomienda lo siguiente:

En la zona de entrada Portal México: $L = 250 \text{ cd/m}^2$.

En la zona de entrada Portal Acapulco: $L = 227 \text{ cd/m}^2$.

Para:

Volumen vehicular = 86, 400 vehículos/día máximos.

Velocidad = 90 km/hr.

b) Zona de transición.

El conductor que entra en el túnel necesita cierto tiempo para que sus ojos se adapten a un nivel inferior de luminancia. Por consiguiente, es preciso que la transición del nivel más alto al más bajo reinante en el túnel, se haga gradualmente. En este caso, para una transición de 3, 750 cd/m² (luminancia de luz diurna) a 15 cd/m² (luminancia de la zona central del túnel), el periodo en el cual se adapta el ojo humano, es de 12 segundos. Esta disminución de luminancia, se logra incrementando la distancia de espaciamiento y disminuyendo la potencia de las lámparas.

La longitud de la zona de transición, es igual a la distancia mínima de seguridad de frenado.

c) Zona interior.

Después de la zona de transición (o de adaptación), sigue otra zona en la que el nivel de luminancia se mantiene constante. En esta zona, la adaptación no está forzosamente terminada y es necesario disponer en ella de un nivel de luminancia lo suficientemente elevado. Este valor de luminancia es de 5 cd/m², con una uniformidad que no exceda de 3 a 1 del promedio mínimo.

Durante la noche, el alumbrado adicional instalado en las distintas zonas para cubrir las exigencias de la luz diurna, debe de apagarse y la iluminación reducirse en número para lograr una luminancia media de 2.5 cd/m² a lo largo del túnel.

d) Zona de salida.

Durante el día, la salida de un túnel se presenta al conductor que se encuentra dentro, como un agujero brillante, contra el cual los obstáculos son claramente visibles en silueta.

Este efecto de silueta puede acentuarse, dando a las paredes una alta reflectancia.

Puesto que la adaptación de un nivel bajo de luminancia a otro mayor se efectúa rápidamente, las exigencias de la iluminación de la zona de salida, son mucho menos severas que las de la zona de entrada. Hay sin embargo una ventaja al proyectar la iluminación de la salida simétrica, con la de la entrada: se puede usar un solo túnel para el tráfico en ambos sentidos, si el otro está bloqueado por tráfico o mantenimiento.

e) Clasificación del túnel.

De acuerdo a la clasificación de túneles hecha en la NOM-001-SEMP-1994, este túnel se considera un túnel largo, ya que su longitud total es mayor a la distancia mínima de seguridad de frenado.

f) Efecto de parpadeo.

Es un efecto que produce sensaciones molestas, se presenta en el interior del túnel iluminado debido a que el luminario o parte del mismo, se refleja dentro del campo de visión de los

ocupantes de los vehículos. Este efecto depende de la intensidad en candelas de la fuente que incide en los ojos del observador, de la localización de la fuente en relación al campo de visión del conductor y de la frecuencia o relación a la cual la fuente de luz sucesivas aparecen con respecto al desplazamiento.

La recomendación de la NOM-001-SEMP-1994, es de que a una velocidad de 90 km/hr, el espaciamiento entre luminarios sea de 1.2 m.

g) Consideraciones para el diseño de iluminación.

Las consideraciones básicas para el diseño de la iluminación del Túnel Interurbano Acapulco, son las siguientes:

1) Características del volumen y velocidad del tráfico:

Volumen = 86,400 veh/día máximos.

Velocidad = 90 km/hr.

2) Luminancia externa:

La luminancia externa del túnel en las zonas de acceso son:

Zona de acceso Portal México: es de 3,750 cd/m².

Zona de acceso Portal Acapulco: es de 3,250 cd/m².

Valores dados por la C.I.E.

3) Luminancia del túnel:

Recomendaciones de luminancia:

Zona de entrada Portal México: es de 250 cd/m².

Zona de entrada Portal Acapulco: es de 227 cd/m². *

* Este valor es menor que en la zona del Portal México, debido a que la luminancia externa del Portal Acapulco es menor.

Estos valores disminuirán hasta 100 cd/m² desde los 105 mts., hasta el inicio de la zona de transición y dependerán de la curva dada por la C.I.E.

PORTAL MÉXICO.

Zona de Entrada o umbral (ZE):

La zona de umbral = Distancia mínima de seguridad de frenado menos 15 mts.
= 187.5 - 15 = 172.5 mts.

Dato obtenido de la NOM-001-SEMP-1994, para una velocidad de 90 km/hr.

Zona de Transición (ZT):

ZT = 187.5 mts.

Según NOM-001-SEMP-1994, para una velocidad de 90 km/hr y pendiente de 1.7 %.

PORTAL ACAPULCO:

Zona de entrada o umbral (ZE):

La zona de umbral = 172.5 mts.

Zona de Transición (ZT):

ZT = 177.9 mts para una velocidad de 90 km/hr y pendiente de 1.7 %.

Requisitos durante la noche.

En cuanto a los requerimientos del alumbrado durante las horas de la noche, la situación es inversa a la de las horas del día. El nivel de luminancia fuera del túnel, es entonces menor que el del centro y el problema de adaptación al agujero negro, aparece en la salida. Para minimizar este efecto y no exista este problema, la relación entre la luminancia dentro del túnel y fuera de él, debe ser menor de 3 a 1. Para lograr esta condición, el alumbrado adicional instalado en las distintas

zonas para cubrir las exigencias de la luz diurna, debe apagarse y la iluminación reducirse en número, para lograr una luminancia media de 2.5 cd/m², en toda la longitud del túnel.

Consideraciones generales.

Factores de diseño del área de aproximación y entrada del túnel:

La cantidad y la longitud a la cual la luz del día alcanza a penetrar en el túnel, depende en gran medida de la orientación del mismo y el sistema de iluminación del túnel, debe estar acorde con esta orientación, ya que ésta se determina en base en otros criterios.

Para aumentar la penetración y cantidad de luz del día al túnel, se debe incrementar en lo posible, la altura y ancho en la entrada del túnel, esto representa una reducción de las necesidades de iluminación artificial.

Optimización de la visibilidad en el interior del túnel:

Dentro del túnel, la vialidad y las paredes tienen un alto grado de reflectancia de al menos un 50% inicialmente (debe aumentarse artificialmente el brillo de la vialidad).

El acabado de las paredes son fáciles de limpiar, y se marca una pequeña diferencia de luminancia o de color entre la superficie de la vialidad y las paredes, para una buena orientación visual.

Equipo de alumbrado.

Lámparas y luminarias:

Se instalaron dos hileras continuas de lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) de 150 W, 440 volts, 2F-2H, 60 Hz, a todo lo largo del túnel, para la iluminación interior. Las luminarias se instalaron por pares, es decir de dos en dos, espaciadas longitudinalmente a cada 20 mts.

Para el alumbrado adicional que se precisa en las zonas del umbral y transición, se instalaron lámparas de vapor de sodio de alta presión de 400 W, 250 W y 150 W, 440 volts, 2F-2H, 60 Hz, en forma que presentan dos hileras continuas de luminarias, ubicadas por pares, es decir de dos en dos, espaciadas longitudinalmente como se muestra en la siguiente tabla:

PORTAL	DISTANCIA ENTRE LUMINARIOS (mts).		
	ENTRADA	TRANSICIÓN	INTERIOR
MÉXICO	De 1.20 a 2.66	De 2.70 a 6.38	a cada 20
ACAPULCO	De 1.35 a 2.90	De 2.95 a 7.20	a cada 20

La ventaja de instalar lámparas de vapor de sodio alta presión, es por su eficiencia notablemente elevada, por económicas, ya que por su mayor flujo luminoso, se precisa un número menor de luminarias, además de que reproduce una distribución de energía espectral continua, resaltando los colores: rojo, naranja, amarillo y verde, que son colores críticos en la señalización de vialidades.

Equipo de regulación.

Puesto que el alumbrado del túnel ha sido diseñado para ser compatible con un nivel máximo de iluminancia exterior (alrededor de 100, 000 luxes), es necesario tanto del punto de vista de la economía, como del confort visual, que los niveles de iluminación dentro del túnel queden automáticamente ajustados a las variaciones de iluminación exterior.

Existen dos métodos para conseguirlo:

- a). Como respuesta a las modificaciones de la iluminancia horizontal del exterior.
- b). Como respuesta a las modificaciones de la iluminancia del exterior.

El segundo método es preferible, porque asegura un ajuste correcto a las condiciones variables de la superficie de la calzada. Este método necesita la colocación de un fotómetro a una distancia de unos 100 mts de cada entrada y dirigido hacia ella. Los fotómetros miden la luminancia que prevalece en la superficie de la calzada, frente a la entrada del túnel, en sus alrededores y en el cielo. La señal producida por los fotómetros sirve para ajustar automáticamente los niveles de alumbrado dentro del túnel a los valores requeridos.

Control de iluminación.

El sistema de iluminación se controla en un número de etapas que dependen de la luminancia en las zonas de acceso.

Para condiciones diurnas:

El encendido de los luminarios al amanecer, que es cuando se incrementa gradualmente el nivel de iluminación afuera del túnel, se realiza aumentando los porcentajes de iluminación, de acuerdo a las siguientes tablas:

a) Ajuste de niveles de iluminación Portal México:

ZONA DE ENTRADA Y TRANSICION			
PORCENTAJES DE ILUMINACIÓN	A) NIVEL DE LUMINANCIA DENTRO DEL TÚNEL ($L=cd/m^2$)	D) NIVEL DE ILUMINACIÓN FUERA DEL TÚNEL ($E=LUXES$)	D) NIVEL DE LUMINANCIA FUERA DEL TÚNEL ($L=cd/m^2$)
0 %	B) 4.65	C)	
25 %	69.36	5, 000	350
50 %	137.41	10, 000	700
75 %	197.0	17, 000	1, 190
100 %	259.65	25, 000	1, 750

- A) Los valores de luminancia indicados, son en los primeros 90 mts de la zona de entrada.
- B) En condiciones nocturnas, este valor de luminancia se presenta a todo lo largo del túnel, debido a la iluminación interior al 50% y nunca debe apagarse.
- C) En condición nocturna, el nivel de luminancia fuera del túnel, esta dado por el alumbrado público.
- D) Estos valores, son a los que se ajusta el fotómetro, para encender o apagar circuitos.

b) Ajuste de niveles de iluminación Portal Acapulco:

ZONA DE ENTRADA Y TRANSICION			
PORCENTAJES DE ILUMINACIÓN	A) NIVEL DE LUMINANCIA DENTRO DEL TÚNEL ($L=cd/m^2$)	D) NIVEL DE ILUMINACIÓN MÍNIMO FUERA DEL TÚNEL ($E=LUXES$)	D) NIVEL DE LUMINANCIA MÍNIMO FUERA DEL TÚNEL ($L=cd/m^2$)
0 %	B) 4.65	C)	
25 %	61.89	3, 500	245
50 %	126.15	8, 000	560
75 %	189.09	15, 000	1, 050
100 %	246.39	23, 000	1, 610

c) Ajuste de niveles de iluminación interior:

PORCENTAJES DE ILUMINACIÓN	NIVEL DE LUMINANCIA DENTRO DEL TÚNEL (L=CD/M ²)	C) NIVEL DE ILUMINACIÓN FUERA DEL TÚNEL (E=LUXES)	C) NIVEL DE LUMINANCIA FUERA DEL TÚNEL (L=CD/M ²)
0 %	ESTA CONDICIÓN NUNCA EXISTIRÁ		
50 %	A) 4.65	B)	
100 %	8.45	500	35

A) En condiciones nocturnas, este valor de luminancia se encuentra a todo lo largo del túnel, debido a la iluminación interior al 50 % y nunca deberá apagarse.

B) En condiciones nocturnas, el nivel de luminancia fuera del túnel, está dado por el alumbrado público.

C) Estos valores son a los que se ajusta el fotómetro, para encender o apagar circuitos.

Esto es, cuando el nivel de iluminación es menor de 500 luxes (35 cd/m²), solo esta encendida el 50 % de la iluminación interior.

Cuando el nivel de iluminación alcanza los 500 luxes (35 cd/m²), se enciende al 100% las luminarias del interior del túnel (ver tabla c).

Portal Acapulco:

La iluminación de entrada y transición del Portal Acapulco, se enciende al 25% de su capacidad, cuando la iluminación exterior alcance un nivel de 3, 500 luxes (245 cd/m²) según tabla "b)".

Al alcanzar la iluminación exterior 8, 000 luxes (560 cd/m²), se debe encender el 50% de los luminarios, según tabla "b)".

Cuando el nivel de iluminación exterior alcance 15 ,000 luxes (1, 050 cd/m²) se debe encender el 75% de los luminarios, según tabla "b)".

El 100% del alumbrado de entrada y transición se producirá cuando el nivel de iluminación exterior alcance 23, 000 luxes (1, 610 cd/m²).

Portal México:

La iluminación de entrada y transición del Portal México, se enciende al 25% de su capacidad, cuando la iluminación exterior alcance un nivel de 5,000 luxes (350 cd/m²), según tabla "a".

Al alcanzar la iluminación exterior 10,000 luxes (700 cd/m²), se debe encender el 50% de los luminarios, según tabla "a".

Cuando el nivel de iluminación exterior alcance los 17,000 luxes (1,190 cd/m²) se debe encender el 75% de los luminarios, según la tabla "a".

El 100% del alumbrado de entrada y transición, se producirá cuando el nivel de iluminación exterior alcance 25,000 luxes (1,750 cd/m²).

Para condiciones nocturnas:

Se debe proceder de tal forma que cuando los niveles de iluminación exteriores disminuyan gradualmente, la iluminación en los portales y en el interior del túnel también disminuyan, esto se logra de forma inversa a la de las condiciones diurnas, esto es disminuyendo del 100% hasta el 0% en la iluminación de entrada y transición y después reduciendo al 50% toda la iluminación interior (nunca apagar toda la iluminación).

El 50% de la iluminación del interior del túnel, es alimentada por el sistema de fuerza ininterrumpible (UPS).

VI.7. Sistema de emergencias.

En el diseño eléctrico de este proyecto, se tienen cargas que requieren servicio de energía sin interrupción de la misma.

Dado que el sistema de iluminación del interior del túnel considera el empleo de fuentes de iluminación del tipo de vapor de sodio de alta presión, en caso de ausencia de energía, aunque esta sea momentánea, ocasiona que el luminario se apague, por lo que requerirá de cierto tiempo para el reencendido del mismo.

Las características requeridas de seguridad para el usuario del túnel, obligan a emplear en el 50% de iluminación de interior un sistema de energía ininterrumpible (UPS), que garantice al menos en ese porcentaje, la iluminación de interior.

Adicional a lo anterior, existen sistemas de control y señalización que requieren el mismo suministro ininterrumpible de energía, por lo que se consideró emplear 4 unidades UPS, una en cada subestación, con tensión de suministro de 440 volts, 3 fases, 4 hilos, 60 cps, empleándose canalizaciones y circuitos independientes, tal como lo requiere la NOM-001-SEMP-1994.

VI.8. Sistema de combate contra fuego.

El sistema de combate contra fuego en el túnel, consiste en la ubicación de 23 Nichos contra incendio dentro del túnel, separados a cada 200 mts, en el lado izquierdo con respecto del sentido México - Acapulco.

Cada nicho contra incendio consta de una válvula de seccionamiento, un hidrante de pie marca Galinsa de 3" $\varnothing$ con una salida siamesa, como se muestra en la siguiente figura:

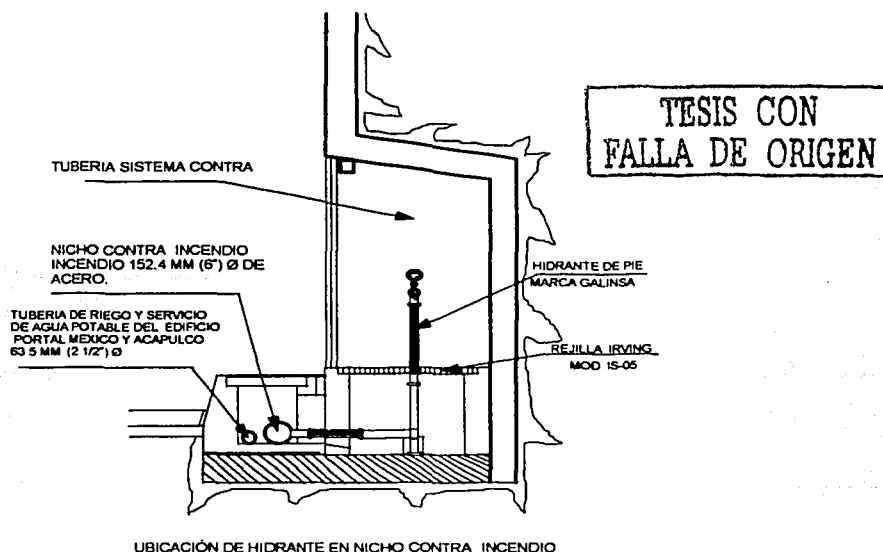


Figura VI.9 Croquis de en nicho contra incendio.

Estos hidrantes están conectados a una tubería de acero de 6" $\varnothing$ que se encuentra tendida a todo lo largo del túnel (banqueta) del lado izquierdo con respecto al sentido México - Acapulco.

La tubería de acero de 6" $\varnothing$ del sistema contra incendio va acompañada de una tubería de 2 ½" $\varnothing$ para el sistema de riego y servicios de agua potable de los Edificios Portal México, Portal Acapulco e Instalaciones de la Caseta de Peaje.

La presión máxima del agua suministrada para el Sistema contra incendio es de 10.55 kg/cm² (150 PSI) y es controlada por una conexión de válvulas reductoras de presión ubicadas en el cadenamiento 927+843 del lado izquierdo, con respecto al sentido México-Acapulco, como se muestra en el siguiente detalle:

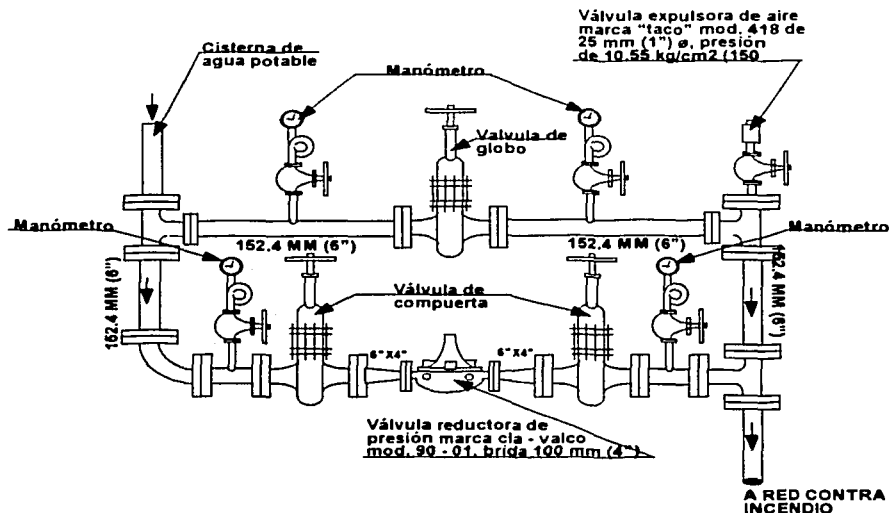


Figura VI.10 Croquis de conexión de válvula reductora de presión.

Las columnas de agua del sistema contra incendio y sistema de riego son bajadas al túnel por una perforación de 45 cms $\varnothing$ y una altura de 117.118 mts, hasta la conexión de válvulas reductoras de presión; esta perforación se localiza en el cadenamiento 927+843.

La distribución de agua se lleva a cabo como se muestra en el siguiente isométrico de alimentación hidráulica a la red contra incendio y riego.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

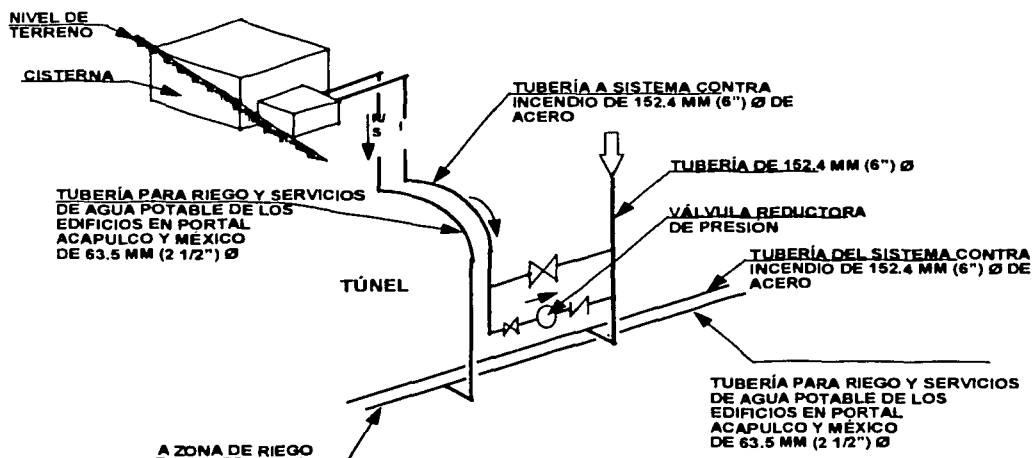


Figura VI.11 Diagrama isométrico de alimentación hidráulica a red contra incendio y riego.

El suministro de agua se realiza por una cisterna que tiene una capacidad de almacenamiento de 197 m³ y un tirante total de 3.0 m, en donde el volumen para el sistema de riego y servicios es de 27 m³ y un tirante de 0.40 mts, para el sistema contra incendio el volumen es de 170 m³ y un tirante de 2.60 m, como se muestra en la siguiente figura:

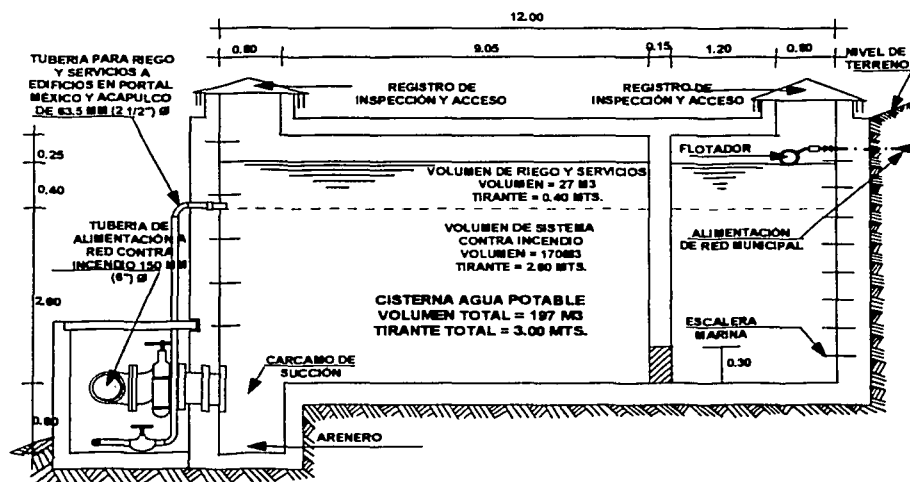


Figura VI.12 Croquis de la cisterna contra incendio y riego.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El suministro de agua para el almacenamiento de la cisterna, se realiza de dos tomas de la red municipal.

En los nichos de gabinetes contra incendio, ubicados en el Portal México y Acapulco se incluye una manguera adicional para cubrir la distancia de 153.50 mts.

VI.9. Sistema de detección de incendios.

En cuanto a seguridad, se tiene un sistema de detección de incendios y este esta representado por detectores de humo y de temperatura, ubicados en 6 zonas a lo largo del túnel y gabinetes instalados en cada nicho de emergencia; en cada uno de estos gabinetes existen dos extintores con sensor de remoción y un sensor de puerta, una palancas de alarma del tipo "Jalar para accionar" y de apertura de puerta en cada edificio, un sensor de puerta por cada nicho contraincendio y cinco sensores de humo en el Centro de Control, que al accionarlas indican en el centro de control la ubicación de la llamada. Asimismo, se instalaron 11 casetas telefónicas para solicitar servicios o hacer llamadas de emergencia hacia el Centro de Control.

En el Edificio de Distribución lado México dentro del gabinete "GCDI01", se tiene un panel para el sistema inteligente de detección de fuego que contiene una alarma audible, la cual se activa cuando existe una falla o alarma en alguno de los detectores de humo del sistema. En el sistema de detección de incendios, se presenta una sección de mandos que interactúan con este panel, cuando se selecciona el primero, se envía a través de PLC's una señal al sistema inteligente para silenciar y reconocer la alarma o falla existente y cuando se selecciona el segundo, se envía una señal para restablecer el sistema de detección de incendio.

En el Centro de Control por medio de un sistema computarizado, se tienen ubicados con mayor detalle, todos los sensores de este sistema correspondiente a los nichos de emergencia, nichos contraincendio y edificios.

Otro sistema de detección de incendios dentro del túnel, es el sistema de detección lineal de alta temperatura y se divide por seis zonas de detección lineal; cuando exista alarma de probable fuego en alguna zona (temperatura > 88 grados centigrados), en el Centro de Control se notifica el kilometraje aproximado de la ubicación de la alta temperatura.

VI.10. Sistema de Detección de Tránsito.

Este sistema contempla en tres secciones la distribución de la señalización dinámica a lo largo del túnel. La primera sección presenta el estado de la señalización dinámica correspondiente a las trabes EDA-1, EDA, trabe 11 y trabe 10, la segunda sección presenta el estado de la señalización dinámica de las trabes 9, 8, 7, 6, 5 y 4, por último, la tercera sección presenta el estado de la señalización dinámica de la trabe 3, 2, 1 y la trabe EDM.

En el Centro de Control, dependiendo del estado de operación del sistema, se presentan los botones y estados de los mandos para la operación en el sentido Acapulco-México, de manera similar se presentan para la operación en el sentido México-Acapulco.

Adicionalmente se presenta información de conteo y velocidades vehiculares proporcionado por los lazos y equipo instalados a la altura de los nichos de emergencia no. 02, 04, 08 y 10, así como la ubicación de las cámaras de video del sistema de C.C.T.V.

Desde el Centro de Control se puede seleccionar un botón de mando para alguna operación sobre el sistema (abrir/cerrar carril, activar/desactivar precaución, abrir/cerrar portal, etc.).

Cuando algún dispositivo de señalización dinámica presenta una falla de comunicación, configuración o de estado físico, desde el Centro de Control se despliega la(s) falla(s) existentes.

En las computadoras HP-9000 que se encuentran en el Centro de Control, existe un programa que trabaja en redundancia, el cual se encarga de realizar en una forma segura y secuenciada la ejecución de los mandos realizados desde cualquier X-Terminal hasta el PLC maestro. Este programa define qué mandos deben presentarse a fin de garantizar la adecuada operación del sistema.

Este sistema tiene las opciones para cambiar el modo de operación de bidireccional a unidireccional en el sentido Acapulco-México o México-Acapulco y permite abrir dos o tres carriles simultáneamente.

Un aspecto de interés en el manejo de este sistema, es la facilidad que proporciona al operador que se encuentra en el Centro de Control para el caso de obstrucciones simples que pueden

presentarse por algún vehículo durante su trayecto en el túnel. Dentro de la lógica del programa del sistema, se analiza el adecuado manejo de la señalización dinámica en función de la ubicación del problema, así como de los carriles que estén abiertos y su sentido. Desde el Centro de Control, el operador proporciona la posición y carril del problema y posteriormente da la pauta al programa para la ejecución de los cambios de señalización. De no existir esta facilidad en el sistema, el operador podría manejar el evento, sólo que los pasos a realizar podrían ser varios y bajo ciertas condiciones de presión, podría aumentar la posibilidad de cometer un error o provocar atrasos.

VI.11. Sistema de Detección de Concentración de Gases.

Desde el Centro de Control se puede observar una vista general de todo el estado de operación de los 24 ventiladores; se presentan las indicaciones de monóxido de carbono "CO" (en partes por millón) y de visibilidad (en coeficiente de partículas suspendidas en m-1), en las entradas al túnel, portales Acapulco y México, así como la magnitud del viento (en metros por segundo) y su dirección en la parte media del túnel. Se muestran todos los medios de control sobre los ventiladores y cuando alguno de ellos en modo local se presenta una falla, vibración alta, una sobrecarga, se determina y controla desde el Centro de Control.

En este sistema, se presentan botones que tienen que ver con los mandos generales disponibles de operación: existe un botón para seleccionar el modo de operación en modo automático, que al seleccionarse abre una pequeña ventana para la confirmación o cancelación del mando, de manera similar se tiene un botón para seleccionar el modo de operación en manual, con su respectiva ventana para la confirmación del mando.

Si el modo de operación está en manual, se pueden utilizar los botones que corresponden con alguno de los cuatro pasos o niveles de ventilación posibles: al seleccionarse alguno de ellos, se despliega una ventana de diálogo y confirmación que solicita además la selección de la dirección en que operan los ventiladores en caso de confirmar el mando.

- El Paso 1: Arranca 8 ventiladores.
- El Paso 2: Arranca otros 4 ventiladores.
- El Paso 3: Arranca otros 4 ventiladores.
- El Paso 4: Arranca los restantes 8 ventiladores.

Los pasos 2, 3 y 4 verifican que los ventiladores correspondientes con el paso anterior se arranquen, cuando el sistema de ventilación opera en automático, el sistema se encarga de accionar los ventiladores en función de las mediciones de monóxido de carbono (CO), visibilidad, magnitud y dirección del aire; se consideran los mismos pasos que en el modo manual. La siguiente tabla muestra los rasgos de operación de los pasos en modo automático.

	Monóxido de carbono (ppm)	Visibilidad x 10^{-3} m^{-1}
PASO 1	$30 < \text{CO} < 60$	$2.5 < \text{VIS} < 5.0$
PASO 2	$60 < \text{CO} < 100$	$5.0 < \text{VIS} < 7.5$
PASO 3	$100 < \text{CO} < 150$	$7.5 < \text{VIS} < 10.0$
PASO 4	$150 < \text{CO} < 200$	$10.0 < \text{VIS} < 14.0$
CIERRE DE TÚNEL	$200 < \text{CO}$	$14.0 < \text{VIS}$

Desde el Centro de Control, se verifica el estado de operación normal o anormal y permite observar si algún panel está en local, si la operación de algún ventilador se está realizando desde los arrancadores.

También despliega los valores provenientes del sensor de monóxido de carbono y visibilidad en la entrada del Portal Acapulco del túnel, así como cuando el sensor presenta falla o requiera servicio.

VI.12. Sistema de C.C.T.V.

El circuito cerrado de televisión se representa por cuatro pantallas chicas de vídeo y una grande, ubicadas en el Centro de Control, donde muestran una vista del túnel con la ubicación y estado de operación de las quince cámaras instaladas en el túnel y tres cámaras asignadas en las instalaciones administrativas de la Caseta de Peaje.

Para este sistema se cuenta con un programa en redundancia que se ejecuta en las computadoras HP-9000, que tiene como objetivo principal realizar automáticamente una asignación predefinida de cámaras en ciertos monitores, cada vez que se presente alguna alarma en el túnel y con esto alerta al operador. Adicionalmente este programa permite la asignación individual de cámaras en monitores a través de la computadora.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si existe falla en una de las cámaras del sistema, se representa en el Centro de Control y se describe la posible falla.

VI.13. Caseta o Módulo de Servicio Emergente.

La finalidad de la construcción del módulo de servicios de emergencia en el Portal México, es la creación de un centro de servicios sanitarios y comestibles para el uso de las personas que transitan por el área de casetas de cobro rumbo al túnel.

Se cuenta con un área para sanitarios de hombres, sanitario de mujeres, una sala de estar, zona de alimentos, zona de refrescos y fuente de ornato.

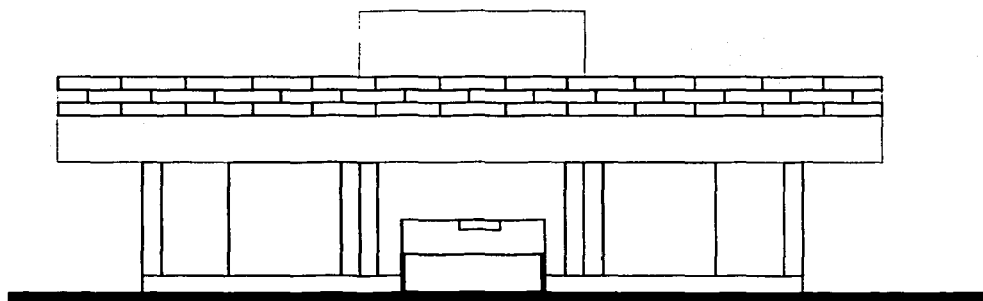


Figura VI.13 Fachada principal del módulo de servicios de emergencia

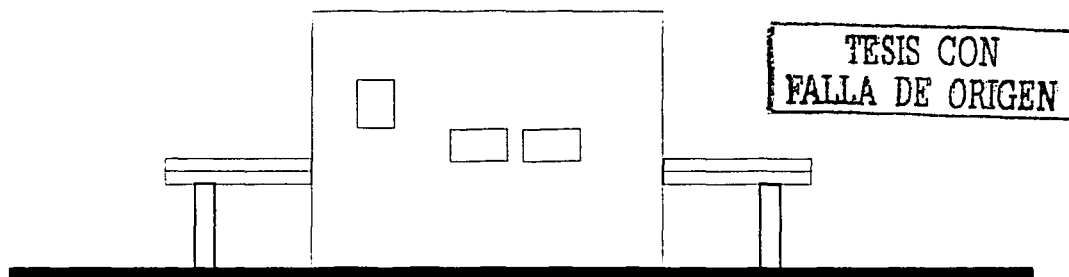


Figura VI.14 Fachada posterior del módulo de servicios de emergencia

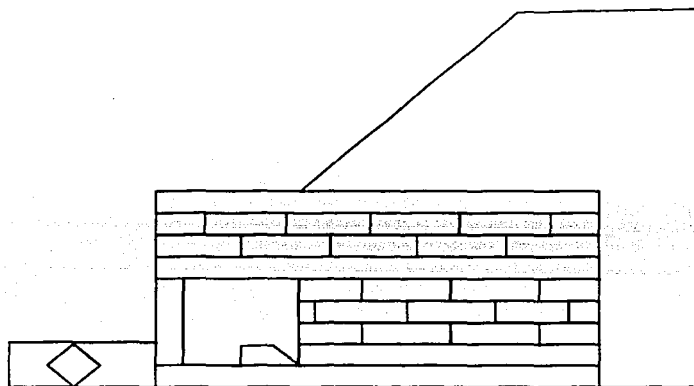


Figura VI.15 Fachada lateral del módulo de servicios de emergencia

Instalación eléctrica.

Para la alimentación de corriente eléctrica al módulo de servicio de emergencia, se hizo de un tablero denominado B, ubicado en el cuarto de máquinas, del cuál se conduce por una trinchera que pasa por debajo de las casetas de cobro y al borde de la carretera hasta el tablero denominado B-1 de tipo NQOD-4124L, con 5 zapatas principales de 100 amp., siendo 4 del calibre número 2 y 1 del número 8 para sistema de tierras.

El circuito número 1 alimenta a 10 lámparas fluorescentes del tipo empotrar de 2x32 W con lámpara de encendido rápido del tipo T-8 a 127 V y dos lámparas incandescentes de 40 W a 127 V de una fase con dos hilos.

El circuito no. 2 se considera como libre.

El circuito no. 3 alimenta a 8 contactos sencillos de 150 W a 127 V de una fase con 2 hilos marca HARROW-HART.

El circuito no. 4 alimenta 2 reflectores subacuáticos de 100 W a 127 V de una fase con 2 hilos marca AMERICAN PRODUCTS.

El circuito no. 5 alimenta una bomba sumergible de 1/8 HP.

El circuito no. 6 alimenta a 13 lámparas de 75 W a 127 V, una fase con 2 hilos.

El circuito no. 7 alimenta a 13 lámparas de 75 W a 127 V, una fase con 2 hilos.

El circuito no. 8 se considera como libre.

El circuito no. 9 y No. 11 alimenta 2 luminarias ZM-2, 175 MT tipo reflector con lámpara de 175 W, 2 fases, 2 hilos a 220V, 60 HZ. en planta de azote.

Del tablero B-1, la canalización hacia la red de contactos va por pisos, los registros y salidas para ellos van a una altura de 40 cm del N.P.T.

La instalación de alumbrado, su canalización va por plafón soportada con fierro, solera, pintura tropicalizada y una abrazadera tipo uña galvanizada.

Para los apagadores, bajan por tuberías a las cajas de conexión ubicadas abajo de la losa, éstos van a una altura de 1.20 m del N.P.T.

Para las lámparas subacuáticas su canalización va por piso y tienen una altura de 25 cm. de nivel del muro terminado.

Por lo que respecta a la bomba sumergible, su canalización va por el piso y la ubicación de ésta esta dentro de un carcamo de 30 x 30 x 30 cm.

El sistema de control y protección térmica se ubica a un costado del tablero de control B-1, esto con la finalidad de concentrar en un punto todo el sistema de protección del módulo de servicios de emergencia.

Instalación hidráulica-sanitaria.

El módulo de servicios de emergencia cuenta con una red de agua potable y ésta alimentación proviene del tanque hidroneumático que se encuentra ubicado en el módulo administrativo, pasando la tubería por la zona de cobro y el arroyo que atraviesa la vialidad.

Esta tubería llega a un tanque de almacenamiento con capacidad de 1, 100 lts y a un calentador eléctrico.

El tinaco tiene la función de almacenamiento de agua fría potable, esto con la finalidad de distribuir ésta a los siguientes muebles sanitarios: dos regaderas, dos lavabos, dos W.C. y una fuente.

El calentador eléctrico tiene la finalidad de almacenar agua caliente potable para distribuir a los siguientes muebles sanitarios: dos regaderas y dos lavabos.

Para la alimentación al tanque de almacenamiento, se utilizó tubería de 13 mm y se controla con una válvula CHECK y flotador.

De la salida del tanque, se tienen 2 bajadas de columna de agua fría, una que va a la distribución del inmueble y la otra al calentador eléctrico.

Lo que respecta a la bajada de columna de agua fría (B.C.A.F.), llega hasta una válvula de compuerta de 38 mm $\varnothing$ saliendo de ésta por un tubo de 32 mm $\varnothing$ llevando derivaciones de 32 mm a 25 mm y de 32 mm a 13 mm para alimentar los siguientes módulos:

La alimentación a regaderas es con tubería de 13 mm, la alimentación al WC es con tubería de 25 mm $\varnothing$, para los lavabos es de 13 mm $\varnothing$ y para la fuente con tubería de 13 mm $\varnothing$.

De la salida del calentador se tiene una tubería de 19 mm $\varnothing$, la cuál lleva una bajada de columna de agua caliente (B.C.A.C.) a la válvula de compuerta de 19 mm $\varnothing$ con reducción de 13 mm $\varnothing$ para el módulo de lavabos y regaderas.

El módulo de servicio emergente cuenta con una bajada de aguas pluviales de 100 mm $\varnothing$ de tubería de PVC con la finalidad de evitar encharcamiento en la azotea.

Instalación sanitaria.

La red sanitaria para el módulo de servicios de emergencia, se instaló con la finalidad de desalojar las aguas negras producidas en servicios sanitarios y las aguas pluviales recolectada en la azotea.

VI.14. Casetas de Peaje.

El objetivo de la construcción de la caseta de peaje, que consistió en instalar diez islas con dos casetas cada una, es para el cobro por el derecho del uso del tránsito del túnel.

Estas casetas, que se localizan en el cadenamiento 925+007.378, dan servicio junto al túnel norte (primera etapa con dos sentidos), como para el túnel sur (construcción y puesta en operación a futuro), cuenta con un sistema que permite saber cuál es el flujo vehicular, así como el de llevar un registro por tipo de vehículo y el número de ejes de estos.

Instalación eléctrica.

Estas casetas son alimentadas del tablero C-1, lo que se refiere al sistema de fuerza, para esto se preparó la canalización con guía galvanizada.

Para el alumbrado de ésta zona, se cuenta con un tablero identificado como "B", que a su vez alimenta al tablero B-2 y B-1, el cuál el tablero B-2 es del tipo Q06L, el cuál alimenta los siguientes circuitos:

Circuito no. 1 : Alimenta 10 luminarias incandescentes de 50 W c/u, 1f, 2h, 127V.

Circuito no. 2 : Alimenta 10 contactos de 150 W, 1f, 2h, 127 V.

Circuito no. 3 : Alimenta 10 luminarias incandescentes de 50W, 1f, 2h, 127V.

Circuito no. 4 : Alimenta 10 contactos de 150 W, 1f, 2h, 127V.

El tablero B-1, que es el que alimenta al módulo de servicios de emergencia, es del tipo NQOD 4124 L con zapatas principales de 100 A , 3f, 4h, 220/ 127V, 60 Hz y alimenta a los siguientes circuitos:

Circuito no. 1 : Alimenta 10 luminarias fluorescentes 2x 32 W , 1f, 2h, 127 V.

Circuito no. 2 : Se considera libre.

Circuito no. 3 : Alimenta 8 contactos para 150 W , 1f, 2h, 127 V.

Circuito no. 4 : Alimenta 2 reflectores subacuáticos de 100W, 1f, 2h, 127 V.

Circuito no. 5 : Alimenta 1 bomba sumergible de 1/8 H .P.

Circuito no. 6 : Alimenta 13 lámparas incandescentes de 75W , 1f, 2h, 127V.

Circuito no. 7 : Alimenta 13 lámparas incandescentes de 75W, 1f, 2h, 127 V.

Circuito no. 8 : Se considera libre.

VI.15. Edificio Administrativo.

El objetivo de la construcción del Edificio Administrativo, es para el control contable y administrativo, a la vez cuenta con servicios de comedor y sanitarios, así como el de un cuarto de

máquinas el cuál se integra un transformador para bajar de 440V a 220 V, para alimentar por medio de tres tableros al Edificio Administrativo y al Centro de Control y Operaciones. Cuenta con un tanque hidroneumático, un cuarto de acceso a valores y un área de recepción.

Instalación eléctrica.

El tablero A alimenta al edificio Administrativo, planta alta y planta baja, en los sistemas de alumbrado y contactos.

En el sistema de fuerzas, en el tablero C ubicado en el cuarto de máquinas, alimenta los siguientes equipos: dos ventiladores extractores de aire, dos unidades paquete, un tablero alternador simultáneo, que se especifica a continuación.

Los ventiladores extractores tienen una capacidad de 1/40 HP (1 pza) y otro de 1/6 HP a una fase, dos hilos, a 127 V.

Las unidades "paquete" son de 9 kw conectadas a 3 fases, 4 hilos a 127 V, la otra unidad "paquete" es de 25.800 kw a 3 fases 4 hilos a 127 V, de éste mismo tablero alimenta a otro tablero denominado C-1, el cuál se describe en zona de casetas de cobro.

El tablero C es de tipo NQOD-430L, lleva un sistema de tierra para todo el conjunto, la cuál aterrizza a todos los equipos como son: tableros, transformadores, planta de emergencia, contactos, etc.

VI.16. Edificio de Control.

La finalidad de la construcción del Centro de Control de Operaciones, es la de operar y controlar el túnel, desde este lugar se supervisa y observar el funcionamiento del transito, se debe indicar el sentido y la velocidad máxima que deberá llevar el flujo vehicular y se debe determinar la iluminación, ventilación y los servicios de emergencia que se requieran, se debe registrar el paso vehicular, monitoreo del túnel, controlar las operaciones realizadas en la zona de casetas de cobro así como la recepción del dinero de casetas por medio de un sistema neumático de traslado del mismo. Cuenta con un cuarto de distribución, ductos para túnel, zona de cobro, cuarto de computadoras y bodega.

El Centro de Control cuenta con un circuito cerrado de televisión, en donde se monitorea en forma continua el interior del túnel a través de cámaras de televisión a color. También opera un equipo de grabación que permite revisar posteriormente los eventos ocurridos dentro del túnel.

Instalación eléctrica:

Del cuarto de máquinas se hizo una canalización hasta el módulo de control para suministrar energía por medio del tablero "A".

El tablero "A" alimenta al alumbrado y contactos de la planta alta de los circuitos "A"-11, "A"-13 y "A"-19. Para la planta baja se tienen dos tableros alimentadores los cuales son alimentados de la siguiente forma:

El tablero A-1 es del tablero A y el tablero UPS es del tablero general ubicado en el cuarto de máquinas.

Por lo que se refiere al tablero A-1, alimenta el alumbrado y contactos en servicio normal de la planta baja, y el tablero UPS alimenta a un UPS y éste a su vez alimenta a los contactos en la planta baja en corriente regulada, la cuál tiene espacio para alimentar la red de contactos de planta baja en el edificio administrativo.

El circuito A-1 alimenta el sistema de alumbrado de planta baja y del mismo tablero alimenta al circuito 2 de contactos normales.

Para el sistema de tierras del Centro de Control de Operaciones se llevan dos conexiones en forma de delta para separar del sistema de fuerzas al sistema de control.



194A

CAPÍTULO VII.

CAPÍTULO VII.

COMENTARIOS.

El Túnel Acapulco puede considerarse y ser una parte integral de la vía rápida y mas corta al Puerto de Acapulco, es decir la ruta llamada Autopista del Sol – Túnel Acapulco, que contribuyen a la economía nacional impulsando el desarrollo del sur del país y facilitando proveer de bienes y servicios a esa parte de México; y desde el punto de vista local contribuye al desarrollo del renglón turismo y a la facilidad de rapidez de transporte y traslado, de los habitantes del llamado el "Otro Acapulco", que es donde habita la gente que da servicios y trabaja en el Acapulco Turístico y Comercial, ayudando al desenvolvimiento de su propio entorno.

Desde el punto de vista calidad en el Túnel Acapulco, se piensa que su objetivo se cumplió porque se implanto un sistema de aseguramiento de calidad ISO 9001, que comprende el diseño, la planeación, la construcción y la operación del proyecto supervisado por la empresa Bureau Veritas S. A. de C. V., y no solo eso, sino que además el Túnel Acapulco fue Certificado por el mismo organismo, como un Proyecto realizado y en operación.

CONCLUSIONES

El Túnel Acapulco ha dejado en el ámbito de la construcción, una grata y valiosa experiencia técnica a los profesionales del país, pues ha mostrado que los mexicanos podemos realizar grandes y complicadas obras de este tipo, para beneficio de los usuarios nacionales y extranjeros, comerciantes, trabajadores y turistas que desean rapidez, facilidad y seguridad para trasladarse de un sitio a otro.

También ha dejado la obra del Túnel Acapulco una entera satisfacción al ver realizada una obra tan sui generis en nuestro país, por ser la primera de esta naturaleza, compleja y completa, al poder prestar un servicio necesario a la población de la localidad con buena seguridad y facilidad, al estar dotado de todos los sistemas que le integran y distinguen, respecto a otras vías similares en México y toda Latinoamérica, como la numero uno en su clase, hasta hoy y con la esperanza que como esta obra se construyan muchas otras por los Profesionales Mexicanos.



BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Manual del Ingeniero Civil
Frederick S. Merritt
Editorial Mc. Graw-Hill
Traducción de la 2ª Edición en Inglés 1989.
- 2.- Luis Vieitez Uteza
Towards and New Words in Tunnelling Vol I
Edit. A.A. Baikema/Rotterdam/Brookfield/1992
ISBN 90 54 10 05 16
440p Rotterdam 1992
- 3.- 1er Congreso de Mexicano de Ingenieria de Tuneles
y Obras Subterraneas
Amitos 464p Mexico 1995.
- 4.- Manual de Explosivos de Dupont S.A. de C.V.
Edición 175 de Aniversario.
- 5.- Tecnica moderna de Voladuras de Rocas
A.C. Hlf Langerfors y B.Kinlstrom
Edición 1971
- 6.- Seminario sobre uso y manejo de Explosivos de
ICI.
- 7.- Estudios del Area de influencia de Voladuras en
la Obra B-401TA del Tunel Interurbano Acapulco.
De, Dr. Javier Avilez Lopez y Dr. Venancio Trueva Lopez
C.I.C.E Morelos A.C.
- 8.- Procedimientos de Construcción Pesada, Concreto

de la U.N.A.M.

Ing. Rafael Aburto Valdes.

1980.