

9
lej



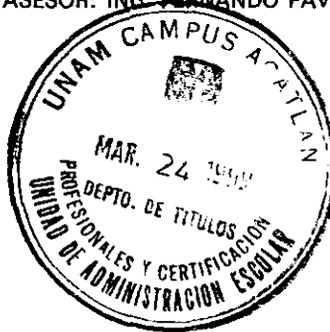
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN

"CONSTRUCCION DEL NUEVO ACCESO EN TUNEL
AL PUERTO DE ACAPULCO"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
MOISES LOPEZ SOBREVILLA

ASESOR: ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA



MARZO DE 1999.

273683

TESIS CON
ALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

SR. MOISÉS LÓPEZ SOBREVILLA.
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.
P R E S E N T E .

En atención a su solicitud presentada con fecha de 17 de octubre de 1996, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO EN TÚNEL AL PUERTO DE ACAPULCO"

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES SOBRE OBRAS SUBTERRÁNEAS.
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.
3. IMPACTO AMBIENTAL .
- 4.- GEOLOGÍA.
5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.
6. SISTEMAS DE SEGURIDAD EN EL TÚNEL EN OPERACIÓN

CONCLUSIONES.

Asimismo fue designado como asesor de tesis el ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Acatlán Edo. de México a 12 de marzo de 1999.

Jefe del Programa

Ing. Enrique del Castillo Fragoso

REA

Dedicatorias:

En memoria a mi abuelita (ÿ) amada (Demétria Sobrevilla),
quién siempre me apoyó y procuró hasta el último día de su vida

A mis padres

Rafacla Sobrevilla y Moisés López Ruiz

Por haberme dado el ser, por su manera empírica
pero al fin y al cabo eficaz de educarme y de valorar
a las personas como tales, por sus valiosos consejos,
por saber formar hombres de bien, pero sobre todo
por haberme dado la oportunidad de ser unprofesionista
en la vida, que es lo más grande que me pueden dejar
como herencia.

A mis hermanos con cariño afecto y admiración:

Alejandro:

Por que me motivaste alentar esfuerzos y a seguir adelante

Gabriel

Por tu gran apoyo y estímulo brindado incondicionalmente

Jorge

Por tu cariño y confianza depositados en mí.

Roberto

Por ser mi compañero, un gran hermano y motivación para mí.

A Patricia :

Por que nunca perdió la fe en mí,
porque con su apoyo y convivencia
alentó mis esfuerzos.

A mis amigos

Con quienes disfrute cada uno
de los momentos de este logro

A mi gran amiga Claudia

Por que después de haber compartido infinitas cosas durante
nuestra adolescencia, nuevamente comparto este logro

Marzo de 1999

A la Universidad Nacional Autónoma de México:

A esta gran institución que me permitió ser parte de ella, por haberme dado la gran oportunidad de ser uno de tantos profesionistas que orgullosamente pondré en alto su nombre.

A la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán:

Por ofrecer todos los medios, para obtener una formación profesional y a todos mis profesores, a ellos que con su dedicación y apoyo lograron de mí un profesionista.

A mis sinodales:

Quienes pusieron su más amplio esmero y dedicación para revisar este trabajo.

Al Ing. Fernando Favela Lozoya.
Al Ing. Enrique del Castillo Fragoso.
Al Ing. Jorge Uriarte García.
Al Ing. Manuel Gómez Gutiérrez.
Al Ing. Rubén Felipe Montes Trejo

Doy mi más sincero agradecimiento por su apoyo y las facilidades para la elaboración de este trabajo a:

A Ingenieros Civiles Asociados por las facilidades otorgadas para realizar esta tesis.

Al Ing. Juan J. Schmitter Martín del Campo:

Por su apreciable ayuda y buena disposición.

Al Ing. Roberto Ayala Muñiz:

Por sus conocimientos e información proporcionada para la realización de esta tesis.

Al Ing. Margarito Contreras :

Por la valiosa información de campo para elaborar este trabajo.

Al Ing. Fernando Favela Lozoya :

A mi asesor, por todas las facilidades brindadas para asistir al túnel de Acapulco, congresos, cursos y dedicación en el tema de tesis.

Marzo de 1999.

Al Ing. Jorge Uriarte García:

El agradecimiento invaluable por ofrecerme todos los medios para ser un profesionalista, por sus consejos y atenciones prestadas hasta la culminación de este trabajo de tesis

Al Ing. Manuel Siliceo Ramírez:

Agradezco infinitamente, quién me brindó su apoyo, esfuerzo, tiempo, amistad y dedicación para realizar este trabajo de tesis.

Marzo de 1999

Construcción del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco

Índice

	Página
Introducción.	1
Capítulo 1	3
1 Generalidades sobre obras subterráneas.	4
1.1 Historia de los túneles.	4
1.1.1 La caverna y el hombre primitivo.	5
1.2 La minería en épocas remotas.	5
1.3 Primeros túneles de servicio.	5
1.4 Túneles en la Edad Media.	6
1.5 Era Moderna.	7
1.6 Desarrollo de túneles en México.	8
1.6.1 Túneles de desagüe.	8
1.6.2 Túneles para agua potable.	11
1.6.3 Túneles en plantas hidroeléctricas.	12
1.6.4 Túneles para riego.	13
1.6.5 Túneles ferroviarios.	14
1.6.6 Túneles carreteros.	16
1.6.7 Túneles urbanos.	18
Capítulo 2	19
2 Descripción general del proyecto	20
2.1 Antecedentes	20
2.2 Ubicación	24
2.3 Localización	25
2.4 Fisiografía	27
2.5 Geometría	27
2.6 Finalidad del proyecto	28
2.7 Obras complementarias	29
Capítulo 3	32
3 Impacto ambiental.	33
3.1 Manifestación del impacto ambiental	34
3.2 Identificación de los impactos ambientales.	40
3.3 Descripción de los impactos ambientales en la preparación del terreno	42
3.3.1 Trazo del eje del túnel.	42

3.3.2	Gestión del derecho de vía.	43
3.3.3	Barda perimetral.	45
3.3.4	Desmante y despalme.	45
3.3.5	Limpieza del sitio.	48
3.3.6	Servicios de apoyo y campamento.	49
3.3.7	Brechas de acceso.	49
3.3.8	Movimiento de equipo.	50
3.3.9	Mano de obra.	52
3.4	Descripción de los impactos ambientales en la etapa de construcción.	52
3.4.1	Frentes de ataque.	52
3.4.2	Barrenación.	54
3.4.3	Ventilación.	54
3.4.4	Carga de explosivos y voladuras.	55
3.4.5	Remoción, carga y acarreo de rezaga.	57
3.4.6	Anclaje y concreto lanzado.	58
3.4.7	Bancos de material.	58
3.4.8	Obras de drenaje.	59
3.4.9	Terraplén y relleno.	59
3.4.10	Compactación.	60
3.4.11	Terracería.	60
3.4.12	Obras complementarias.	61
3.4.13	Estabilidad de taludes.	62
3.4.14	Señalamiento.	62
3.4.15	Reforestación.	63
3.4.16	Mantenimiento de maquinaria y equipo.	63
Capítulo 4		64
4 Geología.		65
4.1	Trazo .	65
4.2	Geología regional .	66
4.2.1	Fisiografía.	67
4.2.2	Morfología .	68
4.3	Geología local.	69
3.3.1	Geología en los portales.	70
4.3.1.1	Portal en las Cruces.	72
4.3.1.2	Portal Farallón.	73
4.4	Exploración geológica.	75
4.5	Estratigrafía.	78
4.6	Clasificación geomecánica del macizo rocoso.	84
4.6.1	Índice de la calidad de la roca.	86
4.6.2	Clasificación geomecánica.	88
4.6.3	Sistema "Q" calidad de roca.	90
4.7	Comportamiento geotécnico.	93
4.7.1	Frente Cruces.	94
4.7.2	Frente Farallón..	101

Capítulo 5		109
5 Procedimiento constructivo.		110
5.1 Emportalamientos		110
5.1.1 Estabilidad de los taludes.		117
5.2 Túnel		122
5.2.1	Excavación (Barrenación y voladura).	123
5.2.1.1	Barrenación.	127
5.2.1.2	Explosivos.	128
5.2.1.2.1	Voladuras de precorte.	129
5.2.1.2.2	Tipo de explosivos y sus características.	130
5.2.1.2.3	Transporte.	135
5.2.1.2.4	Carga y voladura.	135
5.2.1.3	Ventilación.	137
5.2.2	Estabilidad de la excavación (Método Austríaco).	138
5.2.2.1	Concreto lanzado.	140
5.2.2.1.1	Concreto lanzado con fibras de acero.	143
5.2.2.1.2	Colocación del concreto lanzado.	146
5.2.2.1.2.1	Equipo.	147
5.2.2.1.2.2	Aplicación del concreto lanzado.	148
5.2.2.2	Anclaje.	150
5.2.2.3	Marcos metálicos.	152
5.2.3	Procedimiento constructivo en zonas clasificadas geológicamente como: Malas a muy malas, regular a buenas y comunicación de ambos frentes.	156
5.2.3.1	Malas a muy malas.	156
5.2.3.1.1	Descripción del procedimiento.	156
5.2.3.1.2	Barrenación.	159
5.2.3.1.3	Carga de barrenos con explosivos.	160
5.2.3.1.4	Amacize.	163
5.2.3.1.5	Rezaga.	164
5.2.3.1.6	Colocación de la rastra metálica.	164
5.2.3.1.7	Colocación de las anclas.	165
5.2.3.1.8	Colocación y ademado del marco.	168
5.2.3.1.9	Media sección inferior.	175
5.2.3.1.9.1	Descripción del procedimiento.	175
5.2.3.1.9.2	Barrenación.	177
5.2.3.1.9.3	Colocación de la pata metálica.	180
5.2.3.2	Procedimiento constructivo en zonas clasificadas como de regular a buenas.	183
5.2.3.2.1	Descripción del procedimiento.	184
5.2.3.2.2	Carga de los barrenos con explosivos.	187
5.2.3.2.3	Estabilidad de la excavación	189
5.2.3.2.4	Media sección inferior.	193
5.2.3.2.4.1	Descripción del procedimiento.	194
5.2.3.3	Comunicación entre ambos frentes.	199

5.3	Revestimiento definitivo.	205
5.3.1	Cimbra metálica para el revestimiento del túnel	206
5.3.1.1	Armado de la cimbra clave en el túnel.	210
5.3.2	Colocación del concreto.	211
5.3.2.1	Colado de muros laterales.	212
5.3.2.2	Colado en la clave del túnel.	214
5.3.2.3	Desimbrado y corrimiento de la cimbra.	215
5.3.2.4	Curado del concreto.	216
5.3.2	Armado de acero de refuerzo.	216
Capítulo 6		222
6	Sistemas de seguridad en el túnel en operación.	223
6.1	Sistema de iluminación en el interior del túnel.	224
6.1.1	Operación normal en el túnel.	227
6.1.2	Operación de emergencia.	228
6.2	Ventilación.	229
6.3	Sistemas de nichos de emergencia.	232
6.4	Sistemas de cámaras de circuito cerrado de televisión.	234
Conclusiones.		235
Bibliografía.		242

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis, consiste en presentar el proceso constructivo del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero; describiendo las actividades realizadas durante la etapa de la excavación de la obra por el método convencional, con el autosostenimiento de la masa de roca de la cavidad, por el método Austríaco, con el sistema de soporte de concreto lanzado con fibras de acero, anclas de acero y marcos metálicos. Mostrando que las técnicas actuales subterráneas permiten realizar excavaciones con mayor calidad y seguridad.

Este trabajo consta de seis capítulos, en los que se menciona, la historia de los túneles, los antecedentes del proyecto, la manifestación del impacto ambiental, la geología de la zona, el proceso constructivo, y los sistemas de seguridad con los que cuenta el túnel en operación.

En el capítulo 1, se trata brevemente la historia que han tenido los túneles, desde épocas prehistóricas hasta nuestros días. También se mencionan, los principales túneles en México, desde la Época Colonial hasta años recientes, presentando el uso para el cual fueron destinados y las diferentes obras subterráneas que han permitido contribuir con el desarrollo de México.

En el capítulo 2, se presentan las características generales del proyecto, Nuevo Acceso en Túnel al puerto de Acapulco, Guerrero; como son los antecedentes, para abordar el proceso constructivo del presente trabajo de tesis.

En el capítulo 3, se aborda brevemente, la manifestación del impacto ambiental que presentó la obra

durante la etapa de la construcción, de los emportalamientos y del túnel, ya que hoy en día, es de suma importancia tomar en cuenta los efectos que se puedan ocasionar al medio ambiente al implantar una obra civil, y procurar tener un mejor manejo integral de la misma, que deje al ambiente aprovechable para las futuras generaciones, mitigando los efectos que ésta cause. No se aborda el marco legal, ya que el tema es sobre construcción.

En el capítulo 4, se conocerán las características geológicas de la zona y del macizo rocoso que atraviesa el túnel, para conocer el tipo de material rocoso en el que se llevó a cabo la construcción de la obra subterránea, así como, el comportamiento geotécnico de la excavación, en el que solo se describen, los primeros 200 m. en el frente Cruces y 500 m. del frente Farallón.

En el capítulo 5, se describe el proceso constructivo del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero; mencionando las actividades realizadas en la etapa de la excavación de los portales y del túnel, cuando se presentó la calidad de la roca mala a muy mala, regular a buena y la comunicación de ambos frentes por el método convencional, dividido en cuadrantes, excavando primero, la sección media superior y después, en forma desfasada, el banco inferior restante; con el sistema de soporte temporal de marcos metálicos en zonas donde se requirió, y la utilización del soporte definitivo de anclas metálicas y concreto lanzado, conocido como método Austriaco. Una vez terminada la excavación, se describe brevemente como se realizó el revestimiento del túnel. No se incluye el cálculo y diseño de las voladuras por que el objetivo es el procedimiento constructivo.

En el capítulo 6, se presentan los sistemas de seguridad del túnel en operación para los usuarios, como son: los sistemas de nichos de emergencia, ventilación y monitoreo.

CAPÍTULO 1

Generalidades sobre obras subterráneas

1 Generalidades sobre obras subterráneas.

1.1 Historia de los túneles.

Un túnel es una obra civil subterránea, excavada generalmente por medios mecánicos, segura y permanente, destinada a la comunicación más eficiente, acortando distancias de dos o más sitios, por la cual se transportan o conducen personas (con o sin medios de transportes) , fluidos, cables, agua potable, aguas negras, etc., teniendo una dimensión longitudinal de tendencia horizontal.

El objetivo fundamental de un túnel, es acortar distancias y establecer una comunicación, aunque no necesariamente tenga que librarse un obstáculo; también son concebidos para dejar espacios libres en superficie.

Los antecedentes más antiguos que se conocen sobre la construcción de túneles, se remontan hasta los tiempos prehistóricos, cuando el hombre buscó abrigo y protección contra sus enemigos, excavando cuevas o agrandando algunas existentes.

A continuación, se describirá una breve historia sobre las obras subterráneas, desde su origen hasta nuestros días.

1.1.1 La caverna y el hombre primitivo.

Desde las épocas prehistóricas, el hombre ha utilizado las cavernas, (excavándolas en muchos casos) y las ha ocupado como refugio, hábitat, almacén de alimentos, de bebidas, etc. Estas cavernas, generalmente no se comunicaban entre sí y eran construcciones aisladas; las cuevas o cavernas fueron evolucionando gradualmente, hasta llegar a ser verdaderos recintos como las obras de la famosa arquitectura troglodítica en Petra y los templos de Ajanta en India o las construcciones funerarias subterráneas de los etruscos y los egipcios.

1.2 La minería en épocas remotas.

Las primeras minas en túnel que registra la historia, son las minas de Sylex (pedernal) de las cuales hay muchos vestigios en Europa y Asia Central aunque la primera conocida, se encuentra en Swazilandia, África. Posteriormente, surgen las minas de sal en Polonia, y Centro de Europa allá por los años 3,000 A.C. Las minas de cobre son sin duda ya un avance, y los primeros vestigios de ellas, se encuentran en América y el Cáucaso. Posteriormente, los fenicios, griegos y romanos desarrollan la minería de diversos metales y excavan gran cantidad de túneles para este fin.

1.3 Primeros túneles de servicio.

Los primeros túneles que construyó el hombre para servicio de la colectividad, fueron los de agua potable y los de servicios sanitarios; por tal razón el origen de los túneles de servicio, se asocia principalmente con acueductos y desagües subterráneos (cloaca).

La civilización romana es quizá la más rica en obras hidráulicas subterráneas, sin querer decir con esto que otras civilizaciones como la: Fenicia, China, Etrulia y otras, no hayan contribuido en este sentido.

Sin embargo, se aplican técnicas de ingeniería subterráneas por primera vez en la historia, se construyen gran cantidad de acueductos en túnel y túneles para saneamiento como por ejemplo, la llamada Cloaca Máxima que descarga en el Tiber, el acueducto de Nemausus, la galería de Lutecina, etc. La civilización romana que se extendió en Europa, deja sus huellas en España con el túnel de Montefurado.

También en la época romana, se inicia la construcción de túneles para calzada como el famoso túnel de Pausilippo (36 A.C.) de 1500 m. de longitud y del paso Furlo y varios otros.

La historia habla de un túnel bajo el Río Éufrates en la ciudad de Babilonia (2100 A.C.) que de haber sido real, sería el primer gran túnel de la historia, su longitud resulta superior a 900 m; sin embargo, tal parece que el tal citado túnel nunca existió, más que en la mente de los pobladores de Babilonia y que en efecto, sólo existen algunas estructuras menores hechas de mortero bituminoso y el techo formado a base de bóvedas de sección rectangular.

1.4 Túneles en la Edad Media .

En la Edad Media, dada la idiosincrasia y la mentalidad de aquella época, se construye un gran número de túneles que sirven como pasadizos secretos, estratégicos, para operaciones de guerra,

asedio y otros para diversos fines. Sobresalen en esta época, iglesias rupestres, ciudades subterráneas, templos y monasterios rupestres, cisternas, túneles mineros y también canales subterráneos para conducción de agua. Pocos túneles de comunicación, están registrados en esta época.

1.5 Era Moderna.

Sin duda alguna el primer túnel de importancia de la Era Moderna, es el túnel bajo el Támesis en Inglaterra, inaugurado en 1842 y construido por el Ing. Marc Brunel; este túnel tiene una longitud de 400 m. aproximadamente y se utilizó para el paso de caballos, carruajes, peatones, etc.

En este mismo siglo XIX, se construyó un importante número de túneles ferroviarios particularmente en los Alpes austríacos, suizos, franceses e italianos. Obviamente, los túneles carreteros no aparecen sino hasta el S. XX. El primer túnel que cruza los Alpes, es el túnel del Simplón que se construyó en el año de 1890.

Ya en este siglo, particularmente de los años 50 en adelante, se construyen gran cantidad de túneles carreteros, especialmente en los países alpinos; entre éstos destaca el túnel de San Gotardo, que atraviesa un macizo montañoso de los Alpes, que va de Göschenen a Airolo en Suiza, construido en 1972 y que resulta ser el túnel carretero más largo e importante del mundo, con casi 16 Km. de longitud.

No sería exagerado decir que en Europa, existen varios miles de kilómetros de túneles carreteros. Solamente en Italia, se transita por autopistas que en 50 Km. de longitud, se disponen de más de 50 túneles. Sin embargo, Noruega es el país con mayor longitud de túneles.

Recientemente, fue inaugurado el túnel bajo el Canal de la Mancha con unos 40 Km. de longitud que une la isla con Europa. Actualmente, está en proyecto el túnel en el estrecho de Gibraltar que unirá a los Continentes de África y Europa. Debe quedar claro que los grandes túneles bajo el mar, deben ser por necesidad para el paso de ferrocarriles electrificados, ya que los túneles carreteros requieren de una ventilación que es imposible de lograr en longitudes grandes bajo el mar.

1.6 Desarrollo de túneles en México.

Se describen y enumeran los principales túneles que se han construido en México, desde la Época Colonial hasta años recientes, clasificados según el uso particular de cada uno de ellos.

1.6.1 Túneles de desagüe.

En 1555, el Español Don Francisco Gudiel, opinó “Desviar el Río Cuautitlán y hacerlo desaguar a ciertas quebradas de Huehuetoca e ir al Río Tepeji, que va al mar”; fue entonces cuando Don Enrico Martínez, intervino en los estudios y al verificar la bondad del sistema propuesto por Gudiel, logró el consentimiento del gobierno virreinal y el 29 de noviembre de 1607, inició el primer túnel de nuestra historia.

Este túnel conocido como Socavón de Nochistongo, también por Humboldt, el túnel de Huhuetoca de 6,600 m. de longitud fue construido con ayuda de 42 lumbreras, la más profunda con 50 m., y el 17 de septiembre de 1608 (con 9.5 meses de trabajo) daba paso a las aguas del río Cuautitlán, hacia el Valle de México. Sin embargo, a Enrico Martínez le fue negado presupuesto para la protección y reforzamiento de las zonas débiles y la obra, se colapsó pocos meses después. En 1637, se decidió la excavación de un tajo, para sustituir al túnel. El “tajo de Nochistongo”, se terminó después de 152 años de trabajo, muchas veces interrumpido por dificultades políticas y económicas.

La segunda obra subterránea de importancia fue el Túnel Viejo de Tequixquiac, iniciada en julio de 1866, con Don Benito Juárez en la Presidencia de la República Mexicana. Con una longitud de 10,021 m, se excavó con ayuda de 24 lumbreras; los cambios políticos de la nación y sus consecuentes épocas críticas, limitaron el presupuesto para el Desagüe del Valle de México que consistía en la construcción del túnel y la excavación del Gran Canal de Desagüe. La inauguración de las obras fue hasta Marzo de 1900.

En 1938, se inició la obra del Nuevo Túnel de Tequixquiac. Su longitud es de 11,300 m. y se emplearon 10 Lumbreras y cerca de 18 pozos de ventilación para facilitar los trabajos; la obra se terminó en 1954. Con esta obra, se aseguraba el desagüe de la Ciudad de México, con el apoyo del tajo de Nochistongo para dar servicio a más de 10 millones de habitantes de la metrópoli. Sin embargo, surgió un nuevo problema; debido al bombeo de aguas en el Valle de la ciudad, para dotación de sus habitantes, hubo serios hundimientos del terreno que motivaron que el sistema de alcantarillado se dislocara, dejando de trabajar los colectores por gravedad hacia su desagüe al Gran Canal. Con esto, las lluvias de más o menos intensidad, eran suficientes para que el agua brotara por

pozos de visita, causando inundaciones en el centro de la ciudad de México, donde los hundimientos eran cada vez mayores.

Las grandes aportaciones directas de cuencas a la Ciudad de México, son los arroyos y ríos que llegan al poniente y atraviesan la población, para descargar en el Gran Canal del Desagüe. Entre ellas están el río Eslava, el Magdalena Contreras, varias barrancas, el río Mixcoac, el río Tacubaya, río Sordo, río Totolica, etc. Para controlar esas aguas y desviarlas al vaso de Cristo, se construyó el interceptor del poniente de 17 Km. de longitud, el cual fue puesto en operación en 1960. Tanto la excavación como el revestimiento, fueron ejecutados en un tiempo aproximado de 18 a 20 meses.

Desde varios años antes de 1960, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal, inició el estudio del Drenaje Profundo; en 1966, se iniciaron los trabajos de campo con excavación de varias lumbreras. Esta obra es la de mayor importancia en México y en América Latina, sobre construcción de túneles para desagüe por sus características de diseño, las dificultades de su construcción, al atravesar formaciones geológicas muy complejas, con afloramientos de agua superiores a los 8 m³/s, sus 68 km. de primera etapa, excavados desde sus 38 Lumbreras y sólo un portal, el de salida. Los interceptores, que sumaron 18 km. en la primera etapa, con sección circular de 5 m. de diámetro, se unen al Emisor Central antes de la lumbrera 0; este Emisor con una sección circular de 6.5 m. de diámetro, revestido, con 50 km. de longitud hasta su descarga, con 22 Lumbreras de profundidades desde 30 m. hasta 200 m. (Lumbreras 15 y 16) saca por gravedad hasta 200 m³/s fuera del Valle de México, a la altura de Tepeji del Río, Hidalgo descargando al río Tula, que tiene su descarga en el Golfo de México.

A partir de 1976, se han continuado los trabajos para prolongar los servicios hacia el sur de la ciudad y se excava un nuevo interceptor, el Centro Poniente, que descargará a la Lumbreira 1 del Emisor Central.

1.6.2 Túneles para agua potable.

La primera obra subterránea importante para conducción de agua potable a un centro de población, fue el túnel de Lerma que se inicia en Atarasquillo, Estado de México, que atraviesa la sierra de las Cruces, y conduce a la Ciudad de México, el agua de los manantiales que dan inicio al río Lerma, junto con las extracciones por bombeo del acuífero profundo. El túnel se construyó para un gasto de $14 \text{ m}^3/\text{s}$ con una longitud de 14,336 m; se excavó, utilizando únicamente sus Portales. Sin embargo, se excavaron 4 Lumbreiras, la Lumbreira 0 de 104 m., que se incendió y sirvió prácticamente de ventilación, la Lumbreira de 136 m. que alcanzó su piso cuando ya había pasado la excavación del túnel, la Lumbreira 2 de 216 m. que se abandonó por las fuertes filtraciones de agua que tuvo (sin contar con equipo de bombeo suficiente y adecuado para garantizar el desagüe). Y finalmente, la lumbreira 3 que sirvió únicamente para ventilación. El túnel de Lerma, se terminó de revestir en el mes de febrero de 1951.

El túnel de Analco-San José, perteneciente al sistema Cutzamala, se terminó de excavar en 1982 y se revistió entre 1984 y 1985, tiene una longitud de casi 16 Km. y se aprovecharon las lumbreiras 1 y 2 del túnel del Lerma, para excavar más de la mitad de su longitud total. Se proyectó paralelo al túnel entre las Lumbreiras 1 y 2. Su rasante quedó 8 m. arriba para evitar las fuertes filtraciones de agua que tuvo el primero. La alineación paralela, ayudó para aprovechar el conocimiento de la

geología y prever la presencia de las fallas que paralizaron algunos meses, la excavación del túnel de Lerma. Las previsiones tomadas fueron positivas y el túnel Analco-San José, se perforó sin contratiempos, ni grandes caídos y con filtraciones menores de un metro cúbico por segundo en total.

Actualmente, están por iniciarse las obras del llamado Acuaférico que entre otras obras importantes, contará con algunos túneles, el más largo, de cerca de 10 km; su diámetro revestido es de 5.6 m. y se excavará en gran parte con un topo (Mole o TBM).

1.6.3 Túneles en plantas hidroeléctricas.

Las obras hidroeléctricas se iniciaron en nuestro país, a principios de este siglo por parte de la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza. Posteriormente, dichas obras fueron construidas por la Comisión Federal de Electricidad.

En la actualidad, se tienen terminadas varias plantas hidroeléctricas que requirieron obras subterráneas; destacan por su gran trascendencia las del río Grijalva, al sureste de México. La primera planta que entró en operación el año de 1969, se construyó aprovechando la presa Netzahualcóyotl (Malpaso); la obra hidroeléctrica consistió de seis túneles de presión, una casa de máquinas subterráneas y seis túneles de desfogue que se unieron a los de desvío. La segunda obra de importancia de este sistema fue la presa Angostura que entró en operación en el año de 1974. La obra hidroeléctrica consistió de cinco túneles de desfogue. En tercer lugar, se construyó la presa Chicoasén, la obra hidroeléctrica consistió de ocho túneles de presión, una planta hidroeléctrica de

tipo caverna, con una capacidad instalada de 2,400 MW y ocho túneles de desfogue que se unieron a los túneles de desvío.

En fechas más recientes se han construido, las Plantas Hidroeléctricas El Caracol, Aguamilpa, Zimapán y varias otras que cuentan con grandes túneles de conducción, desvío, acceso, vertedores, etc.

1.6.4 Túneles para riego.

A principios de este siglo, se construyó el primer túnel para conducir agua con propósito de riego; este túnel, de nombre San Diego, localizado en el Estado de Coahuila, fue construido por particulares entre 1902 y 1904, con objeto de regar una vasta superficie de tierras agrícolas que en la actualidad, pertenecen al Distrito de Riego de Palestina. El túnel tiene una longitud de 2,200 m. y fue excavado en calizas y conglomerados con sección herradura de 2.5 x 2.5 m. No se contó con ninguna clase de soporte, ni revestimiento y sólo en aquellos tramos en los que, durante su ya larga operación, han ocurrido desprendimientos de roca, se ha colocado un refuerzo con mampostería.

La construcción intensiva de obras hidráulicas para aprovechar, en usos múltiples los escurrimientos superficiales del país, la inicia en México el Gobierno Federal con la creación, en el año de 1926, de la Comisión Nacional de Irrigación y la continuación de las dependencias sucesoras, la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos y la actual Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

En la etapa moderna de desarrollo hidroagrícola, el primer túnel importante para riego construido durante los años de 1941 y 1946 fue El Mirador, perteneciente al Distrito de Riego de Valsequillo, en el Estado de Puebla; tiene una longitud de 11 km., sección circular de 4.9 m. de diámetro, revestido y fue excavado en conglomerado y pizarras arcillosas; en estas últimas, se presentaron grandes deformaciones de convergencia que rompían el soporte temporal, consistente en marcos de madera con secciones de 30 x 30 y de 40 x 40 cm. Debido a esto, se llegó a pensar que no sería factible la terminación de la obra; sin embargo, los problemas fueron superados, el túnel llegó a feliz término, estando actualmente en operación. Muchos otros túneles para riego, se han construido en México entre 1940 y 1995, entre ellos se puede mencionar EL Mexicano en Tamaulipas, El Tomatlán en Jalisco, El Gallinero en Hidalgo y otros más.

1.6.5 Túneles Ferroviarios.

Entre los años de 1837, se inician en México los trabajos de construcción de los ferrocarriles. El ferrocarril más antiguo es el Ferrocarril Mexicano que une las ciudades de México y Veracruz. En 1865 durante la intervención francesa, se inician los trabajos en las Cumbres de Maltrata en Veracruz y con ellos, se inician también los trabajos de túneles.

En el año de 1867, a la caída del imperio de Maximiliano, se establece la República y ya para entonces, se tenían terminadas 50 millas (80.45 km.) de Veracruz a Paso del Macho y 88 millas (141.59 km.) de México a Apizaco, en 1868, se hacen los túneles entre boca del Monte y Maltrata y entre Atoyac y Fortín, en los que participan los ingenieros ingleses Murray, Hill y Pringle, y los

mexicanos González Cosío, Bulnes y Bezares, bajo la dirección de Buchanan y Foot y los contratistas y agentes constructores Braniff y Jackson.

Para 1869, se inaugura el ramal México-Puebla que cuenta con siete túneles y en 1870, se abre al público la vía Veracruz-Atoyac. Los túneles de la zona de Fortín entre Córdoba y Orizaba, se construyen a partir de 1871. Después de 35 años de trabajo, siendo presidente de la República Don Sebastián Lerdo de Tejada, se inaugura la vía México Veracruz el 1 de enero de 1873.

Durante el gobierno del General Porfirio Díaz, entre los años de 1880 y 1910, se trabaja ya en los ferrocarriles: México-Guadalajara, México-Monterrey, Guadalajara-Tepic que incluye 16 túneles, Ojinaga-Chihuahua y Chihuahua-Creel. Ya durante la época revolucionaria y post-revolucionaria, se trabajó en el ferrocarril de Cárdenas a Tampico que entroncando con el México-Monterrey, uniría la Ciudad de México con el puerto de Tampico. También, por esta época fue construido el ferrocarril Chihuahua-La Junta-Cd. Juárez que cuenta con 10 túneles.

De 1920 a 1955, prácticamente no se ejecutaron trabajos para continuar los trazos definitivos de ferrocarriles. Es hasta 1956, cuando se decide continuar con el ferrocarril Chihuahua a Creel, hasta el Puerto de Topolobampo, inaugurándose éste, en el año de 1961. Por estas fechas, se rehabilita la vía México-Querétaro-San Luis Potosí, que cuenta con varias obras subterráneas. Entre 1975 y 1979, se trabajó en el ferrocarril Coróndido-Las Truchas que también cuenta con un número significativo de túneles.

En los noventas, se inicia la ampliación de varios túneles para hacerlos capaces de dar paso a convoyes modernos con plataformas de doble estiba y contenedores.

El túnel “La Jarochita” que tiene una longitud de 2,960 m., es el más largo de los construidos hasta ahora; este túnel se localiza en el nuevo trazo de la línea férrea México-Veracruz, en el tramo Los Reyes-Ciudad Mendoza.

1.6.6 Túneles Carreteros.

Los túneles carreteros en México, se inician prácticamente en la década de los 80 's, ligados a la construcción de autopistas de cuota que requieren especificaciones modernas de trazo y pendiente. Sin embargo, posiblemente el primer túnel carretero que se construyó en México, se ubica en la antigua carretera federal de México-Acapulco. Este túnel fue abandonado hace muchos años, al cambiarse el trazo de la citada carretera y se encuentra en el Cañón del Zopitote en total abandono.

Otro túnel carretero construido con anterioridad, es el túnel de acceso a la hidroeléctrica Chicoasén y fue construido por la C.F.E. en los años 70's. Este túnel tiene casi 1 km. de longitud, fue excavado en roca caliza y no está revestido.

En los años 80's, se construyó en primer lugar, un túnel carretero que se utiliza para el libramiento de la Ciudad de Puerto Vallarta. Un poco después, se construyó el primer túnel realmente importante (túneles gemelos) y fué el túnel de La Venta, con casi 500 m de longitud, en la autopista

México Toluca. En este túnel, ya se aplicaron técnicas modernas de excavación, soporte, mediciones y análisis numéricos.

Entre los años de 1989 y 1993, se construyeron 3 importantes túneles en la autopista Cuernavaca-Acapulco; éstos son: el Túnel de Tierra Colorada (300 m. de longitud), el de Agua de Obispo (400 m. de longitud) y el de los Querendes. Éste, siendo muy corto de longitud (140 m.) es, sin embargo el túnel de mayores dimensiones, construido en México con un área transversal de cerca de 200 m², claro de 22 m. y altura cercana a 14 m; este túnel cuenta con cuatro carriles de circulación, más banquetas de servicio . Con la construcción de esta obra, además se rompió con el tabú de que el “mínimo techo para construir un túnel, debería ser de tres veces el claro”. En este caso el techo era de sólo 15 m. con un claro mayor de 20 m.

Recientemente, se construyeron dos túneles: La Esperanza 1 y La Esperanza 2, en la autopista México-Tulancingo; actualmente están en proyecto, 9 túneles para la autopista MéxicoTuxpan y pronto, se iniciarán los estudios de varios túneles en la nueva autopista Durango Mazatlán.

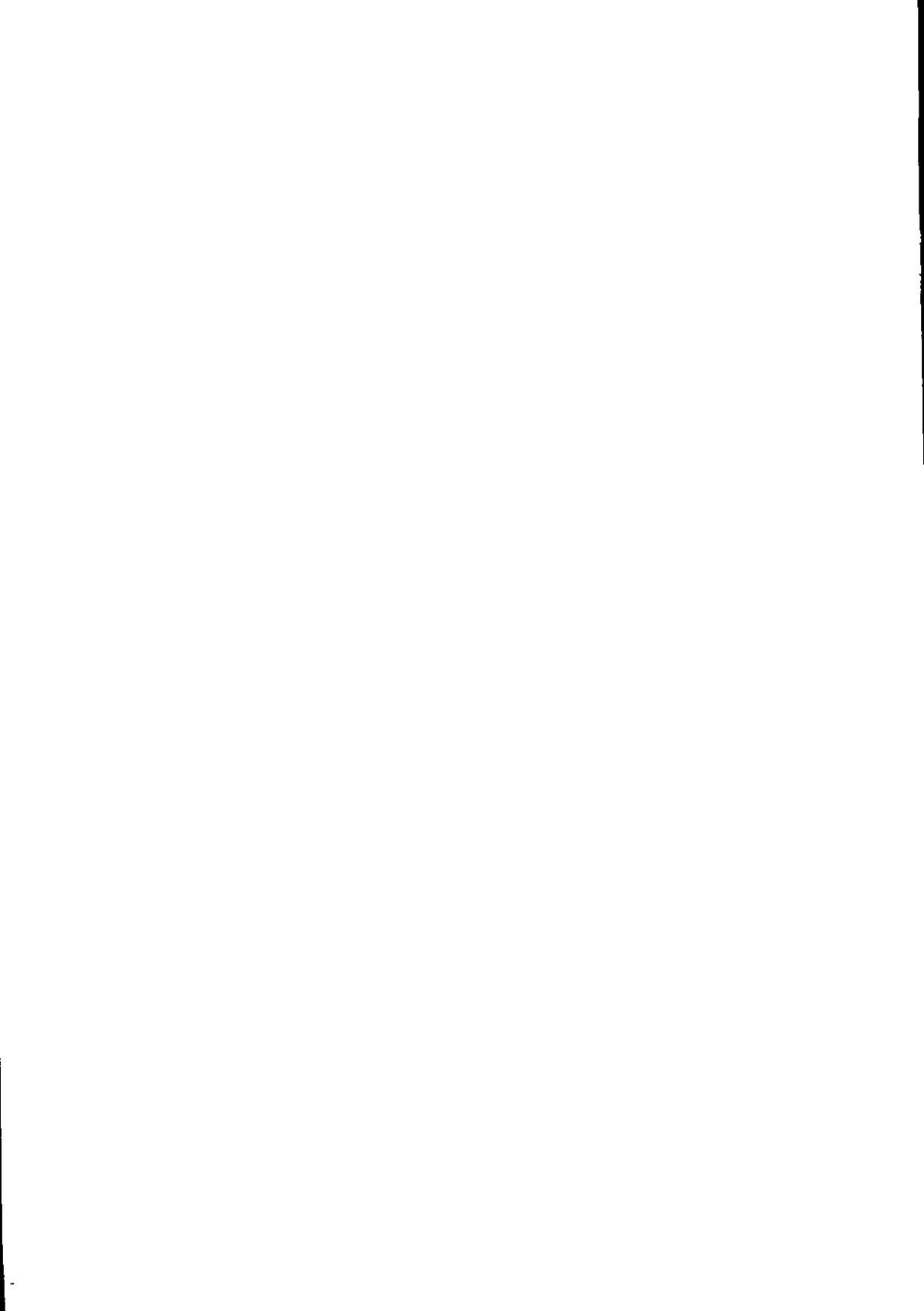
Actualmente, desde finales de 1996, uno de los dos túneles gemelos del Nuevo Acceso al Puerto de Acapulco está en operación para agilizar el movimiento vehicular entre la tradicional bahía turística y la nueva autopista, procedente de la Ciudad de México. El túnel aloja tres carriles de circulación con una longitud aproximada de 3 km. más 1,100 m. adicionales de accesos y entronques. La construcción del túnel es del tipo herradura, tiene 12.30 m. de base y 8.45 m. de altura, con un área del orden de 102 m².

Es muy probable que de continuarse el programa de autopistas concesionadas en México, surjan un buen número de túneles ya que los ingenieros, cada día se convencen más de sus bondades, particularmente si se aprecia la enorme cantidad de problemas que se están generando en los grandes tajos, que si bien es cierto que inicialmente cuestan menos que los túneles, los gastos de conservación, estabilización, más los daños que causan a la ecología, al paisaje y al uso de suelo, siendo difíciles de medir, se vuelven cada día más complejos.

1.6.7 Túneles urbanos.

Los túneles urbanos, están relacionados a la construcción del transporte masivo subterráneo (metro) y que muchos de ellos, al menos en la Ciudad de México, son túneles excavados en suelos, con el sistema de "corta y cubre", solamente en las Líneas 3 Y 7 del metro, fueron verdaderos túneles por su profundidad. También en las ciudades de Monterrey y Guadalajara, se han construido tramos de metro, excavados como túneles.

Otros túneles urbanos que llegan a tener la importancia de los túneles carreteros, son los que se han construido y se construyen para comunicar áreas urbanas importantes; por ejemplo el túnel de Vista Hermosa, construido en 1992. En la Ciudad de Monterrey, se construirá el túnel de Loma Larga que tendrá 600 m. de longitud y que comunicará el centro de la Ciudad, con la colonia del Valle.



CAPÍTULO 2

Descripción general del proyecto

2 Descripción general del proyecto.

2.1 Antecedentes.

El proyecto del túnel Nuevo Acceso al Puerto de Acapulco, consiste de una infraestructura vial concesionada, localizada en el puerto del mismo nombre en el Estado de Guerrero, (fig. 2.1) contempla la construcción de dos túneles paralelos de casi 3 km. de longitud cada uno; que sirven para unir de manera más efectiva la carretera del sol proveniente de la Cd. de México, con la costera Miguel Alemán y algunas vialidades de la zona metropolitana. Dando servicio las 24 horas de los 365 días del año.

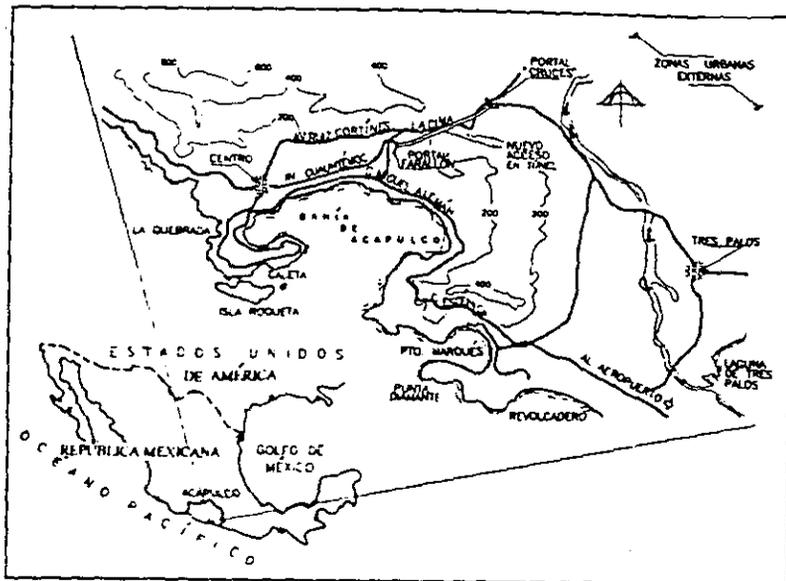


Figura 2.1

La expansión urbana que ha tenido el puerto en los últimos años y la creciente afluencia turística acentuada por la puesta en operación de la autopista del sol, ocasionaban fuertes congestionamientos viales, especialmente entre la glorieta de las Cruces, Farallón y Cuahutémoc. A ello contribuye la orografía del puerto que asemeja a un anfiteatro, la geometría de los accesos y las grandes pendientes del trazo superficial. Los cuellos de botella, se agravaban particularmente durante los periodos vacacionales, (figura 2.2).

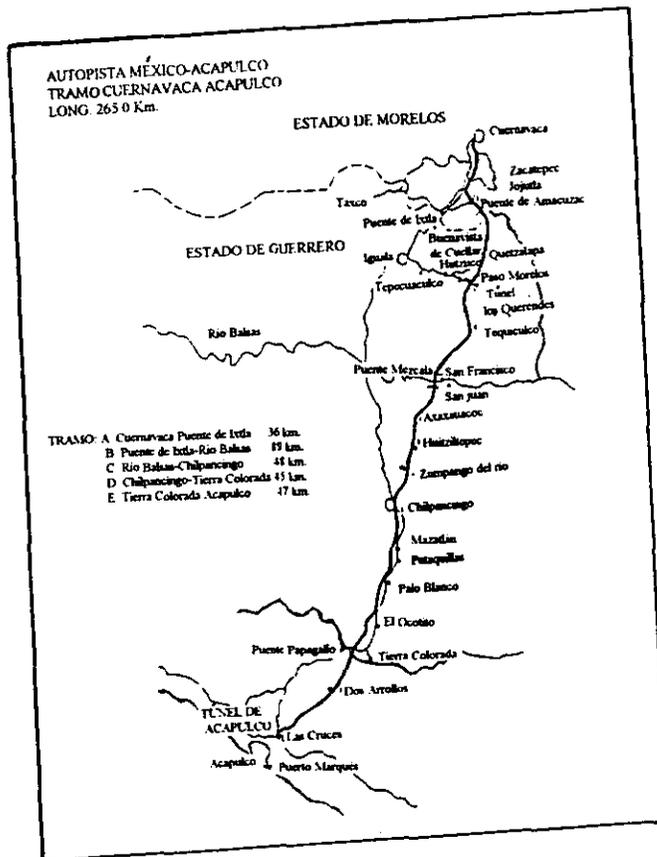


Figura 2.2 Autopista del sol Cuernavaca-Acapulco.

Actualmente el Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, agiliza el movimiento vehicular entre la tradicional bahía turística y la nueva autopista procedente de la Ciudad de México.

Ingenieros civiles Asociados (ICA) realizó desde julio de 1994, la construcción de uno de los dos túneles que las autoridades del gobierno del Estado de Guerrero y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), han concesionado para agilizar el tránsito vehicular que llega y sale del puerto de Acapulco.

El túnel interurbano Acapulco, cruza bajo las escarpadas montañas que rodean al puerto turístico y facilita la comunicación de las zonas urbanas, (fig. 2.4).

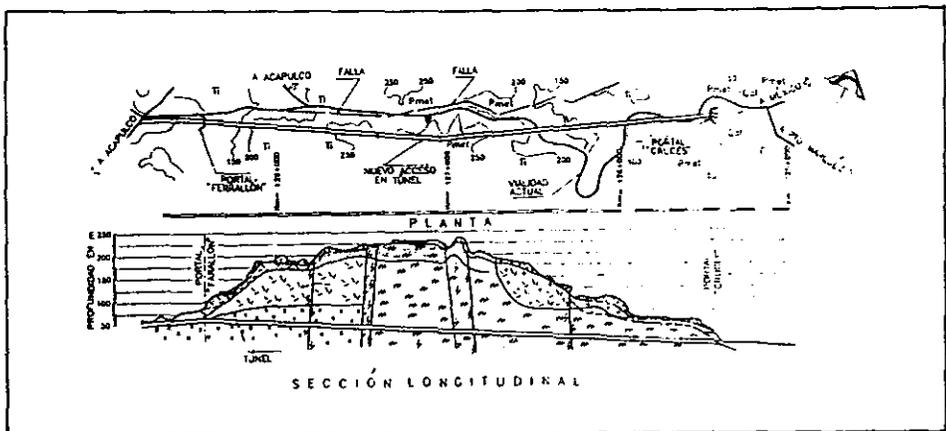


Figura 2.4 Planta y perfil

El segundo túnel en paralelo se construirá a futuro, con características similares; cuando el volumen de usuarios justifiquen la inversión; lo cual implica que en el primero, el flujo vehicular tendrá dos sentidos de circulación (el tercer carril intercambiará de sentido, conforme al flujo vehicular), con

longitud de casi 3 km. más 1,100 m. adicionales de accesos y entronques. La velocidad de operación dentro del túnel es de 110 km/hr.

El programa de obra fue de 30 meses; fue terminado a fines de 1996. El segundo túnel considera un plazo similar.

El túnel es del tipo herradura; en la zona de portales la excavación alcanza más de 110 m² para permitir la colocación de marcos metálicos como soporte temporal y como soporte definitivo, anclas y concreto lanzado. El proceso de excavación se realiza convencionalmente (barrenación y voladura); se ataca por cuadrantes, primero la sección media superior y después en forma desfasada, el banco inferior restante.

2.2 Ubicación.

El túnel, se encuentra ubicado al NE del centro de la ciudad entre las zonas denominadas Las Cruces y Farallón, atravesando parte de la zona montañosa.

El sitio seleccionado para el proyecto, estaba dentro de un área totalmente urbanizada, perteneciente a la zona metropolitana de la Ciudad de Acapulco, bajo los terrenos correspondientes a las colonias populares del sector Zapata-Renacimiento.

En la zona, se localizaban colonias populares con el equipamiento necesario. La carretera federal, se conectaba con el sitio y se encontraba bordeada por usos de corredor urbano, extendiéndose hacia ambos lados de la misma.

Las zonas afectadas por la delimitación de la infraestructura, son los sitios donde se encuentran ubicados los emportalamientos y los distribuidores de tráfico de acceso y salida del túnel, con un área de 110 Ha. aproximadamente.

La afectación más considerable, fue la de los predios ubicados en el área de las Cruces, zona ocupada por asentamientos humanos irregulares. Lo que significó la reubicación y traslado de alrededor de 200 familias, el pago de las indemnizaciones correspondientes y la instauración de un reordenamiento urbano en el plan director urbano de Acapulco.

2.3 Localización.

El proyecto del túnel interurbano de acceso a Acapulco, se ubica en el municipio de Acapulco de Juárez, Estado de Guerrero, en la zona montañosa conocida como fosa de Acapulco; se encuentra al noroeste de la bahía, teniendo como coordenadas extremas 16° 55' y 16° 50' de latitud norte y los 99° 56' y 99° 50' de longitud oeste.

El área de proyecto queda dentro de la zona sísmica del país, sobre la trinchera de Acapulco, que es la zona de mayor índice de sismos en la República Mexicana. Las magnitudes con que se presentan éstos, son de 4° a 8° en la escala de Richter.

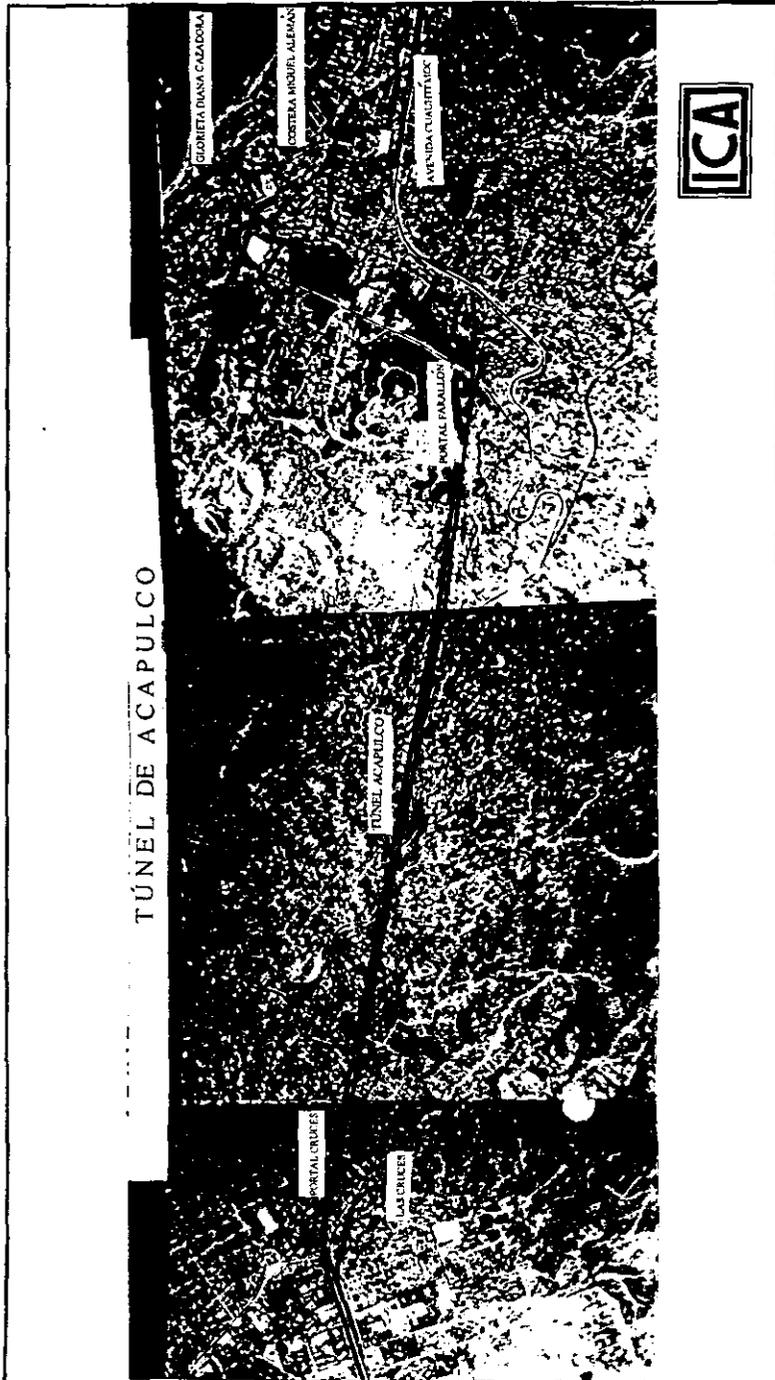


Figura 2.5 Ubicación.

2.4 Fisiografía.

Acapulco se localiza en la subprovincia de la vertiente sur que abarca los Estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, que a su vez está constituida en la provincia de la Sierra Madre del Sur.

El área, está delimitada por una angosta franja de montañas que se ubica paralelamente a la costa del Pacífico y que ocasionalmente surgen del fondo marino.

En la zona, se presentan rocas metamórficas del paleozóico (Complejo de Xolapa) y rocas intrusivas (Granitos y Granodioritas), interrumpiendo la planicie costera. La zona está drenada por arroyos de ríos de escasa longitud, que desembocan al océano Pacífico. El clima es cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 27 °C y de precipitación media de 1393 mm/año.

2.5 Geometría.

El túnel norte de sección transversal, es del tipo herradura, el cual se excavó a través de dos portales de acceso, tiene 12.30 m. de base y 8.45 m. de altura totalmente revestido con 2947 m. de longitud.

El gálibo vehicular para tres carriles es de 10.50 x 5.50 m., 3.50 m. por cada carril. El gálibo peatonal para mantenimiento del interior del túnel es de 0.65 x 3.00 m.

La separación entre el eje del túnel norte y el eje del túnel sur a futuro, es de 28.00 m. y a 15.70 m. uno del otro, (figura 2.6).

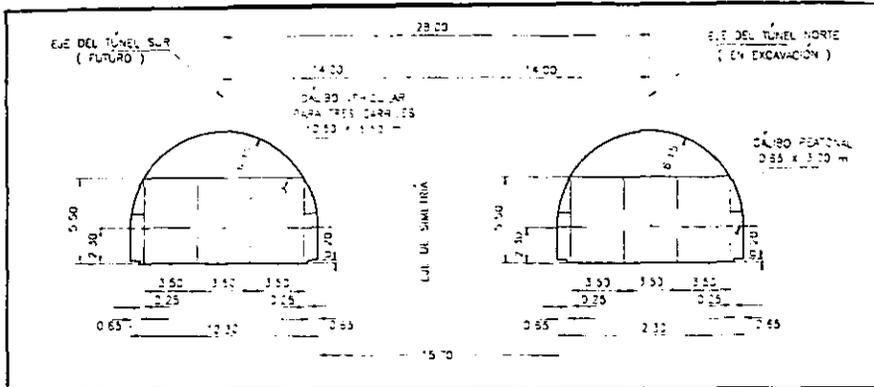


Figura 2.6 Sección transversal de los túneles.

2.6 Finalidad del proyecto.

Dada la importancia fundamental que representa al sector turismo nacional y extranjero, contar con el puerto de Acapulco renovado y remozado, con infraestructura hotelera y de servicios para dar atención en el nuevo milenio, sin detrimento y deterioro de sus recursos naturales y consolidar una transición al desarrollo sustentable, implica multiplicar los esfuerzos en materia de infraestructura y de desarrollo urbano local, por lo que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), en uno más de sus esfuerzos, acordó resolver la problemática de acceso al puerto de Acapulco mediante la construcción del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, que tiene como objetivo resolver el problema de vialidad, derivado de los congestionamientos que se producen por la llegada y salida de vehículos de la Cd. de Acapulco, a través de la carretera federal y la autopista México-Acapulco.

2.7 Obras complementarias.

El túnel cuenta con instalaciones para asegurar la debida ventilación. Asimismo, tiene iluminación y señalamientos adecuados para coadyuvar a la seguridad del usuario.

El cobro y control de peaje, se efectúa mediante núcleos con sistemas electrónicos que detectan el número de ejes de los vehículos y determinan el pago correspondiente conforme a su clasificación. Los módulos se localizan a 300 metros del portal Las Cruces para evitar que se formen filas dentro del túnel.

A fin de que la incorporación vial se efectúe en forma expedita, es conectada a un entronque tipo trébol, de tres gazas, en la zona de las Cruces. Esto permite agilizar la llegada de vehículos que proceden de la autopista del Sol y de la carretera federal, sin obstaculizar la circulación local. (Figura 2.7, mostrada en la siguiente página).

Antes del túnel existe una desviación, mediante un paso elevado, para continuar el camino libre hacia Pinotepa Nacional. Asimismo en la salida del túnel, se construyó un paso bajo la avenida Farallón para que los vehículos se incorporen a ella y puedan llegar a la costera Miguel Alemán. De dicha avenida sale un ramal que permite el acceso a la avenida Cuahutémoc para llegar al centro de la ciudad, (Figura 2.8, mostrada más adelante).

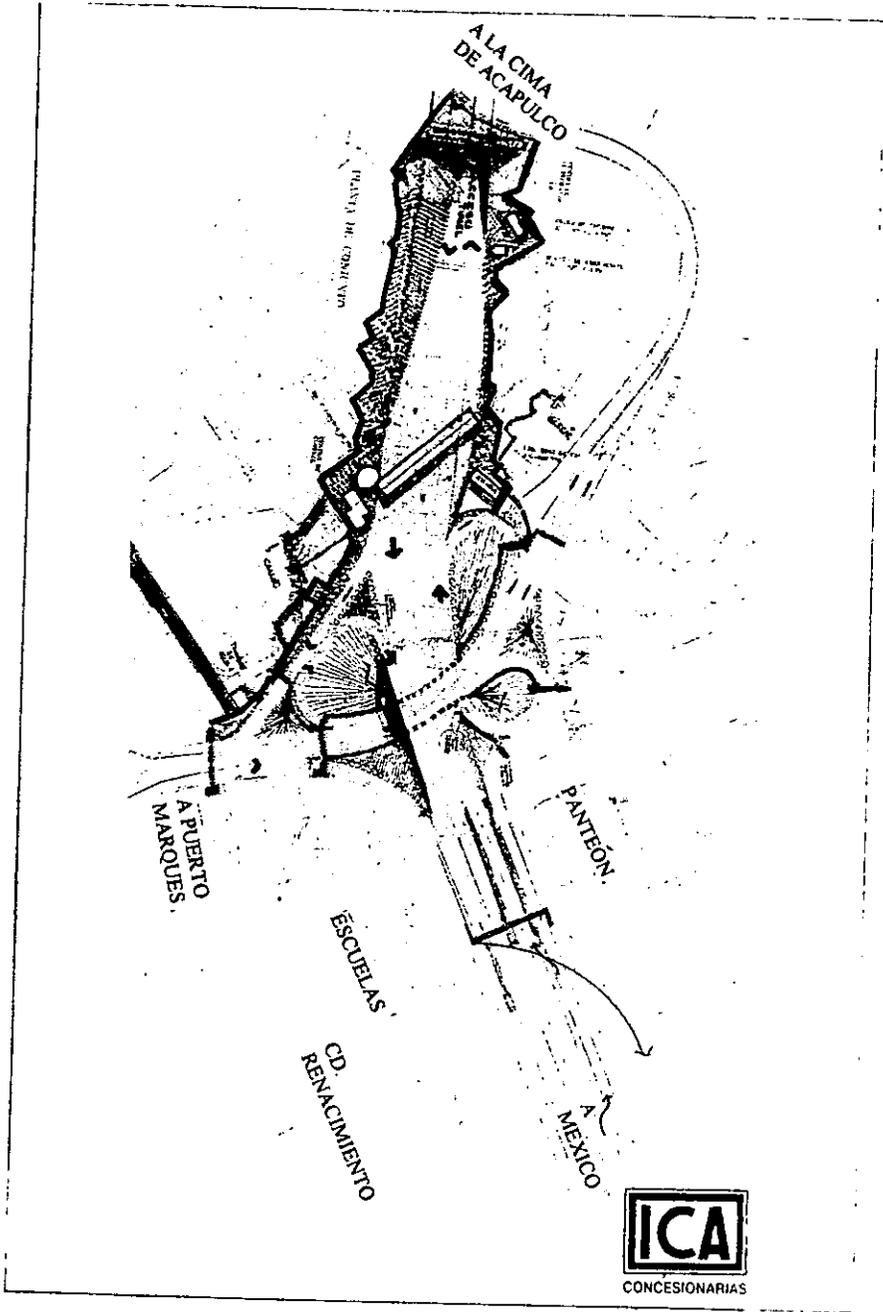


Figura 2.7. Vialidades en la zona de las Cruces.

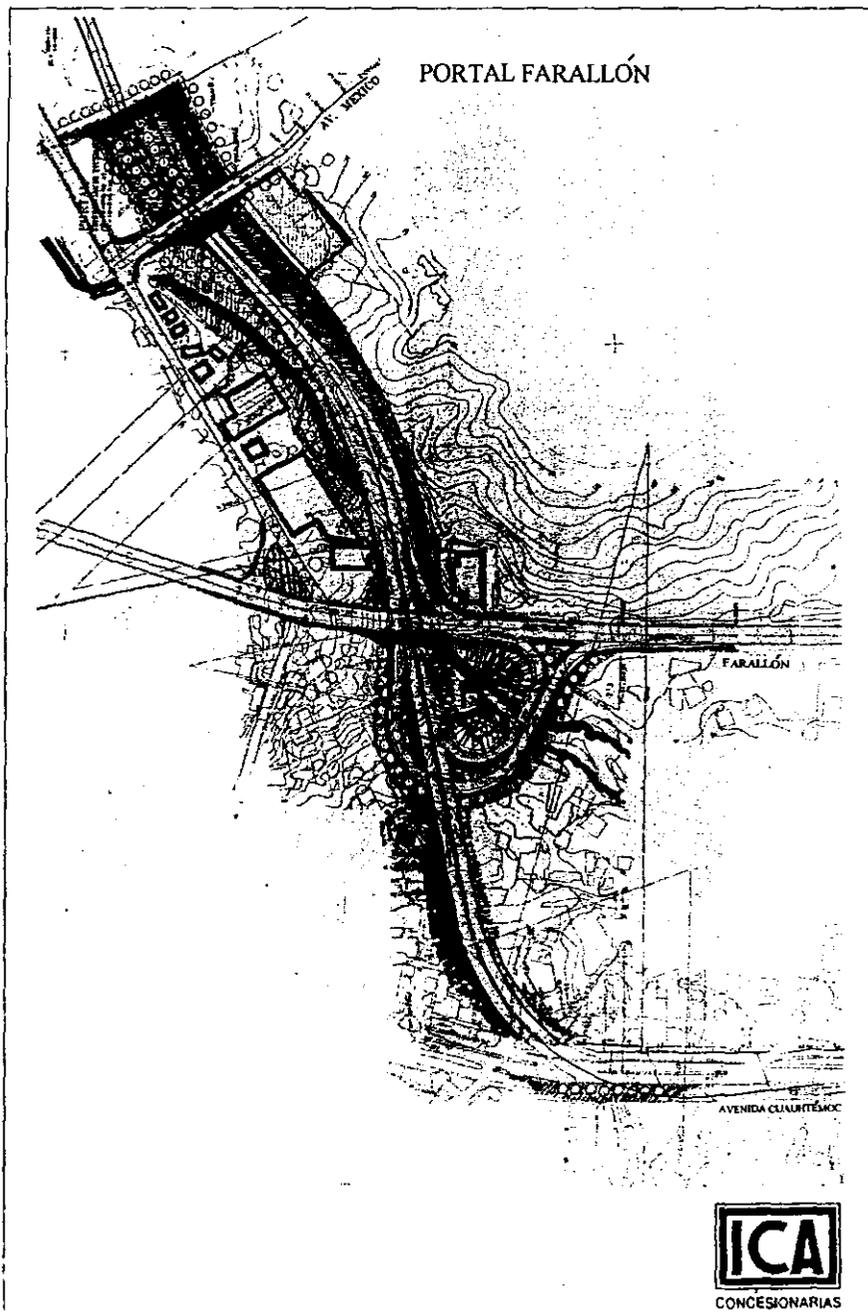


Figura 2.8 Vialidades en la zona del Farallón.

CAPÍTULO 3
Impacto ambiental

3 Impacto ambiental.

En las últimas décadas, se ha acrecentado la preocupación por los temas ambientales, ecológicos y socio-culturales, que han adquirido una importancia relevante cuando se trata de aspectos de desarrollo económico y tecnológico en casi todos los países. Actualmente, las grandes obras de infraestructura exigen profundos estudios sobre el impacto ambiental, tendientes a la preservación de los ecosistemas, el nivel de vida de la población, los valores históricos y culturales de las regiones que interesan. No hace muchos años que el hecho de cumplir con algunos requisitos técnicos y económicos, bastaba para llevar a cabo la construcción de una gran obra, no tomando muy en cuenta o simplemente ignorando los posibles efectos, tanto a corto como a largo plazo, que la implantación de la nueva estructura tendría sobre la población, los ecosistemas y la cultura de las zonas adyacentes. Actualmente, se aprecia una generalización de ideas acerca de las distintas formas en que una obra civil puede integrarse armoniosamente a un entorno natural, social y cultural acrecentando y sobre todo, respetando el patrimonio colectivo.

En este capítulo, se tratará brevemente la identificación y descripción de los impactos ambientales que se presentaron, solo durante la construcción del proyecto, sobre los diferentes componentes del medio ambiente. La identificación y descripción de impactos ambientales, se realizaron con base a las interacciones del proyecto con el ambiente que lo sustentó, considerando las obras o acciones generadoras y las áreas ambientales receptoras del impacto, durante cada etapa de desarrollo del proyecto.

3.1 Manifestación del impacto ambiental.

El túnel, es una obra que produce afectaciones en la ocupación de espacios. Estas ocupaciones pueden ser de tipo permanente o temporal; las primeras, se dan en las zonas destinadas a albergar los emportalamientos y/o tajos de acceso; las segundas corresponden, a las zonas utilizadas para los trabajos de obra y zonas de oficina, así como las de almacenamiento de maquinaria durante la construcción. La construcción de un túnel solo produce impactos en las zonas de emportalamientos y vialidades de acceso, ofreciendo grandes ventajas en la conservación de los suelos, permite respetar zonas de vegetación y fauna, evita cortes excesivos como en los tajos carreteros, respeta la hidrología superficial y respeta el paisaje, que es contemplado como recurso y patrimonio cultural del hombre, adquiriendo una consideración creciente con el conjunto de los valores ambientales que demanda la sociedad.

Los impactos ambientales que se pueden generar en cualquier obra o actividad proyectada pueden ser de tipo positivo o negativo, el primero de ellos dependerá si la consecuencia de una actividad dada va a traer beneficios al elemento del ambiente con el que va a interactuar, incrementando el desarrollo productivo y social del área, así como la protección de los recursos naturales, el segundo tipo ocurre cuando en una actividad se producen alteraciones perjudiciales sobre el elemento ambiental con el que interactúa, provocando alteraciones que reducen la producción o el bienestar social del área en donde se asiente el proyecto. El grado de significancia de los impactos ambientales va a depender de su magnitud, su duración, su reversibilidad, su extensión, su alcance y su permanencia después de terminada la vida útil del proyecto.

Para la identificación de los impactos ambientales que se generaron en la construcción del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero, se utilizó la técnica de matrices, que consistió en descubrir cuales fueron los puntos en los que las actividades que se realizaron en cada una de las fases del proyecto, interactuaban produciendo un impacto ambiental sobre un elemento de algún componente del ambiente, colocando en forma de columna todas las actividades previstas en las diferentes etapas del proyecto y en los renglones, todos los elementos del ambiente agrupados por componentes; el cruce de columnas y renglones da lugar a la formación de un número determinado de casillas dentro de las cuales se indican las iteraciones que a nivel de impacto ambiental, ocurrieron entre una actividad de la construcción y un elemento del ambiente.

Las matrices que se utilizaron para la identificación de los impactos, mostradas más adelante, fue la llamada Matriz de Leopold, figura 3.1, que sirvió para identificar los impactos adversos como los benéficos, que de una tarea determinada produjo sobre el ambiente, así como el grado de significancia de cada uno de ellos; a partir de la Matriz de Leopold se obtuvo una matriz más, en donde se indicaron y evaluaron solamente los puntos de iteración entre actividades y ambiente figura 3.2, y una Matriz de cribado, en donde únicamente se señalaron los impactos adversos y benéficos más significativos, figura 3.3.

La Matriz de Leopold, es acorde a las condiciones ambientales del sitio del proyecto, tratando de cubrir todos los elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos presentes.

La matriz se integró con 33 renglones y 31 columnas, haciendo un total de 1023 casillas que representaron posibles interacciones entre el proyecto y el ambiente. A cada uno de los impactos identificados se les asignó una clave que indicó su dirección, es decir, si es adverso o benéfico, así como un grado de significancia, usando mayúsculas cuando es significativo y minúsculas si no lo es; asimismo, se indicó si al impacto se le pudieron aplicar medidas de mitigación al cruzar el símbolo con una diagonal.

El sistema que representa el proyecto, tiene un gran número de interacciones con el ambiente, prácticamente se podría decir que toda área o actividad, tiene repercusiones con algún o algunos de los elementos del sistema ambiental, evidentemente hay impactos de magnitud muy inferior que no se manifiestan de una manera conspicua, por lo cual en esta técnica solo se consideran aquellos que son evidentes y que son identificables, a través de este procedimiento.

En la primera etapa, se elaboró una lista de interacción, señalando con una "X" las interacciones detectadas entre la construcción y el ambiente. Posteriormente, la matriz diseñada es utilizada para indicar las interacciones correspondientes a los impactos esperados por la implementación del proyecto. Esta matriz es utilizada después para evaluar los impactos identificados.

En la matriz de cribado, se agruparon los impactos clasificados como adversos, significativos y benéficos, en donde se enfatizan tanto las acciones generadoras, como los factores que serían impactados, para después diseñar medidas de mitigación.

Se entiende por medida de mitigación, el establecimiento o aplicación de cualquier política, estrategia, obra de acción tendiente a eliminar o minimizar los impactos adversos al ambiente, por la ejecución de cualquier proyecto de desarrollo.

Las medidas de mitigación pueden estar encausadas a la implementación de programas, reglamentos y/o capacitación, orientadas al manejo y conservación de los recursos naturales, pero también a las fases constructivas y operativas del proyecto que puedan ocasionar impactos significativos, de manera tal que dichas medidas, ocasionarán a su vez un programa de mitigación.

Estas medidas, están enfocadas a mitigar principalmente los impactos adversos significativos, durante cada etapa del desarrollo del proyecto, así como a mantener los impactos benéficos generados por la implantación del mismo.

3.2 Identificación de los Impactos Ambientales.

De acuerdo a la técnica de matrices utilizada, se hace una descripción de los impactos ambientales que fueron identificados, misma que sigue un orden determinado para cada una de las actividades inherentes a la construcción del Nuevo Acceso en Túnel, al Puerto de Acapulco en cada fase, empezando por los aspectos más inmediatos, desde la ocupación del terreno.

Durante la preparación del sitio, se generó una transformación de áreas, modificando los aspectos morfológicos del relieve, estructura y conformación de las capas subterráneas, usos y calidad del

suelo, distribución de flora y fauna, estilo y calidad de vida de los habitantes del área afectada y calidad del aire, principalmente. Asimismo, se modificó el uso de destino y reservas del suelo.

En la construcción del Túnel, los impactos ambientales fueron consecuencia de la ocupación de las áreas previamente preparadas, implantando obras de ingeniería civil que determinaron un cambio definitivo en los atributos naturales y socioeconómicos del ambiente, previo a la construcción.

La ejecución del proyecto, incide de manera inicial por la afectación negativa de áreas de los emportalamientos, no solo por la ocupación que ello implicó, sino también por la dispersión de contaminantes atmosféricos, provenientes de las fuentes móviles que circulan actualmente por el túnel, aunque se presentaron impactos benéficos en el medio socioeconómico. Otro aspecto importante, es que muchos de los impactos que se manifestaron, fueron de manera directa, lo cual permitió un mayor control y la posibilidad de establecer medidas de mitigación.

En la zona de los portales, la vegetación como la fauna del lugar, estaban sumamente perturbadas, estando representadas básicamente por especies exóticas, de ornato, malezas y unos manchones de vegetación original, así como por especies de faunas típicas de los centros urbanos de esas regiones, entre las que destacan las aves, algunos reptiles, anfibios como lagartijas, anuros y pequeños mamíferos, particularmente especies plaga como las ratas, pues el sitio estaba enclavado dentro de la zona urbana del municipio. Por lo anterior, la desaparición de hábitats en este sitio no representó un impacto de gran magnitud, no obstante, se contempló el reestablecimiento de la vegetación, a través de plantaciones y la creación de áreas verdes para lograr el equilibrio entre el tamaño de la población y las superficies de áreas verdes.

En la etapa de la operación, la captación de un mayor número de visitantes y la consecuente generación de empleos, proporciona una mayor estabilidad y mejoramiento de la calidad de vida de la población de la localidad. Sin embargo, en la zona en donde se ubica el proyecto, se estaba presentado un crecimiento explosivo de la población, así como la proliferación de asentamientos humanos irregulares, situación que propiciaría mayor anarquía en la población e insuficiencia de la infraestructura y equipamiento urbano.

3.3 Descripción de los Impactos Ambientales en la preparación del terreno.

En las siguientes descripciones de los impactos ambientales, se hacen algunos comentarios breves de las etapas de construcción que generaron un impacto, así como los elementos que fueron impactados, el tipo de magnitud de impacto y su posibilidad de mitigación.

3.3.1 Trazo del eje del túnel.

Esta actividad, representó la acción inicial de topografía, en la que se deslindaron terrenos y se establecieron niveles de altura sobre el nivel del mar, con el objeto de planificar la ubicación de la obra y calcular el volumen de las acciones necesarias para la implantación del proyecto. En el trazo del túnel, se generaron impactos adversos no significativos, particularmente en los elementos correspondientes a la fauna y flora de la localidad; evidentemente con el trazo, se retiró parte de la vegetación de los puntos y líneas determinadas para iniciar las obras de desmonte, así como las de despalme, y consecuentemente, se afectó el hábitat de algunos animales. Por las características de la obra, se considera que se presentaron impactos adversos no significativos, sin medidas de

mitigación, debido a que la actividad del trazo representó el inicio mismo de las obras, el impacto ambiental sobre la flora y la fauna, fue no significativo, sin embargo, ambos elementos continuaron impactándose aún con mayor intensidad de manera irreversible en las etapas subsecuentes del proyecto, motivo por el cual se considera que no se aplicaron medidas de mitigación.

3.3.2 Gestión del derecho de vía.

Las afectaciones producidas por la delimitación de la infraestructura en la tenencia de la tierra, foto 3.1 mostrada en la siguiente hoja, tienen manifestaciones directas por efectos del área que se dañó en los sitios en donde se ubicaron los emportalamientos y las vialidades de conexión. Además, se ocuparon otras áreas relacionadas con el préstamo de materiales y bancos de materiales, lo cual redujo la superficie de algunos predios; que fue particularmente impactante para las propiedades que fueron afectadas, ya que implicó un efecto barrera que trajo como consecuencia la pérdida de la unidad de la comunidad, la interferencia de la comunicación, la segmentación de áreas y actividades, lo cual también generó algunos conflictos sociales.

Los predios ubicados en el área de Las Cruces, era una zona ocupada por asentamientos humanos irregulares, que se presentó como un impacto adverso significativo con medidas de mitigación; lo que significó la reubicación y traslado de alrededor de 200 familias en esta etapa del proyecto, el pago de las indemnizaciones correspondientes, en función de su valor real y la instauración de un reordenamiento urbano en el Plan Director Urbano de la Ciudad de Acapulco, Guerrero, como medida de mitigación.



Foto 3.1 Afectaciones por la infraestructura urbana.

Las características generales de la población, que se encontraban en esa área, son: La población que fue reubicada, procedía en un 60 % de otros Estados de la república, la mayor parte de las familias asentadas en la zona, habían vivido ahí de 15 a 20 años, esperando la regularización de la tenencia de la tierra. La zona contaba con servicios de agua potable y energía eléctrica, en términos generales, vivían en condiciones de insalubridad (no había drenaje, ni tiraderos de basura) y falta de seguridad, con altos índices de delincuencia. La zona contaba con escuelas, desde jardines de niños hasta planteles de educación superior (CONALEP), así como también mercados, comercios y servicios de toda clase. La gran mayoría de las personas afectadas, estuvieron de acuerdo en que el pago de las indemnizaciones correspondientes, fueran pagadas en efectivo y se les permitiera elegir un nuevo predio para su reubicación.

Los impactos fueron adversos significativos, en el uso actual del suelo, la tenencia de la tierra, la reubicación de la población y el uso del suelo, siendo los tres últimos susceptibles de mitigación; de igual manera, se manifestó un impacto no significativo con medida de mitigación en la estructura demográfica local y un impacto benéfico en la generación de empleos.

3.3.3 Barda perimetral.

La construcción de una barda perimetral, implicó impactos adversos en el uso actual del suelo, manifestando un impacto adverso no significativo para la fauna, ya que limita sus posibilidades de dispersión y fragmentación de su hábitat, sin embargo por tratarse de un medio urbano, las afectaciones directas sobre la fauna no son importantes, pues la comunidad faunística está integrada únicamente por las especies bien aclimatadas al medio urbano.

Los aspectos benéficos significativos, se presentan en la apariencia visual, porque sirve de barrera para evitar que se sigan utilizando esos lugares como tiraderos de basura, ya que habitualmente así lo hacían, ésto mismo, dió la pauta para cambiar su uso del suelo y evitar que se siguiera acumulando basura en esos puntos, a la vez proporcionó seguridad tanto a los trabajadores como a la población.

3.3.4 Desmonte y despalme.

Esta actividad, consistió en la eliminación total de la cubierta vegetal, que consiste en arrancar la raíz con maquinaria pesada. En el desmonte, se generaron algunos impactos adversos sobre el uso

del suelo, alterando su estructura de manera significativa. Al ser removida la cubierta vegetal y el suelo, se produjo una alteración que no solo se manifestó puntualmente, sino que repercutió en un área un poco más extensa; esta actividad además de incidir en el sitio en donde se llevó a cabo, también se expandió para ocupar una superficie mayor, afectando los sitios aledaños y éste, incidió en los usos actuales del suelo de los mismos.

El desmonte, también generó impactos adversos no significativos en la calidad del aire y la visibilidad, foto 3.2 mostrada más adelante, esto fue debido a que en su ejecución, se dispersó la emisión de partículas de polvo por efecto del retiro del suelo y del movimiento de maquinaria que incidió sobre el estado acústico natural, generando un impacto sin medida de mitigación. Obviamente estos factores y otros más como son el cambio en la textura, los colores, la composición y otros componentes del paisaje, presentaron un cambio en la conformación original del sitio.

Las afectaciones más importantes ocurrieron sobre los aspectos bióticos del área de estudio, y en ese sentido, la vegetación y la fauna presentaron impactos adversos significativos por eliminación directa de la cubierta vegetal, y en consecuencia, por la eliminación de hábitats de la fauna presente en el lugar. Asimismo, el movimiento de maquinaria, la emisión de polvo y los ruidos, produjo alteraciones tales como la acumulación de polvos sobre la superficie foliar de las plantas y la huida de animales hacia sitios más seguros. Fue factible aplicar medidas de mitigación, ya que el sitio del proyecto, estaba enclavado dentro de la zona urbana y por tanto, fue factible recuperar el hábitat de las mismas, mediante la aplicación de plantaciones.



Foto 3.2 Afectaciones en los taludes.

Por otra parte, las actividades del desmonte, también generaron impactos, en la apariencia visual y la calidad del ambiente en general, lo cual es evidente, dado el cambio en la conformación y composición paisajística que implicó el proyecto. En este punto la composición paisajística fue la más afectada, dando lugar a un impacto adverso significativo.

El despalme afectó particularmente a algunos factores físicos, a los factores bióticos y los estéticos del ambiente. Así se presentaron impactos adversos significativos en la composición del suelo, en su resistencia a la erosión y en el drenaje vertical, todos ellos sin medidas de mitigación, ya que posteriormente esos terrenos, se ocuparon para desarrollar la construcción. En los rasgos biológicos, al igual que en la actividad de despalme, se presentaron impactos adversos significativos sobre la

vegetación y sobre la fauna terrestre, e impactos no significativos sobre las especies de interés comercial, ecológico y cinegético, pues la presencia de esos organismos no eran muy importantes, debido a la gran alteración que representaba esa zona urbana.

3.3.5 Limpieza del sitio.

La actividad de limpieza, se llevó acabo en parte por los lugareños que recogieron troncos o material aprovechable y el resto que fue la hoja tarasca y troncos, en donde se utilizó maquinaria.

Se presentó un impacto adverso no significativo en la calidad del aire, determinada por la emisión de polvos e impactos adversos sobre la vegetación y la fauna del lugar.

En la apariencia visual del ambiente, con la limpieza del sitio se generó un impacto benéfico significativo, ya que una vez realizado el desmonte y el despalme, los desechos quedaron acumulados junto con la basura doméstica, que ya previamente existía en el lugar, por tanto, la limpieza de esos materiales, contribuyó a mejorar la apariencia visual del sitio. En esta tarea, se quitó todo el material acumulado en el área, para que no fuera transportado aguas abajo por los escurrimientos, contaminando otros sitios.

Mediante esta labor, se permitió realizar las actividades de construcción, mejorando las condiciones de trabajo y permitiendo el libre tránsito de maquinaria, personal, equipo y eliminación de objetos que pudieron provocar un accidente, manifestándose un impacto benéfico significativo.

3.3.6 Servicios de apoyo y campamento.

Los campamentos son instalaciones de apoyo de la obra que se localizaron dentro de los terrenos de la misma, los cuales sirvieron para guardar equipo y herramientas. Estos, generaron impactos por acciones de pequeña magnitud y de poca extensión, temporales y puntuales, afectando principalmente la apariencia visual y la calidad del ambiente, por lo que se consideraron adversos no significativos, con medidas de mitigación. Estos campamentos, presentaron impactos benéficos no significativos en el bienestar social, por su operación, al tener un mayor control sobre los materiales, herramientas, equipo y personal evitando con ello, posibles accidentes y emergencias. Los campamentos permitieron operar con mayor seguridad, por lo tanto representaron un impacto benéfico, foto 3.3 mostrada más adelante.

3.3.7 Brechas de acceso.

Sus efectos fueron de poca extensión y en algunos casos reversibles, con carácter de adversos no significativos, con medidas de mitigación. Estas brechas presentaron un efecto barrera sobre la distribución de la flora y la fauna, así como para el flujo de las corrientes superficiales, sin embargo, como se trataba de un área sumamente perturbada, y como la flora y la fauna también se presentaron muy disminuidas en su distribución, gran parte de los impactos presentados fueron adversos, poco significativos y susceptibles de medidas de mitigación. Se presentaron también impactos poco significativos, con medidas de mitigación en la apariencia visual y calidad del ambiente, debido a las áreas desnudas, la compactación del suelo, la emisión de partículas de polvo

y el posible avance de la erosión principalmente, con lo cual presentaron afectaciones sobre la estructura del suelo.



Figura 3.3 Campamento alojado en el taje del portal.

3.3.8 Movimiento de equipo.

En la operación de maquinaria y equipo, los impactos generados por éstos, fueron debidos a acciones de pequeña magnitud, como compactación del suelo, alteración del estado acústico natural, apariencia visual y la calidad del ambiente, lo cual se consideró poco significativo debido a la localización del proyecto, dentro de la zona urbana. También, se presentaron impactos adversos, no significativos en la calidad del aire por efectos de la generación de gases contaminantes y el

levantamiento de polvo, en la visibilidad y en el estado acústico natural debido a la generación de ruido de los motores, foto 3.4



Foto 3.4 Maquinaria en la zona de los portales.

En los elementos naturales, como el caso de la flora, se presentaron impactos por la acumulación de polvo en su superficie foliar, así como el maltrato físico y sobrepisoteo; en la fauna terrestre, se dió un impacto adverso significativo por el ruido, la emisión de gases, polvos y la vibración producida por el equipo que ahuyentó a los animales presentes en el lugar. Sin embargo, por tratarse de un área muy antropizada, las alteraciones sobre los componentes bióticos, fueron mínimas y tuvieron medidas de mitigación.

3.3.9 Mano de obra.

En este rubro, se presentaron impactos benéficos importantes, sobre todo en los renglones correspondientes a empleo, mano de obra, economía regional y bienestar social. En esta etapa se contrataron trabajadores de la localidad y por otro lado, no se establecieron campamentos para que pernctaran los trabajadores.

No se hacen comentarios en las etapas referentes a la pavimentación, impermeabilización de cunetas, manejo y disposición de residuos, sistemas de comunicación y requerimiento de energía, para no desviar la atención del lector e interesar solo los impactos durante la excavación del túnel; pero a su vez estas actividades, también tuvieron un impacto dentro del proyecto, que muestra la matriz de Leopold.

3.4. Descripción de los impactos ambientales en la etapa de construcción.

Los siguientes comentarios que se hacen brevemente, en la etapa de la construcción del túnel, describen los impactos ambientales y algunas de las tareas que generaron un impacto, el tipo de magnitud y su posibilidad de mitigación.

3.4.1. Frentes de ataque.

Gran parte de los impactos ambientales producidos por esta actividad, se clasificaron como adversos no significativos, con medidas de mitigación, como es el caso de las afectaciones de los

escurrimientos superficiales por la denudación de una franja de terreno, por el avance de la erosión producto de la misma circunstancia, la calidad del aire, la visibilidad y el estado acústico natural por efectos del funcionamiento de maquinaria y equipo, las afectaciones a la selva baja y a las especies de flora de interés comercial por efectos de los polvos y los gases contaminantes, así como el incremento en la visitación, el sobrepisoteo y el posible vandalismo. En cuanto a la fauna terrestre, se estableció una barrera que impidió su adecuada dispersión, además de que limitó su área de distribución propiciando la desaparición de algunos micro hábitats; se presentaron afectaciones derivadas de la contaminación atmosférica, por ruido y vibración lo que ocasionó que los representantes de la fauna local se ahuyentaran, particularmente los que tuvieron mayores posibilidades de desplazamiento.

En el relieve, las características geomorfológicas y la apariencia visual, presentaron impactos adversos significativos, ya que esta actividad incluyó algunos cortes y excavaciones en algunos lugares.

El procedimiento para mitigar el ruido que produjo el equipo mecánico que estaba estacionado en un plazo significativo en los portales del túnel, tales como compresores, generadores de emergencia, etc. fue, el ubicarlos dentro del tajo de acceso al portal. De esta forma, los taludes funcionaron como estructuras de confinamiento, reduciendo el ruido generado a niveles no perceptibles.

3.4.2. Barrenación.

La barrenación produjo diversos impactos de carácter adverso no significativo sobre el ambiente, y éstos incidieron en el drenaje vertical, ya que tal actividad en ocasiones generó fracturas y grietas por donde fluyó el agua subterránea, cuando se presentó un manto freático en el sitio afectado.

Otros impactos esperados por este tipo de actividad son las incidencias sobre la calidad de ambiente en general, la calidad del aire en particular y el estado acústico, ya que la emisión de polvo, ruido y vibración fue conspicua, aunque su dispersión fue limitada.

Con respecto a la geología y en particular a la estructura de la roca en el sitio del proyecto, se presentó un impacto adverso no significativo, pues esta actividad provocó algunas fracturas de poca intensidad.

3.4.3. Ventilación.

La ventilación consistió en la inyección de aire fresco a la zona de trabajo en el interior de la excavación, durante todo el tiempo que se realizó la construcción de la obra en el subsuelo. En la ejecución de esta actividad se generaron impactos benéficos significativos en los renglones de calidad del aire y seguridad, lo cual dadas las características del proyecto que implica una excavación y el desarrollo de actividades subterráneas en un ambiente que se puede viciar con facilidad, es sumamente importante ya que éste, evitó la posibilidad de accidentes o deficiencias en

el estado de salud de los trabajadores, proporcionándoles un ambiente adecuado para realizar sus labores.

3.4.4. Carga de explosivos y voladuras.

Los impactos provocados por esta actividad, son de carácter adverso, y entre los más significativos existen algunos que aparecen en forma, como los que ocurren en los renglones de visibilidad y estado acústico natural, ya que en ambos casos se presentan solamente, mientras se realiza la actividad, y permanecen en el ambiente por un breve tiempo hasta perderse. Cabe señalar que impactos como el ruido, el lanzamiento de material, la vibración y el golpe de viento, producidos por el uso de explosivos, a pesar de que son de corta duración, pueden provocar impactos muy significativos sobre la estructura de la obra y de las casas habitación de la zona, así como en la estructura misma del manto rocoso que sustenta al túnel, por lo cual se tomaron todas las precauciones y medidas de seguridad pertinentes para este fin (Para el uso de explosivos existen disposiciones de la Secretaría de la Defensa Nacional, para usar artificios tales como retardadores, así como la implementación de medidas de seguridad tales como la colocación de llantas, mallas y costales de arena.(Mencionadas en el Capítulo 5).

Por otra parte, los impactos sobre la geología y particularmente sobre la estructura de la roca en el área que corresponde al túnel y su periferia, se esperó que fueran adversos significativos, ya que pudieron producir fallas y fracturas como consecuencia de un mal manejo de los explosivos y de un accidente. Estos impactos fueron mitigados al requerir de un especial cuidado.

También, se manifestaron impactos adversos, que perdurarán en el ambiente de manera indefinida y que por no tener medidas de mitigación podrán ser considerados como impactos residuales, tal situación la presentó el relieve que se vio alterado de manera permanente en los tajos, taludes y otros cortes, y en la apariencia visual.

Otro impacto, pero éste con medidas de mitigación, corresponde a las afectaciones sobre la fauna, lo cual se manifestó por los movimientos de la misma, hacia sitios más seguros.

Se presentaron algunos impactos adversos no significativos en los renglones correspondientes a las características del relieve, la apariencia visual y la calidad general del ambiente, el primero de ellos es producto de los cortes en los tajos, en donde se modificó el paisaje, dándole otra apariencia visual y otra calidad en cuanto a los aspectos estéticos. Estos impactos son permanentes pero dadas las características urbanas del lugar y la magnitud de los mismos, se consideran poco significativos.

El procedimiento utilizado para mitigar el ruido producido por la carga y voladura de los explosivos, fue por un lado el planear y realizar voladuras de reducidas dimensiones colocando sobre el área, una cama formada por lonas, llantas usadas y mallas metálicas que amortiguaron el ruido y el riesgo de desprendimiento de rocas. Los efectos de la carga de explosivos, son significativos únicamente durante la etapa de construcción de los tajos y emportalamientos, ya que posteriormente las voladuras, se realizaron en el interior del túnel a profundidades del orden de 200 metros o más, por lo que no fueron audibles.

3.4.5. Remoción, carga y acarreo de rezaga.

La acción de remover todo el material suelto proveniente de la explosión y obras anexas, por medio de camiones de volteo, buldozer y trascavos, produjo algunos impactos de carácter adverso no significativo, particularmente en lo que respecta a la estructura del suelo, debido a la compactación del mismo; la calidad del aire por la emisión de polvos y gases provenientes de los motores de combustión interna, la visibilidad por efectos de la dispersión de partículas de polvo, el estado acústico natural motivado por el ruido que generó la operación del equipo; la calidad del ambiente en cuanto a colores, sonidos y la apariencia visual, estos dos últimos, como consecuencia del retiro del material que anteriormente estaba presente y luego de la actividad de remoción. Evidentemente algunos de estos impactos, fueron susceptibles de aplicárseles medidas de mitigación, como es el caso de la calidad del aire (se proporcionó mantenimiento al equipo, maquinaria y una operación en buenas condiciones), la visibilidad (se regó el agua en donde se realizó la actividad para evitar el levantamiento del polvo) y la apariencia visual, ya que ésta última, se vió mejorada al ser retirado todo el material inservible para la obra.

Como consecuencia de esta actividad, se presentó un impacto adverso no significativo en el renglón de seguridad, pues con el retiro del material de la rezaga, se trabajó en mejores condiciones de seguridad evitando la interferencia en los accesos a la construcción, la acumulación de material que produjo polvos y la posibilidad de accidentes de los trabajadores.

En la carga de los camiones, se establecieron áreas de espera para cargar el producto de la excavación, de manera que no interfirieran con el tráfico vehicular, así mismo, se les exigió a los

fleteros que instalaran lonas sobre las cajas de los vehículos, para evitar derrames de tierra en las calles del puerto.

3.4.6. Anclaje y concreto lanzado.

Esta actividad, manifestó un impacto adverso no significativo sobre la corriente subterránea y sobre el drenaje vertical, en ambos casos, dependió de las fracturas y fallas ocasionadas en algunos momentos que provocaron alteraciones en las corrientes de aguas subterráneas. En esta actividad, se presentó un impacto benéfico en el renglón que corresponde a la seguridad, ya que dicha tarea tuvo como objetivo primordial, proporcionar seguridad a la estructura del túnel, lo cual repercutió favorablemente, evitando posibles accidentes durante la construcción del mismo.

3.4.7. Bancos de material.

Para esta obra, se utilizaron bancos de material comerciales ya existentes y por lo tanto, presentaban ya efectos adversos. Los impactos esperados por esta actividad, son los relativos a las modificaciones de tipo negativo en las características geomorfológicas, el relieve y la estructura del suelo en los sitios en donde se localizaban esos bancos, puesto que evidentemente la extracción de material, cambió a estos componentes de manera significativa.

En el sitio de los bancos de material existían impactos derivados de la eliminación de la cubierta vegetal, la modificación de los escurrimientos, la eliminación de hábitats, la erosión y modificación

del relieve entre otros, pero debido a que esos bancos, previamente se habían explotado, dichos impactos no pueden ser atribuidos al proyecto.

3.4.8. Obras de drenaje.

Son obras de infraestructura creadas para controlar, encausar y desalojar las aguas pluviales con la finalidad de respetar los causes originales y brindar protección a la vialidad. Los impactos esperados por esta actividad se ubican en los renglones de las corrientes de agua superficial y subterránea, clasificándose como adversos no significativos, con medida de mitigación en ambos casos; y se presenta una alteración adversa significativa en la estructura del suelo por sus implicaciones de retiro de material, excavación y recubrimiento.

En los renglones de seguridad, se presentan impactos benéficos en la infraestructura y servicios, ya que esta actividad evitará el riesgo de inundaciones y azolves, tanto en el sitio del proyecto como en su periferia.

3.4.9. Terraplén y relleno.

En este punto, se presentaron impactos ambientales adversos en la dinámica de los escurrimientos y en el suelo por efectos de la promoción de la erosión, mismos que fueron mitigables (estabilidad de taludes y plantaciones), así como en la estructura del suelo, el cual se removió y estas superficies fueron cubiertas y sujetas a plantaciones; por ésto mismo, se presentaron afectaciones adversas sobre la vegetación local que también fue mitigable (con la plantación de especies nativas).

En la apariencia visual y el relieve, se presentaron impactos adversos, para el primero de esos factores clasificados como de poca significancia y para el segundo como significativos, en ambos casos sin medidas de mitigación.

3.4.10. Compactación.

La compactación produjo efectos adversos no significativos, principalmente en lo que respecta a las corrientes superficial y subterránea, así como el drenaje vertical, dado que la capacidad de infiltración del suelo se vio disminuida y se alteraron los cursos de las corrientes que surcaban la zona. Esta actividad también afectó la estructura del suelo de una manera negativa no significativa, así como algunas especies de la fauna del suelo; y por supuesto a la calidad del ambiente, desde el punto de vista paisajístico y al estado acústico natural, por efectos de operación de la maquinaria.

3.4.11 Terracería.

Los trabajos de terracería provocaron impactos adversos no significativos sobre diferentes componentes del ambiente, como el caso de la resistencia a la erosión de suelo, que se vio disminuida promoviendo la erosión hacia las partes aledañas; el uso actual del mismo que desde luego cambió en la franja por donde pasaban estos vehículos; la calidad del aire, la visibilidad y el estado acústico como resultado del paso de maquinaria y equipo; la vegetación por el retiro de la misma y la acumulación de polvo en su follaje; la fauna por efecto del ruido, vibración y pérdida de hábitat; la apariencia visual y la calidad del ambiente por las repercusiones de esa actividad sobre las cualidades estéticas de los sitios afectados, foto 3.5.



Foto 3.5 Movimiento de tierras.

3.4.12. Obras complementarias.

Son obras que se localizan a lo largo de las vialidades de liga y se prolongan hacia el interior del túnel, consistiendo en: construcción de cunetas, bordillos de concreto, lavaderos, contracunetas, subdrenes longitudinales, pozos de visita y cerca para derecho de vía; estas obras producen erosión, afectación del drenaje y agua superficial en las vialidades de liga, por lo que se consideran de carácter adverso no significativo.

En los aspectos socioeconómicos, tienen efecto benéfico por la infraestructura y servicios, así como la utilización de la mano de obra.

En el sitio del proyecto existía una gran acumulación de desechos domésticos que eran arrastrados por efectos de los escurrimientos; las obras complementarias son de gran ayuda para evitar que ante una lluvia torrencial, los desechos acumulados sean acarreados aguas abajo.

3.4.13. Estabilización de taludes.

Los impactos como consecuencia de esta actividad, son benéficos en los renglones de erosión y drenaje vertical, ya que en las partes en donde se aminoró la pendiente del talud o se establecieron terrazas, se promueve la capacidad de infiltración y la retención del suelo. Por otra parte para las características de la geomorfología y del relieve presentaron impactos adversos no significativos, sin medidas de mitigación por las implicaciones de esta actividad sobre esos elementos del ambiente.

3.4.14. Señalamiento.

Esta actividad mejoró las condiciones de trabajo en la construcción, evitando la ocurrencia de accidentes. Por lo que manifestó un impacto benéfico significativo en el renglón de seguridad.

3.4.15. Reforestación.

Esta actividad manifiesta impactos benéficos sobre diferentes componentes del ambiente, ya que no solo incide sobre los aspectos biológicos del mismo, sino que también se obtienen ventajas en cuanto a la retención del suelo, la infiltración, las características del drenaje, como barrera contra la dispersión de contaminantes gaseosos y partículas, en la eliminación de destellos luminosos, como

marco para el trazo de la vialidad de superficie, como barrera de contención, en los aspectos estéticos, en el bienestar social por su cualidad de producir oxígeno, en la recreación de áreas verdes que permitan el esparcimiento de la comunidad; y desde luego, en la recuperación de la vegetación y del hábitat de la fauna local. En los taludes se colocaron pastos que mejoraron la calidad paisajística, manifestándose una medida de mitigación al reforestar la zona.

3.4.16 Mantenimiento de maquinaria y equipo.

En este punto, se pudieron generar impactos ambientales no significativos, con medidas de mitigación sobre las corrientes de agua superficiales, ya que es factible que como consecuencia de la limpieza y mantenimiento de la maquinaria y equipo con que contó el túnel, se pudieran generar derrames o se mezclaran las sustancias utilizadas en esta actividad, con las aguas de los escurrimientos.

El mantenimiento de los equipos de construcción, se efectuó en un local adecuado, teniendo cuidado en especial de evitar derrames de hidrocarburos que contaminaran las aguas del suelo.

Dentro del mantenimiento, se carburaron los motores del equipo pesado para evitar la excesiva generación de contaminantes y de ruido.

Se manifestaron impactos benéficos en el ámbito de bienestar social y seguridad, ya que el equipo que funcionó eficientemente, brindó la plena confianza para trabajar sin la posibilidad de que ocurriera algún incidente lamentable.

CAPÍTULO 4

Geología

4 Geología.

En la realización de la obra, se llevaron a cabo diversos estudios geológicos para conocer las condiciones físicas, mecánicas y características de la zona, siendo de primordial importancia los levantamientos geológicos, así como los estudios geotécnicos en el proyecto, diseño y construcción del túnel. Los estudios de mecánica de suelos y rocas, se apoyaron en la prospección geológica para pronosticar el comportamiento mecánico del terreno, durante la excavación y la iteración de éste con el soporte. Durante la investigación de campo, se desarrollaron barrenaciones, con muestras de recuperación de núcleos de roca, que ayudaron a la determinación del diseño y construcción del túnel.

A continuación, se conocerán las condiciones geológicas del macizo rocoso, en la construcción del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco.

4.1 Trazo.

Siguiendo la línea de proyecto establecido a partir del estudio vial de 1989, (Estudio vial túnel-Acapulco, Trabajo elaborado por ICA SOLUM, para el gobierno del Estado de Guerrero, abril de 1989) la porción subterránea del nuevo acceso, con 2947 metros de longitud, se inicia en el portal Cruces, vecino a la exglorieta del mismo nombre, con su rasante en la elevación 48.8 m., con una pendiente ascendente del 1.7 % cuando los vehículos se muevan hacia Acapulco y descendiente en sentido contrario. Se interna en el macizo rocoso, cruzando hasta tres veces por debajo del actual

acceso carretero, con una ligera desviación hacia la izquierda (sur) para librar una gran zona de falla, detectada durante la exploración geológica. A la mitad del recorrido; el túnel tiene una deflexión correctiva hacia la derecha (norte), para encontrar el portal farallón, vecino a la avenida del mismo nombre, con su rasante a la elevación 97.4 m. La profundidad máxima del tramo subterráneo, con respecto a la superficie del terreno, es del orden de 175 m.

De acuerdo a las características geotécnicas de la roca explorada, se dejó 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.

4.2 Geología regional .

La geología de la región, se inicia en el paleozoico, con la sedimentación de depósitos que posteriormente, a fin del Cretácico y principio del Terciario, fueron intruccionados por rocas graníticas, como consecuencia de los movimientos orogénicos que se manifestaron en este período y que produjeron, las fracturas y las fallas que se observan en el área.

Posteriormente, las rocas fueron sujetas a fuerte intemperismo de los agentes atmosféricos. Parte del producto del material intemperizado fue arrastrado por los ríos y arroyos para dar lugar a los sedimentos aluviales que se observan en las partes bajas, planas.

Para la realización del plano geológico regional, se interpretaron fotografías aéreas con escala 1:10,000 de 1985, así como las de un vuelo de 1966, escala 1:10,000, cuando el desarrollo urbano de

la ciudad de Acapulco, Guerrero, 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 y se pasaron a un plano fotogramétrico escala 1:5,000 de 1971, obteniendo de esta manera, el plano geológico de la zona en la que se construyeron los túneles gemelos en proyecto.

4.2.1 Fisiografía.

El proyecto está localizado 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 el Golfo de Tehuantepec. En esta región, se encuentra la subprovincia de la vertiente sur, que abarca parte de los Estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, estando formada por una angosta franja de montañas que corren paralelas a la costa del Pacífico y en algunas ocasiones, surgen directamente del océano, interrumpiendo la angosta subprovincia de la llanura costera del Pacífico.

En la zona de Acapulco, esta subprovincia está constituida por rocas metamórficas del Paleozoico (complejo de Xolapa) y rocas intrusivas (granito y granodiorita), interrumpiendo estas últimas, la planicie costera.

La zona está drenada por pequeños arroyos y ríos de escasa longitud que desembocan al océano Pacífico, o bien escurren hacia el río de la Sabana. Fisiográficamente, la porción estudiada se

encuentra en una zona montañosa, formada por rocas metamórficas que están en contacto con las rocas graníticas, sobre las cuales se encuentra el puerto de Acapulco.

4.2.2 Morfología.

La secuencia estratigráfica, a partir de las rocas más antiguas y hasta las más recientes, está constituida por las siguientes formaciones (Figura No. 4.1):

Las **Rocas metamórficas** (Pmet), son las rocas más antiguas que afloran en la región de Acapulco, corresponden a la serie Xolapa, y consisten en una potente formación de rocas de intensidad metamórfica variable que están constituidas principalmente por esquistos y gneis, de biotita. Superficialmente, estas rocas se presentan muy intemperizadas, predominando el material tipo arenoso, resultando a veces, difícil en el campo su diferenciación con respecto a los granitos

En las fotografías aéreas, fue muy marcado el contraste del tono, entre las rocas metamórficas y los granitos; estos últimos presentan superficialmente bloques grandes de roca sana, remanentes de la meteorización. Las rocas metamórficas, se consideran del paleozoico.

Las **Rocas intrusivas** (Ti), afloran en la mayor parte de la Bahía de Acapulco y están constituidas por granitos, granodioritas y dioritas de grano medio a grueso. Superficialmente, se presentan intemperizadas, dando lugar a arenas arcillosas sobre las cuales sobresalen bloques grandes de roca sana. Estas rocas, se consideran de fin del cretácico y principio del terciario.

Los **Depósitos aluviales (Qal)**, existen en la zona del río de la sabana, constituidos principalmente por grava, arena y limo. Sobre estos materiales, se ubica el entronque Las Cruces que da acceso al túnel. Éstos materiales se consideran de la época del Cuaternario.

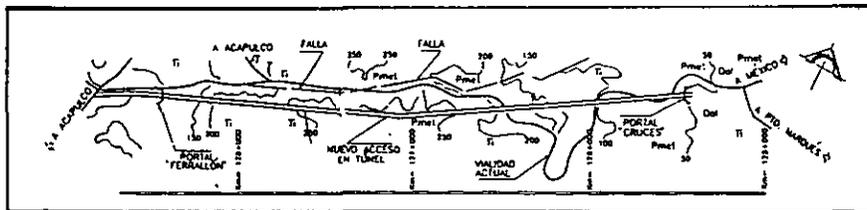


Figura 4.1.- Planta.

4.3 Geología local.

De acuerdo con el estudio geológico del túnel, realizado en 1989, las rocas más antiguas que afloran, son las rocas metamórficas de la serie Xolapa, adicionalmente afloran rocas intrusivas que superficialmente ambos grupos de rocas se presentan muy intemperizadas, predominando el aspecto arenoso de los materiales hasta una profundidad del orden de 10 metros. Más abajo la roca, se presenta fracturada e intemperizada hasta 15 o 20 m. de profundidad y después solo fracturada.

La zona se encuentra ubicada en la Fosa de Acapulco que se localiza paralelamente a la costa, a 50 km. al suroeste del puerto.

El principal fenómeno estructural está representado por la formación de un tronco granítico que intrusiónó a las rocas sedimentarias preexistentes.

El área, se encuentra afectada por una falla con dirección aproximada de N 60° E, sensiblemente paralela al eje de los túneles.

Los sistemas de fracturamientos detectados en las rocas metamórficas y en las graníticas, presentan las siguientes características:

N 60° a 70° W	Variable, entre la vertical y 40° al Suroeste, con espaciamento a 90 cm.
N 10° a 20° W	Vertical.
N 20° a 30° E	Variable, entre la vertical y 70° al Sureste, con espaciamento de 20 a 70 cm.
E - W	Vertical, con espaciamento de 30 a 40 cm.

En algunos afloramientos, se pudieron medir los planos de esquistosidad de la roca metamórfica, presentando éstos, una dirección E - W y una inclinación de 70° hacia el Sur.

4.3.1 Geología en los portales.

Para obtener la geología en los portales en las Cruces y en el Farallón, se contó con planos topográficos escala 1: 500, con curvas de nivel a cada metro. En estos planos, y con base a la información recopilada en los recorridos de campo, se indicaron los contactos entre los diferentes materiales, así como los sistemas de fracturamiento visibles.

Para la determinación de la estratigrafía, se llevaron a cabo sondeos exploratorios, que consisten en una perforación vertical o inclinada hecha en el subsuelo, para obtener muestras de suelo o roca y consecuentemente determinar la estratigrafía, así como, las propiedades físicas de los materiales.

Los sondeos exploratorios SM-3 y 12, se efectuaron en los portales de las Cruces y los SM-4 y 16 en los del Farallón; (Los sondeos exploratorios, se mencionan en el inciso 4.4). Con la información obtenida de los sondeos, se elaboraron los cortes geológicos de ambos portales, figura 4.2.

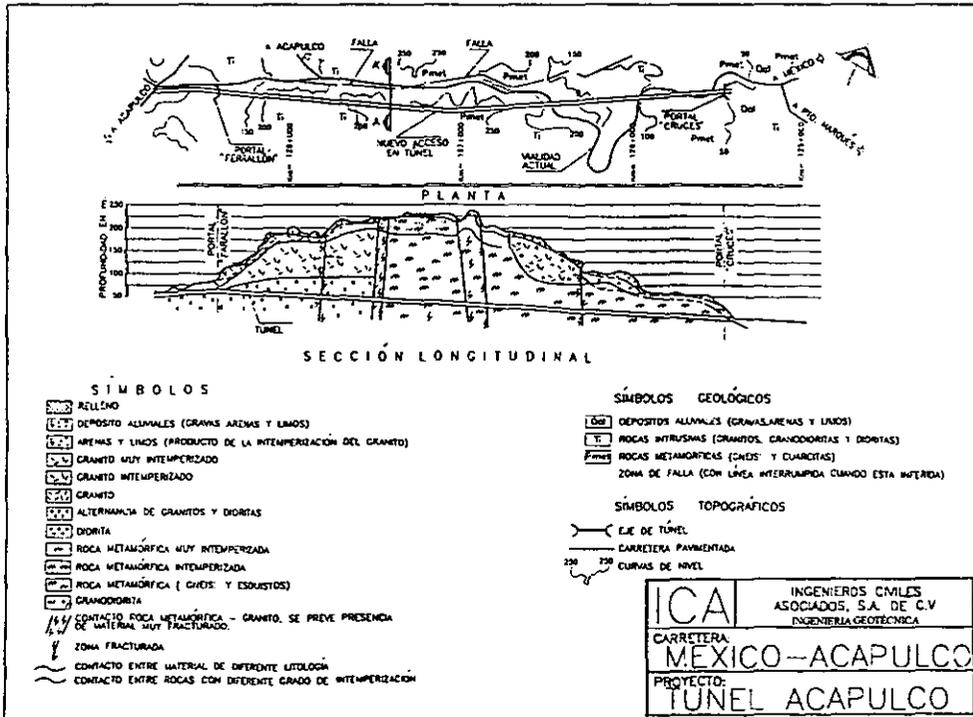


Figura 4.2.- Perfil geológico.

4.3.1.1 Portal Cruces.

Se observaron afloramientos constituidos por rocas metamórficas intemperizadas, de color café rojizo, coronados en algunas zonas con materiales de relleno, en la cercanía de la carretera actual.

En la proximidad de la carretera se encontró un relleno, cuyo espesor máximo se calculó en 6 metros.

Subyaciendo a tales rellenos, se encontraron estratos de materiales arenosos, producto del intemperismo de la roca metamórfica, con espesor variable entre 1 y 2 metros y más abajo un estrato de roca metamórfica muy intemperizada, que presentó un espesor variable entre 8 y 10 m.

A mayor profundidad, la roca se encontró menos intemperizada pero fracturada y después poco fracturada, a 35 ó 40 m. de la superficie del terreno.

En este perfil de meteorización gradual de la roca (figura 4.2), se observa que el tajo de acceso, se excavó hasta el km. 125 + 460 en roca metamórfica (gneis) muy intemperizada, más adelante se encontró roca metamórfica fracturada y oxidada, en la que se excavaron los portales. En los primeros 80 metros de excavación del túnel, se excavó principalmente en roca metamórfica (gneis) fracturada e intemperizada (km. 125 + 540), que mejoró su calidad gradualmente con la profundidad, después se encontró roca metamórfica fracturada y poco fracturada. En el sondeo SM-3, a 26 m. de profundidad, se encontró una roca metasedimentaria de grano fino. Esta roca se encontró en el techo de los túneles al pasar la carretera superficial. El contacto entre la zona intemperizada y la de mayor

calidad, se presentó en forma irregular haciendo que en el frente se encontrara un techo de mala calidad.

A partir de los 80 m, el frente presentó remanentes intrusivos de granito y diques de composición intermedia que intersectaron diagonalmente al túnel. De 140 m. en adelante, el macizo rocoso presentó un cuerpo intrusivo metamorfizado, en la roca metamórfica muy fracturada.

En el perfil transversal, se observan los materiales en los que se excavó el portal de entrada que fue una roca metamórfica tipo gneiss, fracturada y oxidada.

4.3.2 Portal Farallón.

En la zona de los portales del Farallón, se encontraron rocas graníticas que se cubrieron parcialmente por depósitos de relleno, constituidos por el mismo producto del intemperismo de los granitos. Con la ayuda de un plano topográfico escala 1: 5,000, restituído de una foto aérea de 1971, se apreció que el eje de los túneles, se ubicaba en una antigua barranca que posteriormente, fue rellenada. Con el fin de poder determinar el espesor de los rellenos a lo largo del eje de los túneles y en una sección transversal a los mismos, se dibujaron perfiles deducidos del plano fotogramétrico de 1971 y a partir de la fotografía de detalle, levantada para fines del proyecto, se buscaron puntos de coincidencia en ambos planos topográficos. Observando el perfil del terreno natural de 1971, sin rellenos, se apreció que la pendiente tanto de los lomeríos como de la barranca, se mantenía uniforme, razón por la cual se tomó confiable, el espesor de los rellenos. En el lugar, se realizaron sondeos exploratorios y de acuerdo a los resultados obtenidos, se hizo que en el sondeo

SM-16, se cortara un espesor mínimo de relleno, mientras que en el SM-4 fue del orden de 15 m., habiéndose dificultado la diferenciación entre terreno natural y rellenos, ya que estos últimos, estaban constituidos por los mismos granitos intemperizados que se encontraban en la superficie, donde existía el terreno natural. De cualquier forma, se notó que en todos los sondeos realizados anteriormente, sobre el trazo de los túneles, la roca intemperizada tiene un espesor del orden de 10 metros, en tanto que en el SM-4, se registraron casi 22 m. de material intemperizado, razón por la cual, se infirió que unos 10 m. correspondían a los depósitos de relleno.

Con base a la información anterior y a los sondeos de exploración, se elaboró el perfil geológico de la zona de los portales en el Farrallón (fig. 4.2). En el perfil, se aprecia que el trazo fue excavado principalmente en material de relleno, sobreyaciendo a granito muy intemperizado, hasta el cadenamiento 128 + 510 y después, se encontraron granitos y dioritas fracturadas, que fue donde se construyeron los portales. Los primeros metros de túnel se excavaron en granitos y dioritas fracturadas, y dicho fracturamiento disminuyó a partir del cadenamiento 128 + 420.

El macizo rocoso excavado en sus primeros 500 m., es un granito cruzado por numerosas fallas e intrusionado por diques de granodiorita, de composición intermedia, con rumbos sensiblemente oblicuos respecto al eje del túnel.

Las filtraciones del agua en ambos frentes, se presentaron por zonas, a través de las discontinuidades del macizo rocoso. Los gastos puntuales máximos, fueron del orden de 1 litro por segundo.

4.4 Exploración geológica.

Para conocer las características y propiedades geomecánicas de los materiales que forman el subsuelo, a lo largo de la ruta planeada para el nuevo acceso, se llevaron a cabo 16 sondeos exploratorios, con recuperación de muestras de roca y suelos, los cuales fueron ubicados en el campo, con la ayuda de foto interpretación geológica y recorridos físicos del área en estudio, por parte de geólogos y geotécnicos.

Para la deducción del perfil geológico del túnel, se contó con un plano fotogramétrico escala 1:2,500 que para facilitar su manejo, se redujo a una escala 1:5,000. En este plano, se indicaron los contactos entre las diferentes formaciones, así como las principales fracturas y fallas que las afectan, detectadas durante los recorridos de campo.

En un corte vertical del subsuelo, vecino al eje de los túneles en proyecto, se indicaron los contactos geológicos, para establecer los puntos de interés donde se juzgó necesario, realizar exploraciones directas que permitieron obtener un mejor conocimiento de las condiciones geológicas.

Con los sondeos exploratorios 1 a 9, 12, 16, 21 y 1B a 4B enlistados en la Tabla 4.1, con respecto a su cadnamiento, se recuperaron muestras y en éstas, por medio de ensayos en el laboratorio, se determinaron las características geomecánicas de las masas rocosas que atraviesa el túnel, las cuales fueron fundamentales para su diseño. En la figura 4.3, se muestran los sondeos mencionados.

Tabla 4.1
SONDEOS EXPLORATORIOS

CADENAMIENTO	SONDEO	ELEVACIÓN	PROFUNDIDAD
		m.s.n.m.	(LONGITUD)
125 + 112	1	39.6	25.3
125 + 250	2	41.3	26.9
125 + 486	12	58.6	30.2
125 + 518	3	66.2	30.1
125 + 800	4B	91.0	52.7
126 + 158	8	140.5	85.5
126 + 494	6	184.4	150.7
126 + 910	7	218.2	185.6
127 + 390	9	22.5	160.2
127 + 390	1B *	220.6	36.7
127 + 390	2B *	223.1	100.5
127 + 390	3B **	223.1	152.3
127 + 736	5	212.8	135.2
128 + 185	21	178.5	85.0
128 + 498	16	115.5	30.1
128 + 546	4	109.6	50.4

* Sondeo inclinado a 45°

** Sondeo inclinado a 5°, respecto a la vertical

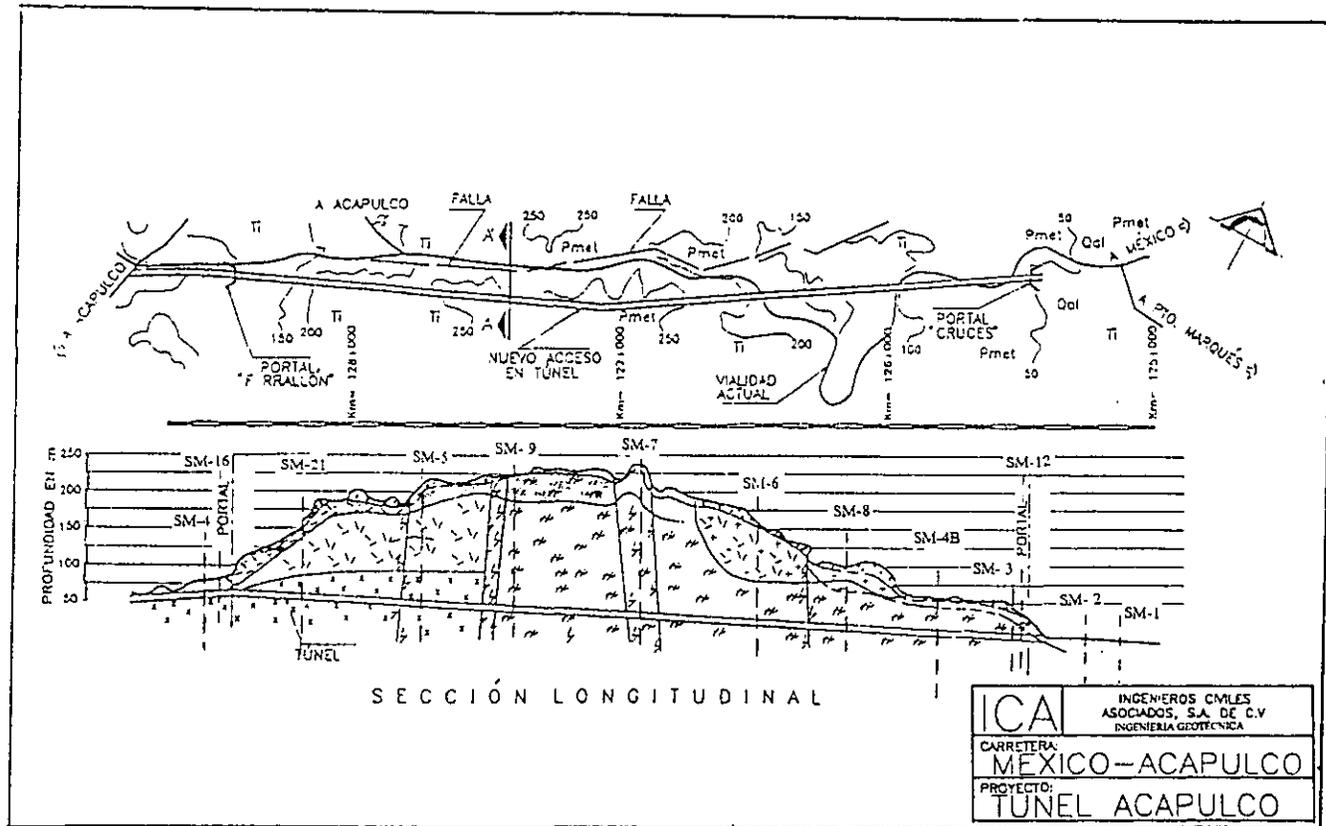


Figura 4.3 Ubicación de los sondeos exploratorios.

4.5 Estratigrafía.

En base al estudio geotécnico del proyecto, de acuerdo con los datos obtenidos en el reconocimiento geológico superficial y en los sondeos exploratorios verticales, se elaboró el perfil geológico, vecino al trazo de los túneles, figura 4.4, mostrada más adelante, donde se hizo patente la presencia de una zona de falla cuya traza en superficie sigue una orientación similar a la del trazo general del acceso en túnel inicialmente propuesto y también a la del acceso por superficie que pasa por La Cima.

En el corte AA' perpendicular al trazo inicialmente propuesto para los túneles, figura 4.5, mostrada posteriormente, muestra la zona de falla tal como fue inferida, en su inclinación y ancho probable.

En un análisis de la probable ubicación de la zona de falla, se dejó ver una interferencia de ésta, con el proyecto, de acuerdo al trazo, originalmente propuesto para los túneles.

Para conocer la presencia de la zona de falla y conocer en detalle su ancho e inclinación, se llevaron a cabo los sondeos exploratorios inclinados, SM-1B a SM-3B.

Durante la inspección de las muestras de rocas, procedentes de estos sondeos inclinados, se hizo énfasis en los siguientes aspectos:

- a) Clasificación de la roca muestreada.
- b) Determinación del porcentaje de roca recuperada en cada tramo muestreado.

- c) Determinación del porcentaje de roca recuperada en cada tramo muestreado.
- c) Determinación del porcentaje de recuperación de muestras de roca con longitud mayor a 10 cm. (RQD).
- d) Presencia de suelos entre los planos de fisuración de la roca.
- e) Fisuramiento de la roca muestreada.
- f) Presencia de superficies pulidas en las muestras de roca.
- g) Huellas de oxidación en los planos de fisuración de la roca.
- h) Aspecto de los fragmentos de las muestras de roca, cuando tenían longitud menor a 10 cm.
- i) Fugas del fluido de perforación (agua) durante los trabajos de exploración y muestreo.

Como resultado de la interpretación de los sondeos, la zona de falla tiene de 30 a 40 m. de ancho y una inclinación hacia el sur de 70° , con respecto a la horizontal. La interferencia entre la zona de falla y el trazo, inicialmente propuesto para los túneles, se superponía en dos tramos de 200 m. y 800 m., respectivamente.

Tomando en cuenta la zona de falla, se replanteó convenientemente el trazo del túnel, alejándolo de la zona de falla, para reducir riesgos constructivos, costos de construcción y plazos de ejecución.

Conservando la posición fijada de los portales de los túneles en Las Cruces y en el Farallón, y consecuentemente la de los entronques y vialidades de liga, se cambió el trazo de los túneles, librando la zona de falla, figura 4.5, mostrada en la siguiente hoja. El nuevo trazo se separa casi 115 m., de la posición inicialmente propuesta y con ello, se alejó casi 50 m. de la zona de falla.

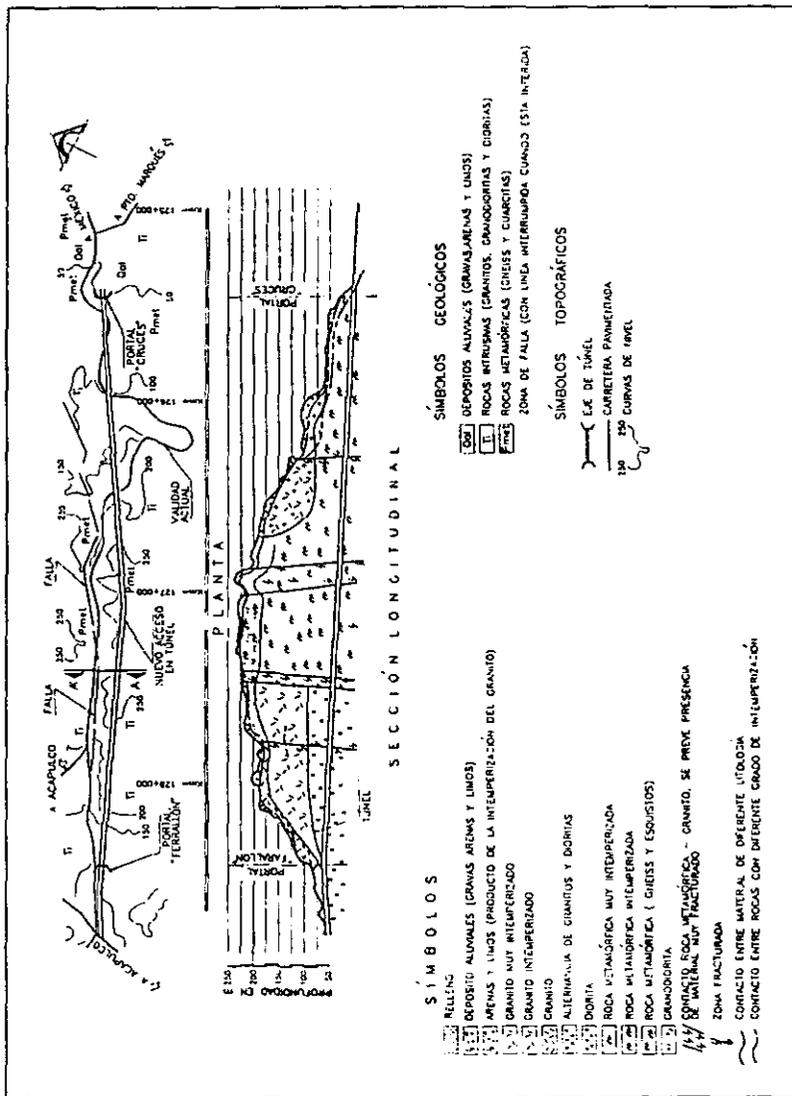


Figura 4.4 Geología del túnel.

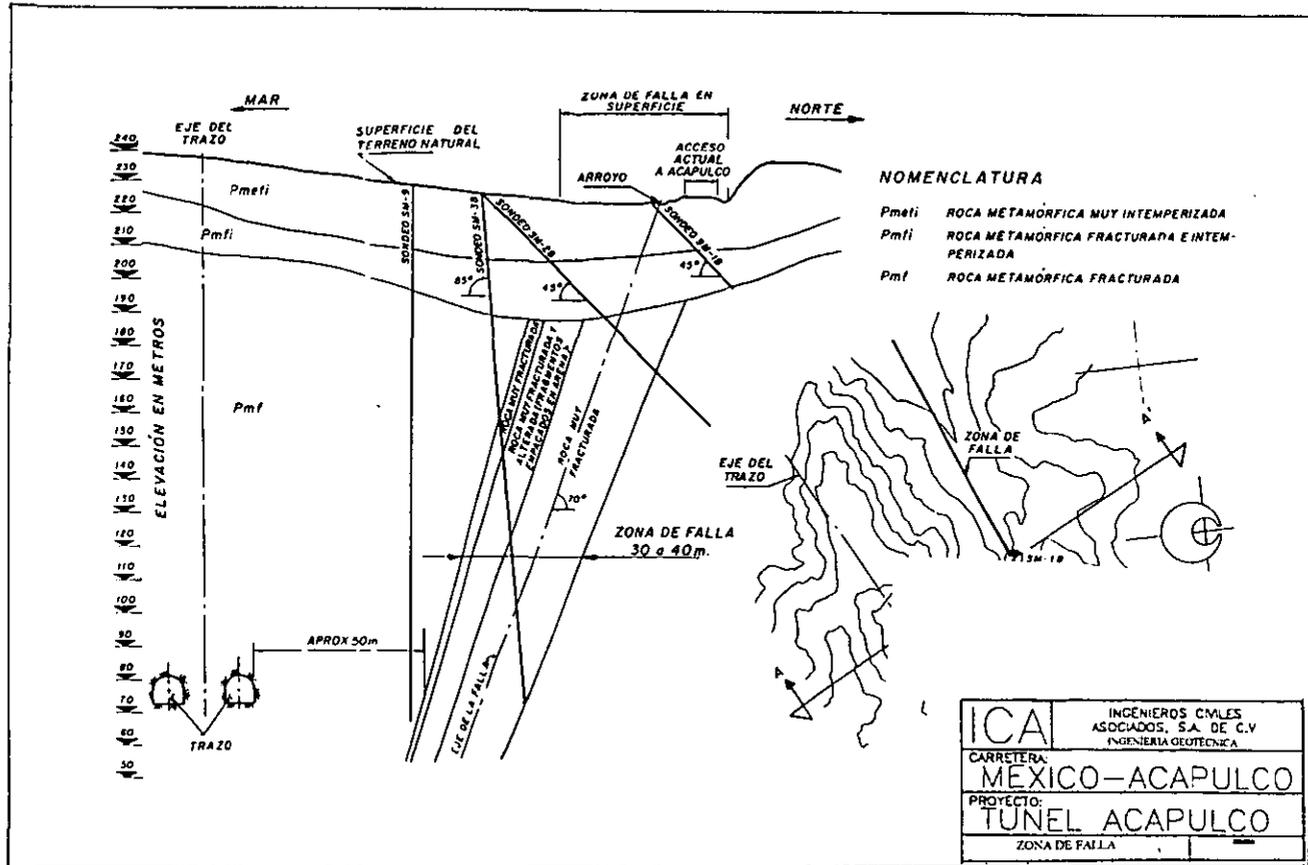


Figura 4.5 Zona de falla.

Se requirieron cuatro curvas para el nuevo trazo, teniendo amplios radios de curvatura y especificaciones suficientes para conservar la velocidad máxima de operación en 100 KPH. El alargamiento del nuevo trazo, al alejarse de la zona de falla, es apenas de 20 m., para una longitud de túnel estimada en 2947 m.

Siguiendo el nuevo trazo, la geología que se presentó al excavar el túnel, se describe a continuación:

Tramo 125 + 452 (Las Cruces) a 126 + 900

127 + 352

Se excavó en rocas metamórficas, poco fracturadas, constituidas principalmente por gneis y esquistos, que presentaron variaciones en coloración y en litología. Los análisis petrográficos efectuados en cuatro muestras representativas, procedentes de los sondeos SM-3 y SM-6, indicaron que en todas, se observó un grado de metamorfismo.

En la vecindad de los portales en Las Cruces, la roca se encontró muy intemperizada y fracturada con índice de calidad muy bajo.

En los cadenamientos 126 + 280, 126 + 700 y 126 + 860, se encontraron zonas de fracturamiento, correspondientes a fracturas identificadas de trazos rectos, por donde escurren arroyos. La roca metamórfica presentó fracturas que pudieron presentar desprendimientos de bloques durante la excavación, previniendo éstos con el sistema de soporte, mencionado en el siguiente capítulo.

No se encontró agua en la mayoría de los sondeos exploratorios, salvo el sondeo SM-7, entre 57 y 65 m., aunque sí se apreciaron fracturas con residuos de óxido que indican que a través de ellas, ha pasado agua. Se presentaron pequeñas filtraciones en las zonas de fracturamiento, durante la excavación, provocando pequeños desprendimientos en los planos de esquistosidad que presentaron inclinación desfavorable.

En el contacto entre la roca metamórfica y el granito, situado en la vecindad del cadenamiento 126+900, se excavó en roca muy intemperizada y fracturada, siendo inestable y con filtraciones, cuidando extremar las precauciones, durante la construcción del túnel y de ser necesario, a juicio del Ingeniero Geotecnista de la obra, se incorporó un túnel piloto en la clave, para detectar anticipadamente las características reales de la roca, para su correspondiente estabilización.

Las características de la roca en la zona de contacto, se parecieron a las detectadas en el sondeo SM-9, a 100 m. de profundidad, donde la roca metamórfica, se presentó muy intemperizada y fracturada, con intrusiones parciales de granito.

Tramo 126 + 900 a 128 + 594 (Farallón)

Se excavó en rocas graníticas y dioríticas, poco fracturadas. En los cadenamientos 127 + 360 a 127+ 760, se encontró zonas de fracturamiento correspondientes a las identificadas en la superficie.

Los sondeos exploratorios no mostraron presencia de agua en las rocas intrusivas.

El portal Farallón, se encuentra en zonas de suelo granular (relleno) y rocas muy intemperizadas y fracturadas.

4.6 Clasificación geomecánica del macizo rocoso.

Simultáneamente con el avance de los frentes de excavación, se llevó a cabo la evaluación sistemática de la calidad de la masa de roca a lo largo del túnel, para determinar el tipo de soporte a utilizar, adoptando los criterios propuestos por Barton y Bienawski, los cuales se basan en la identificación de los diferentes factores que condicionan la calidad de los macizos rocosos como son:

El número de sistemas de discontinuidades, su posición geométrica con respecto al túnel y su concentración por unidad de longitud; el índice de fracturamiento **RQD**, o índice de calidad de la roca; la textura de las superficies de las discontinuidades y las características de las zonas de debilidad encontradas en la formación rocosa; el grado de alteración de los rellenos que pueden estar presentes en las discontinuidades del macizo rocoso, las características de las filtraciones hacia el túnel, y las zonas de debilidad que atraviesan la excavación y que puedan ocasionar aflojamientos y desprendimientos.

A lo largo del los 2947 m., se presentaron diferentes clasificaciones geológicas del macizo rocoso, siendo necesario cambiar el tipo de soporte primario de estabilización de la roca y el proceso de excavación para cada zona.

La calidad del macizo rocoso, es uno de los factores principales para la evaluación de la estabilidad de la excavación, sin embargo se considera la condición final del régimen de filtraciones, debido a su significativa evolución a lo largo del tiempo; tomando en cuenta además; la información relativa al comportamiento deformacional de la excavación, particularmente porque representa la condición real de esfuerzos y la capacidad de la masa para soportarlos.

La clasificación geomecánica, está basada en sistemas empíricos, en los que se integran distintos factores geológicos y propiedades mecánicas que, evalúan el comportamiento del macizo rocoso, con fines de excavación para conocer sus requerimientos de soporte. No existe ninguna clasificación universal que se adapte bien a definir los tipos de terreno, debido a que la génesis y la composición e historia geológica de las rocas, es diversa. Conocer durante el diseño, las condiciones del macizo rocoso mediante núcleos de roca de los sondeos realizados, ayuda a obtener una orientación durante el estudio ó análisis preliminar.

En los distintos métodos de clasificación de macizos, rocosos propuestos hasta el presente, se destacan los siguientes: Terzaghi (1946), Lauffer (1950), Decre et al (1979), Wickham et al (1972), Bieniawski (1973) y Barton et al 1974. De ellos, solamente los tres últimos proporcionan procedimientos cuantitativos, aplicables a los modernos sistemas de sostenimiento y construcción de túneles.

4.6.1 Índice de la calidad de la roca.

La clasificación según el índice de la calidad de la roca, R.Q.D. (Rock Quality Designation), que en español significa Designación de Calidad de Roca (D.C.R.), propuesta por Deere (1963), se basa en la recuperación de núcleos de roca en perforación, al considerar solo testigos mayores de 10 cm. de longitud; y considera así mismo, la frecuencia de las juntas o fracturas existentes en el macizo rocoso y el porcentaje de la recuperación de núcleos de roca.

Para la D.C.R. sea representativa, debe obtenerse en testigos con diámetro mayor de 54 mm., despreciando las fracturas, provocadas por la realización de la perforación. El resultado se expresa en porcentaje, considerando el total de la longitud perforada. En la tabla 4.1, se muestran los valores y la calidad de roca, propuestos por Deere y en la tabla 4.3, las recomendaciones de los tipos de soporte para los diferentes tipos de calidades de roca.

Rango I	Calidad
0 - 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

Tabla 4.2.- Índice de la calidad de la roca R.Q.D.

Tabla 4.3.- Recomendaciones para los sistemas de soporte para túneles en roca.

(6 a 12 m. de diámetro)

Calidad de la roca	Método constructivo	Sistema de soporte		
		Marcos metálicos	Anclas 3	Concreto lanzado
1 Excelente RQD > 90	B. Convencional	Ninguno o ligero carga de roca (0 a 0.3) B .	Ninguna	Ninguna o aplicación local, 5 a 7 cm.
I Buena 75 > RQD > 90	B. Convencional	Marcos colocados a 1.5 a 2.0 m. carga de roca (0.3 a 0.6) B .	Plantilla de anclas separadas 1.5 ó 2.0 m. centro a centro.	Aplicación local ocasional, 5 a 7.5 cm.
Regular 25 < RQD > 50	B convencional	Marcos ligeros a medianos con 1.2 a 1.5 m. centro a centro. Carga de roca (0.6 a 1.3) B .	Plantilla de anclas de 0.9 a 1.5 m, centro a centro .	10 cm. o más en la clave y en las paredes.
2 Mala 25 < RQD > 50	B convencional	Marcos medianos a pesados colocados entre 0.6 y 1.2 m, centro a centro carga de roca (1.3 a 2.09) B .	Plantillas de anclas de 0.6 a 1.2 m. centro a centro .	15 cm. o más en la clave y paredes, combinados con anclas.
3 Muy mala RQD < 25	B. convencional	Marcos circulares pesados a 0.6 m, centro a centro Carga de roca (2.0 a 2.8) B .	Plantillas de 0.9 m, centro a centro .	15 cm. o más en toda la sección, combinando con marcos medianos o pesados
Muy mala (roca que influye o expansiva)	B convencional	Marcos circulares muy pesados a 0.6 m, centro a centro Carga de roca > 75 m.	plantillas de 0.4 a 0.6 m, centro a centro .	15 cm. o más combinado con marcos pesados.

I En roca buena y excelente, el soporte requerido en general es mínimo pero puede depender de la geometría de las fracturas

del diámetro del túnel y de la orientación relativa de las fracturas.

- 2 El retaque de madera, usualmente es igual a cero en la roca excelente y varía entre 25% en roca buena y 100% en roca muy mala.
- 3 Las necesidades de poner malla, usualmente es cero en roca excelente y ocasional en roca buena, hasta 100% en roca muy mala.
- 4 B = ancho del túnel.

4.6.2 Clasificación geomecánica.

La clasificación geomecánica **RMR**, se desarrolló en Sudáfrica a partir de cuarenta y cinco túneles, por Bienawski en 1973, y posteriormente revisada por él mismo en 1976 y 1979. Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos, cualitativo que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento. Donde intervienen seis parámetros que son:

- Resistencia uniaxial de la matriz de roca.
- Grado de fracturas en término del R.Q.D.
- Condiciones de flujo de agua subterránea.
- Características de las discontinuidades.
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

A cada parámetro, le corresponde una clasificación parcial, de manera que al ser sumados, se determina una clasificación global (de 0 a 100) RMR (Rock Mass Rating), que en español significa Rango de la Masa de Roca; del macizo rocoso.

Para aplicar esta clasificación geomecánica del macizo rocoso, se divide a lo largo del eje del túnel, en zonas o partes estructurales que presenten características geológicas más o menos uniformes, de acuerdo con medidas hechas en campo.

Finalmente, para obtener la clasificación de Bienawski, se suman los valores de cada uno de los seis parámetros; **RMR** determina la clase y calidad del macizo rocoso de acuerdo a la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Clasificación geomecánica

CLASE	DESCRIPCIÓN	R.M.R.
I	roca muy buena	81 - 100
II	roca buena	61 - 80
III	roca regular	41 - 60
IV	roca mala	21 - 40
V	roca muy mala	0 - 20

Las aplicaciones de la clasificación geomecánica de Bienawski, están relacionadas en el tiempo en el cual puede ocurrir un derrumbe en un tramo o claro, sin soporte; relacionando la clase de la roca y recomienda el tipo de soporte a utilizar.

En la siguiente figura, se muestran las especificaciones de claros sin soporte e intervalo de tiempo para cada uno de los cinco grupos de la clasificación.

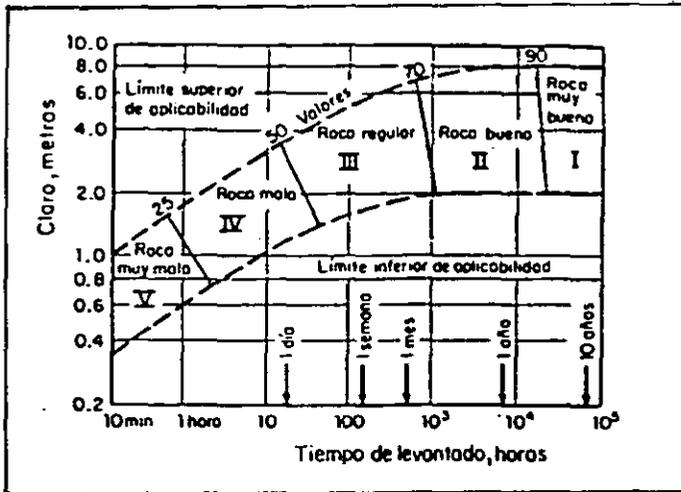


Figura 4.6.- Clasificación Geomecánica para túneles.

4.6.3 Sistema "Q" calidad de roca.

El sistema se desarrolló en Escandinavia, a partir de doscientos casos de excavaciones subterráneas, por Barton, Lien y Lunde en 1974; constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos cuantitativos, que establece sistemas de sostenimiento para túneles y cavernas.

Al igual que en otras clasificaciones precedentes de la experiencia y observación de túneles excavados, se establecen criterios empíricos para el dimensionamiento del sostenimiento, en función de Q y de las dimensiones del túnel.

Esta clasificación, se basa a partir de un índice de calidad (Q) que se obtiene de seis parámetros procedentes de la observación del macizo rocoso, cuyo valor se obtiene con la expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Donde :

RQD = descripción de la calidad de la roca.

J_n = número de familias de discontinuidades.

J_r = características de la rugosidad de las juntas.

J_a = alteración y relleno de las juntas.

J_w = factor de reducción por la condición de flujo de agua en las discontinuidades.

SRF = factor de reducción por los esfuerzos.

$\frac{RQD}{J_n}$: Representa el tamaño de los bloques.

$\frac{J_r}{J_a}$: Representa la resistencia al corte entre los bloques.

$\frac{J_w}{SRF}$: Representa la influencia del estado tensional.

El rango de variación del índice Q, está entre 0.001 y 1.000. El intervalo se divide en 9, dando lugar a la siguiente clasificación cualitativa:

Q	Descripción
0 001 a 0 01	roca excepcionalmente mala
0 01 a 0 1	roca extremadamente mala
0 1 a 1	roca muy mala
1 a 4	roca mala
4 a 10	roca media
10 a 40	roca buena
40 a 100	roca muy buena
100 a 400	roca extremadamente buena
400 a 1000	roca excepcionalmente buena

La clasificación Q de Barton et; al igual que la clasificación R.M.R. de Bieniawski, se puede relacionar con el tiempo de sostenimiento y recomienda el tipo de soporte a utilizar.

En el proceso de excavación del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero, se adoptaron las siguientes recomendaciones del tiempo libre de soporte, según la calidad de la roca excavada, tabla 4.5, para evitar la improvisación, optimizar el ciclo de trabajo, tener las medidas de seguridad en la excavación subterránea y evitar caídos dentro de la misma.

ROCA	BIENIAWSKI CSIR CLASIFICACION DE MACLOS *OCOSOS	BARTON NGI "ÍNDICE DE CALIDAD DE TUNEL"	TIEMPO "LIBRE DE SOPORTE" ANTES DE COLOCAR "INCL. DE HORAS/DÍAS"	TIEMPO PARA COLOCAR EL CONCRETO LEVANTAR DESPUES DE HABER COLOCADO EL ENTALDE HORAS/DÍAS
BUENA	65 a 100 BUENA A MUY BUENA	10 a 1000 MUY BUENA EXTREMADAMENTE BUENA MUY 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 EXTREMADAMENTE MALA EXCEPCIONALMENTE MALA	RECOMENDACIONES PARTICULARES	

Tabla 4.5 . Tiempo libre de soporte, según la calidad de roca excavada.

4.7 Comportamiento geotécnico.

La observación del comportamiento geotécnico del túnel en ambos frentes, se visualizó en las estaciones de convergencia colocadas a propósito, mediante mediciones sistemáticas realizadas con extensómetros de cinta invar, con una resolución de 0.05 mm. para ver las deformaciones que se presentaban en el macizo rocoso, por efectos del contorno de la excavación.

El comportamiento geotécnico en esta tesis, describe brevemente, solo los primeros 200 m. de excavación en el frente Cruces y 500 m. del frente Farallón, para no distraer mucho la atención del lector, del proceso constructivo del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero.

Una medida de la confiabilidad del sistema de soporte, desarrollado por la masa rocosa es el comportamiento deformacional de la excavación, debido a que es una medida del grado de relajación que sufre la roca.

Para conocer y registrar las deformaciones de convergencia en el interior del túnel, se colocaron estaciones a cada 20 m. para la medición periódica de la sección transversal del túnel. En cada estación de control, se instalaron tres puntos de referencia en la sección superior y dos puntos en el banqueo.

Se pusieron estaciones de control adicionales, en los sitios donde las condiciones de la roca, resultaron de muy mala calidad y en las zonas de alto riesgo potencial.

Las mediciones de convergencia, se realizaron diariamente, durante los 15 días siguientes a la instalación de la estación de control; posteriormente, cada tercer día, durante los treinta días siguientes; después semanalmente hasta completar los primeros 3 meses desde su colocación y finalmente, mensuales hasta la terminación de la construcción del túnel. La frecuencia de las mediciones, generalmente se ajustaron en función del comportamiento.

Con los registros de convergencia, se establecen los valores de límite de deformación y velocidad residual, a partir de los cuales fue posible identificar las condiciones de riesgo de la excavación y evitar potenciales desprendimientos, mediante la colocación de soporte adicional e incluso marcos metálicos. Los sistemas de soporte, se mencionan en el siguiente capítulo.

4.7.1 Frente Cruces

En el frente Cruces, se instalaron 7 estaciones principales de medición en los cadenamientos que se enlistan en la tabla 4.6 y con la ubicación que se presenta en la figura 4.8, mostrando con letras la clasificación geomecánica del frente rocoso, según Bieniawski para diferentes cadenamientos.

La media sección superior incluye tres puntos de medición, uno en clave y dos en los arranques del arco, con los cuales se define el diámetro horizontal H y las diagonales derecha D e izquierda I, (figura 4.7).

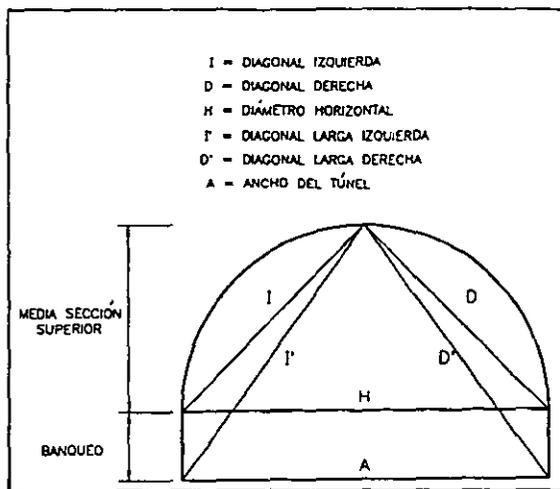


Figura 4.7.- Medición de convergencias.

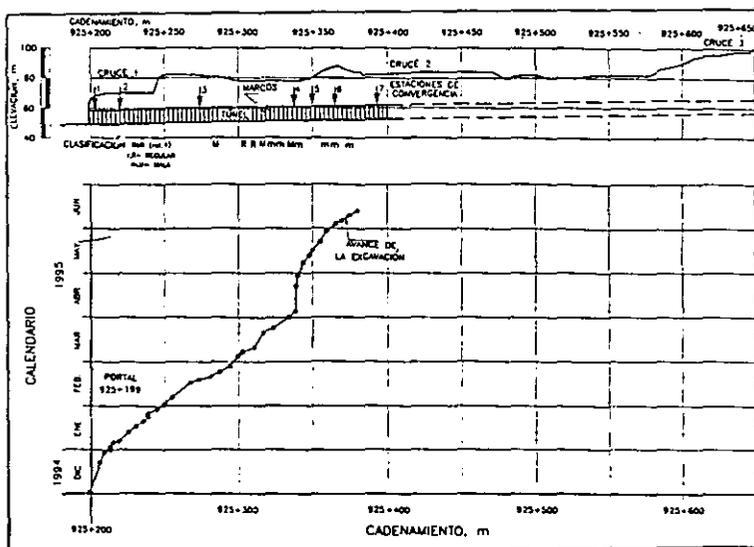


Figura 4.8.- Estaciones de convergencia en el Frente Cruces.

ESTACIÓN	CADENAMIENTO m.	DIST. AL PORTAL m.	INSTALADA A ... m., DEL FRENTE
1	925 + 202	3	4.3
2	925 + 220	21	3.5
3	925 + 273	74	4.6
4 *	925 + 339	140	0.0
5 *	925 + 350	151	0.5
6	925 + 364	165	0.6
7	925 + 395	196	1.7

* En zona de caído.

Tabla 4.6.- Estaciones de medición del Frente Cruces.

El soporte inicial del frente Cruces en sus primeros 400 m. de excavación, está resuelto a base de anclaje sistemático, concreto lanzado y marcos metálicos.

En la tabla 4.7, se presentan los resultados condensados de las mediciones realizadas en el frente Cruces, donde se inician los valores máximo y mínimo de las convergencias, la relación entre ellas, como una determinación indirecta de su dispersión y la velocidad remanente de deformación, para la sección superior excavada.

EST.	DIST. AL PORTAL	TIEMPO DE OBSERV.	CONVERGENCIAS			VELOCIDAD REMANENTE DE DEFORMACIÓN
			MÁX.	MÍN.	REL. MÁX./MÍN.	
	m.	semanas	mm.	mm.		mm/día
1	3	24	11.15 H	1.45 I	7.7	0.008 H
2	21	22	9.45 H	2.80 I	3.4	0.017 H
3	74	17	5.45 H	3.35 D	1.6	0.016 H
4	140	11	5.70 H	2.30 D	2.5	0.029 H
5	151	5	2.25 H	1.10 D	2.0	0.086 H
6	165	3	2.10 D	1.45 H	1.5	0.028 D
7	196	1	0.95 D	0.85 I	1.1	0.158 D

H = Diámetro horizontal

D = Diagonal derecha

I = Diagonal izquierda

Tabla 4.7.- Convergencias en el frente Cruces.

Las convergencias máximas, se presentaron en el diámetro horizontal de las estaciones 1 a 5 y en la cuerda derecha de las estaciones 6 y 7.

Los valores mínimos de las convergencias, se presentaron en la cuerda izquierda de las estaciones 1, 2 y 7, la cuerda derecha de las estaciones 3 a 5 y el diámetro horizontal de la estación 6. Las estaciones 1 y 2, presentan gran diferencia entre las magnitudes, máxima y mínima, de las convergencias medidas.

En la tabla 4.8, se muestra una comparativa entre la magnitud de las convergencias medidas en el diámetro horizontal de las diferentes estaciones, a 1, 3, 12, 18 y 24 semanas.

SEMANAS	1	3	6	12	18	24
ESTACION	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	3.80	6.63	8.08	9.89	10.70	11.15
2	1.89	3.97	6.02	8.22	8.93	
3	2.20	4.20	4.90	4.90		
4	1.15	0.80	1.20			
5	0.50	0.90				
6	0.80	1.40				
7	1.00					

Tabla 4.8.- Frente Cruces, Comparativa de convergencias.

En la tabla 4.9, se presenta una comparativa entre la velocidad de las convergencias, medida en el diámetro horizontal de las diferentes estaciones a 1, 3, 12, 18 y 24 semanas. En las tablas 4.8 y 4.9, las convergencias de mayor magnitud, se presentan en las estaciones cercanas al portal. También, las velocidades de deformación a una semana, son mayores en las estaciones cercanas al portal.

En todas las estaciones, las velocidades de deformación observadas hasta la tercera semana, se reducen a la tercera o quinta parte del valor de deformación, obtenido en la primera semana.

SEMANAS	1	3	6	12	18	24
ESTACIÓN	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día
1	0.543	0.116	0.071	0.031	0.011	0.008
2	0.270	0.111	0.042	0.016		
3	0.314	0.057	0.014	0.014		
4	0.164	-0.029*	0.050			
5	0.071	0.021				
6	0.114	0.021				
7	0.150					

* El signo negativo indica la velocidad divergente.

Tabla 4.9.- Frente Cruces, comparativa de velocidades de Convergencias.

Visualizando con más detalle el comportamiento de las convergencias, se seleccionan las estaciones 3 y 6 para mostrarlas en la figuras 4.9 y 4.10.

La velocidad de convergencia para el diámetro horizontal, se presenta en la fig. (4.11 y 4.12), en función del tiempo para las estaciones 3 y 6, donde a las tres o cuatro semanas, ocurre un cambio brusco en el patrón de las curvas.

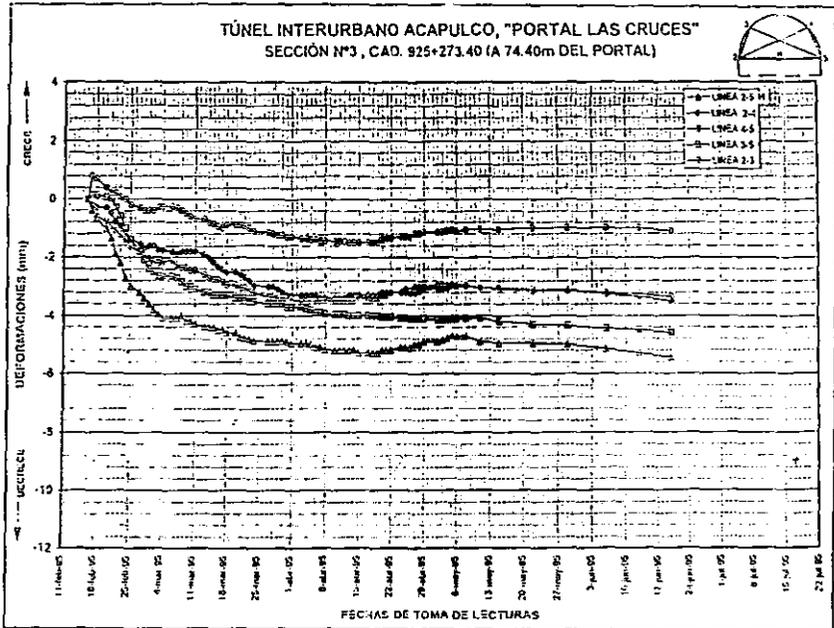


Figura 4.9.- Convergencias de la estación Cruces 3.

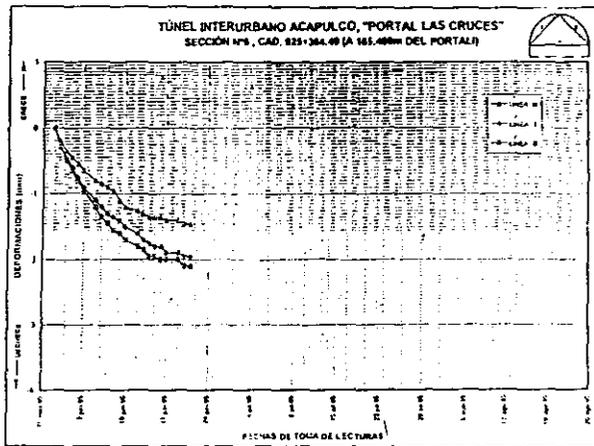


Figura 4.10.- Convergencias de la estación Cruces 6.

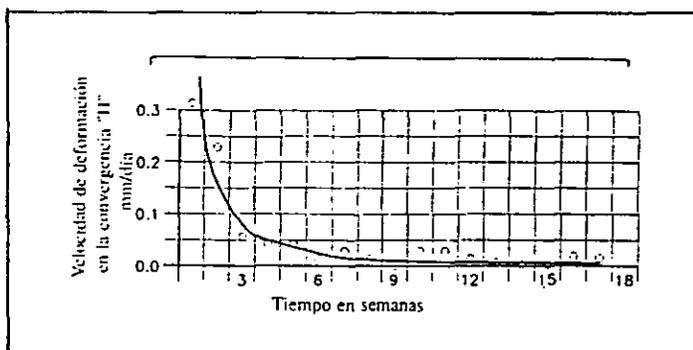


Figura 4.11.- Velocidad de deformación en la convergencia "H", Estación Cruces 3.

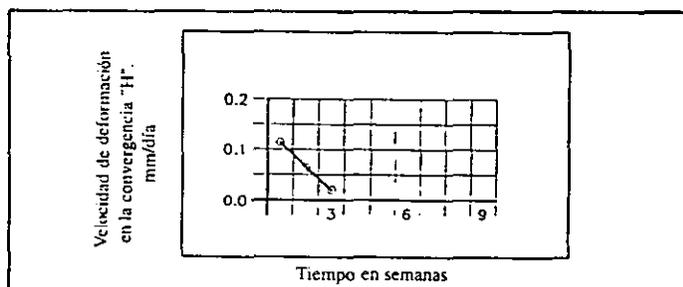


Figura 4.12.- Velocidad de deformación en la convergencia "H" Estación Cruces 6.

4.7.2 Frente Farallón.

En el frente Farallón, se instalaron 10 estaciones principales de medición, en los cadenamientos que se señalan en la tabla 4.10 encontrándose ubicados como se señalan en la figura 4.13, que incluye la clasificación geomecánica del frente rocoso, para diferentes cadenamientos.

El soporte inicial del frente Farallón, está resuelto a base de anclaje sistemático y concreto lanzado, con marcos metálicos adicionales de 0 a 41 m. y de 71 a 121 m., del portal.

ESTACIÓN * zona de caído	CADENAMIENTO m.	DIST. AL PORTA L m.	INSTALADA A ...m., DEL FRENTE
1	928 + 141	8	8.0
2	928 + 126	23	4.7
3*	928 + 082	67	15.4
4	927 + 039	110	4.2
5	927 + 921	228	1.0
6	927 + 854	295	1.0
7	927 + 811	338	3.3
8	927 + 770	379	5.5
9	927 + 726	423	4.3
10	927 + 688	461	7.6

Tabla 4.10.- Estaciones de medición del frente Farallón.

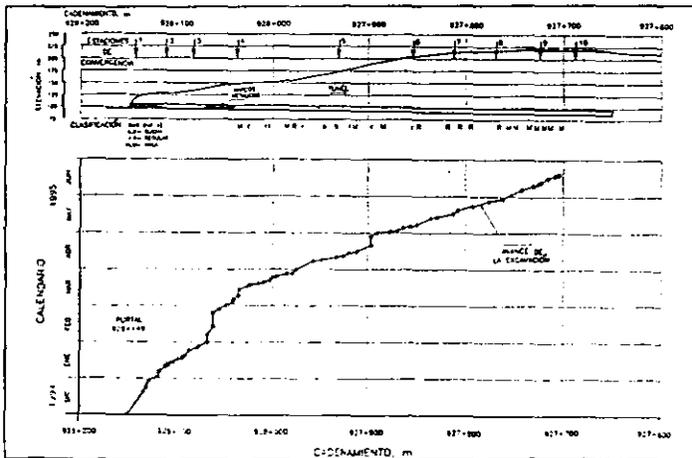


Figura 4.13.- Estaciones de Convergencia en el Frente Farallón.

Se presentan los resultados condensados en la tabla 4.11, de las mediciones de convergencias realizadas en el frente Farallón. Indicando valores de máximo y mínimo, la relación entre la máxima y la mínima, y la velocidad remanente de deformación, para la media sección superior. Las máximas convergencias, se presentan en el diámetro horizontal de las estaciones 2, 3, 5 a 8 y 10 en la diagonal derecha de las estaciones 1 y 9, y en la izquierda de las estaciones 2 y 4. Las estaciones 1, 2 y 4 presentan gran diferencia entre las magnitudes máxima y mínima de las convergencias medidas.

EST.	DIST. AL	TIEMPO DE	CONVERGENCIAS			VELOCIDAD REMANENTE
	PORTAL	OBSERV.	MÁX.	MÍN.	REL. MÁX./MÍN.	DE DEFORMACIÓN
	m.	semanas	mm.	mm.		mm/día
1	8	23	3.65 D	1.20 H	3.0	0.005 D
2	23	22	4.15 H	0.60 I	6.9	0.013 H
3	67	19	3.50 H	3.00 D	1.2	0.007 H
4	110	15	3.00 I	0.70 I	4.2	0.004 I
5	228	11	2.00 H	1.45 D	1.4	0.007 H
6	295	8	2.15 H	1.45 D	1.5	0.029 H
7	338	6	2.90 H	2.30 D	1.3	0.014 H
8	379	5	1.90 H	1.70 D, I	1.1	0.017 H
9	423	2	1.95 D	1.35 H	1.4	0.058 D
10	461	1	0.80 H	0.55 D	1.5	0.100 H

H= Diámetro horizontal

D = diagonal derecha

Y = Diagonal izquierda

Tabla 4.11.- Convergencias en el frente Farallón.

En la tabla 4.12, se presenta una comparativa entre la magnitud de las convergencias medidas en el diámetro horizontal de las diferentes estaciones, a 1, 3, 12 y 18 semanas.

Se presenta una comparativa entre la velocidad de las convergencias en la tabla 4.13, medidas en el diámetro horizontal entre las diferentes estaciones, a 1, 3, 12 y 18 semanas.

SEMANAS	1	3	6	12	18
ESTACIÓN	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	-2.04*	-1.55*	-1.95*	0.40	0.79
2	1.25	0.95	2.50	3.44	3.80
3	2.10	2.30	2.75	3.30	3.44
4	1.35	2.30	2.85	2.80	
5	0.30	0.70	1.15		
6	0.75	1.20	1.78		
7	1.10	2.15	2.90		
8	1.00	1.70			
9	1.10				
10	0.70				

* El Signo negativo indica que la medición diverge.

Tabla 4.12.- Frente Farallón, comparativa de convergencias.

SEMANAS	1	3	6	12	18
ESTACIÓN	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día
1	-0.291*	-0.073*	-0.035*	0.021	0.013
2	0.179	-0.007*	-0.014*	0.044	0.016
3	0.300	0.029	0.029	0.014	0.018
4	0.193	0.029	0.021	0.021	
5	0.043	0.029	0.021		
6	0.107	0.014	0.023		
7	0.157	0.050	0.014		
8	0.143	0.043			
9	0.157				
10	0.100				

* El signo negativo indica velocidad divergente.

Tabla 4.13.- Frente Farallón, comparativa de velocidad de convergencias.

En las tablas anteriores, las convergencias máximas alcanzan casi 4 milímetros a las 18 semanas, en las estaciones 2 y 3. Las velocidades de convergencia a tres semanas, se reducen notoriamente, a la tercera o décima parte del valor medido a la semana.

En las figuras 4.14 y 4.15 se representan las convergencias de las estaciones 4, 6 y en las figuras 4.16 y 4.17, las velocidades de deformación, en el diámetro horizontal, de las mismas estaciones. Observando un notorio cambio en la curva de velocidades tiempo, a las 3 o 4 semanas de observaciones.

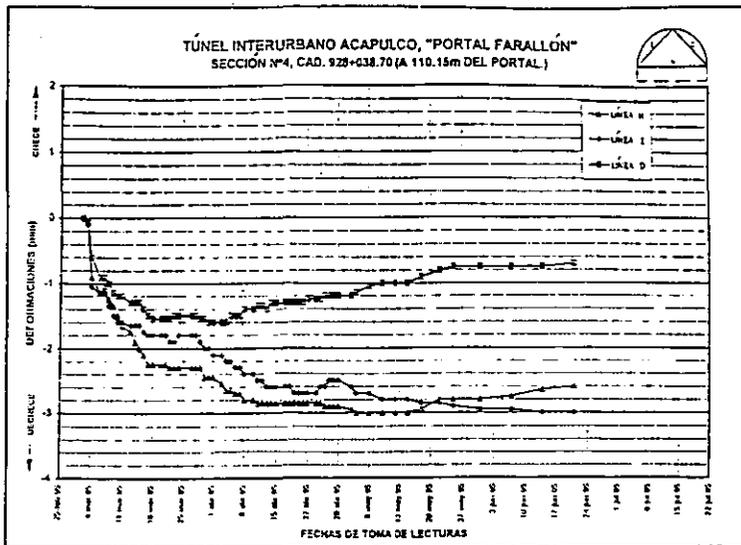


Figura 4.14.- Convergencias de la Estación Farallón 4.

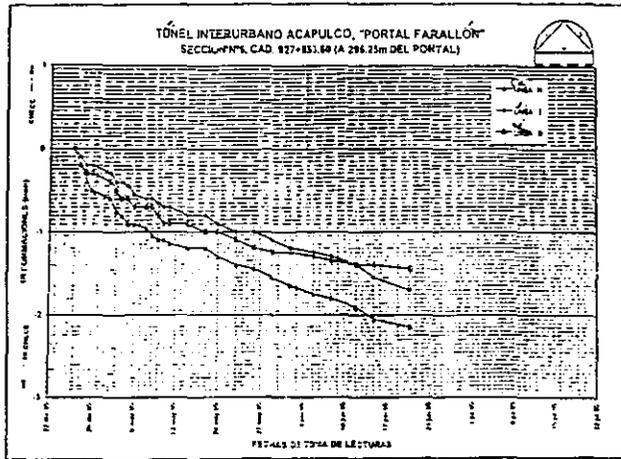


Figura 16.- Convergencia de la estación Farallón 6.

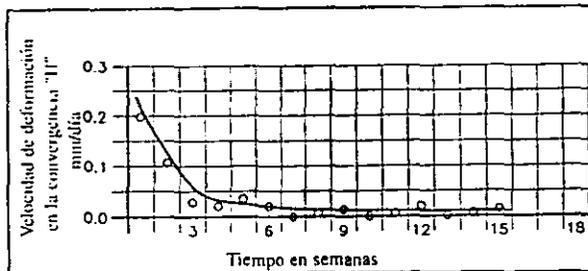


Figura 4.17.- Velocidad de deformación en la convergencia "H", Estación 4.

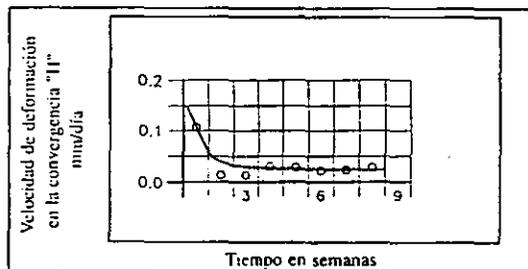


Figura 4.18.- Velocidad de deformación en la convergencia "H", Estación Farallón 6.

La excavación de túneles en los macizos de roca metamórfica, gneis del frente Cruces y de roca intrusiva, del frente Farallón, provocó convergencias máximas del orden de 5 a 12 mm. en Cruces y de 3 a 4 mm. en Farallón.

En el frente Cruces, las velocidades remanentes de deformación alcanzaron valores de:

0.1 a 0.5 mm/día a la semana.

0.02 a 0.01 mm/día a las tres semanas.

0.01 a 0.03 mm/día a las doce semanas.

En el frente Farallón, las velocidades de deformación, remanentes, alcanzaron valores de:

0.10 a 0.30 mm/día a la semana.

0.01 a 0.07 mm/día a las tres semanas.

0.01 a 0.04 a las doce semanas.

Las secciones de medición vecinas al portal, (menos de dos diámetros del túnel), presentaron variaciones importantes en las magnitudes máxima y mínima de las convergencias y también ahí, se presentaron cuerdas de medición que divergen en lugar de converger.

Las secciones alejadas de los portales, ya en el interior de la masa rocosa, tienden a cerrarse, con tendencias muy similares en todas las cuerdas de medición, donde la relación entre convergencias máxima y mínima, fueron del orden de 1.1 a 2.5 para el frente Cruces y de 1.1 a 1.5 para el frente Farallón.

En el frente Cruces, las máximas convergencias se presentaron predominantemente en el diámetro horizontal y excepcionalmente en la diagonal derecha.

La mínima convergencia, se presentó tanto en la diagonal izquierda como en la diagonal derecha; excepcionalmente, se presentó en el diámetro horizontal.

En el frente Farallón, la máxima convergencia se presentó también predominantemente en el diámetro horizontal y con poca frecuencia en las diagonales, derecha e izquierda.

Los menores valores de convergencia, ocurrieron frecuentemente en la diagonal derecha y excepcionalmente, se presentaron en el diámetro horizontal y en la diagonal izquierda.

CAPÍTULO 5
Procedimiento constructivo

5 Procedimiento constructivo.

5.1 Emportalamientos.

De acuerdo a lo intemperizado del terreno indicado en el estudio geológico, se construyó el túnel a partir de la intersección de la rasante del camino-túnel con el terreno natural, hasta un punto en el que se tuvo suficiente estabilidad del terreno para formar el túnel. Los emportalamientos de ambos extremos, se construyeron dentro de tajos excavados a cielo abierto, para tal efecto, se desarrolló el siguiente proceso constructivo:

a.- Para la preparación del terreno, se removió la capa vegetal y el material suelto, usando un tractor para ello. Una vez realizado lo anterior, se emparejó el terreno rocoso con explosivos (moneos) y perforadoras de piso, cuya característica esencial es que los barrenos, son de poca profundidad (80 cm. como máximo) y de baja densidad de carga. Como medida de protección, se utilizaron llantas sobre los barrenos, las cuales luego fueron retiradas, figura 5.1.

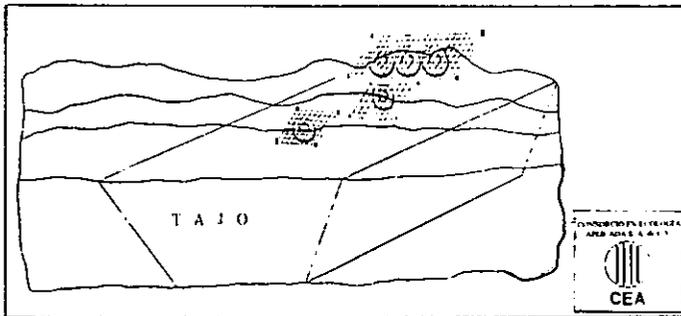


Figura 5.1 Protección con llantas y mallalac 66-66.

b.- Se excavó previamente un tajo a cielo abierto, teniendo como plantilla el ancho de la calzada y banquetas, así como las pendientes de diseño. En las zonas de roca, se hizo una perforación de tipo costureo, a todo lo largo del tajo y con una profundidad de 12.00 m., con la pendiente establecida, empleando perforadoras neumáticas montadas sobre orugas. A través de este procedimiento, se creó una falla entre los barrenos de costura, mediante el uso de explosivos, empleando cargas de baja densidad. En términos generales, la excavación a cielo abierto en cuestión, sirvió para formar el tajo de acceso al portal y ejecución de los tratamientos de estabilización de los taludes.

La operación anterior, tuvo por objeto crear una zona de falla a todo lo largo del talud para evitar dañar las paredes. La protección durante la voladura en esta sección, consistió en colocar costales de arena sobre los barrenos.

La excavación en los tajos, empezó en un punto determinado en la zona más baja de la pendiente del cerro, ocupando para la barrenación, perforadoras de piso que proporcionaron un diámetro de barreno pequeño, para perforar hasta una profundidad de 3.00 m., en franjas de 6.00 m. de largo por el ancho del tajo. Debido a que la densidad de carga en esta etapa (0.6 kg/m^3) y en las subsecuentes, es mayor que en el precorte y moneos, el procedimiento de seguridad para evitar que volara el material suelto, fue el siguiente: (Figura 5.2)

- Se cubrió el área a tronar con costales rellenos de arena y sobre ellos, llanta de camión.

- Sobre las llantas, se colocó tela de mallalac, que se sujetó perpendicularmente con anclas de $\frac{1}{2}$ " (2.54 cm.) a cada 50 cm.

Una vez realizada la voladura, se procedió a retirar el material suelto y la rezaga producida. En esta primer voladura, la salida fue vertical (hacia arriba) y en las subsecuentes horizontal.

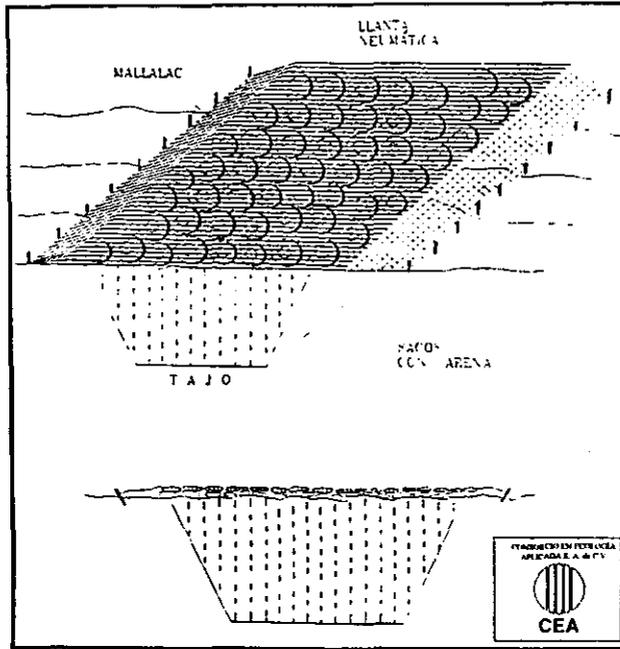


Figura 5.2. Preparación para tronada en túnel.

Una vez que la excavación alcanzó profundidades de 3.00 m. o más, se emplearon perforadoras sobre orugas y el procedimiento consistió, en barrenar de 3 a 4 metros de profundidad en toda el área. El número de etapas en que se dividió el frente, dependió de la altura. El objeto de tronar por franjas, se debió a que entre más pequeña fuera el área, mejor se podría proteger, en ese sentido, se consideró que lo ideal era detonar franjas de 3 m. de altura.

Una vez que se terminó la excavación de los tajos en las zonas Cruces y Farallón, se procedió a la construcción del túnel, iniciando con los emportalamientos.

En estas zonas, el ancho de la sección excavada de proyecto fue de 13.60 m., debido a que se requirió la instalación de marcos de acero, como soporte provisional. La sección se dividió en un medio círculo superior, con un diámetro de 13.60 m. y una zona inferior, como un rectángulo de 13.60 m. de largo por 2.65 m. de altura, figura 5.3.

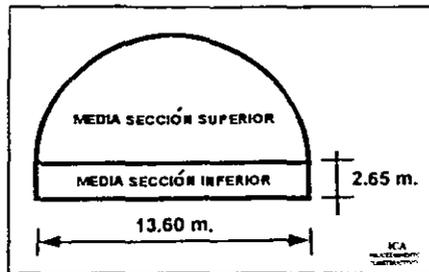


Figura 5.3 Sección transversal dividida en media sección circular y media sección inferior.

Se llevó a cabo la construcción de una rampa, con material de rezaga para alcanzar la media sección superior. Foto 5.1 .



Foto 5.1 Túnel tipo herradura.

La excavación, se realizó dividiendo en tres partes la media sección superior, debido a la intemperización de la roca, excavando primero los dos laterales, dejando un pilastrón central; el cual permitió, la estabilización de la excavación, así como la colocación de concreto lanzado, con un espesor promedio de 5 cm. y la colocación del anclaje sistemático del soporte inicial, en los dos laterales del túnel, figura 5.4.

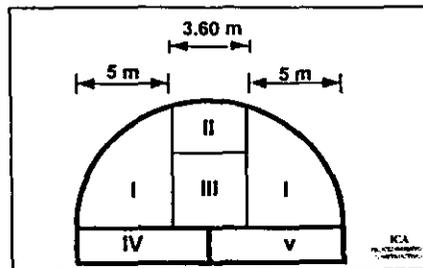


Figura 5.4 Sección, dividida en dos laterales I, un pilastrón central (II y III) e inferiores (IV y V).

La excavación de los laterales, se realizó mediante barrenación y voladura, a un metro de profundidad, posteriormente se rezaga el material producto de la voladura, se amplía la cuña a un metro de profundidad y se realiza el recorte de toda la media sección superior (perímetro).

En seguida, se corta la porción superior del pilastrón central mediante explosivos, se rezaga y se lanza concreto, aprovechando al máximo el reducido tiempo “libre de soporte”, que tiene la roca intemperizada, vecina a la clave.

Se coloca en seguida el correspondiente marco metálico IPR de 8” (20.32 cm.) x 5¼” (13.33 cm.) de 31 kg/m. y se instalan los anclajes faltantes. Se procede al ademado de los marcos metálicos con retaque de madera, contra el terreno.

La secuencia del procedimiento se repitió metro a metro, hasta que la calidad de la roca permitió mayores longitudes de barrenación. Cuando se alcanzó un techo de túnel suficiente y seguro, las longitudes de barrenación, se realizaron a 3 m. de profundidad, continuando con este procedimiento, hasta aproximadamente 100 m. de longitud en el portal Farallón y de 150 m. en el portal las Cruces.

Foto 5.2.



Foto 5.2.- Interior del túnel en los portales.

Al alcanzar una profundidad de 15 m. y a partir del momento en que se alcanzó esta profundidad, se iniciaron las excavaciones en forma desfasada, mediante la carga de barrenos con explosivos del banco inferior restante, conocido como banqueo. La media sección inferior de 13.60 m. de largo por 2.65 m. de altura, fue debido a que se requirió de la colocación de patas a los marcos de acero, ligados a las rastras como soporte provisional, descritas más adelante.

En el banqueo, se subdividió la media sección inferior en dos secciones, derecha e izquierda, al realizar la excavación en alguna de ellas, la otra sirvió como rampa de acceso a la media sección superior, foto 5.3. Se prosiguieron las excavaciones de la media sección superior, manteniendo el desfasamiento.



Foto 5.3.- Desfasamiento en el portal Cruces.

A excepción de los primeros 450 m. del frente Cruces y 150 m. del frente Farallón, el revestimiento secundario fue de concreto armado; como soporte único, las anclas sistemáticas de 1 pulgada de diámetro (2.54 cm.) y 4.2 m. de longitud, a cada 1.5 m. y con capa de 8 cm. de espesor de concreto reforzado con mallalac 66-66. Foto 5.4.

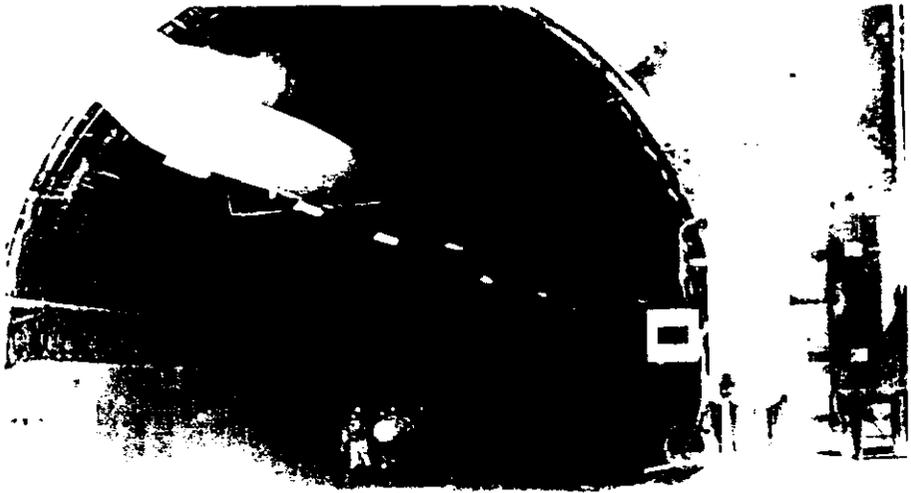


Foto 5.4.- Vista del portal Farrallón.

5.1.1 Estabilidad de los taludes .

Terminado el desmonte y el despalme, se procedió a efectuar el corte del talud, a una altura de 2.5 m., para poder colocar sin dificultad la malla electrosoldada 66-66, el concreto lanzado y el anclaje (en zonas donde se requirió). Una vez hecho el tratamiento, se siguió nuevamente con el corte del talud. Este procedimiento, se realizó en zonas donde no se encontró roca sana.

Con la ayuda del teodolito y con los datos del proyecto, se colocaron las estacas con sus datos correspondientes para efectuar el corte.

Se procedió a realizar el corte del material, por medio de un tractor D8N, que comenzó en las zonas del talud, para que así, la cuadrilla procediera a la colocación de la malla y concreto lanzado; el equipo de barrenación, realizara los trabajos de perforación para la colocación de drenes y anclas; según las requirió el proyecto. Una vez perfilado el talud y revisado por topografía, el tractor pasó a otro lugar para que su trabajo fuera continuo; terminando el tratamiento, regresó a seguir perfilando el talud. Figura 5.5.

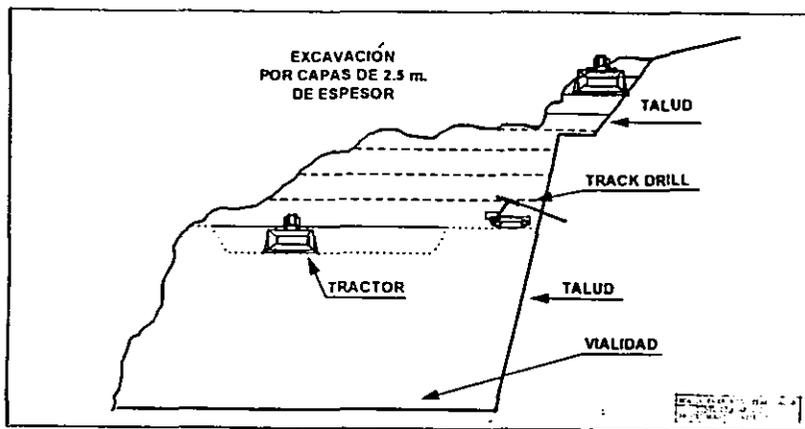


Figura 5.5.- Croquis de distribución del equipo.

La malla electrosoldada empleada fue 66-66, ésta se fija al talud por medio de crucetas de varilla de $\frac{1}{2}$ " (2.54 cm.) de diámetro por 30 cm. de longitud, la longitud de la cruceta es de 10 cm. y se encuentra ubicada, a una altura variable de un extremo de la varilla (ésta depende del espesor de concreto lanzado al aplicar), ya que tiene la función de calibrar el espesor. Cuando se presentó una superficie irregular que dificultó la colocación de la malla electrosoldada, se empleó fibras de acero en el concreto lanzado, vía húmeda. Foto 5.5.



Foto 5.5.- Anclaje y lanzado de concreto para la estabilización del macizo rocoso en la excavación.

Los cortes se fueron haciendo a alturas de 2.5 m. para poder hacer fácilmente el tratamiento. La barrenación para el anclaje, se hace por medio de una barrenadora (track drill). Terminado el tratamiento de estabilización, se continuó nuevamente con otro avance en la excavación. Figura 5.6. Transcurridas seis horas de la aplicación del concreto lanzado, éste se curó. Se repitió el ciclo las veces necesarias, hasta llegar al nivel de la subrasante.

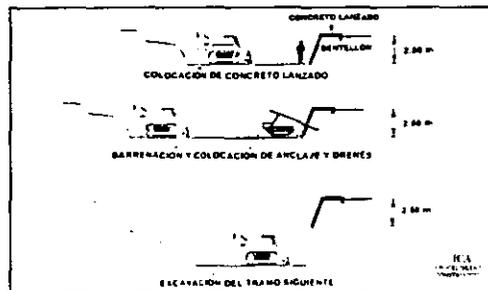


Figura 5.6.- Croquis de alturas de excavación, respecto al concreto lanzado y anclaje.

La variación del ciclo de excavación, varió debido a la calidad del material por cortar; pudiendo ser menos tiempo en material suave y mayor, en roca intemperizada.

Una vez realizado el perfil de los taludes, se reforestaron los cortes, para evitar la erosión de los mismos para mejorar la fisonomía del paisaje y establecer una barrera contra la dispersión de polvos y ruido. Foto 5.6.



Foto 5.6 Reforestación de los cortes.

Equipo:

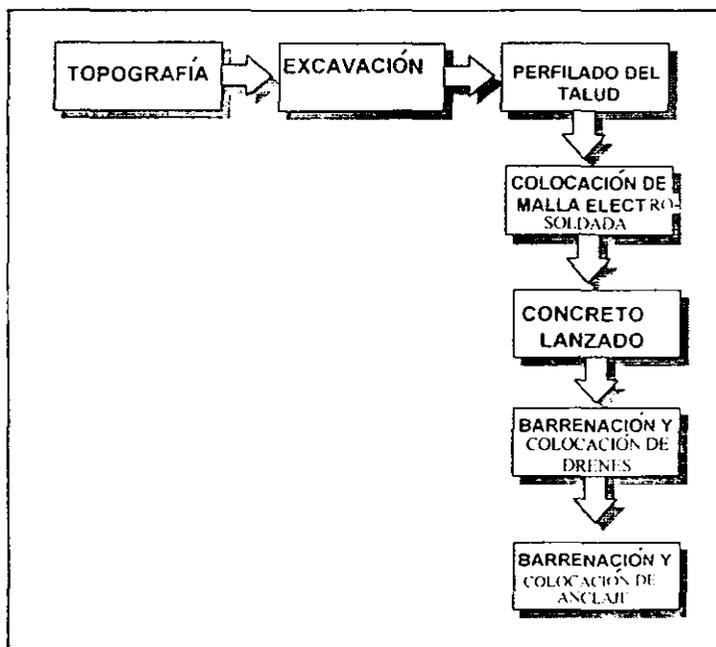
2 Tractores CAT. D8N.

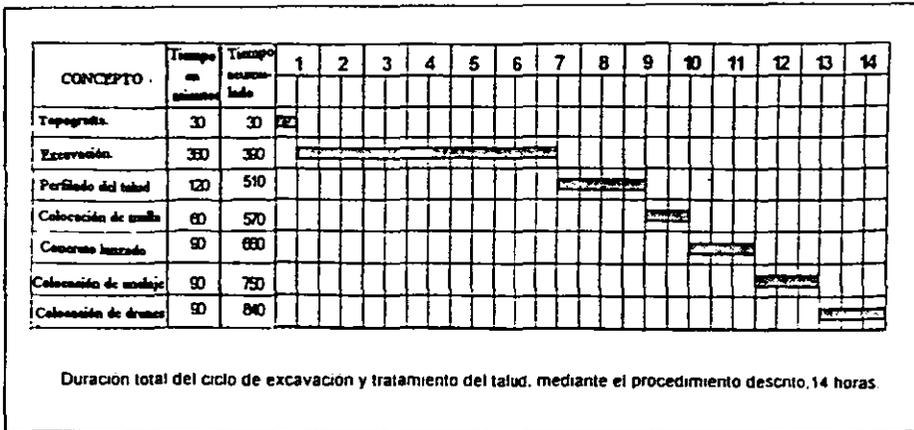
2 Cargadores de descarga frontal 966.

5 Tractocamiones.

- 1 Volquete autopulsado.
- 1 Martillo neumático, modelo TX 11.
- 1 Martillo neumático, modelo TX 41.
- 1 Compresor de 750 PCM.
- 1 Bomba para lanzado de concreto.
- 1 Soldadora rectificadora de 300 Amp.
- 1 Equipo de corte.
- 1 Lanzadora aliva.
- 1 Track drill (Barrenadora sobre orugas).
- 1 Tanque hidroneumático.

Diagrama de flujo del procedimiento constructivo.





Programa del ciclo de excavación y tratamiento.

5.2 Túnel.

La construcción del túnel de acceso al puerto de Acapulco con longitud de 2947 m., se desarrolló por el método convencional de barrenación y voladura; con el principio de sostenimiento primario del material rocoso, a base de anclaje con resinas y colocación de concreto lanzado vía húmeda, con fibras de acero como soporte definitivo, para permitir la colocación de marcos metálicos y madera de retaque como soporte temporal; en zonas donde se requirió la colocación. Estas técnicas permiten la realización de excavaciones subterráneas con mayor calidad y seguridad.

El túnel es del tipo herradura, teniendo como base 12.30 m. y 8.45 m. de altura. De acuerdo a las características geotécnicas del macizo rocoso, se dejó una separación de 28 m. entre los ejes de cada

túnel. El segundo túnel se construirá a futuro por lo que solo se dejaron las instalaciones de los portales.

El proceso de excavación se efectuó por cuadrantes, primero la sección media superior y después, en forma desfasada el banco inferior restante.

Debido a las condiciones geotécnicas del macizo rocoso, se llevaron a cabo distintos procesos de excavación a lo largo del túnel, para realizar la excavación con mayor seguridad y disminuir el riesgo dentro de la excavación subterránea. En zonas clasificadas geológicamente como de **regular a buenas**, el ancho de la sección excavada fue de 12.80 m., debido a que no se requirió la instalación de marcos de acero como soporte provisional; siendo el proceso de excavación, diferente en las zonas de **mala a muy mala** calidad. La sección excavada en estos casos fue de 13.60 m. de base, donde se instalaron marcos metálicos.

5.2.1 Excavación (Barrenación y voladura).

Después de haber realizado los emportalamientos, se procedió a excavar el resto del túnel en dos partes, la sección superior y la sección inferior, con algunas variantes tanto en sus dimensiones como en la secuencia de la excavación de cada una de ellas; tratando con ello, darle mayor facilidad al proceso, evitar la improvisación, disminuir el riesgo y optimizar el ciclo de trabajo. Esta técnica, permite realizar excavaciones subterráneas con mayor calidad y seguridad.

En la excavación del túnel, se utilizó el método convencional, que consistió en la barrenación y voladura del material rocoso. El ciclo de excavación, consiste en un conjunto de actividades que integran un proceso constructivo, que se llevan a cabo para lograr un cierto avance, que comprende las siguientes actividades: a) Barrenación; b) Limpieza de la barrenación; c) Carga y conexión; d) Retiro de equipo y personal; e) Voladura; f) Ventilación; g) Rezaga o extracción del material producto de la voladura; h) Amacize y i) Colocación del ademe. A continuación se describen cada una de las actividades:

a) **Barrenación.** Se llama barrenación a la actividad que consiste en realizar unos agujeros o barrenos en el frente del túnel, para posteriormente llenarlos con explosivos, distribuidos según el diagrama de barrenación previamente elaborado y calculado, para obtener el producto de la voladura con la fragmentación deseada. Estos agujeros, se hacen por medio de perforadoras de pierna neumáticas, alimentadas por un compresor o un jumbo de barrenación hidráulico. Para ejecutarlos, es necesaria una plantilla para su distribución; dependiendo de la sección, se puede barrenar a sección completa, a media sección y posteriormente banqueo, la forma en que se hagan, depende del área del túnel y de la calidad de la roca que se esté trabajando. Esta se inicia desde el momento en que se empieza a perforar el primer barreno, hasta el momento en que se termina el último.

El diagrama o plantilla de barrenación, es una representación esquemática del número de barrenos que se van a ejecutar, incluyendo el tipo de cuña que se va utilizar y la distribución de los mismos. Ayuda a evitar, durante la realización de una voladura, se pueda producir una sobre-excavación mayor que el perímetro de la sección del túnel, lo que originará aumento del costo de la extracción

de la rezaga, aumento del ciclo de excavación, aumento de la cantidad y costo de los sistemas de ademe o soporte primario (concreto lanzado, marcos de acero). Por lo anterior, se debe procurar realizar una voladura óptima, que se inicia con la ejecución de la barrenación. En el diagrama, se distinguen los barrenos de cuña y los barrenos ayudantes, los cuales tienen como función generar un espacio vacío en el cual, se pueda alojar o descargar el producto de la detonación sucesiva de los barrenos restantes.

Dentro de la cuña, se encuentran los barrenos quemados, que son aquellos que no se cargan con explosivos y que tienen como finalidad, alojar el producto de la detonación de los barrenos de la cuña. Esto es, al momento de la detonación, el disparo de los barrenos cargados, fractura el material y los expande hacia el interior de los barrenos vacíos, para finalmente desalojarlo del cuerpo de la barrenación, lo que genera un espacio vacío más grande, hacia el cual los disparos posteriores puedan arrojar la roca en la medida que se vaya fracturando.

La cuña tiene como ventajas, que al romperse el cuerpo principal de la roca hacia el interior de la abertura producida por la cuña, no daña el ademe cercano y la proyección de la roca, disminuye.

Dependiendo del lugar donde se realicen los barrenos dentro del túnel, se encuentran los barrenos clave, los barrenos de pared y los barrenos de piso.

Los barrenos de la clave, son aquellos que se encuentran en la clave del túnel (parte superior); los barrenos de pared, son los que se encuentran en los laterales del túnel y los barrenos de piso son los que se encuentran alojados en la parte inferior de la sección de la excavación.

La elección del diagrama de barrenación depende de: Tipo de roca a perforar, calidad de la roca (intemperismo, junteo, discontinuidades), dimensiones de la obra, capacidad del equipo de extracción, diámetro de barrenación, tipo de explosivo utilizado y longitud del avance requerido.

b) **Limpieza de la barrenación.** Esta actividad consiste en soplear los barrenos terminados, con el fin de que no queden recortes intermedios, los cuales le resten eficiencia al cargado del explosivo y a la voladura.

c) **Carga y conexión.** Esta actividad comprende la colocación del explosivo en los barrenos, así como la conexión entre barreno y barreno del elemento de ignición o encendido.

d) **Retiro del equipo y personal.** Previamente a la voladura, se retira todo el equipo y personal con los cuales, se llevó a cabo toda la barrenación y se colocan a una distancia tal, que el producto del disparo, no afecte al personal.

e) **Voladura.** Se procede a la detonación de los explosivos, destacando que los factores más importantes a considerar cuando se realizan voladuras en excavaciones subterráneas, son: **1)** La voladura tiene que romper la roca de manera eficiente, económica y producir una rezaga de roca que sea fácil de quitar, transportar, almacenar y procesar. **2)** La excavación, deberá dañarse lo menos posible, para reducir al mínimo el amacice y los ademes. Después de haber verificado los explosivos, todo el personal deberá ser retirado del frente.

f) **Ventilación.** Consiste en inyectar al frente, gran cantidad de aire a baja presión, para desalojar el aire contaminado por aire limpio, esta labor se efectúa con un ventilador axial y tubería de diámetro mayor, que conduce al aire nuevo hasta el frente.

g) **Rezaga o extracción del material producto de la voladura.** Esta actividad consiste, en la carga del material tronado a los camiones de volteo, para que posteriormente sean transportados a los tiraderos.

h) **Amacice.** Consiste en quitar todo el material flojo dentro de la excavación para trabajar con mayor seguridad.

i) **Colocación del Ademe.** Es un soporte provisional del material rocoso, que puede provocar un caído, dentro de la excavación. Existen varios tipos de ademe como son: concreto lanzado, marcos de acero con madera de retaque, anclas o una combinación de ellos.

5.2.1.1 Barrenación.

Durante la barrenación de la excavación, se utilizó un jumbo hidráulico autopropulsado de tres brazos, y acero de barrenación de 1¼" (1.63 cm.) de diámetro, con broca de 1⅜" (4.76 cm.) de diámetro. Los avances normales de cada barrenación en la sección superior, alcanzaron una longitud de 3.25 m. en cada voladura, con un volumen de excavación en banco de 223 m³. La cantidad de

rezaga en volúmenes aparentes fue de 366 m³, equivalente a 37 viajes de camión de volteo de 10 m³.

Asimismo, el número de ciclos fue del orden de 3.0 ciclos/día.

En la voladura, se usó un carga específica en los barrenos, de un promedio de 1.4 kg/m³. En la sección superior se perforaron 80 barrenos (aproximadamente) y se utilizaron 115 kg. de explosivos Nonel de varios tiempos por voladura, además de 100 m. de cordón detonante.

5.2.1.2 Explosivos.

En la construcción del túnel, se utilizaron explosivos para fracturar el material rocoso, a tamaños manejables para el equipo de construcción. La fracturación de la roca, además de requerir de explosivos, requirió de un elemento iniciador de la explosión, conocido como arteificio. Hace algunos años, se consideraba el manejo, dentro de la construcción, como una actividad muy peligrosa y de alto riesgo. En la actualidad, la tecnología aplicada a la construcción, ha producido una amplia gama de explosivos y arteificios “seguros”, que han reducido en forma notable, el peligro de accidentes en su manejo y su uso. En el Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, se emplearon únicamente explosivos y arteificios “seguros”.

Un explosivo, se define como una mezcla de sólidos y líquidos que al ser iniciados, dan como resultado una ignición violenta (explosión), generando una gran presión de volumen de gases, que pasan a través de las grietas, impulsando las rocas fragmentas por la presión repentina. Una

propiedad que poseen, es que para ser detonados, requieren de iniciadores convencionales como: óxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno, óxido de nitrógeno, e hidrógeno sulfurado.

5.2.1.2.1 Voladuras de precorte.

Las voladuras de precorte, son voladuras controladas que han tenido gran aceptación en obras subterráneas, donde se requieren dejar paredes, pisos y cielos lisos más estables. Estas son empleadas para evitar problemas de sobre-excavación y conservar el perímetro del túnel en excelentes condiciones.

El precorte implica una serie de barrenos en una sola hilera, a lo largo de la línea de excavación, generalmente de 1 ½" (3.81 cm.) a 4" (10.16 cm.) del mismo diámetro, éstos son disparados antes de la voladura principal.

Es recomendable colocar las cargas tres bolillo (disposición de los barrenos en filas paralelas cruzadas en diagonal) en barrenos adyacentes, para obtener una mejor distribución de carga.

La distribución debe ser excelente, las desviaciones mayores a 15 cm. del plano deseado, darán resultados negativos. La longitud para el precorte es ilimitada.

El precorte tiene como ventajas, el aumento en el espaciamiento de los barrenos, por lo que reduce los costos de barrenación contra barrenación en línea.

5.2.1.2.2 Tipo de explosivos y sus características.

El explosivo que se empleó en el túnel fue de dos tipos; uno que se identificó como de Alto Explosivo de emulsión y otro identificado como Bajo Explosivo tipo ANFO.

El Alto Explosivo de emulsión sensitiva, es el más reciente desarrollo de los explosivos comerciales, su eficiente desempeño en el campo y la seguridad en su manejo, permite utilizarse en obras subterráneas. Su aceptación mundial se debe a sus características y a su eficiente desempeño.

Las emulsiones tienen como característica, detonaciones de muy alta velocidad, presentando como ventajas: mayor poder de fragmentación en el fondo del barreno, logrando un mejor destape por su alta velocidad y genera un mayor poder iniciador de agentes explosivos.

Las emulsiones sensitivas, se preparan en forma de mezcla de agua en aceite, (esto es análogo a la mezcla de agua y aceite) en las que existen dos fases presentes, una fase externa y otra fase interna. Ambas fases están separadas, con una agitación apropiada y un emulsificante; un líquido puede ser disperso en otro, formando una emulsión. La fase interna, está compuesta de una solución de sales oxidantes suspendidas, rodeadas por la fase externa de combustible. La emulsión está estabilizada contra la separación de líquido por un agente emulsificante, actuando como puente entre el oxidante y el combustible, produciendo detonaciones de muy alta velocidad. Y la emulsión así, es sensitiva por aire.

La densidad del alto explosivo es de 1.10 a 1.18 g/cc, tiene una velocidad de detonación entre 5,000 y 5,400 m/seg. Este explosivo viene en tubo de polietileno, en diferentes diámetros para adaptarse a la perforación. En el túnel, la barrenación fue de $1\frac{7}{8}$ " (4.76 cm.), por lo que el alto explosivo, se seleccionó de $1\frac{1}{2}$ " (3.81 cm.) y de 8" (20.32 cm.) de largo. En el tajo, la perforación fue de $2\frac{1}{2}$ " (6.35 cm.), requiriéndose explosivo de 2" (5.08 cm.) de diámetro y 8" (20.32 cm.) o 16" (40.64 cm.) de largo. Es resistente al agua, inerte al impacto de bala, calibre 30-06, inerte a la prueba de fuego directo y no causa malestar físico en la detonación, ni en su manejo. Solo puede detonarse con el artificio producido por expofeso (cápsula No. 6).

El Bajo explosivo AN/FO, es un explosivo formado por la mezcla de nitrato de amonio, un aligerante y un combustible en porcentajes, de acuerdo a su formulación. AN/FO, es la abreviación de la siglas en inglés "amonnium nitrate and fuel oil", que en español significa nitrato de amonio y diesel.

El AN/FO tiene un bajo costo y un alto contenido de energía. Su densidad es de 0,65 g/cc. y una excelente absorción de diesel. No es resistente al agua, produce un volumen considerado de gases, por lo que no se aplica con frecuencia en túneles, a menos que se intensifique la ventilación. El bajo explosivo es inflamable, no detona por calor, impacto, fricción o descarga eléctrica, solo puede ser detonado con carga de alto explosivo, tiene una velocidad de detonación de 2,800 m/seg.

Los artificios empleados en el túnel, fueron: Cápsula Nonel, cordón detonante, Cápsula N. 6 y mecha blanca. La cápsula Nonel, es un sistema detonador de retardo no eléctrico, proporciona una buena detonación no eléctrica, a un gran número de barrenos y tiene la propiedad de retardar cada barreno o cada línea de barrenos, dependiendo del tipo de voladura. Es un tubo de plástico laminado de diámetro pequeño, revestido con una capa muy delgada de material reactivo, en proporción de 453 gramos por cada 21336 metros de tubo. El Nonel transmite una energía de iniciación baja a una velocidad de 6000 pies/seg. (1829 m/s) de un punto a otro. Este fenómeno de onda de choque, se propaga a la misma velocidad, en los nudos y amarres del tubo; esta energía, inicia el elemento de retardo que va dentro del fulminante, en un intervalo de tiempo en milisegundos.

La cápsula Nonel, es del tamaño de un lapicero, del cual le cuelga un cordón de plástico, Esta cápsula está constituida por 4 elementos principales: a) Un iniciador, el cual es un explosivo de alto poder, b) Un elemento propagador, c) Un elemento retardador y d) Un cordón de plástico, con longitud de 0.91 m. a 6.00 m., el cual es un tubo capilar relleno de alto explosivo.

Este sistema cuenta con tiempos de retardo en milisegundos (Ms), éstos vienen en periodos de Ms (intervalos cortos) que se utilizan en tajos, canteras y Lp (largos periodos) que se utilizan en obras subterráneas.

La cápsula Nonel, figura 5.7 mostrada en la siguiente hoja, no detona por impacto, fricción, presión de carga eléctrica o fuego, solo puede ser iniciada mediante un cordón detonante o un fulminante denominado Primacord..

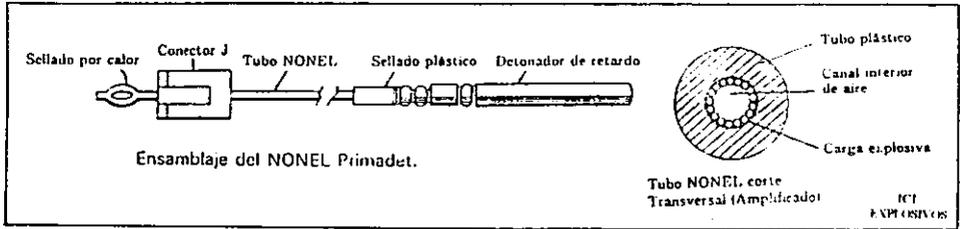


Figura 5.7.- Cápsula nonel.

El cordón detonante, es un explosivo cuyo objeto principal es el de iniciar explosivos, es una cuerda flexible muy resistente, con un núcleo de carga violento, llamado "Pentrita" (PETN, tetranitrato de pentaeritritol), rodeado de un entramado textil con capa plástica. Se emplea para iniciar cápsulas Nonel. Este cordón, se une al cordón de plástico de la cápsula Nonel, mediante un simple nudo. Cuando es iniciado con la cápsula N. 6, la ignición se propaga a lo largo del cordón a una velocidad de 7,200 m/seg., cuando detona tiene la energía de un fulminante. Como línea troncal, inicia un buen número de barrenos conectados, de manera que detonen en un orden determinado y se obtenga el mayor rendimiento en la voladura. Cuando todas las conexiones estén listas, se dispara la línea troncal con mecha y fulminante o con un Nonel, fijado en su extremo de la línea troncal.

El cordón detonante (Primacord) es del tipo reforzado 50 gr/pié (10.6 gr/m), con una resistencia a la tensión de 91 kg. y con un diámetro exterior de 5.15 mm. Es difícil de encender, no lo encienden ni las chispas de una mecha, ni la llama de un cerillo. El cordón solo detona, si es iniciado con una cápsula N. 6.

La cápsula N. 6 o fulminante, es un casquillo de aluminio que contiene tres cargas: mezcla de ignición, carga de ignición, y carga base. La mezcla de ignición asegura la captación de la flama proveniente de la mecha de seguridad. La carga de iniciación convierte la combustión en una detonación e inicia la carga base del alto explosivo, figura 5.8.

Su manejo debe ser con extremas precauciones y siempre por separado de otro tipo de explosivo.

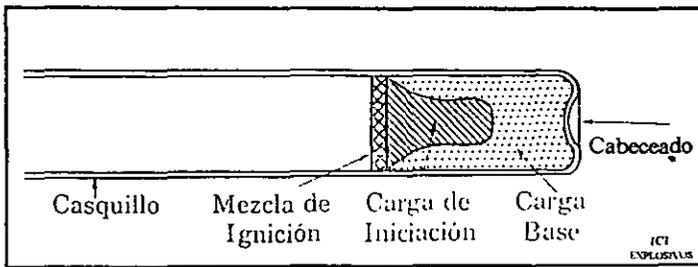


Figura 5.8. Cápsula No. 6.

En el túnel, la cápsula No. 6, se inició mediante una mecha blanca, la cual se introdujo en el extremo abierto de la cápsula, que tiene unas costillas que se aprisionan, con una pinza de madera para fijar la mecha blanca.

La mecha blanca, es un medio para transmitir fuego a un fulminante o a una carga explosiva, a una velocidad continua y uniforme. Está constituida por un núcleo de pólvora negra, cubierta y protegida por varias capas de materiales textiles e impermeabilizantes. La mecha blanca, se inicia con un cigarrillo encendido.

5.2.1.2.3 Transporte.

En el túnel, se transportaron únicamente, los explosivos y artefactos que fueron empleados en cada voladura a pie de barreno, de acuerdo al programa y a una requisición autorizada.

5.2.1.2.4 Carga y voladura.

Una vez terminada la barrenación en la zona de la voladura y limpios los agujeros con aire a presión, se retiraron todos los elementos empleados en la barrenación, incluyendo al personal. En ese momento, el frente estaba listo para la llegada de los explosivos y artificios. Una vez que se encontraron a pie de barreno, la cuadrilla de carga y voladura, inició el retaque de cada barreno, foto 5.7 .



Foto 5.7. Carga de barrenos.

La carga se realizó en forma manual, empleando un plataforma móvil para alcanzar cualquier punto dentro del túnel; en cada agujero, se colocó el número de explosivos seleccionados, así como una cápsula Nonel por barreno, insertada en la primer emulsión de alto explosivo. Los cordones de las cápsulas Nonel, se unieron mediante un nudo al cordón detonante, el cual a su vez, se conectó a una cápsula N. 6 y esta última, a un tramo de mecha blanca. En el túnel, se hizo una doble conexión de cordón detonante, llegando a dos cápsulas N. 6. En ese momento, el cabo de voladuras, retiró a todo el personal de la cuadrilla de carga y voladura, quedándose e iniciando la voladura, al encender los tramos de mecha blanca que colocó en cada cápsula N.6 . Antes de colocar la mecha blanca, el cabo cortó un segmento de mecha, y con las precauciones adecuadas, lo encendió para verificar la velocidad de propagación de la mecha y así, calcular la longitud de mecha que debió dejar, y tener tiempo suficiente para salir del túnel o llegar a un refugio intermedio. Una vez definida la longitud de mecha, el cabo cortó tres tramos con idénticas dimensiones; dos de los tramos, los empleó para colocarlos en las dos cápsulas N. 6, usando el tercero como testigo. Una vez colocados en las cápsulas N. 6, el cabo encendió los tres tramos de mecha blanca, retirándose a un lugar seguro. El tercer tramo lo llevó en las manos, sirviendo este como testigo para conocer el momento en que se haría la voladura.

Después de la voladura, el personal esperó a que fueran retirados los gases y humos, producto de la explosión, antes de penetrar de nuevo al interior del túnel.

5.2.1.3 Ventilación.

El proyecto requirió de un eficiente sistema de ventilación, durante la etapa de la construcción; para ello se utilizaron ventiladores de 36" (91.44 cm.) de diámetro, uno para el portal, y uno cada 500 m. de túnel excavado, por cada frente de ataque. Adicionalmente, se utilizó un ducto de plástico tipo ventiflex para la conducción de aire, con algunos tramos de ducto metálico que se localizó, antes de los ventiladores, foto 5.8.



Foto 5.8. Ventilación del túnel.

Para la ventilación, se utilizó el método de inyección de aire fresco al frente, para crear el flujo de aire y mantener despejado todo el tiempo el frente. Con este procedimiento, se creó un ambiente

adecuado de ventilación y humedad, propicio para el personal que trabajó en el interior de la obra, sin ninguna dificultad y riesgo a la salud.

5.2.2 Estabilidad de la excavación. (Método Austríaco)

La estabilidad de la excavación, se llevó a cabo con el tradicional del Método Austríaco, cuyo principio fundamental en la construcción de túneles, consiste en hacer que la masa de roca que circunda una cavidad, participe en forma conjunta y activa con el mecanismo de soporte del propio suelo, conviniéndolo con el sistema de soporte de concreto lanzado, anclas y/o marcos metálicos, de tal modo que se logre que toda la masa de suelo trabaje como un anillo de soporte, figura 5.9.

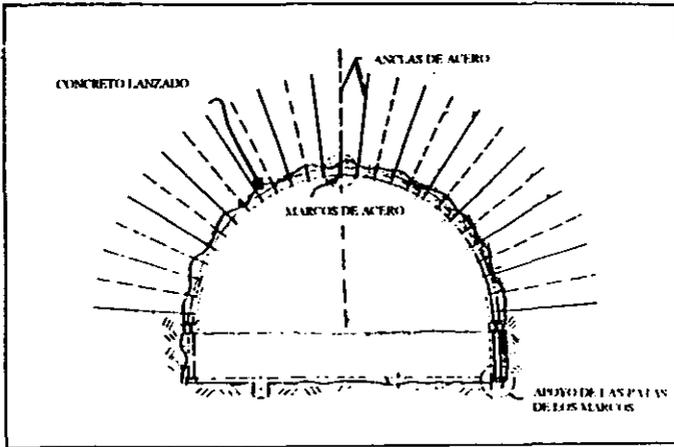


Figura 5.9. Túnel Reforzado con Marcos Metálicos, Concreto Lanzado y Anclas.

El NATM (Nuevo Método Austríaco de Tüneleo), es un método para dimensionar el soporte de túneles desarrollado en Austria en la década de 1950 a 1960, por los ingenieros Rabcewicz, Müller, Pácher y Gólser, basado en el principio de que es deseable tomar la máxima ventaja de la capacidad

de la roca, para soportarse por sí misma; vigilando cuidadosamente las fuerzas durante el proceso de reajuste que tiene lugar alrededor del túnel y adaptar el soporte en forma concordante.

El Nuevo Método Austriaco del Tuneleo, consta de una combinación de técnicas de estabilización que conducen a proporcionar el autoaporte, y a una simplificación del soporte provisional en las excavaciones subterráneas. Más que un método de construcción, es un concepto de estabilización que en las dos últimas décadas, ha tomado un auge importante en todo el mundo. Los pasos esenciales del NATM son los siguientes: La excavación se hace por etapas; lo que permite al medio crear una redistribución de esfuerzos más gradual, produciendo menores deformaciones en el contorno de la excavación. La nueva superficie expuesta a cada etapa, se reviste lo más pronto posible con concreto lanzado, proporcionándole una resistencia “de piel” a dicha superficie, protegiéndola de los efectos de la interperie; si es necesario se colocan anclas, las cuales proporcionan un efecto de sujeción al medio cuando se tensan por medios mecánicos, o por la deformación de la roca circundante, formando un arco de roca; que es anclado sistemáticamente en toda la sección, que disminuye los desplazamientos y evita la caída de posibles cuñas de aflojamiento, en la parte superior del túnel. Algunas veces se coloca un refuerzo adicional de marcos metálicos apuntalados en sus partes con tornapuntas.

La filosofía del NATM gira al rededor del autosostenimiento y la autoestabilización, con el uso de las anclas y del concreto lanzado, considerándose como elementos estabilizadores que favorecen el auto-sostenimiento. El comportamiento estructural del soporte protector, se controla mediante un sistema de mediciones de la excavación.

Este método, permite la realización de excavaciones subterráneas con mayor calidad y seguridad en todo el mundo.

5.2.2.1 Concreto lanzado.

Hoy en día el concreto lanzado, está reconocido en todo el mundo como un material y un sistema de protección, revestimiento y soporte. Su aplicación ha revolucionado la ejecución de excavaciones a cielo abierto y subterráneas, en una amplia gama de suelos, rocas y materiales intermedios, bajo condiciones muy diversas, en cuanto a espacio, geometría, humedad y estabilidad.

El concreto lanzado, es un conglomerado transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad, sobre una superficie rocosa (definición del ACI), mediante máquinas especiales llamadas “lanzadoras”. La elevada velocidad se obtiene con una boquilla de diámetro reducido y una elevada presión del aire; las partículas expulsadas, se impactan de 90 a 120 m/seg., lo que da por resultado una alta compacidad del concreto colocado. Al impactar la mezcla, taponan las irregularidades, grietas y poros de la superficie mediante el cemento y las partículas más finas de los agregados. A su vez, forma una primera capa delgada de pasta de cemento, la que al endurecer, actúa como una película adherente que liga al resto del concreto lanzado, con la superficie de aplicación, figura 5.10, mostrado en la siguiente página.

El proceso de concreto proyectado, se puede combinar con armaduras, anclajes y fibras, lo que permite soportar la redistribución de las cargas.

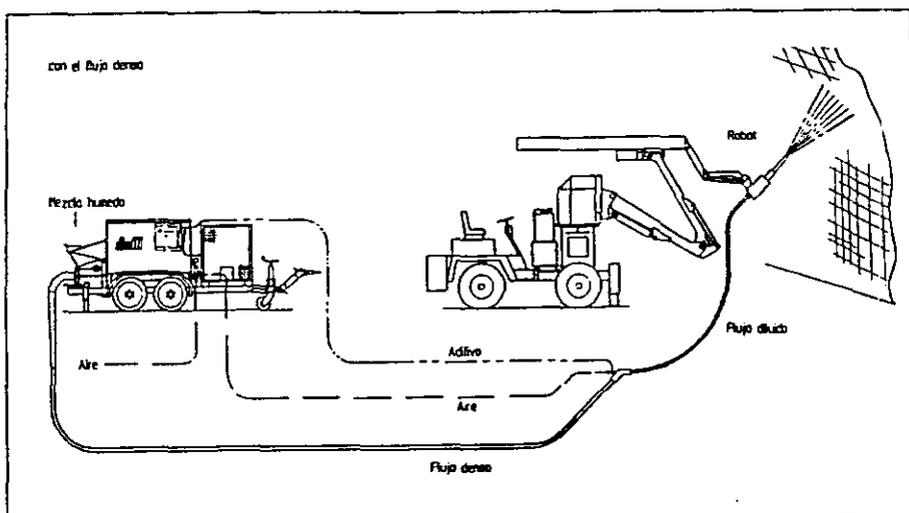


Figura 5.10 Concreto proyectado en húmedo.

El lanzamiento del concreto, requiere habilidad de los operadores del chiflón y ésta se adquiere únicamente a través de la experiencia, pues no es lo mismo aplicarlo sobre una superficie vertical, que sobre la bóveda del túnel, siendo el grado de dificultad diferente y esto se traduce en una mayor cantidad de rebote, el cual no debe ser mayor del 50 %. La aplicación se debe hacer, en capas sucesivas de dos en dos centímetros y por zonas, hasta completar los espesores especificados. Para controlar estos espesores, se deben colocar testigos apropiados.

La mezcla (de concreto) que se transporta a través de las mangueras, puede ser seca o húmeda. Al concreto lanzado vía seca, se le añade el agua mediante un anillo repartidor, situado inmediatamente antes de la boquilla de lanzamiento, al final de la manguera. En el concreto lanzado vía

húmeda, la mezcla equivale a un concreto premezclado y bombeado, que se transporta a través de la manguera, de acuerdo a la dosificación requerida, figura 5.11.

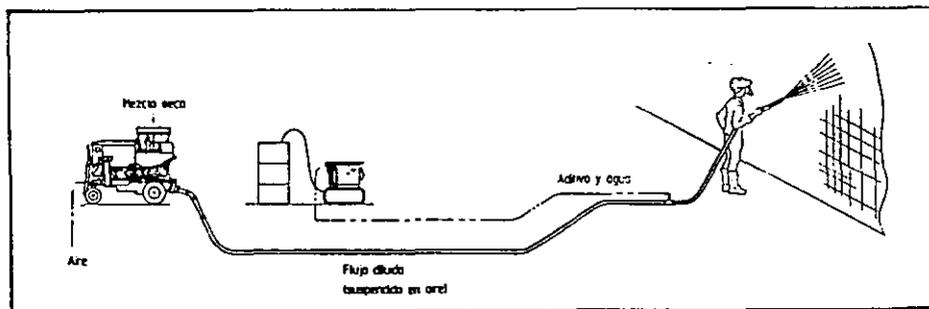


Figura 5.11. Concreto proyectado en seco.

Este sistema de ademe por medio del concreto lanzado, presenta una excelente compatibilidad con el proceso de autoaporte que desarrolla el terreno, que limita y rodea a las excavaciones subterráneas, siendo ésta la base de la filosofía del Nuevo Método Austriaco de Túneleo (NATN) que ha venido a revolucionar las técnicas de excavación en obras de ingeniería, principalmente las subterráneas. La compatibilidad se obtiene en virtud de que el concreto lanzado, todavía tierno y en capas delgadas, actúa como una membrana resistente, capaz de fluir plásticamente y ajustarse a los desplazamientos del terreno, inmediatamente posteriores a la excavación, sin que éste pierda su confinamiento. Tiempo después, se engruesa el concreto lanzado, ganando resistencia y rigidez con el tiempo; a la vez el terreno, alcanza su condición de autoaporte óptimo. Los desplazamientos residuales, se reducen hasta desaparecer y el conjunto terreno-concreto lanzado, actúan como un solo material compuesto, que permanece estable.

5.2.2.1.1 Concreto lanzado con fibras de acero.

El concreto lanzado con fibras de acero, es un concreto lanzado convencional, al cual se le añaden fibras de acero. Para su aplicación y revoltura se utilizan los mismos tipos de equipo, pudiendo aplicarse tanto en el proceso de lanzado vía húmeda o vía seca.

La inclusión de fibras de acero, reduce los niveles de fisuramiento, dando un revestimiento más estanco; al mismo tiempo permite una continuidad de membrana en el revestimiento.

El contenido de fibras de acero puede ser hasta de un 2 por ciento en volumen total de la mezcla. Lo que incrementa la resistencia a la flexión, ductibilidad y dureza, permitiendo en algunos casos eliminar el uso de malla electrosoldada, en la estabilización de taludes rocosos y revestimientos de minas o túneles.

El incremento en la dureza, así como en la resistencia a la flexión, es muy significativo en el modo de falla; ya que se requiere de grandes deformaciones para que se separen las fibras de acero del concreto lanzado, permitiendo soportar cargas significativas, aún después de haberse fracturado. Esta resistencia posterior a la fractura, incrementa la ductibilidad del concreto, lo que permite una aplicación ventajosa en obras subterráneas donde se esperan grandes deformaciones.

Al aplicar el concreto lanzado, existe una tendencia a que las fibras permanezcan paralelas a la superficie lanzada, dicha orientación beneficia en las propiedades de flexión del concreto.

Algunas fibras de acero, tienen dobleces en sus extremos para incrementar su resistencia a la extracción, ésto permite disminuir la cantidad de fibra por metro cúbico de concreto, obteniendo las mismas propiedades que utilizando fibras rectas en mayor cantidad.

La mayoría de las fibras de acero que se utilizan en el concreto lanzado, tienen dimensiones que fluctúan entre 1" (2.54 cm.) y $1\frac{1}{16}$ " (3.06 cm) de longitud por 0.016" (0.40 mm) de diámetro. Lo que permite su manejabilidad y ser lanzadas con mangueras de 2 pulgadas (5.08 cm.) de diámetro.

En el proceso de lanzado dentro del túnel, se utilizaron fibras de acero marca Drámix (figura 5.12), producidas en todo el mundo por Bekaert, especialista por excelencia en alambre de acero. Las fibras de acero Drámix, son un refuerzo ideal para el revestimiento de túneles y exploraciones mineras. Se mezclan fácilmente y de manera homogénea, refuerzan multidireccionalmente, ofreciendo un anclaje perfecto y mejor rendimiento. El concreto con fibras de acero Drámix, es un material para las diversas técnicas de proyección y bombeo. Combina de forma ideal la superioridad técnica y la rapidez de ejecución.

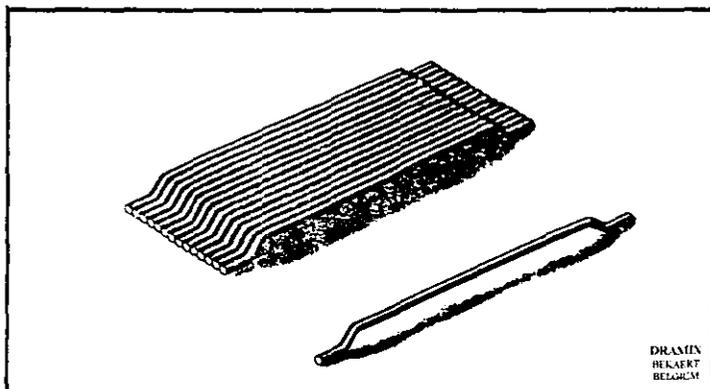


Figura 5.12. Fibras de acero.

Las fibras Drámix son de acero, fabricadas de acero terfilado. Las fibras se mezclan en el concreto para reforzarlo; a primera vista el concreto reforzado Drámix, es similar al concreto normal, sin embargo, hay una diferencia sustancial: el concreto con fibras Drámix, está armado homogéneamente y las fibras se añaden en dosis según se requiera.

Las ventajas principales del concreto reforzado con fibras de acero son las siguientes:

- Alta resistencia a la flexión.
- Alta resistencia a los impactos y una gran capacidad de absorción de energía.
- Alta resistencia a la fatiga, etc.
- Gran aumento de la resistencia a las 24 horas.

Dentro de los tipos de estándares de fibras de acero Drámix, se utilizó dentro de la estabilización de la excavación, el tipo Zp 30/.50 (diámetro 0.50 mm, longitud 30 mm, RATA L/D 60), que se utiliza para concreto proyectado seco o húmedo, aplicado especialmente para túneles, estructuras subterráneas y estabilización de rocas y suelos.

Esta tecnología se ha aplicado con gran aceptación en países Escandinavos, España, Francia, Italia, Austria, Japón, Hong Kong, Sri Lanka, Taiwán, Oriente Medio, Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, etc.

Esta tecnología de proyectar concreto con fibras de acero se ha desarrollado en los últimos años para construir túneles de una manera económica, rápida y con mayor seguridad.

5.2.2.1.2 Colocación del concreto lanzado.

La colocación del concreto lanzado, en el Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, se seleccionó mediante el procedimiento por vía húmeda, ya que este método se ha empleado en diversas partes del mundo con muy buenos resultados, en lo que se refiere a calidad, rapidez y seguridad en los trabajos.

La utilización del concreto lanzado por vía húmeda, trae consigo muchas ventajas, como son: garantía en la resistencia, ahorro en el rebote, eliminación total del polvo del cemento en el interior del túnel; aunado a estos beneficios, con la introducción de las fibras metálicas y la eliminación de la malla electrosoldada, se hizo más eficiente la colocación del concreto lanzado en el interior del túnel y por ende, se lograron mejorar los avances e incrementar el número de ciclos de trabajo por jornada.

Para la elaboración de un metro cúbico de concreto lanzado, reforzado con 50 kg/m³ de fibras de acero y siguiendo el orden de colocación de los materiales, que influye de una manera muy importante para la manejabilidad del concreto el proporcionamiento, fue el siguiente:

Agua	175 lts.
Super-plastificante	6 kg.
Microsilica	40 kg.
Cemento	400 kg.
Grava	528 kg.
Arena	1,234 kg.

Plastificante	2 lts.
Aditivo acelerante	5 lts.

5.2.2.1.2.1 Equipo.

Para lograr una rápida y adecuada colocación del concreto lanzado vía húmeda, se utilizó el siguiente equipo de trabajo:

- 1 Autohormigonera de 5 m³ de capacidad.
- 1 Bomba de lanzamiento de concreto por vía húmeda de 12 m³/hr.
- 1 Compresor estacionario.
- 1 Brazo lanzador de concreto.

Para la fabricación del concreto en obra, se utilizó la auto-hormigonera, cuya ventaja inicial fue que es autocargable y no necesita de instalaciones complicadas, solo requiere tener un silo para almacenar cemento a granel y que los agregados estén perfectamente clasificados.. La carga de la máquina, de un volumen de 5 m³, es de aproximadamente 15 minutos, figura 5.13.

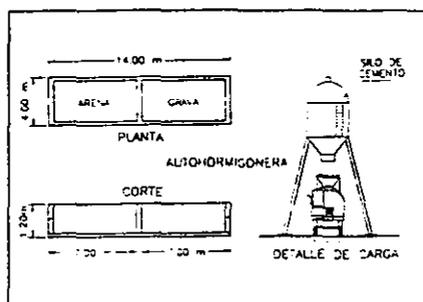


Figura 5.13. Fabricación del concreto por vía húmeda.

5.2.2.1.2.2 Aplicación del concreto lanzado.

Una vez realizada la fabricación de la mezcla, se transportó al sitio donde se requirió su colocación. Antes de que el concreto fuera lanzado, se verificó que el revendimiento fuera el especificado en proyecto, siendo de 2 a 3 cm. sin aditivo y de 4 a 6 cm. con aditivo. El concreto, se aplicó por medio de un brazo lanzador, foto 5.9. La bomba del concreto, es la que impulsa la mezcla a través de las mangueras (2.5", 6.35 cm.) de conducción, hasta la boquilla de lanzado, en donde se introdujo aire a presión, el cuál proyectó el concreto hacia las paredes del túnel. En la misma boquilla, se adicionó el aditivo acelerante de fraguado, inyectándolo desde la misma bomba de concreto por una bomba eléctrica de flujo continuo.



Foto 5.9. Brazo lanzador de concreto.

El lanzamiento de las paredes, se inició de abajo hacia arriba, y con espesores no mayores de 2 cm., de esta manera, se garantizó en primer lugar, que el concreto se adhiriera correctamente en las paredes del túnel y en segundo lugar, se disminuyera el rebote.

Con este procedimiento, se observó que el concreto fue hasta de un 3 % contra un 25 % del que se utilizó con el método por vía seca, lo cual benefició el costo de la obra. Figura 5.14.

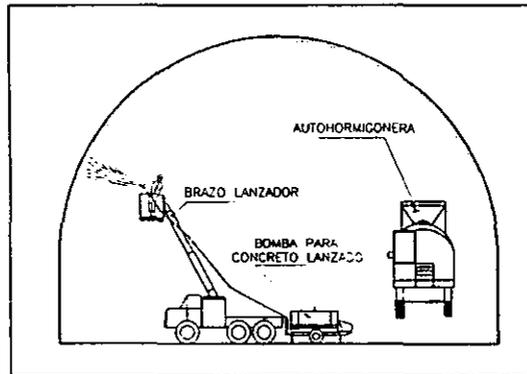


Figura 5.14. Aplicación del concreto lanzado vía húmeda.

En la parte superior del túnel, fue donde se tuvieron las mayores dificultades en su correcta colocación, como son: la fuerza de la gravedad y la aplicación correcta del aditivo acelerante de fraguado, para que la mezcla perdiera instantáneamente su revendimiento y se adhiriera a la clave del túnel en forma inmediata. La bomba del aditivo, debe de trabajar en perfecta armonía, el volumen que bombea con el volumen del concreto que se está bombeando, para lograr darle las propiedades requeridas para su colocación.

Esto fue lo más difícil de controlar, ya que en caso de no lograrse el control adecuado, se hubieran obtenido grandes rebotes de concreto y mayores costos en la obra.

Las distancias conservadas entre la boquilla de lanzado y las paredes del túnel, fueron entre 1.00 y 1.50 m. La separación óptima es la que genera menor rebote y la mejor compactación. Una vez terminada la operación de colocación de concreto, se procedió al lavado y mantenimiento de todos los equipos.

5.2.2.2 Anclaje.

Se puede definir un ancla, como un elemento constructivo, usado para transferir carga en un bulbo generalmente hecho en el interior del terreno, figura 5.15. El ancla, es una simple varilla de acero de refuerzo, introducida en barrenos algo holgados y ésta funciona, transfiriéndole los esfuerzos a la roca mediante su bulbo, el cual puede estar hecho por un mortero de cemento, alguna resina poliéster o algún sistema mecánico. Las resinas o mezclas de fraguado o reacción instantánea, son contenidas en cartuchos que las mismas anclas rompen, al ser introducidas en los barrenos.

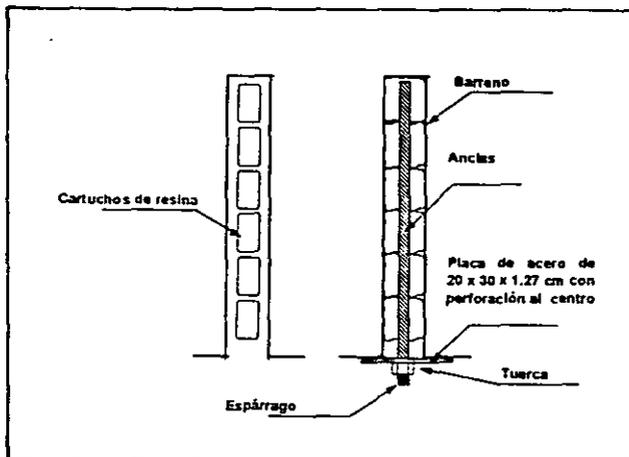


Figura 5.15. Ancla de acero.

Las anclas normalmente están en dirección perpendicular a la superficie excavada, en abanicos radiales, penetrando algunos metros en el terreno; funciona como un refuerzo que evita desplazamientos y hace que todo un anillo de roca, participe como elemento resistente, creando el efecto de auto-soporte, que es la acción conjunta de una corona, que sostiene su propio peso y contrarresta las tendencias de la excavación a deformarse por la acción del nuevo estado tenso deformacional, figura 5.16.

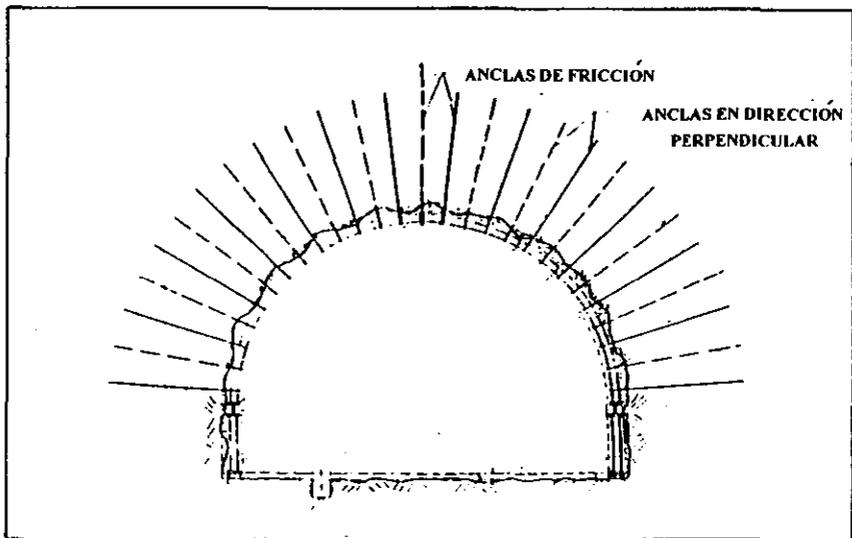


Figura 5.16. Estabilización de la excavación mediante anclas.

También son utilizadas en la protección de portales de túneles, debido a que se encuentran ubicadas en los lados de taludes muy inclinados o en mezclas de suelo con cortes de roca, debido a las malas condiciones del terreno por la estratigrafía, el agua, las posibles fallas y la estabilidad del talud, foto 5.10.

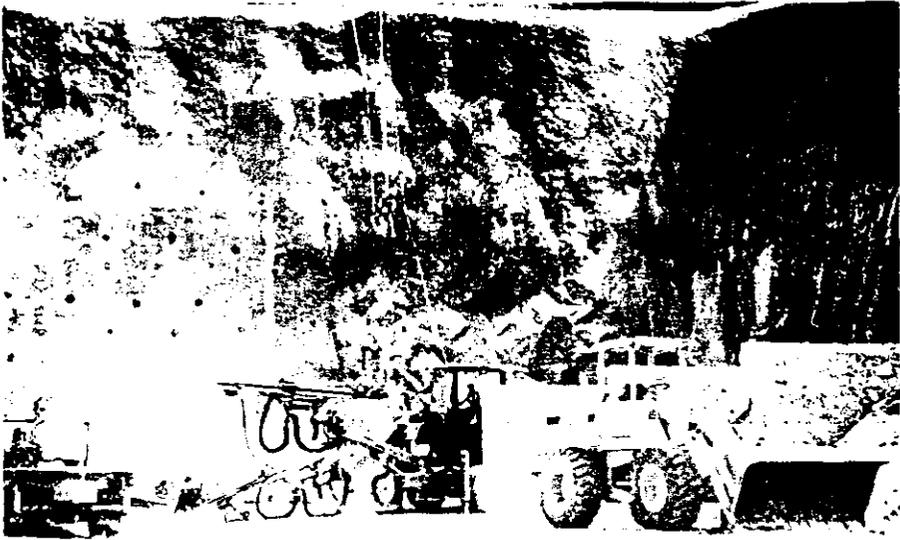


Foto 5.10. Portal Farallón protegido con anclas.

5.2.2.3 Marcos metálicos.

Los marcos metálicos con retaque de madera, constituyen una estructura de ademe, satisfactoria en excavaciones subterráneas. Su aplicación está asociada exclusivamente con los métodos convencionales. Tiene la ventaja de ser una estructura tradicional y generalmente aceptada, por lo que existe personal técnico y obrero que sabe utilizarla e instalarla. Puede aplicarse en condiciones adversas al terreno y, sobre todo, donde existen flujos de agua importantes, que impiden la utilización de otros tipos de ademe, foto 5.11.



Foto 5.11. Marcos metálicos.

La continuidad de soporte de los marcos, la dan las cuñas y piezas de madera, mismas que establecen el contacto con el terreno; la madera es mucho menos resistente y más deformable que el acero. La continuidad a la tensión la dan tensores de acero que van de marco a marco, y la continuidad entre piezas de un mismo marco, se procurará con pernos, de cuyo apriete dependerá la capacidad para transmitir esfuerzos de flexión y de cortante de una pieza a otra, foto 5.12. La rigidez de apoyo en el piso, se da por las rastras y zapatas que tienen una resistencia global en la estructura.



Foto 5.12. Marcos metálicos con retaque de madera.

Los marcos se fabrican por segmentos, que se ensamblan en el interior del túnel, mediante conexiones atornilladas. El número de segmentos depende de la dimensión de la sección del túnel, de las etapas de excavación y de la manejabilidad de los elementos.

Cuando la excavación se efectúa a media sección y banqueo inferior, para apoyar la parte de la clave del marco, se instalan elementos longitudinales que se apoyan de un extremo en el banco y en el otro, se conectan generalmente con soldadura a los marcos de atrás ya reportados por los elementos verticales. Figura 5.17.

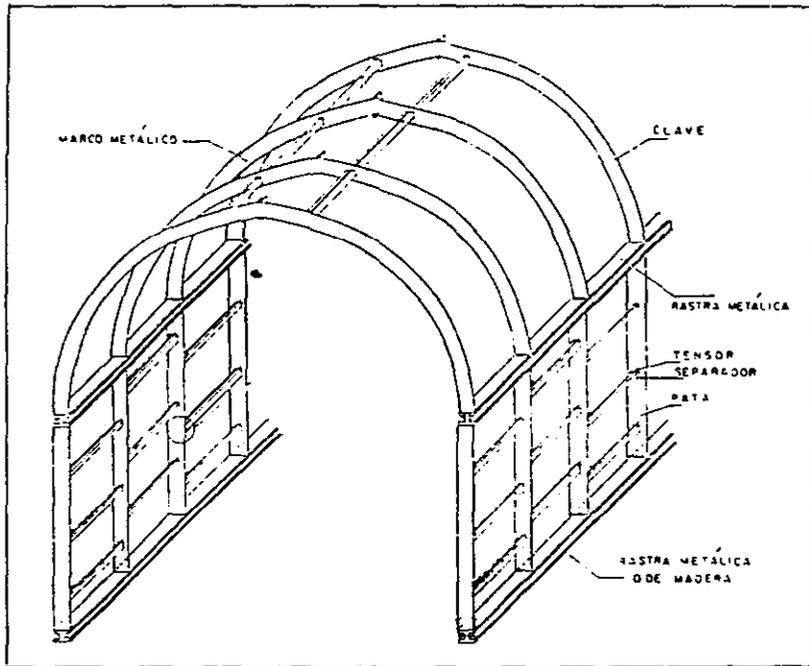


Figura 5.17. Marcos metálicos.

Los elementos asociados con los marcos son los siguientes:

- 1) Arco: Parte superior del marco.
- 2) Postes (o patas): Parte inferior del marco.
- 3) Rastra : Apoyo del marco en excavación a media sección y banqueo.
- 4) Tornapunta: Elemento de cierre inferior.
- 5) Tensores: Redondo de acero, roscado en sus extremos.
- 6) Separadores: Polín de madera.
- 7) Retaque de madera: En forma acuñada.

5.2.3 Procedimiento constructivo en zonas clasificadas geológicamente como: Malas a muy malas, regular a buenas y comunicación de ambos frentes.

De acuerdo a las diferentes calidades de roca encontradas en el macizo rocoso, se llevaron a cabo diferentes procesos de excavación y tratamiento de la masa de roca que a continuación se describen.

5.2.3.1 Malas a muy malas.

El siguiente proceso de excavación y tratamiento de la media sección superior del túnel, se realizó en las zonas donde se encontró material clasificado geológicamente como “roca mala a muy mala”, evitando la improvisación, disminuyendo el riesgo y optimizando el ciclo de trabajo, a través de la sistematización de las actividades.

5.2.3.1.1 Descripción del procedimiento.

En 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 cual corresponde a un medio círculo con diámetro igual a 13.60 m. y otra inferior que se representa como un rectángulo de 13.60 m. de largo por 2.65 m. de altura, figura 18.

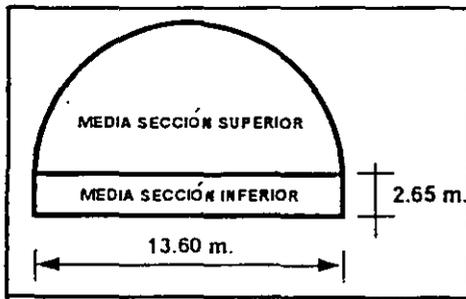


Figura 18. Sección transversal dividida en media sección circular y media sección inferior.

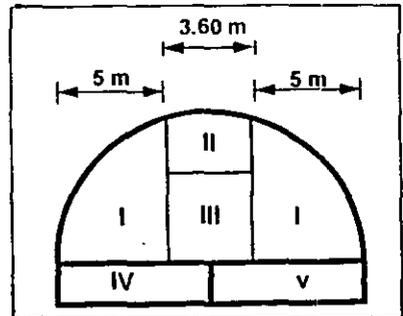


Figura 5.19. Sección transversal dividida en dos laterales (I), un núcleo (II y III) y dos inferiores (IV y V).

Se subdividió la media sección en tres partes, dos laterales de 5 m. y un núcleo de 3.6 m., figura 5.19, considerando que el frente, se encontraba como se indica en la figura 5.20.

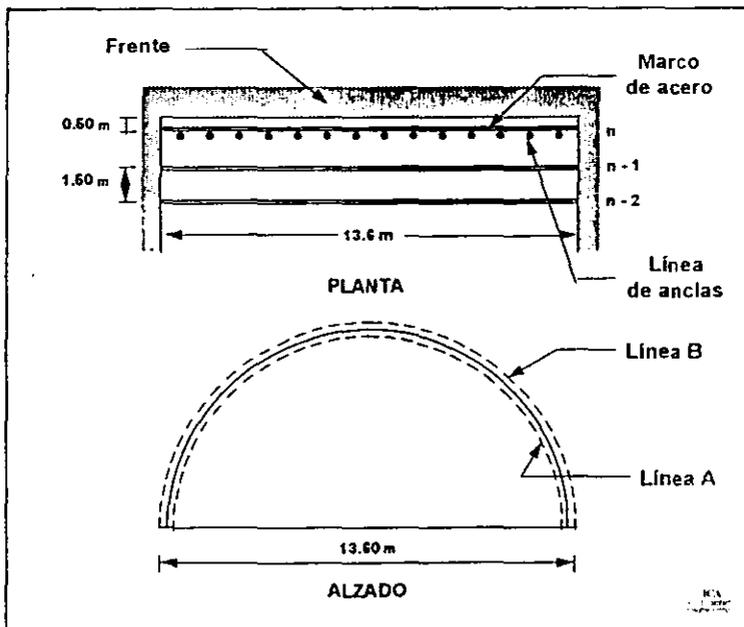


Figura 5.20. Frente al final del rescate del caído.

Para trazar las secciones, el trazo se hizo con la ayuda del tránsito (rayo láser); se marcó el nivel de la rasante y el nivel superior de la rastra, así como el radio de la sección superior y el eje del túnel, para definir las tres divisiones, dos laterales de 5 metros de longitud, una a la izquierda (I) y otra a la derecha (I) de la sección, un núcleo de 3.60 metros que fue la zona central (III) de la sección y por último, una ranura de 2 m. que se encontró en la parte superior del núcleo (II), figura 5.21.

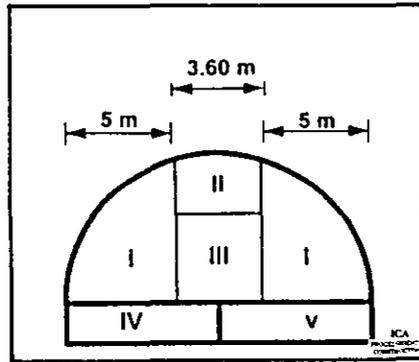


Figura 5.21. Sección transversal.

Se inició la excavación mediante barrenación y explosivos en las zonas laterales, (I) figura 5.19; para lograr una geometría similar a la indicada en la figura 5.22. Se localizó la posición y se marcaron los barrenos de la cuña con pintura, en las secciones N. I, usando una plantilla de lámina con los barrenos identificados, (cargados y quemados). Se marcaron los puntos de barrenación de precorte o post-corte y piso, con la ayuda de un transportador. Se distribuyeron los barrenos de destroza en el resto de la sección, siguiendo la plantilla de perforación. Dependiendo del tipo de roca o fallas en el frente excavado, el diagrama de barrenación empleado, fue diferente en cada voladura.

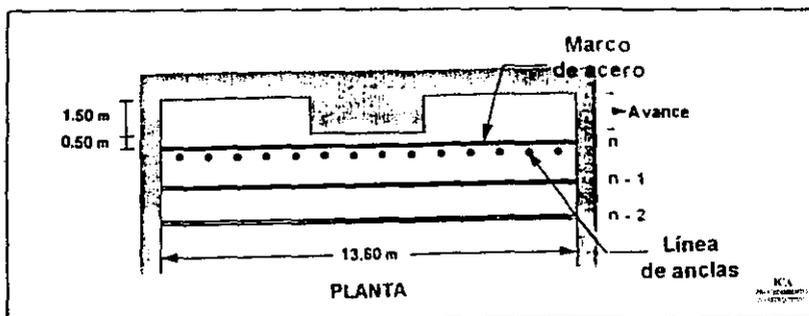


Figura 5.22. Excavación de los tercios laterales de la media sección superior.

5.2.3.1.2 Barrenación.

Se procedió a barrenar las secciones N. I (lateral izquierda y lateral derecha), a una penetración de 1.7 m. simultáneamente, con los jumbos eléctrico-hidráulicos, autopropulsados con tres brazos de rendimiento aproximado de 1 m/mim, utilizando éste, un zanco rope de 8 orejas de 1 ½" (2.27 cm.) de \varnothing , un cople de 1 ½" (2.27 cm.) de \varnothing , con cuerda rope, una barra "drifting" (direccionada) de 14" (35.56 cm.) de 1 ½" (2.27 cm.) x 1 ¼" (3.17 cm.) de \varnothing , una broca de botones de 1 7/8" (4.76 cm.) de \varnothing , cuerda rope para los barrenos que llevan carga, una broca de 3" (7.62 cm.) de \varnothing para los barrenos quemados. El ataque, se apegó al diagrama de secuencia de barrenación, figura 5.23.

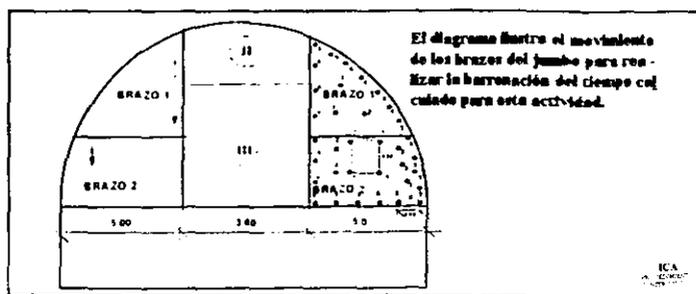


Figura 5.23. Diagrama de secuencia de barrenación.

Los avances de cada barrenación alcanzaron una penetración de 1.7 metros, necesaria para excavar 1.5 m. Se realizó la perforación adicional y suficiente para garantizar la salida de pata.

5.2.3.1.3 Carga de barrenos con explosivos.

Para la agilización de la carga de explosivos, se prepararon las cargas de los barrenos de la siguiente forma:

Se solicitaron al almacén, los explosivos y los tubos de cartón de 3 m. de longitud, 1 7/8" (4.76 cm.) de Ø exterior, 1/8" (0.32 cm.) de espesor de pared y 1 1/2" (3.81 cm.) de Ø y se cortaron a la medida del barreno. Se prepararon los explosivos que fueron empleados en la voladura, llenando los tubos de cartón, de acuerdo a la función que fueran a desempeñar: precorte o post corte, ayudantes o destroza y cuña, los cuales se identificaron como: precorte o post-corte, con una banda de color amarillo; ayudantes o destroza, con una banda roja y los de cuña, con una banda de color azul.

La cantidad de explosivo en cada uno de los tubos de cartón, varió de acuerdo a la función desempeñada. para precorte o post-corte y ayudantes o destroza, se llevaron alrededor de 5 cartuchos de alto explosivo de 1"(2.54 cm.) de Ø x 8" (20.32 cm.) con un Nonel LP o MS, figura 5.24. Una vez colocados los cartuchos, se introdujo el taco correspondiente. Los tubos con el explosivo, se prepararon en el interior del túnel, en una plataforma con dimensiones de 5 x 3 m.

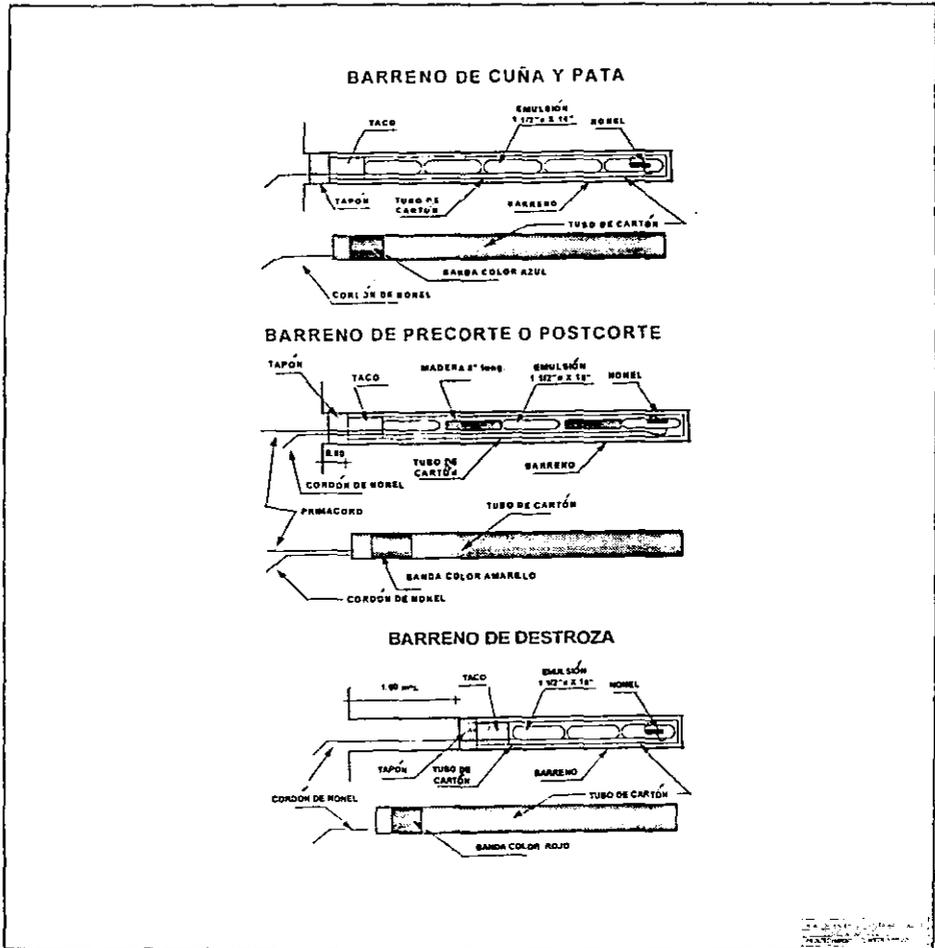


Figura 5.24. Croquis de preparación de explosivos.

Una vez cargados los tubos con las cantidades de explosivos, e identificados con las bandas de color según su función; fueron acarreados hasta el frente de trabajo para su colocación. Se inició con la carga simultánea del precorte, de arriba hacia abajo, y de la cuña, para lo cual el cabo verificó la correcta colocación de los tubos que contenían explosivos.

Con el plano descriptivo figura 5.25, el cabo se encargó de hacer el amarre final de los conectores que salían de cada uno de los barrenos ya cargados, empleando Primacord y/o Ecord, y verificó su correcta ejecución, antes de iniciar el encendido de la mecha que provoca el disparo de la voladura.

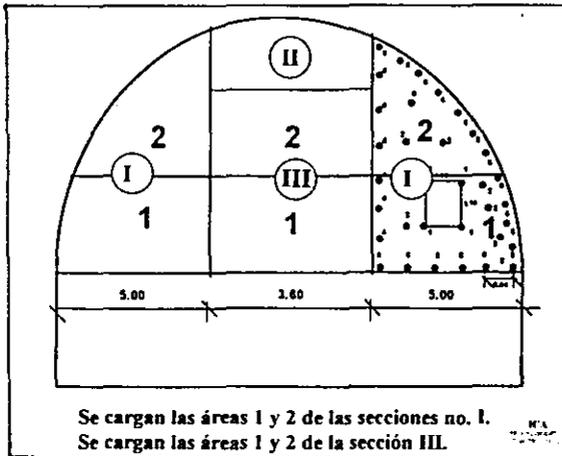


Figura 5.25. Diagrama de secuencia de carga.

Se amarraron las dos mechas de los laterales, con el fulminante a cada 1/3 que se detonaría, con una diferencia de 20 cm. (1.0 m. y 1.20 m. respectivamente).

El explosivo utilizado fue emulsión de 1" (2.54 cm.) x 8" (20.32 cm.) de \varnothing y densidad de carga igual a 1.18 kg/m³. La carga específica en barrenos, fue de 0.8 - 1.3 kg/m³, que varió de acuerdo a su función y a la calidad de la roca.

Se prendió la sirena, la cual duró un minuto encendida, para dar aviso que en cinco minutos, se realizaría la voladura. Se retiró a todo el personal, excepto al encargado de encender la mecha; también, se sacó el equipo del túnel, lámparas y se protegieron las cosas que no se pudieron mover

(interruptores, tinaco de agua etc.). Una vez que el personal de seguridad verificó que todo lo anterior se realizara, se procedió a encender la sirena nuevamente para dar aviso de que la voladura estaba por efectuarse; avisando por medio de radio a la persona que se encontraba dentro del túnel para que encendiera la mecha y se retirara de inmediato del lugar. La sirena permaneció encendida hasta que se escuchó la detonación.

Una vez consumida la voladura, se apagó la sirena, esperando cinco minutos para verificar que no ocurriera una detonación fuera de lo programado. Se encendió el ventilador, esperando por un lapso de tiempo de 15 minutos, para sacar todos los humos y gases producto de la voladura; durante este lapso, el supervisor de seguridad, no permitió la entrada a ninguna persona al interior del túnel; transcurrido el tiempo, se permitió el acceso al personal, a los electricistas, y al equipo de rezaga.

5.2.3.1.4 Amacize.

Se llevó a efecto el amacize de la voladura del lateral izquierdo. Se lanzó una capa de concreto lanzado, reforzado con 40 kg/m^3 de fibra de acero drámix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 11 cm. para evitar caídos de roca, figura 5.26.



Figura 5.26. Colocación de concreto reforzado con fibras de acero, con espesor de 11 cm.

5.2.3.1.5 Rezaga.

Se efectuó la rezaga del material, producto de la voladura del lateral izquierdo y lateral derecho, utilizando un cargador frontal 966 de descarga lateral y tractocamiones para el acarreo. Al realizar la actividad del lado derecho, se procedió a la colocación de la rastra del lado izquierdo, con una longitud de 1.5 m.

5.2.3.1.6 Colocación de la rastra metálica.

El procedimiento, consistió en cortar la rastra metálica a 1.5 m. de longitud, presentándola en el sitio donde se instaló; verificando su alineación y nivelación con el apoyo de topografía. Se unió la rastra anterior y la nueva, soldándola en sus patines superiores con una placa de $\frac{1}{2}$ " (1.27 cm.) de 20 x 24 cm., en la unión de las almas, se colocaron dos placas de $\frac{1}{2}$ " (1.27 cm.) de 20 x 24 cm., una por el frente y la otra por detrás, uniéndolas mediante tornillos de $\frac{3}{4}$ " (1.90 cm.) de diámetro x 2 $\frac{1}{2}$ " (6.35 cm.) de largo; la placa que va al frente, se suelda a las almas, utilizando un electrodo 7018 de $\frac{1}{8}$ " (0.32 cm.) de diámetro, con rectificadora.

Una vez terminada la rezaga del material del lado derecho, se procedió al amacize; para posteriormente colocar en la sección superior derecha, una capa de 11 cm. de espesor de concreto lanzado, reforzado con fibras de acero Drámix ZP 30/50.

5.2.3.1.7 Colocación de las anclas.

Se procedió a la barrenación y colocación del anclaje sistemático utilizando un jumbo, realizando barrenos de 1 7/8" (4.76 cm.) de diámetro y 6 m. de largo; arriba de la inclinación de 45° y barrenos de 4.2 m. de longitud, abajo de la inclinación de 45°, figura 5.27.

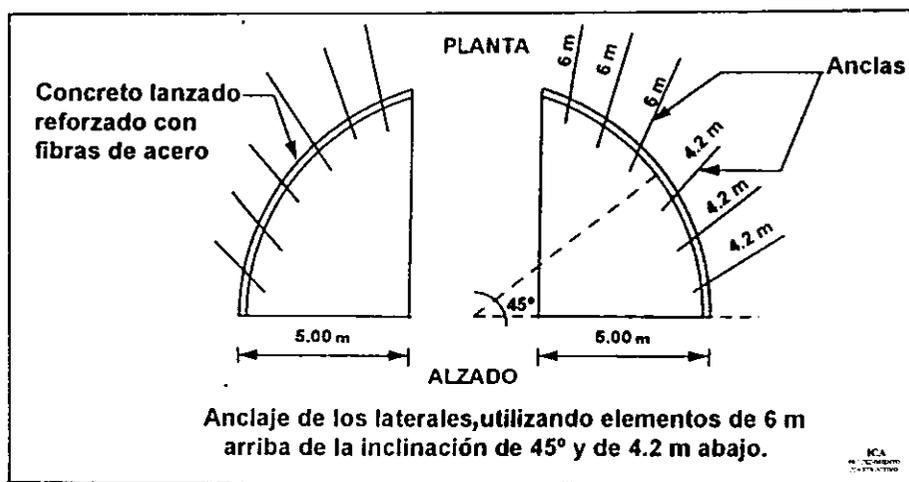


Figura 5.27. Anclaje de los laterales.

Después de la barrenación, se insertaron unas salchichas con resina, hasta llenar la longitud de barreno, colocando un tapón en la entrada del barreno, para posteriormente introducir el ancla de varilla de 1" (2.54 cm.) de \varnothing x 4.2 ó 6 m. según correspondió; en la cual, se le soldó un espárrago de 1" (2.54 cm.) de \varnothing por 10 cm. de longitud; haciéndola girar con el apoyo de un jumbo para mezclar la resina con su catalizador, colocando una placa de acero de 20 x 30 cm. perforada en el centro con un orificio de 1 1/2" (3.81 cm.) de \varnothing , posteriormente, se aprieta con una tuerca de 1" (2.54 cm.), figura 5.28.

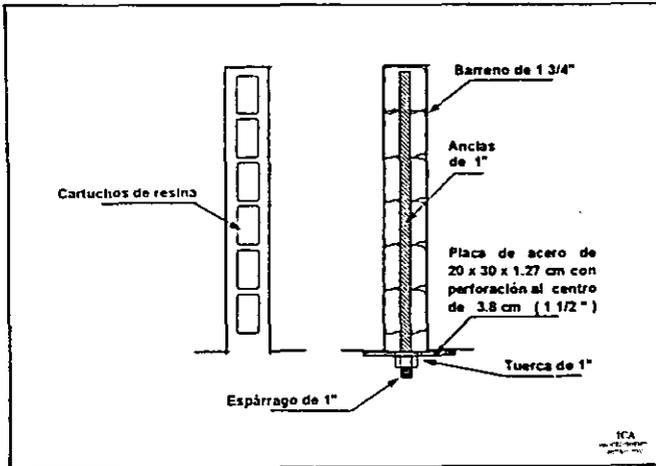


Figura 5.28. Croquis de colocación de resina y anclas.

Al término del anclaje de los laterales, se continuó con la excavación de los mismos, mediante barrenación y explosivos, de tal manera que se lograra un avance total a 3.0 m., obteniendo una geometría como en la figura 5.29. Se lanza concreto reforzado con 40 kg/m^3 de fibras de acero drámix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 11 cm.

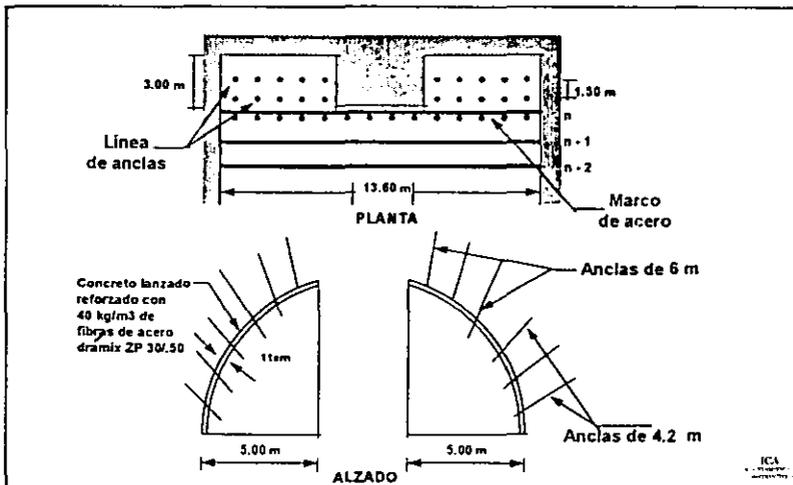


Figura 5.29. Excavación hasta 3.0 m. en los túneles laterales y anclaje de la sección.

Al término del anclaje, se excavó una ranura en el núcleo de 2 m. de altura con un avance de 1.5 m. de penetración, referido al marco anterior, figura 5.30; ésto se realizó con un martillo hidráulico modelo TABE 1200, el cual se montó sobre una retroexcavadora modelo 220. Los peines, se quitaron con modelos neumáticos modelo TX 11 y TX 14, foto 5.13.

Cuando se encontró roca sana en la ranura, se utilizaron explosivos, controlando la voladura a fin de no dañar el techo de la excavación. Terminando la excavación, se lanzó inmediatamente concreto reforzado con 40 kg/m³ de fibras metálicas, para proteger la clave hasta alcanzar un espesor igual a 11 cm.. Simultáneamente, se colocó la rastra sobre el lado derecho.



Foto 5.13. Excavación del pilastrón central.

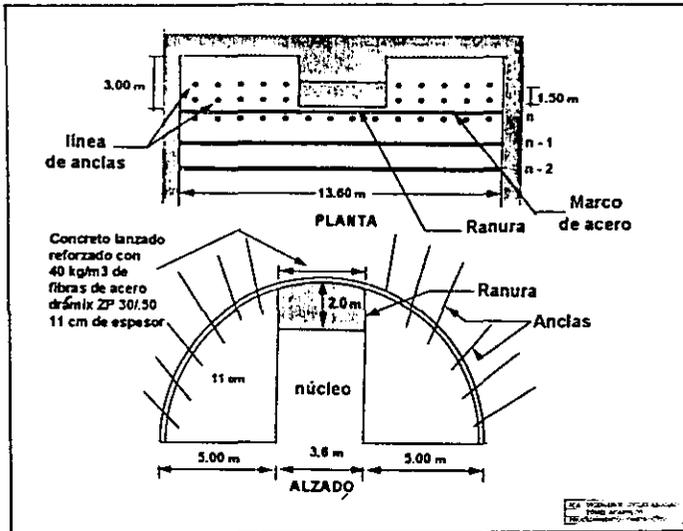


Figura 5.30. Excavación de la porción superior del tercio central y colocación de concreto lanzado en la clave.

5.2.3.1.8 Colocación y adomado del marco.

Una vez protegida la clave de la excavación, se procedió a colocar el marco $n + 1$, dejando una separación de 1.5 m. de la manera siguiente:

Se midió la longitud de las dos medias lunas del marco y la curvatura; verificando que estuvieran en buen estado, haciéndose ésto en una plantilla de concreto, foto 5.14. Se transportó el marco al interior del túnel, utilizando un cargador 966, para su colocación en la zona de la ranura.

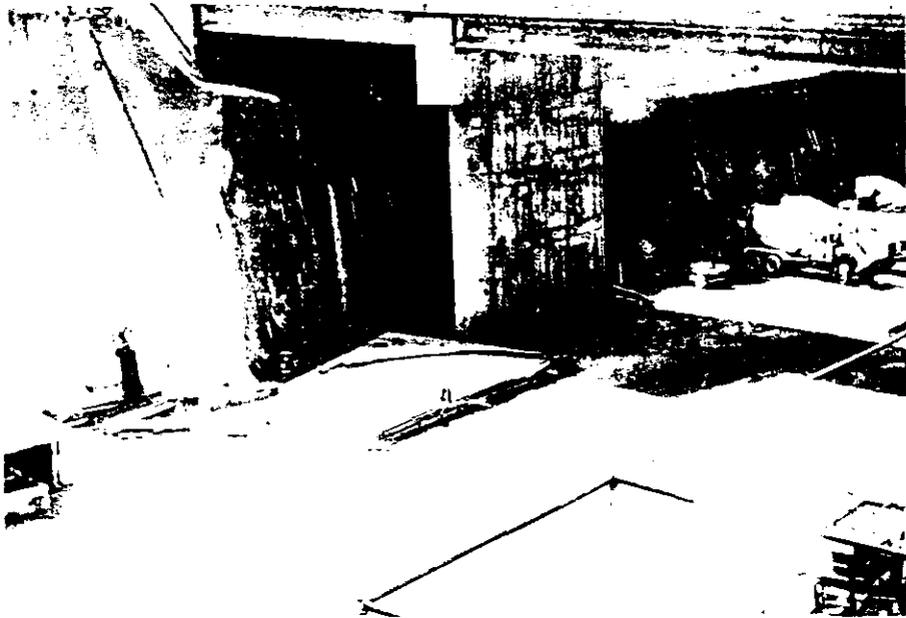


Foto 5.14. Verificación de la curvatura.

Se colocó la media sección del marco (foto 5.15, mostrada más adelante), sujetándola con los tensores y se colocaron los separadores de madera y se soldó a la rastra. Después, se colocó la otra media sección del marco de la misma manera que la anterior, y se unió en la zona de la clave por medio de tornillos de $\frac{3}{4}$ " (1.90 cm.) x 2" (5.08 cm.), se verificó el alineamiento y se procedió a completar la soldadura y ademado, figura 5.31 y foto 5.16 mostradas en las siguientes páginas.

Simultáneamente con la colocación y el ademado del marco metálico, se procedió a excavar el núcleo, mediante barrenación de acuerdo a la plantilla, figura 5.32 mostrada más adelante, y explosivos, hasta alcanzar una nueva penetración igual a 1.5 m.

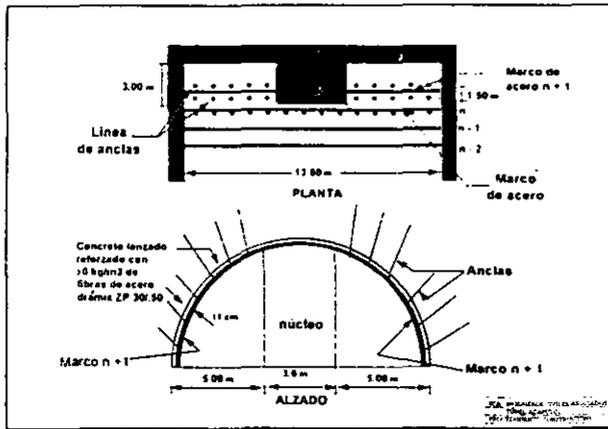


Figura 5.31. Colocación del marco n + 1



Foto 5.15. Colocación del marco metálico

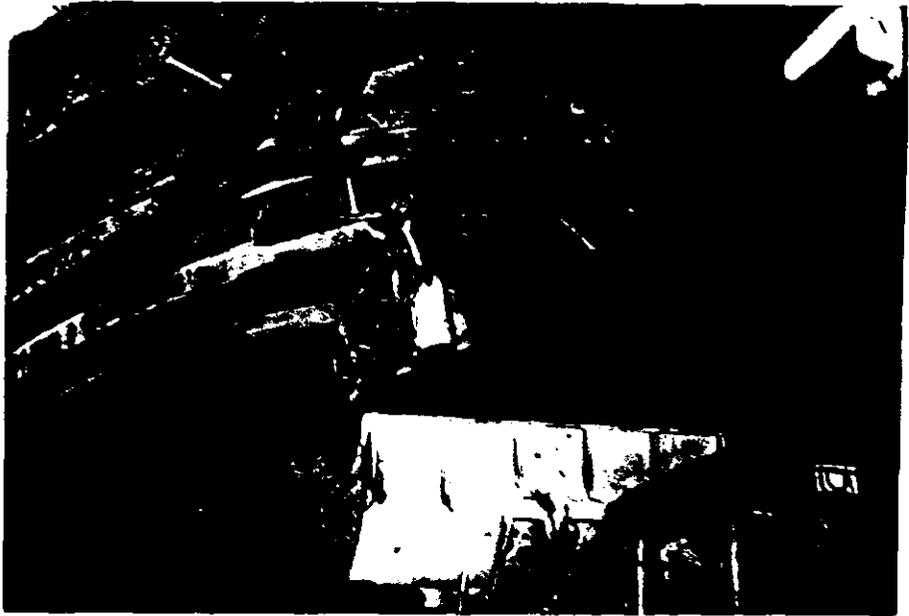


Foto 5.16. Colocación de un marco metálico

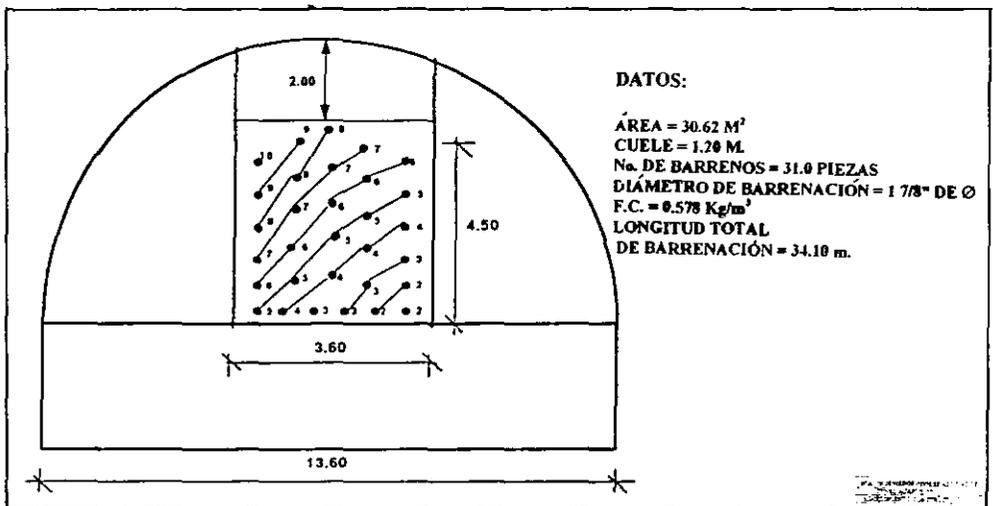


Figura 5.32 . Diagrama de barrenación.

Después de la voladura y rezaga del material del núcleo, se realizó la barrenación del anclaje de la clave, haciendo barrenos de 1 7/8" (4.76 cm.) de diámetro x 6 m. de longitud. Se insertaron las salchichas con resinas, hasta llegar a la longitud de barreno. Posteriormente, se introdujo el ancla de varilla de 1" (2.54 cm.) x 6 m. de longitud, colocando la placa de 20 x 30 cm. perforada en el centro y se apretó con una tuerca de 1" (2.54 cm.) de Ø. Se continuó con el ciclo, con un nuevo avance de 1.5 m. figura 5.33.

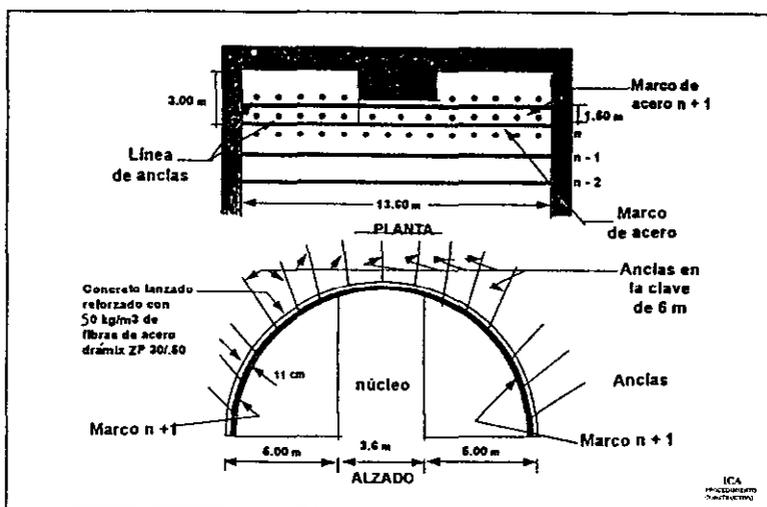


Figura 5.33.

Cuando se presentó humedad excesiva en el frente, se procedió con la perforación y colocación de drenes de alivio, utilizando un jumbo, haciendo barrenos de 2 1/2" (6.35 cm.) de Ø x 3 metros de longitud; finalmente, se colocó el dren de tubo PVC ranurado, y se calafatea la broca de barreno.

Cuando en el frente de ataque existió la aparición de escurrimiento en el frente, que impidiera la colocación del concreto lanzado vía húmeda, se procedió de la siguiente manera:

- a) Se hicieron los drenes de alivio para captar el escurrimiento.
- b) Cuando no resultó lo anterior, se procedió a aplicar concreto lanzado por vía seca.
- c) Si no resultaba favorable la actividad anterior, se colocaba una malla de metal desplegado y se procedió a lanzar concreto lanzado, por vía seca sobre una malla, que se sujetaba con pernos hilti.
- d) Se dejó una capa de concreto lanzado que permitió continuar con la actividad siguiente (anclaje). Al terminar, se reinició el concreto lanzado, hasta terminar la aplicación.

Equipo:

2 Jumbos autopropulsados electro - hidráulico de tres brazos.

1 Cargador de descarga lateral 966.

1 Subestación.

1 Planta de luz de 300 kw (solo en caso de emergencias).

1 Compresor de 750 PCM.

1 Camión con plataforma aérea.

10 Tractocamiones.

2 Soldadoras rectificadoras de 300 amp.

1 Equipo de corte.

1 Grúa Hiab.

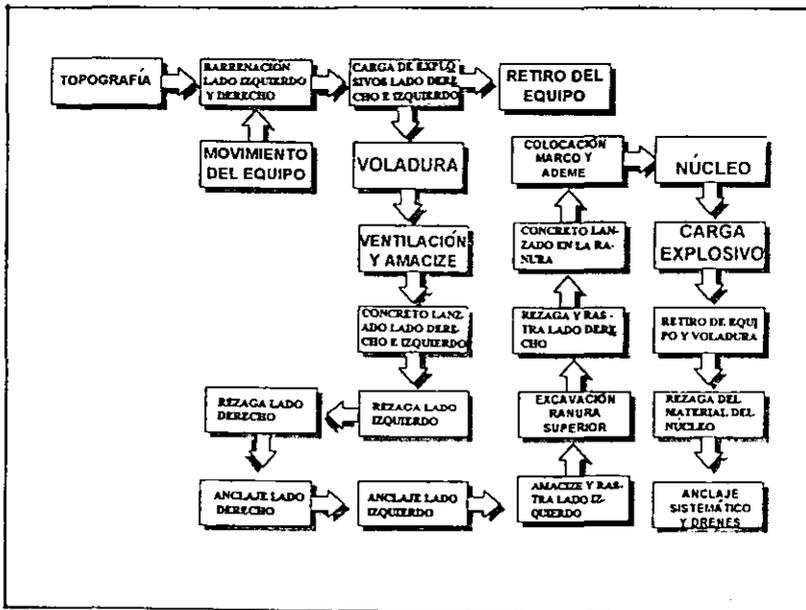
1 Volquete autopropulsado.

1 Retroexcavadora modelo 220.

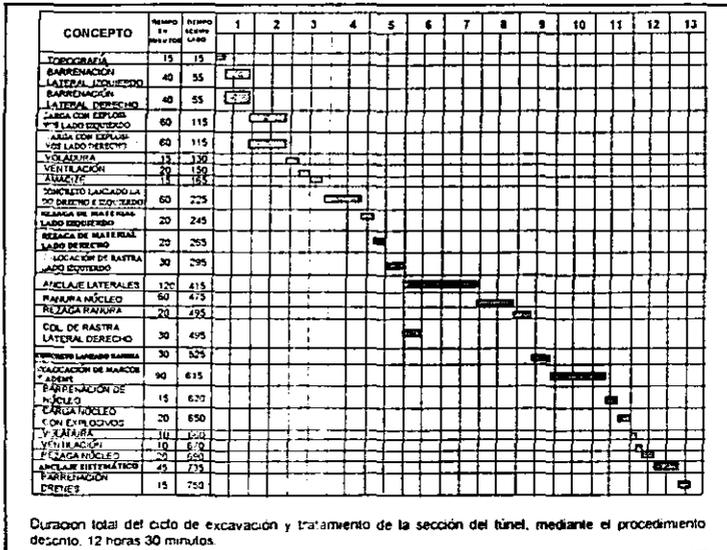
1 Martillo hidráulico modelo 1200.

- 1 Martillo neumático modelo TX 11.
- 1 Martillo neumático modelo TX 41.
- 1 Sierra de banco.
- 1 Ventilador de 1.20 m. de Ø.
- 1 Taladro eléctrico de ½ h.p.
- 1 Bomba para lanzado de concreto.
- 2 Auto hormigoneras.
- 1 Brazo lanzador sobre camión.

Diagrama de flujo del procedimiento constructivo.



Programa del ciclo de excavación y tratamiento.



5.2.3.1.9 Media sección inferior.

Después de haber concluido con la excavación y tratamiento de la sección superior, se procedió a excavar la sección inferior, en banqueo en zonas de marcos. A continuación se describe el procedimiento realizado.

5.2.3.1.9.1 Descripción del procedimiento.

Para estas zonas, el ancho de la sección excavada fue de 13.6 m., debido a que se requirió instalar las patas a los marcos de acero, como soporte provisional. Se subdividió la sección transversal en dos partes, una superior ya excavada, la cual corresponde a un medio círculo, con diámetro igual a 13.6 m., y otra inferior que se representa como un rectángulo de 13.6 m. de largo por 2.65 m. de altura, figura 5.34.

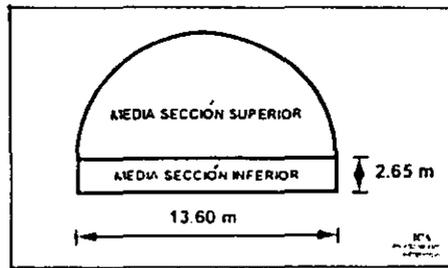


Figura 5.34. Sección del túnel dividida en dos partes.

Se subdividió la media sección inferior en dos secciones, derecha e izquierda, realizando la excavación en cualquiera de ellas y la otra sirvió como una rampa de acceso a la media sección superior, figura 5.35.

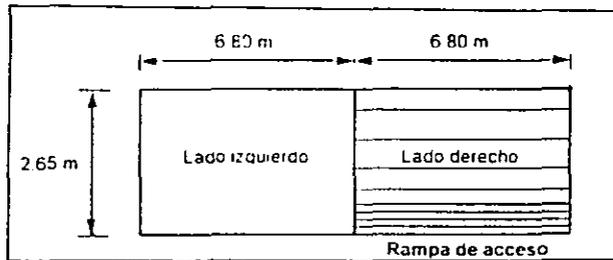


Figura 5.35. Croquis del banqueo de la media sección inferior.

Antes de realizar la barrenación en la sección a excavar, se anclaron las bases (esto se realizó a cada 2 metros, o sea un marco sí y otro no), por medio de anclas de 1" (2.54 cm.) de diámetro x 3 m. de longitud, estas fueron inyectadas con lechada de $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$, las cuales formaron un candado que se soldó a los marcos para asegurar la estabilidad del túnel, al quitar el apoyo de las rastras, figura 5.36.

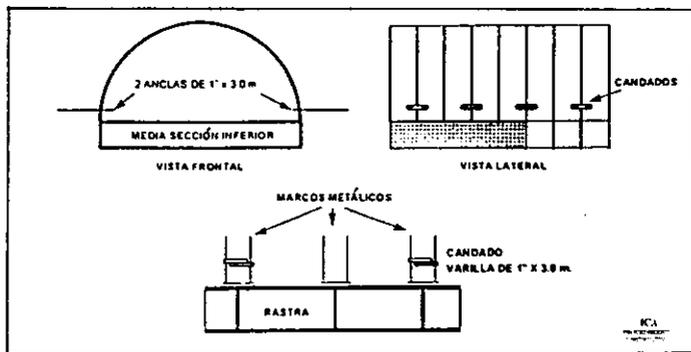


Figura 5.36. Candados en bases de marcos.

5.2.3.1.9.2 Barrenación.

Con la ayuda del rayo láser, se marcó el nivel de la rasante. Después se marcaron los barrenos del postcorte, pata y se distribuyen los barrenos de destroza en el resto de la sección, siguiendo la plantilla de barrenación, figura 5.37.

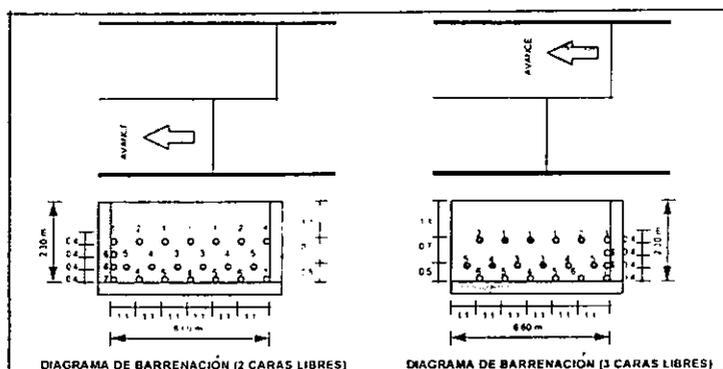


Figura 5.37. Diagramas de barrenación.

De acuerdo a los tipos de falla en el frente excavado, el diagrama de barrenación empleado fue diferente en cada voladura.

Los avances de cada barrenación alcanzaron una penetración de 1.7 metros, o la necesaria para excavar 1.5 m. También se realizó una barrenación adicional necesaria y suficiente para garantizar la salida de la pata, así como la barrenación para la colocación de las anclas que sujetaron la malla electrosoldada y el cable de acero, para la protección de las instalaciones,

Una vez de tener preparados los barrenos limpios, se cargaron con explosivos de acuerdo al diseño de voladura. El cabo se encargó de hacer el amarre final de los conectores, que salían de cada uno de los barrenos ya cargados (empleando Primacord y /o Ecord) y verificó su correcta ejecución antes de iniciar el encendido de la mecha que provocó el disparo de la voladura, foto 5.17.

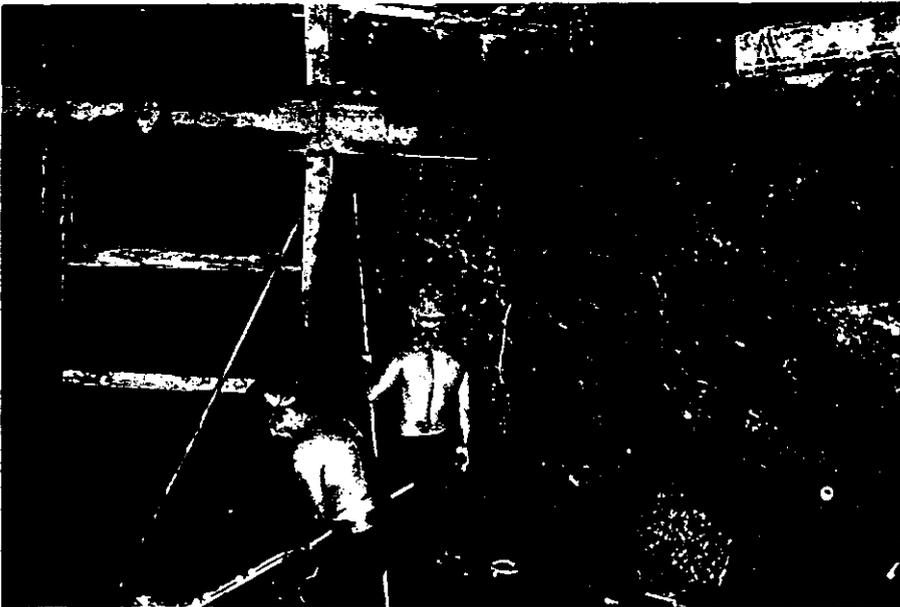


Foto 5.17. Preparación de explosivos.

Se colocaron llantas, malla y cable de acero para asegurar los sitios cercanos a la voladura. Figura 5.38.

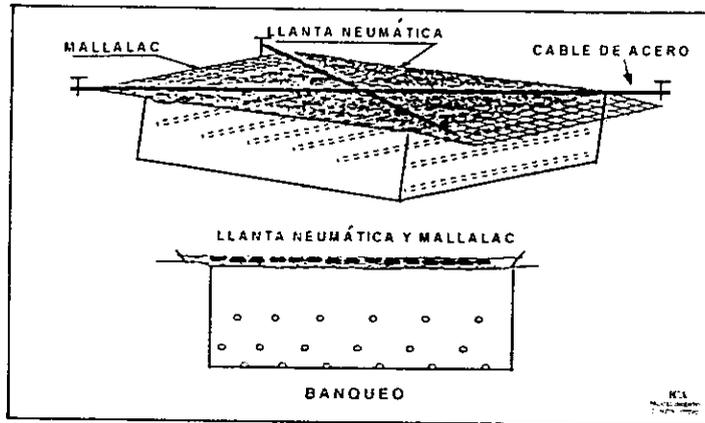


Figura 5.38. Colocación de protección de banqueo.

El explosivo utilizado fue de 1" (2.54 cm.) de \varnothing y de densidad de carga igual a 1.18 kg/m^3 . La carga específica en barrenos fue de $0.8-1.3 \text{ kg/m}^3$, que varió dependiendo de su función y de la calidad o estado de la roca.

Antes de realizar la voladura, se retiró a todo el personal, excepto al encargado de encender la mecha, y se encendió la sirena para dar aviso de que la voladura estaba por efectuarse. La sirena permaneció encendida hasta que se escuchó la detonación. Una vez que la voladura se consumió, se esperó 15 minutos para verificar que no ocurriera una detonación fuera de lo programado; se encendió el ventilador y se esperaron quince minutos, para sacar todos los humos y gases producto de la voladura.

Después, se procedió a efectuar la rezaga con un cargador 966 de descarga lateral y tractocamiones para el acarreo.

5.2.3.1.9.3 Colocación de la pata metálica.

Se procedió a efectuar la barrenación horizontal, ya sea de la sección derecha o izquierda, con avances entre las voladuras de 1.5 m., colocando una pata metálica, y en la siguiente voladura, se colocaban dos patas, verificando la alineación y nivelación con el apoyo de topografía.

Una vez colocada la pata metálica, se procedió a la colocación de los separadores y los tensores; después se soldó la rastra y la pata.

Cuando se colocaron cuatro patas, se procedía a lanzar concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 8 cm. y se colocó un candado igual al colocado a las bases de los marcos, este fue al tresbolillo, con respecto a los mismos, figura 5.39. Una vez que se excavaron 50 m. de una sección, se cambió de lugar la rampa de acceso y se procedió a efectuar la excavación de la otra sección, figura 5.40 y foto 5.18. Esto se repitió la veces necesarias, hasta completar la media sección inferior.

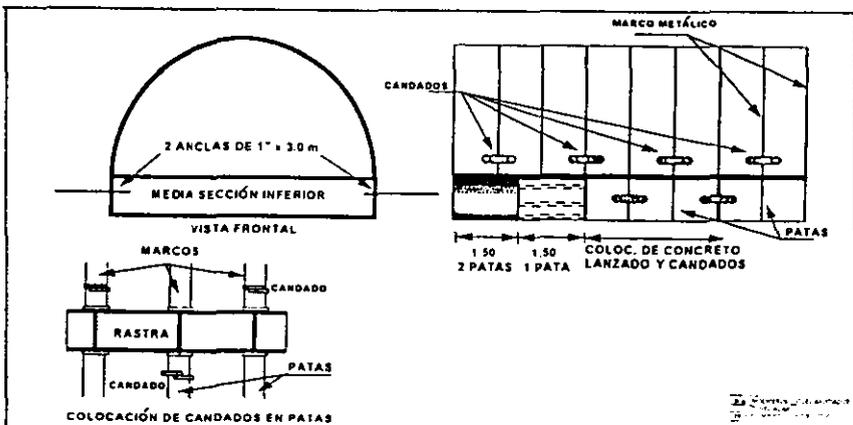


Figura 5.39. Colocación de candado en patas, longitud de avance y concreto lanzado .

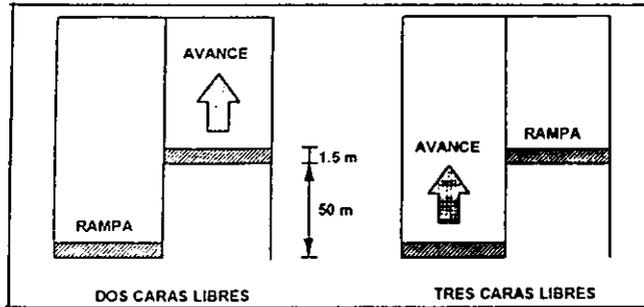


Figura 5.40. Excavación de las secciones.

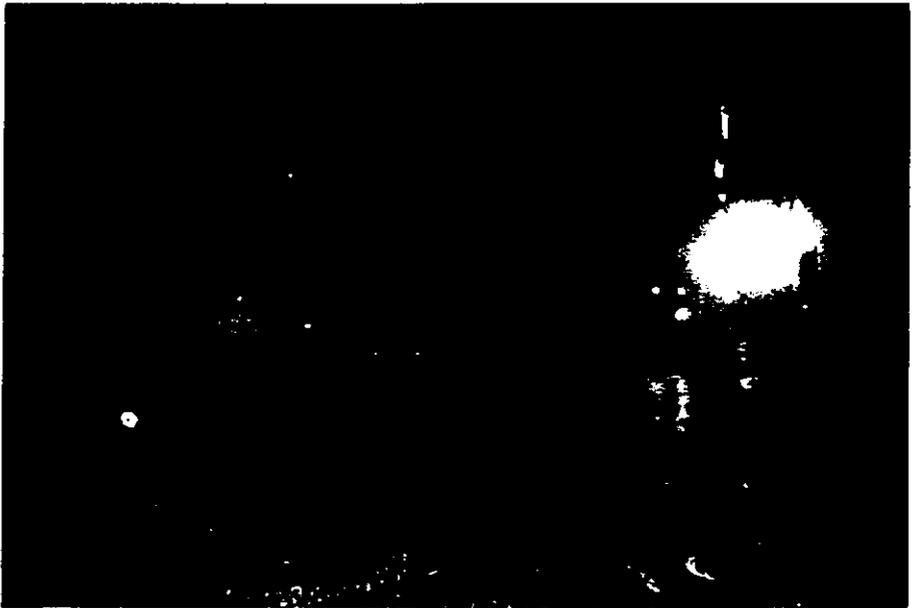


Foto 5.18. Vista del banqueo.

Para la realización del banqueo, se requirió del siguiente equipo de trabajo:

1 Jumbo autopulsado electro-hidráulico de tres brazos.

1 Cargador de descarga lateral 966.

1 Subestación.

1 Planta de luz de 300 kw (solo emergencias).

1 Compresor de 750 PCM.

5 Tractocamiones.

1 Soldadora rectificadora de 300 amp.

1 Equipo de corte.

1 Volquete autopulsado.

1 Martillo neumático modelo TX 11.

1 Martillo neumático modelo TX 41.

1 Sierra de banco.

1 Ventilador de 1.20 m. de Ø.

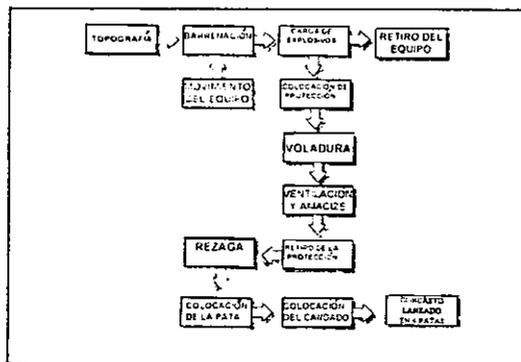
1 Bomba para lanzado de concreto.

1 Autohormigonera.

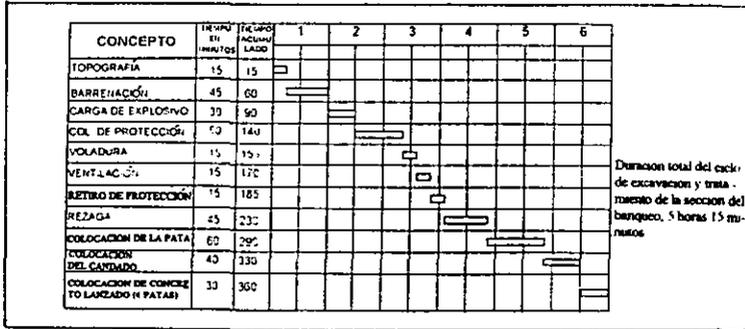
2 Camiones pipa para agua.

1 Equipo con rayo láser.

Diagrama de flujo del procedimiento constructivo.



Programa del ciclo de excavación y tratamiento.



5.2.3.2 Procedimiento constructivo en zonas clasificadas como de regular a buenas.

Para estas zonas donde la roca se clasificó desde el punto de vista geológico como de “regular a buena”, el ancho de la sección excavada fue de 13.6 a 12.86 m., debido a que no se requirió la instalación de marcos metálicos de acero, como soporte provisional. Por las características de la roca, el soporte definitivo fue a base de anclas de acero, a cada 1.5 m. (1" de \varnothing x 4.20 m. de longitud), las anclas fueron colocadas en aureolas perpendiculares al túnel, espaciadas a 1.5 m. entre sí, figura 5.41 y figura 5.42.

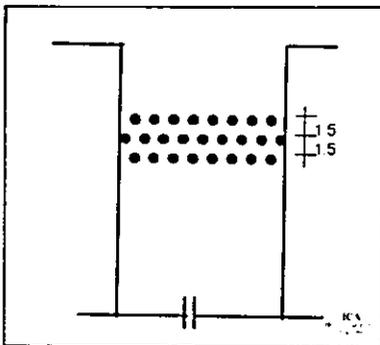


Figura 5.41. Aureolas colocadas

a tres bolillo.

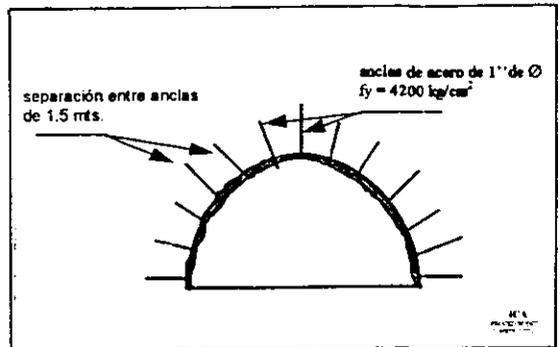


Figura 5.42. Soporte definitivo con anclas

de acero y concreto lanzado con fibras.

5.2.3.2.1 Descripción del procedimiento.

El procedimiento de excavación, consistió en dividir la sección transversal del túnel en dos partes, una superior, la cual correspondió a un medio círculo con diámetro igual a 12.86 m., y otra inferior que se representa como un rectángulo de 12.86 m. de largo por 2.65 m de altura, figura 5.43.

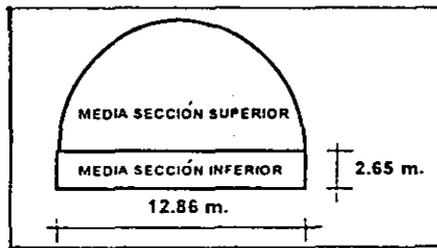


Figura 5.43. Sección transversal.

La sección superior, se dividió en dos partes, una de 8.57 m. y la otra de 4.29 m., figura 5.44, con un desfasamiento de 16 m., figura 5.45. Se atacaron ambos frentes de manera simultánea, para acercarlos, de tal manera que la separación entre ambos fuera entre 7 y 10 m., manteniendo un desfasamiento, como el mostrado en la figura 5.46. A partir del momento en que se alcanzó esta profundidad, se iniciaron las excavaciones en la zona II, para así, reducir las interferencias entre los jumbos durante la operación simultánea.

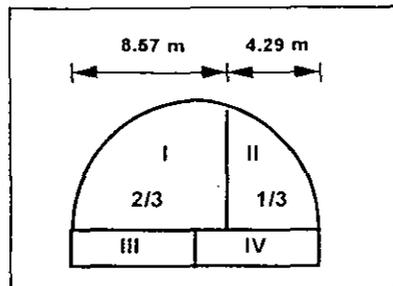


Figura 5.44. Subdivisión de la media sección superior e inferior.

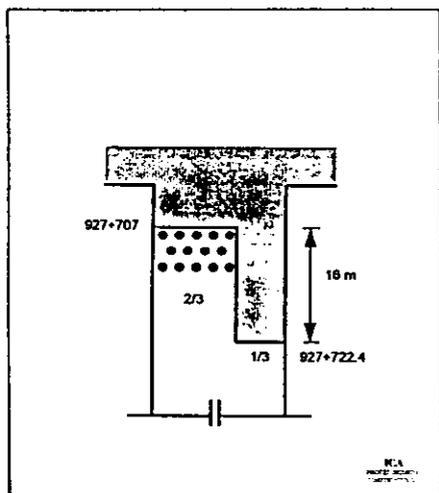


Figura 5.45 Profundidad de excavación.

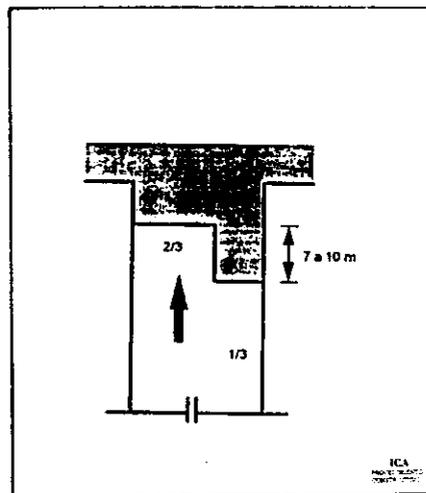


Figura 5.46. Profundidad de excavación en zona I para iniciar zona II.

Con el apoyo de un rayo láser, se localizó el centro de la cuña de 8.57 m., poniendo el extremo de una cinta métrica en el punto de referencia y escuadrándola con un nivel.

Se marcaron los barrenos de la cuña con pintura (usando una plantilla de lámina, en donde se tuvieron los barrenos identificados, tanto los cargados como los quemados), así como los puntos de barrenación de precorte o de post-corte, de acuerdo a las necesidades del frente, y piso con la ayuda de un transportador, figura 5.47.

Se distribuyeron los barrenos de destroza en el resto de la sección, siguiendo la plantilla de barrenación. Se marcaron también los barrenos de la sección de 4.29 m. disminuyendo el número de perforaciones en la sección de 4.29 m. para evitar la sobre excavación en las voladuras, figura 5.48.

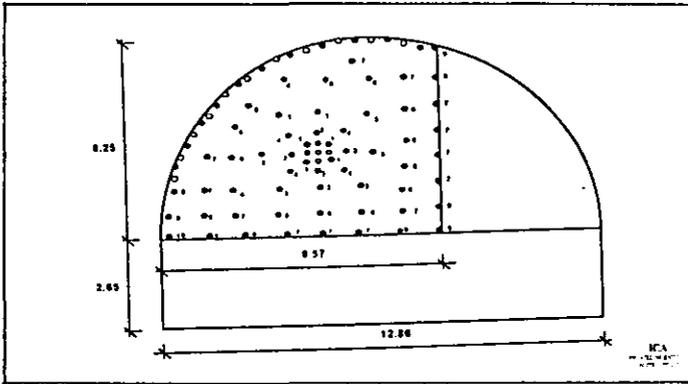


Figura 5.47. Diagrama de barrenación para $\frac{2}{3}$ de sección.

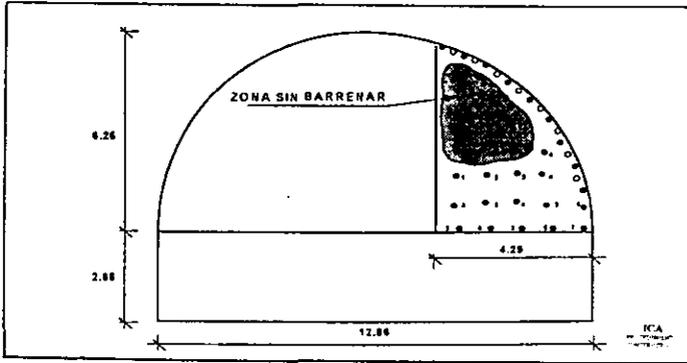


Figura 5.48. Diagrama de barrenación para $\frac{1}{3}$ de sección.

Se procedió a barrenar la sección superior izquierda (8.57 m.) y sección derecha (4.29 m.) en forma simultánea, con dos jumbos electrohidráulicos autopropulsados con tres brazos, con un rendimiento aproximado de 3.5 minutos por barreno, en una longitud de 3.8 m., el cual utilizó: Un zanco rope de 8 orejas de $1\frac{1}{2}$ (3.81 cm.) de \varnothing con cuerda rope, una barra "drifting" (direccionada) de 14" (35.56 cm.) de $1\frac{1}{2}$ " (3.81 cm.) x $1\frac{1}{4}$ (3.18 cm.) de \varnothing , un broca de botones de $1\frac{7}{8}$ " (4.76

la carga simultánea del precorte, de arriba hacia abajo, y de la cuña, para lo cual el cabo verificó la correcta colocación de los tubos que contenían explosivos; así mismo, se encargó de hacer el amarre final de los conectores que salían de cada uno de los barrenos ya cargados y verificando su correcta ejecución, antes de iniciar el encendido de la mecha que provocaría el disparo para iniciar la voladura.

El explosivo utilizado fue una emulsión de 1 ½" (3.81 cm.) x 16" (40.64 cm.) de Ø y de densidad 1.20 kg/m³. La carga específica en barrenos, fue en promedio de 1.4 kg/m³ que varió dependiendo de su función y de la calidad de la roca, en la etapa I y en la etapa II una carga de 0.8 kg/m³, ya que ésta funcionó como una voladura de banco, figura 5.50 y figura 5.51.

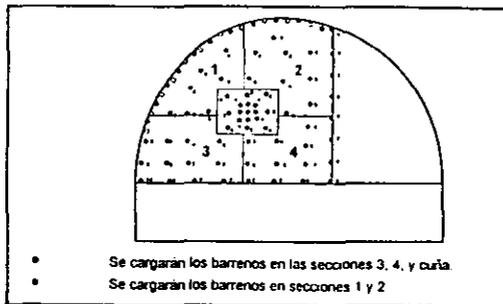


Figura 5.50. Diagrama de secuencia de carga para $\frac{2}{3}$ de sección.

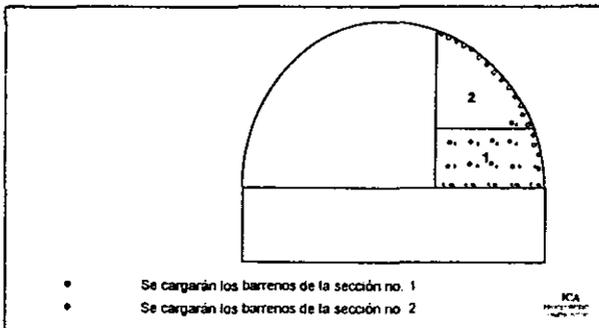


Figura 5.51. Diagrama de secuencia de carga para $\frac{1}{3}$ de sección.

Se realizó la voladura con las medidas de seguridad mencionadas, y se llevó a efecto el amacize y la rezaga del material producto de la voladura en la sección de 8.57 m., utilizando un cargador de descarga lateral 966 y tractocamiones para el acarreo.

5.2.3.2.3 Estabilidad de la excavación.

Se procedió a realizar los tratamientos en la sección de 8.57 m. La sección recién excavada, se protegió con una capa de 8 cm. de espesor, aplicando una capa primaria de concreto lanzado reforzado con 60 kg/m^3 , de fibras de acero drámix ZP 30/.50, hasta alcanzar un espesor de 4 cm.

En la excavación del ciclo actual, a su vez se aplicó la segunda capa de concreto lanzado de la zona de excavación del ciclo anterior, hasta completar los 8 cm. de proyecto, tanto para proteger la roca contra el intemperismo como para prevenir desprendimientos de la misma, figura 5.52.

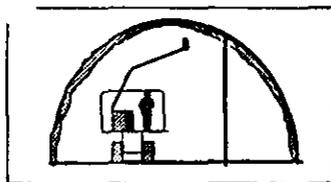


Figura 5.52. Aplicación de concreto reforzado con 60 kg/m^3 de fibras de acero.

Cuando se llevó avanzado el concreto lanzado, se procedió a la rezaga de la sección de 4.29 m. utilizando para ésto, un cargador de descarga lateral y tractocamiones para el acareo del material.

Luego, se procedió a la barrenación y colocación del anclaje sistemático en la sección de 8.57 m., utilizando un jumbo, haciendo barrenos de $1\frac{1}{4}$ " (4.45 cm.) de diámetro x 4.2 m. de longitud,

figura 5.53. Después, se insertaron salchichas con resina, hasta llenar la longitud del barreno, colocando un tapón en la entrada del barreno y posteriormente, se introduce un ancla de varilla de 1" (2.54 cm.) de diámetro por 4.2 m. de longitud, previamente pintada en uno de sus extremos (50 cm. de longitud) con pintura anticorrosiva; girándola con el apoyo de un jumbo para que se mezcle la resina con su catalizador, se sujeta el ancla con un remate (araña), en el extremo libre de ésta. Posteriormente, se aplica concreto lanzado a la zona del ancla.

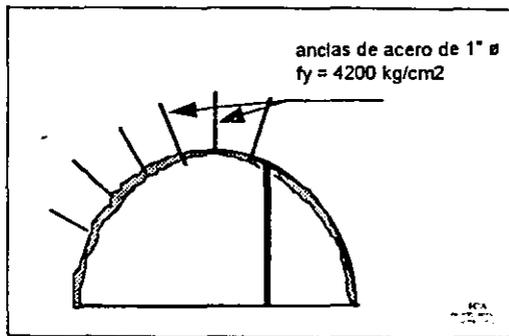


Figura 5.53. Colocación de anclas en la clave.

La colocación de las arañas, se hizo cuando el fracturamiento o alteración del material fue tal que pudo haber puesto en riesgo la seguridad del personal y equipo de la obra, por lo que no fue sistemático.

Cuando en el frente se observó humedad excesiva, se procedió con la barrenación y colocación de drenes de alivio, utilizando un jumbo; haciendo barrenos de $2 \frac{1}{2}$ " (6.35 cm.) de \varnothing x 3 m. de longitud. Finalmente, se coloca el dren de tubo PVC ranurado, y se calafatea la boca del barreno. Simultáneamente, con la actividad de la barrenación y colocación del anclaje en la sección de 8.57 m., se procedió a la aplicación de una capa de concreto lanzado, reforzado con 60 kg/m^3 de fibras de

acero drámix ZP. 30/.50 hasta alcanzar un espesor de 4 cm, en la sección de 4.29 m. Utilizando un jumbo, se realizaron barrenos de $1\frac{1}{4}$ " (4.45 cm.) de diámetro x 4.2 m. de longitud. Se insertaron las salchichas, colocando un tapón en la entrada del barreno y posteriormente, se introduce el ancla de varilla de 1" (2.54 cm.) de diámetro por 4.2 m. de longitud, previamente pintada en uno de sus extremos (50 cm. de longitud) con pintura anticorrosiva; se hace girar con el apoyo del jumbo para que se mezcle la resina con su catalizador. Se sujeta el ancla con un remanente (araña) en el extremo, libre de ésta, en casos donde se requirió, figura 5.54.

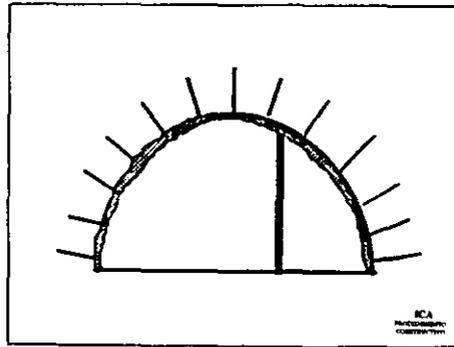


Figura 5.54. Colocación del 100 % de las anclas de acero y concreto lanzado con fibras.

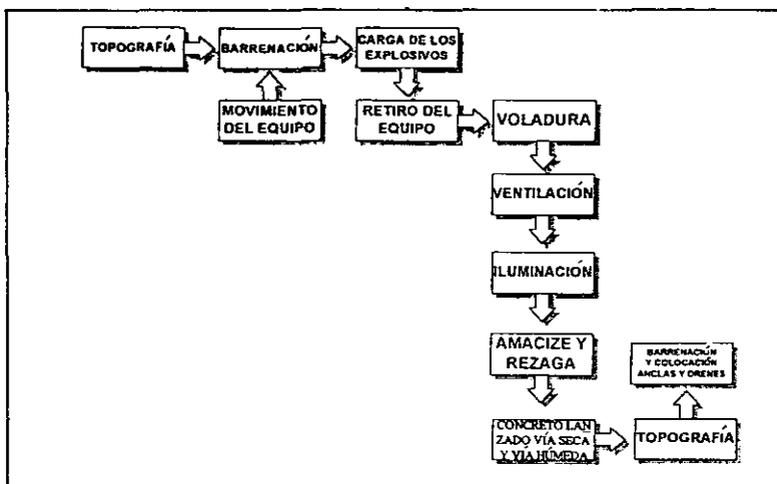
Cuando se presentaron escurrimientos en el frente que impidieron la colocación del concreto lanzado vía húmeda, se procedió a aplicar concreto lanzado por vía seca.

Solo se avanzó teniendo colocadas las anclas de la clave, y al terminar la excavación de la sección de 4.29 m., se concluyó con el 100 % de las anclas de la aureola correspondiente. Foto 5.19.

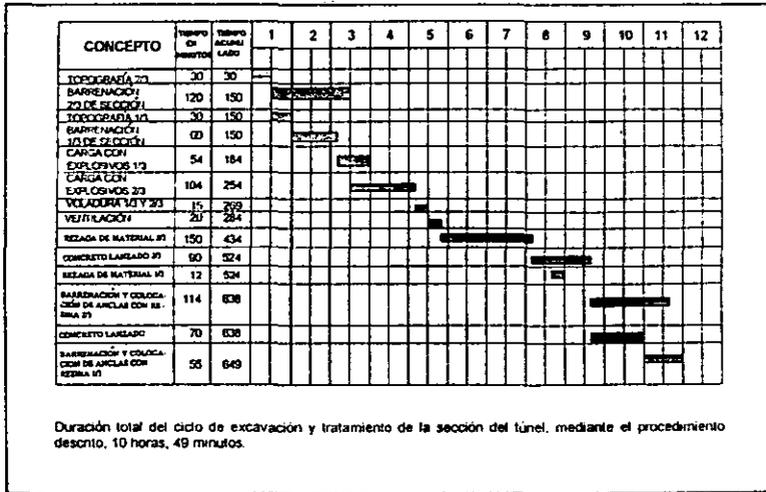


Foto 5.19. Vista del sistema de soporte con concreto lanzado y anclas de acero.

Diagrama de flujo del procedimiento constructivo.



Programa del ciclo de excavación y tratamiento



5.2.3.2.4 Media sección inferior.

Este procedimiento de excavación de banqueo, se aplicó en la zona sin marcos sección inferior que se representa como un rectángulo de 12. 86 m. por 2.65 m. de altura, figura 5.55.

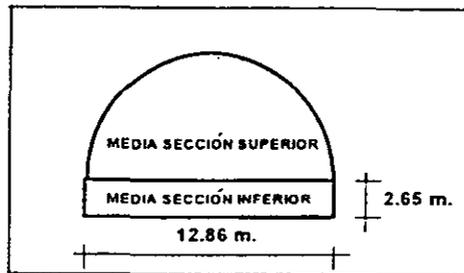


Figura 5.55.

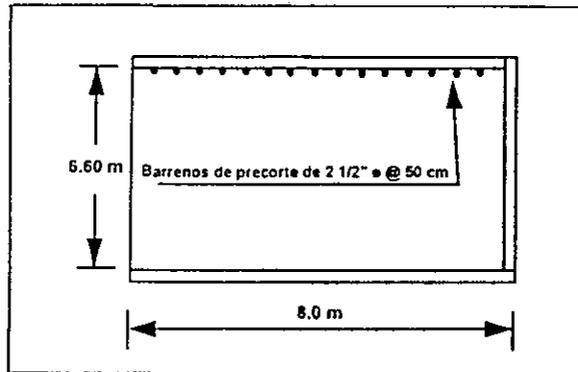


Figura 5.57.

Terminada la barrenación, se inició la carga con explosivos, usando emulsión sensitiva de 1" (2.54 cm.) x 8" (20.32 cm.) y de 1 1/2" (3.81 cm.) x 6" (15.24 cm.); se carga 1 kg. de explosivo por barreno, pudiendo variar a 1.25 kg. dependiendo de la calidad de la roca (figura 5.58), también se utilizaron noncles con tiempos de 1 al 15, con los que se hicieron series del 1 al 14 y el 15, sirvió como puente entre líneas y 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, dejando un taco de 60 cm., foto 5.20 y figura 5.59.

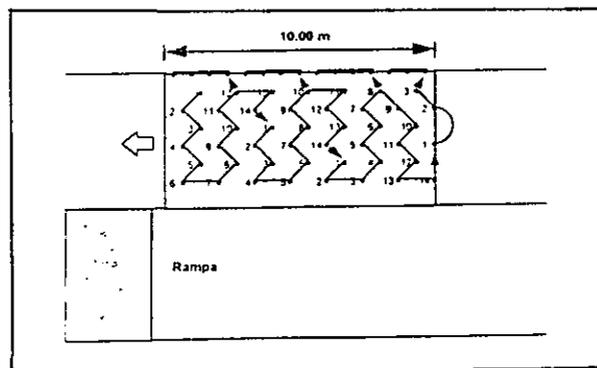


Figura 5.58. Diagrama de carga de explosivos por tiempos.

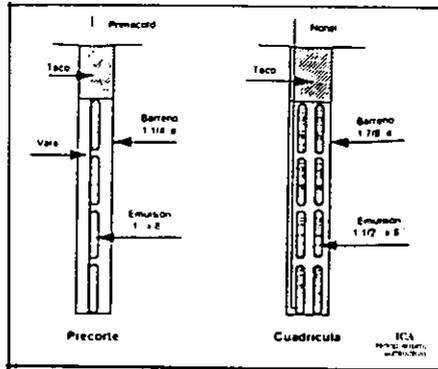


Figura 5.59. Carga de barrenos con explosivos.

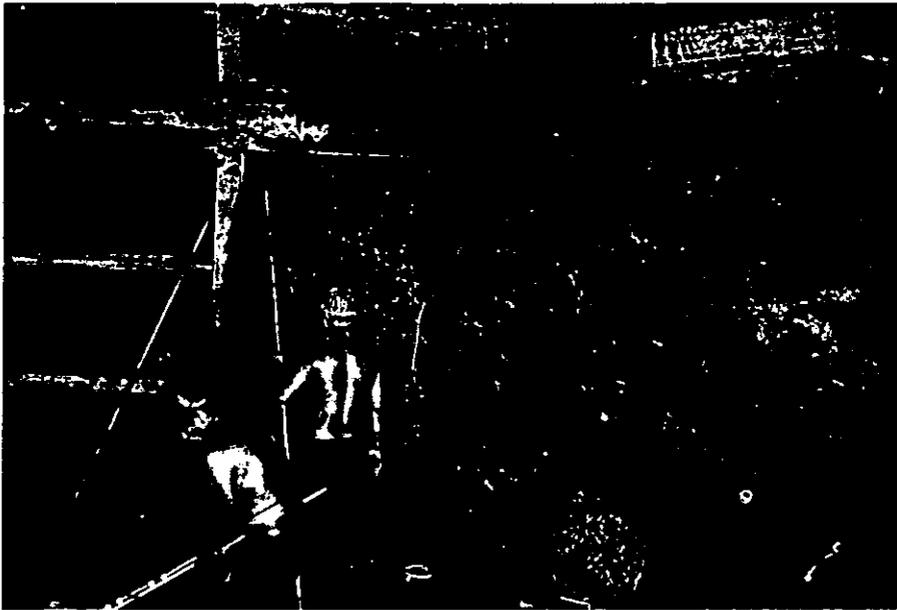


Foto 5.20. Preparación de los explosivos.

Al detonar una línea, se hicieron dos puentes, uno para que iniciara la siguiente línea y otro para que iniciara una serie de precorte (4 ó 5 barrenos x línea), el volumen por desalojar fue aproximadamente de 198.0 m^3 ; el factor de carga fue de 0.66 kg./m^3 .

Se colocó la protección de la voladura: llantas, malla, bandas de hule, cable de acero y se quitaron las lámparas fluorescentes, que se encontraban en la zona por detonar para evitar su daño. Figura 5.60.

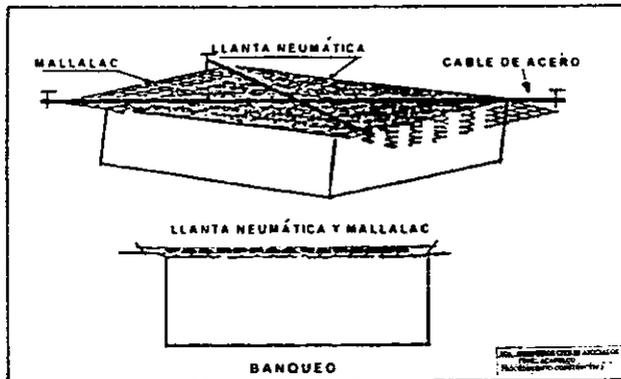


Figura 5.60. Protección de la voladura.

Se realizaron los preparativos para la voladura, como el desalojo del personal y equipo cercano, dando aviso al supervisor de seguridad para que encendiera la sirena y así tomara las precauciones necesarias para evitar un accidente. Una vez realizada la voladura, se procedió al retiro de la protección y se acomodó en un lugar donde no estorbara.

Se realiza la rezaga del material producto de la voladura, utilizando un cargador 966 y tractocamiones para el acarreo. La rezaga por lo menos durante las primeras voladuras, se tuvo que hacer por medio de una retroexcavadora, debido a que fue de frente cerrado.

Terminada la rezaga, se procede 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 lanzado con fibra metálica hasta alcanzar un espesor de 8 cm. de acuerdo al proyecto.

En la zona sin marcos, solo se abrieron dos frentes de ataque, procurando que éstos, quedaran siempre sobre el mismo carril; en el otro carril, se construyó una rampa para el acceso libre de personal y maquinaria, figura 5.61.

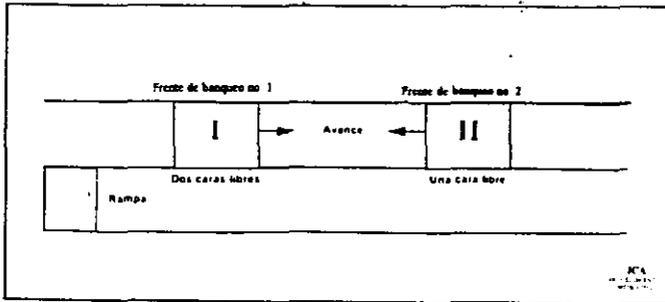
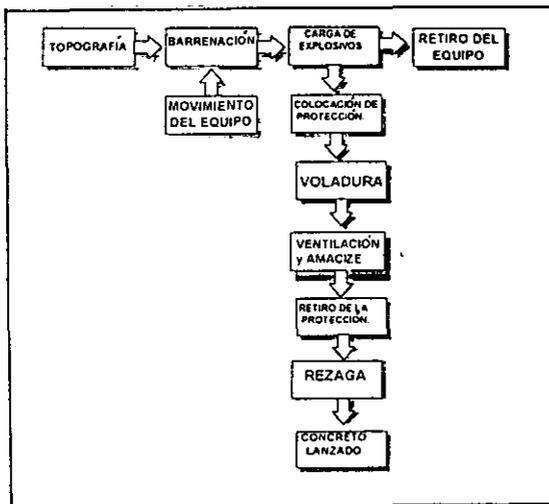


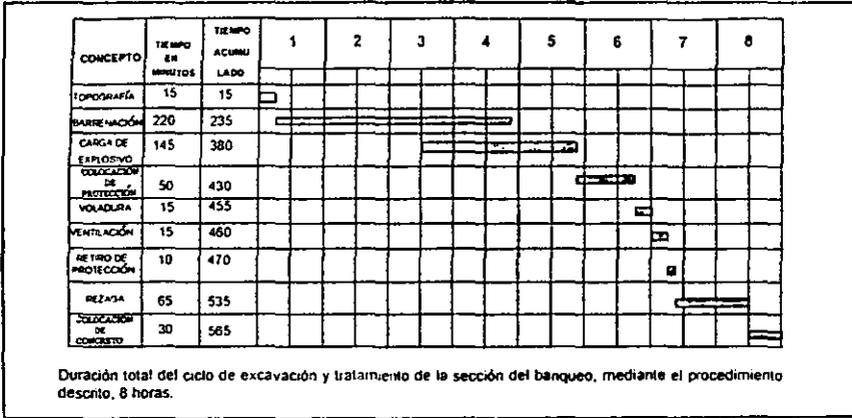
Figura 5.61. Frente de banco por atacar.

El cambio de carril y de rampa, se hizo cuando se tuvieron 30 m. de avance.

Diagrama de flujo del procedimiento constructivo.



Programa de ciclo de excavación y tratamiento.



5.2.3.3 Comunicación entre ambos frentes.

Cuando la distancia entre ambos frentes de ataque llegó a 100 metros, se comenzó a monitorear cada voladura, colocando un sismógrafo en el frente opuesto a dicha detonación, y cuando le tocó hacer la explosión al otro frente, se hizo al contrario, cambiando el sismógrafo de frente, 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). De esta distancia entre frentes, se comenzó a avisar el momento preciso en que se hacía la voladura, y el momento en que ya se había realizado.

Faltando 30 m. de excavación en el túnel para la comunicación, se procedió a parar un frente de ataque, para realizar un barreno de exploración, tratando de que saliera por el otro frente. Figura 5.62.

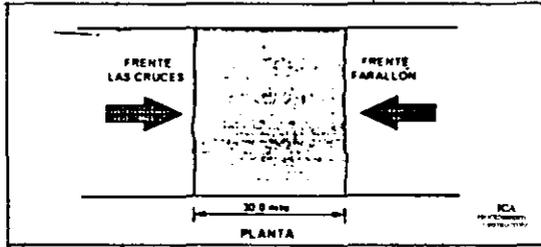


Figura 5.62. Suspensión del frente cuando faltan 30 m. para la comunicación.

Se reanudó la excavación para ambos frentes, hasta llegar a una distancia de 20 metros, pero haciendo las voladuras alternadas, primero un frente y luego el otro, avisando con anticipación cuando sería la otra voladura y avisando en el momento de haber sido realizada.

Se inició de nuevo la excavación, mediante el proceso de barrenación y explosivos en la sección superior, de tal manera que el avance fue de 3.00 m., (logrando una geometría, indicada en la figura 5.63) se rezaga el material producto de la voladura y se lanza una primera capa de concreto reforzado con 60 kg/m^3 de fibras de acero drámix ZP 30/50, hasta alcanzar un espesor de 4 cm., ésto, para proteger la roca excavada contra los efectos del intemperismo, así como para prevenir los desprendimientos de la misma (figura 5.63), procediendo a colocar las anclas centrales de la aureola correspondiente utilizando elementos 1" de \varnothing por 4.2 m. de longitud. Figura 5.64.

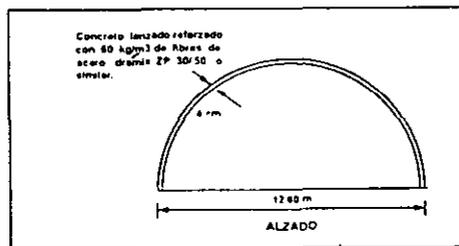


Figura 5.63. Colocación de una capa primaria de concreto lanzado, con fibras de acero.

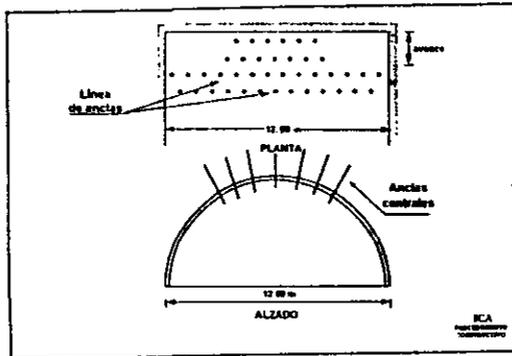


Figura 5.64. Anclaje central utilizando elementos de 1" de \varnothing x 4.2 m.

Una vez alcanzados 10 m. de avance y quedaran 20 metros de excavación, se procedió a realizar un barreno de exploración para verificar si éste, pasaba al otro lado, cuando el primero realizado no alcanzó o pasó, figura 5.65, se procedió con la siguiente excavación, en la sección superior, mediante excavación y explosivos, ayudándose con el uso de noneles que permitieron la detonación de la cuña central, hasta alcanzar un avance de 3.5 m., figura 5.66 .

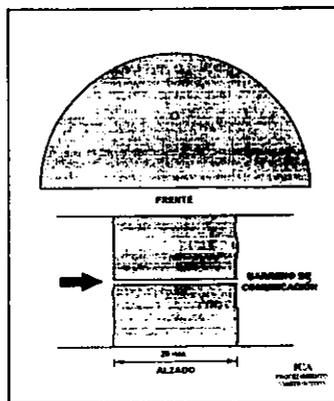


Figura 5.65. Realización de barreno de comunicación.

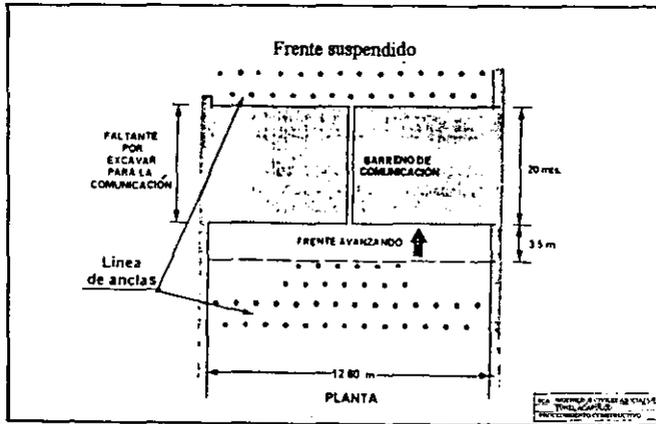


Figura 5.66. Avance de excavación.

Una vez realizada la detonación, se procedió a la rezaga del material, producto de la voladura; se lanzó una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, hasta alcanzar un espesor de 4 cm. figura 5.67. Después, se colocó el anclaje sistemático en la zona central de la excavación efectuada, figura 5.68 mostrada más adelante.

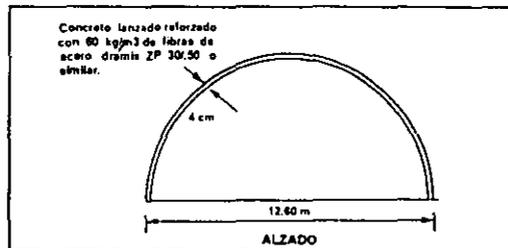


Figura 5.67. Colocación de capa de concreto lanzado con un espesor de 4 cm.

Se aplicó una 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 estabilizar el terreno y completar las aureolas; una vez que se comunicó el túnel.

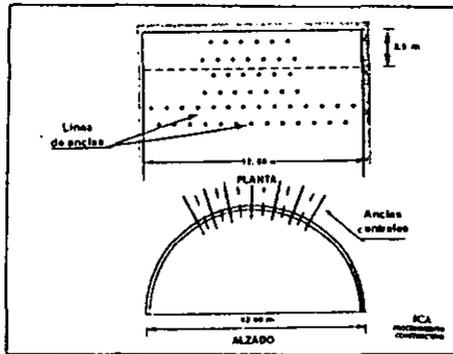


Figura 5.68. Anclaje central utilizando elementos de 1" \varnothing x 4.22 m.

Se realizó la barrenación de drenes en zonas en que presentaron aportación de agua, de 2 ½" (6.35 cm.) de \varnothing , a una profundidad mínima de 3.00 metros; los drenes fueron de tubo PVC de ½" (1.27 cm.) de \varnothing por 3.00 metros de longitud, previamente habilitados con perforaciones a tresbolillo.

Una vez avanzados 11 metros de excavación de túnel, y que faltaban solamente 9.0 metros para la comunicación; se realizó una excavación de un túnel piloto de 3.00 metros de ancho por 3.00 metros de altura, hasta la comunicación del túnel, figura 5.69.

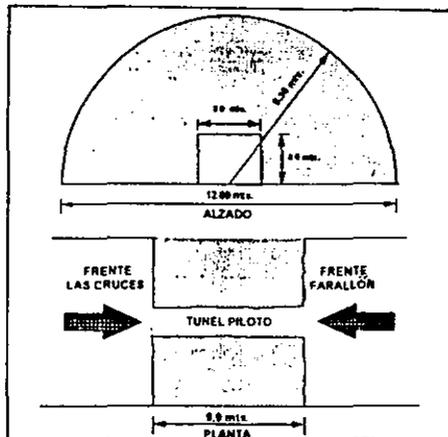
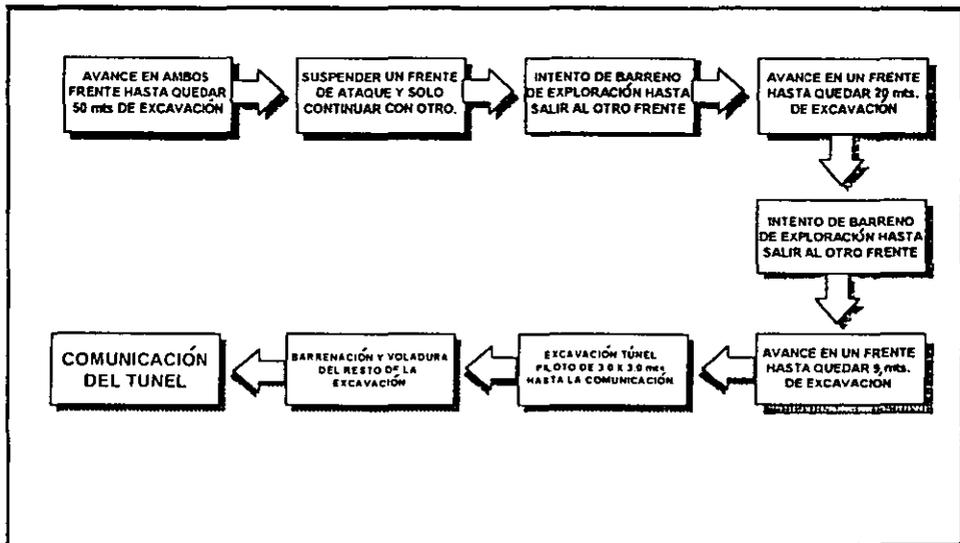


Figura 5.69. Excavación de un túnel piloto para lograr la comunicación.

Una vez lograda 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 la voladura; se rezaga el material producto de la voladura y se le aplicó una primera capa de 4 cm. de espesor de concreto lanzado, reforzado con fibras de acero drámix ZP. 30/50. Se continuó con la barrenación y colocación del anclaje sistemático central de la excavación excavada.

Una vez lograda la comunicación total del túnel, se realizaron los tratamientos faltantes de concreto lanzado y anclas sistemáticas laterales.

Diagrama de flujo del procedimiento constructivo.



5.3 Revestimiento definitivo.

El revestimiento definitivo se ejecutó una vez que fue terminada la excavación del túnel, siendo elaborado por medio de concreto hidráulico y acero de refuerzo, mediante la colocación de una cimbra metálica para su colado.

Este tipo de revestimiento, es aplicado en túneles de sección constante y de longitudes relativamente grandes, se caracteriza por utilizar cimbras fabricadas de placas y perfiles metálicos en función de su sección, operación y aplicación.

La fabricación del concreto hidráulico para el revestimiento, se hace mediante una planta dosificadora convencional con la capacidad adecuada a los volúmenes de concreto, demandados por los ciclos de trabajo. El traslado del concreto, es realizado mediante el proceso de acarreo, por medio de vehículos de ollas revolventoras.

La colocación de concreto dentro de la cimbra, es realizado por medio de bombas hidráulicas, con cañón de aire.

El revestimiento es realizado en dos etapas: primero el revestimiento de las paredes y después la clave, para finalmente, realizar el colado del piso con concreto hidráulico.

5.3.1 Cimbra metálica para el revestimiento del túnel.

La cimbra constituye un elemento temporal que se empleó para confinar el concreto fresco; retirándola una vez que el concreto adquirió suficiente resistencia para autosoportarse.

La cimbra utilizada en el revestimiento definitivo del túnel de esta tesis, fue una cimbra metálica (foto 5.21, mostrada más adelante), que se colocó en los túneles de la actual autopista Cuernavaca-Acapulco, fabricada con un radio de 4.57 metros, que permitía su fijación a través de puntales, colocados en la parte inferior de la coraza y apoyados en una banqueta de concreto, colado con anterioridad, garantizando con ésto la capacidad de carga de la estructura, durante el colado. Para el proyecto Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco; se modificó la altura del transportador, ancho del mismo, así como los mecanismos para apoyar la coraza y garantizar la estabilidad de la cimbra, durante el período del colado.

La cimbra cuenta con un equipo transportador, el cual contiene mecanismos eléctricos y electrohidráulicos, siendo este equipo el encargado de realizar el desprendimiento de la cimbra, una vez que el concreto ha alcanzado una resistencia adecuada, contando para tal efecto, con una serie de gatos hidráulicos que son conectados por medio de pernos a los módulos de la cimbra. Una vez realizado el desprendimiento, la cimbra es retraída por completo y el equipo transportador, la traslada a la nueva sección por revestir, apoyándose en un sistema de vía, montado sobre el terreno. Una vez ubicada la cimbra, el transportador la expande y la posiciona en la nueva sección por colar, auxiliándose con el equipo de topografía.



Foto 5.21. Cimbra metálica para el revestimiento del túnel.

La cimbra cuenta con una serie de ventanas (foto 5.22, mostrada en la siguiente página), que son usadas para colocar y/o vibrar el concreto hidráhulico, asi como para verificar, el llenado de las secciones durante el colado.

La cimbra se utilizó a lo largo del túnel para el colado en la clave; en la parte inferior de los muros laterales, se emplearon paneles metálicos, que cada vez que se hicieron tres colados de muros a cada lado, se procedió a armar la cimbra de la clave.

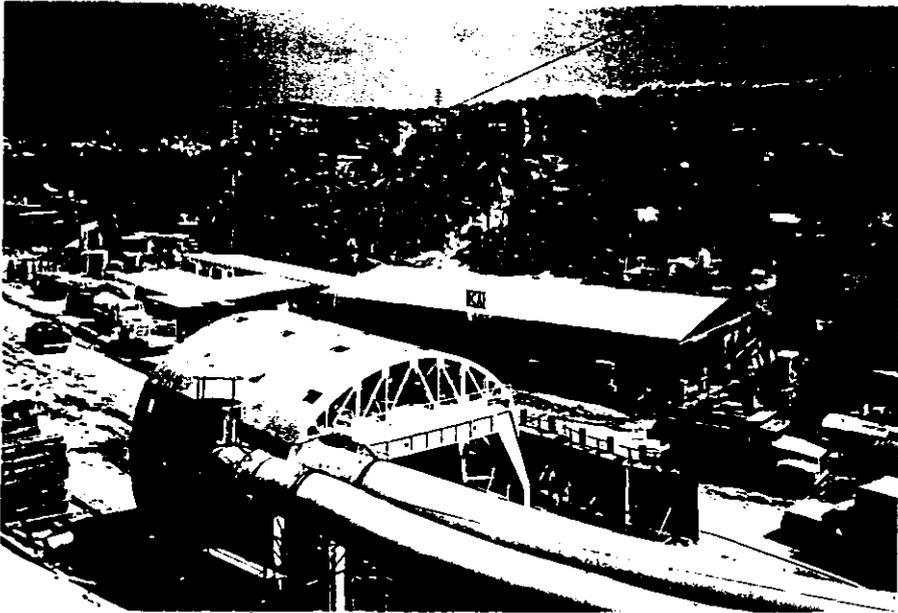


Foto 5.22. Vista superior de la cimbra metálica.

A través de la cimbra metálica, existe un claro libre de 5 m. de altura, que sirve para que exista un paso continuo en el interior del túnel, cuando se esté en proceso de colado por donde se puede pasar por debajo de la cimbra: maquinaria, camiones y personal, sin obstaculizar otras actividades.

Para tener la continuidad en los ductos de ventilación, al momento de poner la cimbra y colar, se colocó la tubería de ventilación al interior del túnel, librando el transportador en forma permanente, ubicándola en la parte inferior del marco superior del transportador, dando continuidad al tubo de lona y a la ventilación (figura 5.70 y figura 5.71), siempre verificando que se respetara el gálibo de 5.00 metros del nivel del piso terminado, al instalarse.

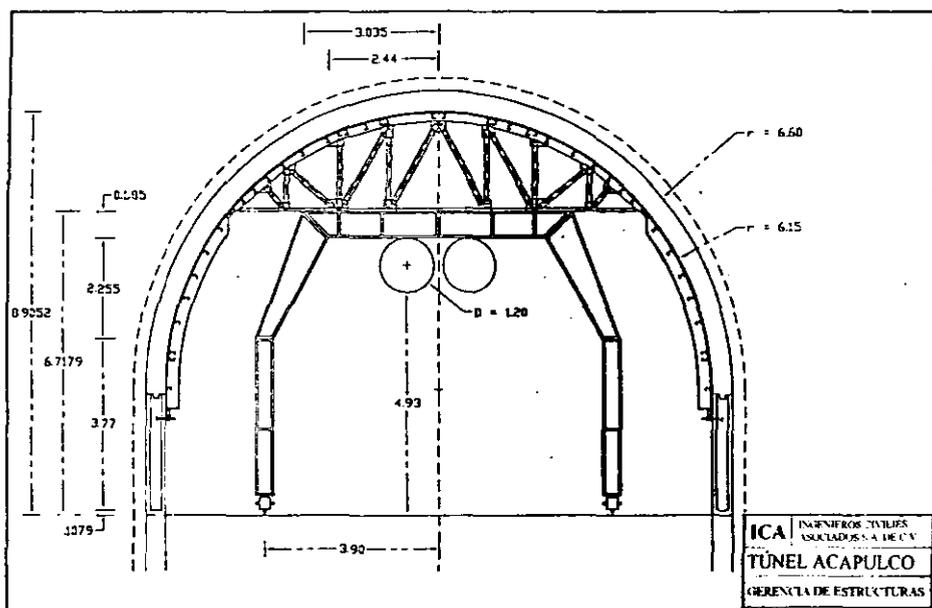


Figura 5.70. Continuidad de los ductos de ventilación.

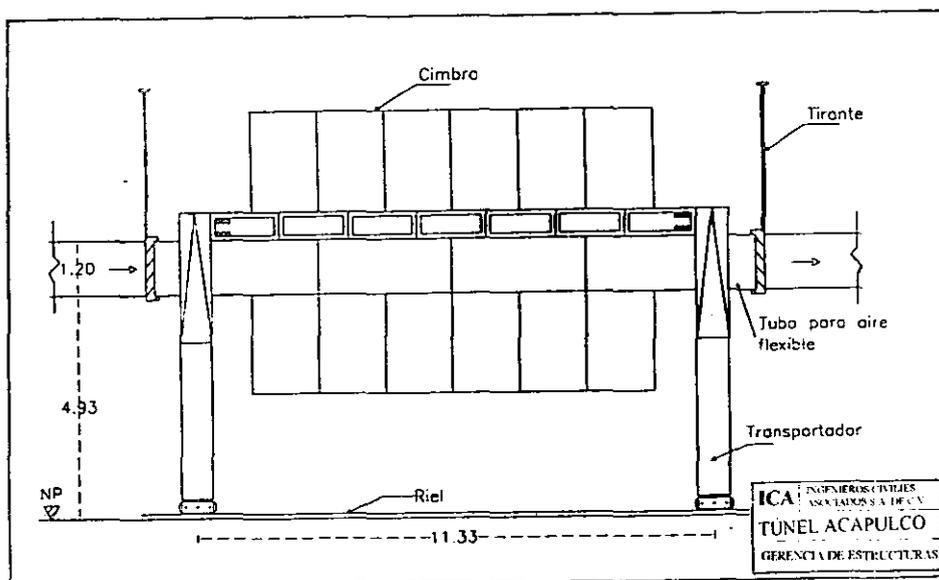


Figura 5.71. Corte longitudinal.

El éxito de una cimbra en el revestimiento de un túnel, se basa en la eficiencia con que pueda ser transportada, colocada y posteriormente retirada, lo cual depende de su diseño y de la experiencia del personal que la maneja.

5.3.1.1 Armado de la cimbra clave en el túnel.

Para el armado de cimbra clave en el túnel, se llevó nivelado el piso a nivel de sub-rasante, usando menos 3 metros de ancho, desde el muro hacia el eje del túnel, en ambos extremos y en sentido longitudinal a la distancia que se lleven colados los muros; se colocó el riel fijado a anclas a tres bolillo a 1.50 metros y con una profundidad en el piso de 0.80 metros.

Estando anclado el riel y el escantillón de truck (carretón) del transportador, éste se armó completo, para posteriormente, colocar las corazas sobre el pórtico, procediendo a ubicar los andamios, así como los accesos a las ventanas de inspección y sitios donde se alojaron los vibradores de pared. En la parte superior del transportador, se colocó la plataforma para fijar la tubería del cañón.

La longitud de la cimbra, es de 9.00 metros y se troquela la coraza en los extremos inferiores, apoyada sobre un dispositivo, auxiliándose de gatos hidráulicos ubicados en las columnas del transportador y de cuatro gatos, que van en cada uno de los extremos de la coraza; estando la cimbra en posición, se fijan los troqueles y se colocan los tirantes que salen del mecanismo de apoyo a 1.0 metro hacia arriba de la junta de colado.

La frontera o tapón transversal, se fabricó con malla para criba de ¼” sujeta a la costilla de la cimbra con tornillos y ángulo rolado al mismo diámetro del molde, en cuanto inicie el fraguado se retira y lava con chorro de agua para que con ésto, quede lista la junta fría para otro colado.

5.3.2 Colocación del concreto.

Esta operación consiste en verter y distribuir el concreto dentro de la cimbra, evitando la segregación del colado al ir colando y distribuir en forma uniforme, el concreto en el área de colocación

La colocación del concreto hidráulico, se realiza mediante bombas de concreto hidráulico o de cañón de aire a presión. En el primer sistema, se requiere de una bomba, en donde el concreto es descargado en una tolva de almacenamiento que alimenta a la bomba, que se encargará directamente de la colocación del concreto a la cimbra, introduciendo la tubería de la bomba por la parte superior, descargando el concreto en esa zona y distribuyéndose por gravedad a las zonas laterales.

La colocación de concreto por medio del cañón, se basa en empujar neumáticamente el concreto, y el procedimiento consiste, en vaciar el concreto en una olla, la cual es cerrada herméticamente para inyectarle aire comprimido. Una vez alcanzada determinada presión, se abre la válvula de salida y se proyecta el concreto a gran velocidad, adentro de la cimbra, a través de la tubería

Las tuberías que se usan para colocar el concreto, varían entre 4” y 6” y son de acero.

5.3.2.1 Colado de muros laterales.

Considerando las condiciones de la cimbra para la clave del túnel, se colaron los muros laterales hasta 2.65 metros de alto, ubicando ahí la junta longitudinal de colado (figura 5.72), en la parte superior del muro a 0.60 metros abajo de la junta, se dejan ancladas para sostener el mecanismo de apoyo para la coraza de la cimbra del túnel (figura 5.73). En el muro, se utilizó la cimbra Brasform en seis paneles metálicos de 3 x 2.80 metros para dar longitud de 9.00 metros por lado, con un peso aproximado de 840 kilogramos por panel, éstos se fijaron mediante el mecanismo de soporte con el que cuenta la cimbra y únicamente se anclaron al terreno firme, figura, 5.74. Se utilizó desmoldante antes de cada colado para una mejor conservación del panel. El colado se hizo con motobomba.

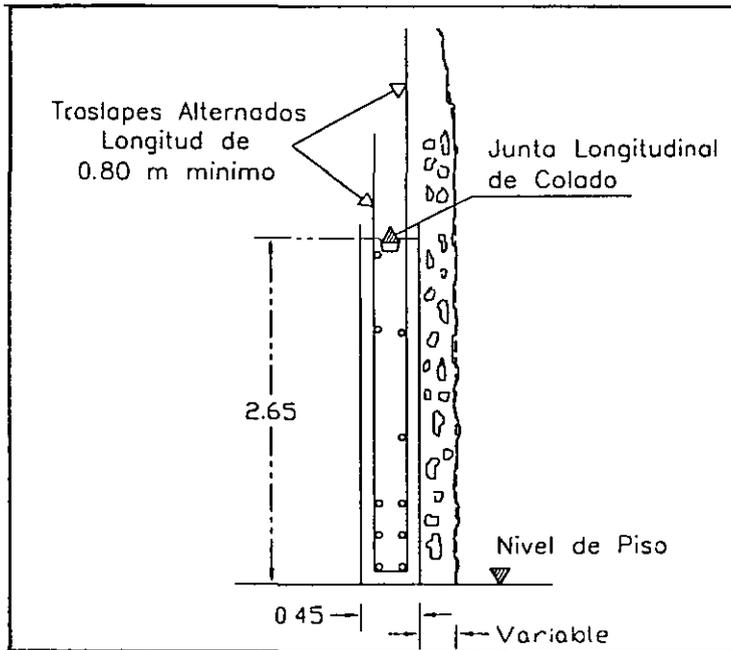


Figura 5.72. Muros laterales.

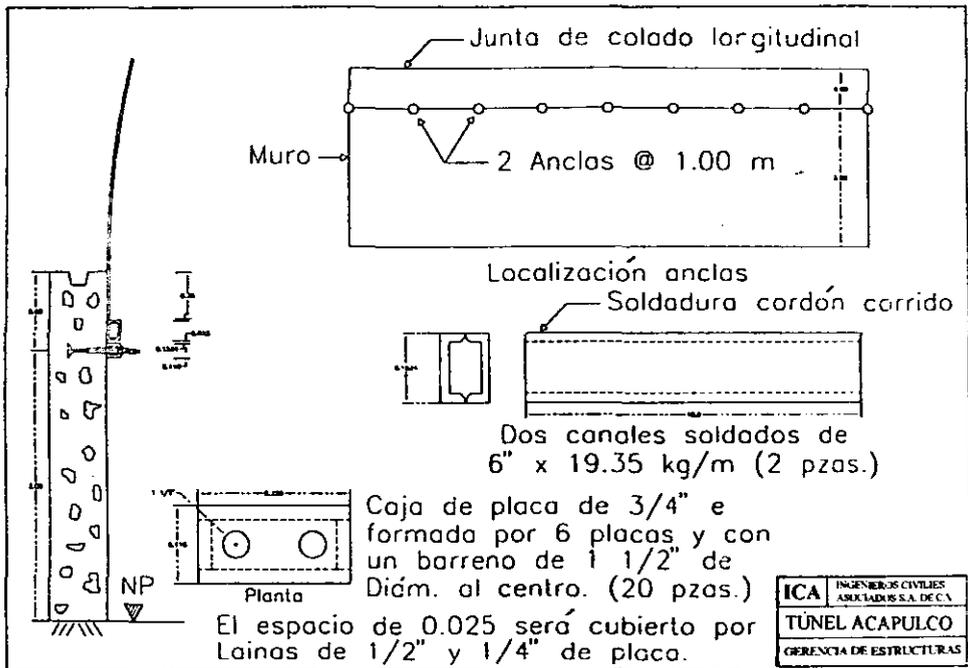


Figura 5.73. Junta de colado longitudinal.

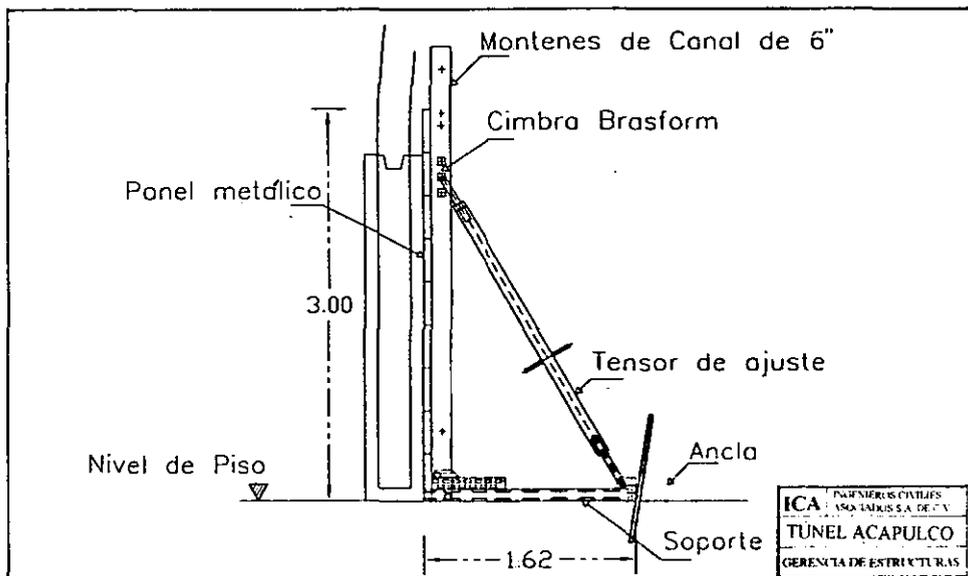


Figura 5.74. Cimbra de muros laterales.

Una vez descimbrada ésta, se procedió a moverla para el siguiente tramo, con el auxilio de una grúa Hiab, previamente contando con los barrenos y anclas en el piso para volver a fijar los marcos soportes de la cimbra, evitando con ésto, movimientos del panel en el período de ejecución del colado.

En el momento que se tuvieron coladas, tres partes del muro, 27 metros a cada lado, se procedió a armar la cimbra de la clave.

5.3.2.2 Colado en la clave del túnel.

Una vez armada la cimbra en la clave del túnel, se colocó la motobomba pegada al muro y la tubería con inclinación de poca pendiente, hasta la parte superior de la cimbra, 6.30 metros arriba del eje del medio punto; en la frontera o tapón transversal, se acopla a un tubo niple de 0.50 metros de longitud y mismo diámetro de la tubería de la motobomba, ligada a su vez a tres tubos de 1.50 metros, dentro de la zona por colar y en mismo alineamiento, éstos a su vez se conectan a una manguera del mismo diámetro para contar cuando menos con dos longitudes de frentes (3 y 6 metros) para poder ir intercambiando dichas medidas, conforme avance el concreto que siempre se iniciará en la junta de colado hacia la parte delantera del molde, vaciando a partes iguales a cada lado del eje longitudinal de la cimbra. Vibrando tanto el interior con vibrador de inmersión, como simultáneamente con los vibradores de pared, accionados únicamente los que cuentan con concreto en la parte interior del molde. Cuando el colado alcanzó el llenado de la clave, se cañearon para garantizar el compactado del concreto, haciendo ésto con el dispositivo para cañón instalado previamente para ello y accionado con aire comprimido. Figura 5.75.

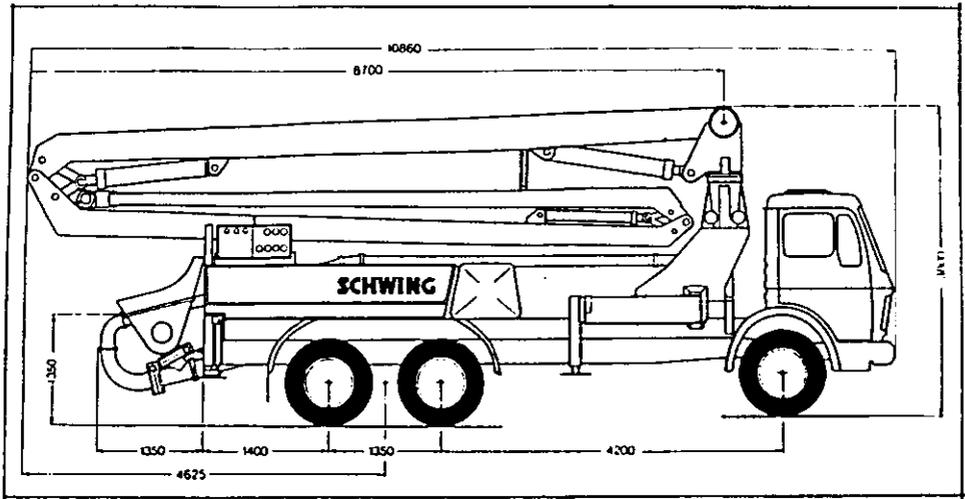


Figura 5.75. Bomba de concreto montada sobre camión.

5.3.2.3 Descimbrado y corrimiento de la cimbra.

El descimbrado, da inicio con la elevación del transportador hasta la soportería estructural del molde, mediante los gatos hidráulicos verticales, ubicados en las columnas del mismo; una vez posicionado, se bloquean los gatos por seguridad.

Una vez transcurridas ocho horas, del último concreto colado, se accionan simultáneamente los cuatro gatos laterales para jalar la coraza hacia el centro del túnel. Previo a ésta actividad, se retiran las calzas laterales del molde.

Después, se prosigue a desbloquear los gatos verticales procediendo a quitar presión, con lo cual se despegan el molde de la clave, al retraerse el vástago de dichos gatos.

Para el nuevo posicionamiento de la cimbra, durante el tiempo de colado, más el tiempo de espera del fraguado, se coloca la vía, tomando en cuenta la elevación de la sub-rasante definitiva, respetando siempre el gálivo del transportador, así como el alineamiento horizontal.

Posteriormente, con el auxilio de motorreductores, se inicia el corrimiento del transportador hasta la nueva posición, colocando el molde para el inicio de un nuevo ciclo.

5.3.2.4 Curado del concreto.

El curado del concreto, se realizó tanto en los muros, como en la clave del túnel. Cuando se retiró el molde, se aplicó la membrana de curado para interiores, mediante el uso de una bomba de aspersión, aprovechando la misma cimbra semicircular, cuando se trasladó.

5.4 Armado de acero de refuerzo.

Para la realización del revestimiento definitivo, se procedió a la colocación el acero de refuerzo; para eficientar esta actividad, se contó con un jumbo desplazable de estructura (figura 5.76 y foto 5.23), que permite el paso por la parte central y a los extremos; cuenta con plataformas escalonadas que sirven tanto para acceso, como para almacén de acero habilitado, (máximo 1 tonelada).

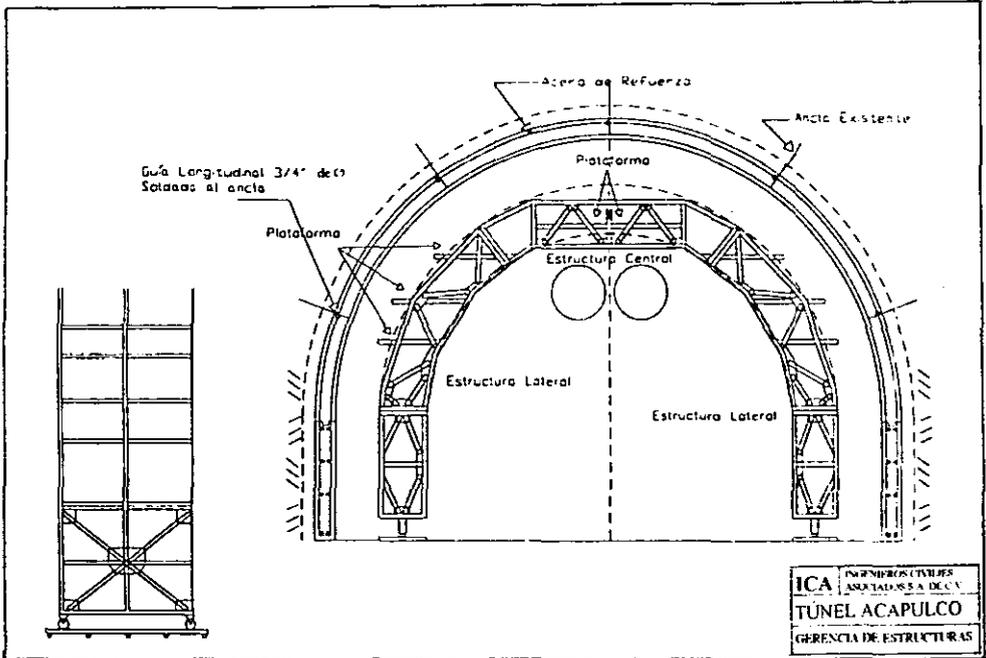


Figura 5.76. Jumbo desplazable.



Foto 5.23. Jumbo desplazable, en el interior del túnel.

El acero de refuerzo, se sujetó con guías de varilla de $\frac{3}{4}$ (1.90 cm.) de \varnothing , soldada a las anclas existentes y siempre llevando adelante del colado cuando menos 18 metros armados a sección completa, figura 5.77 y foto 5.24.

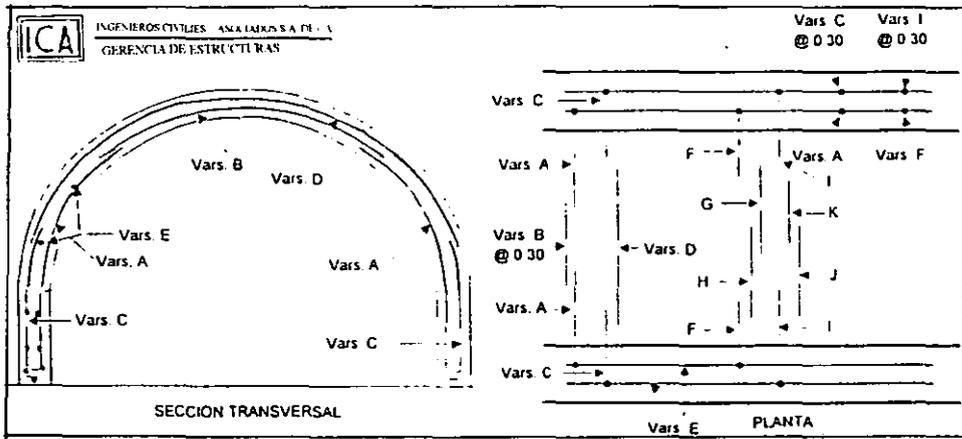


Figura 5.77. Localización de piezas.

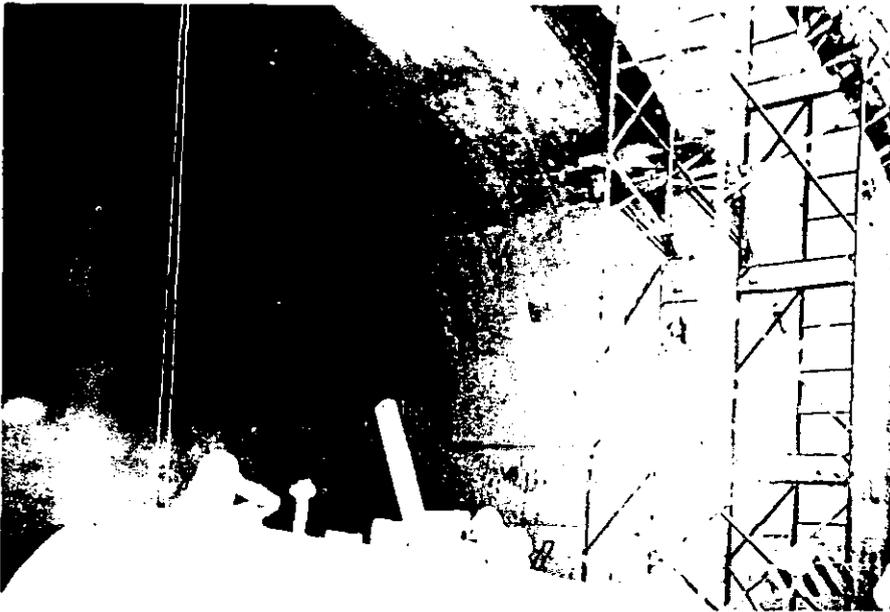


Foto 5.24. Armado de acero.

VARILLA	DIAMETRO Ø	SEPARACIÓN cm	CANTIDAD PCS	CROQUIS	DIMENSIONES (cm)				LONGITUD TOTAL	PESO POR ml	PESO kg.	OBSERVACIONES
					a	b	c	d				
A	12"	30	5 486		40	260	900	-	1 200	2 25	148 122	R1 = 6 20 ml R2 = 6 55 ml
B	12"	30	2 743		-	-	300	-	300	2 25	16 515	Varilla de 12" ml para A
C	12"	30	5 486		40	260	600	-	900	2 25	111 092	Varilla de 9 ml sacar B
D	12"	30	2 743		-	-	1 020	-	1 020	2 25	62 952	Varilla de 9 ml sacar C Varilla de 12 ml sacar D"
F	12"	30	5 486		40	260	150	-	450	2 25	55 546	R1 = 6 20 ml R2 = 6 55 ml
G	12"	30	2 743		-	-	1 200	-	1 200	2 25	74 061	Varilla de 9 ml sacar F
H	12"	30	2 743		-	-	690	-	690	2 25	42 585	Varilla de 12 ml sacar H e I
I	12"	30	5 486		40	260	200	-	500	2 25	61 718	Varilla de 12 ml sacar K e I
J	12"	30	2 743		-	-	1 200	-	1 200	2 25	74 061	
K	12"	30	2 743		-	-	700	-	700	2 25	43 203	
E	12"	40	18 216		-	-	1 200	-	1 200	2 25	491 632	
TOTAL											1 183 687	

ICA INGENIEROS CIVILES
ASOCIADOS S.A. DE C.V.
TUNEL ACAPULCO
GERENCIA DE ESTRUCTURAS

Figura 5.78. Tabla de varillas.

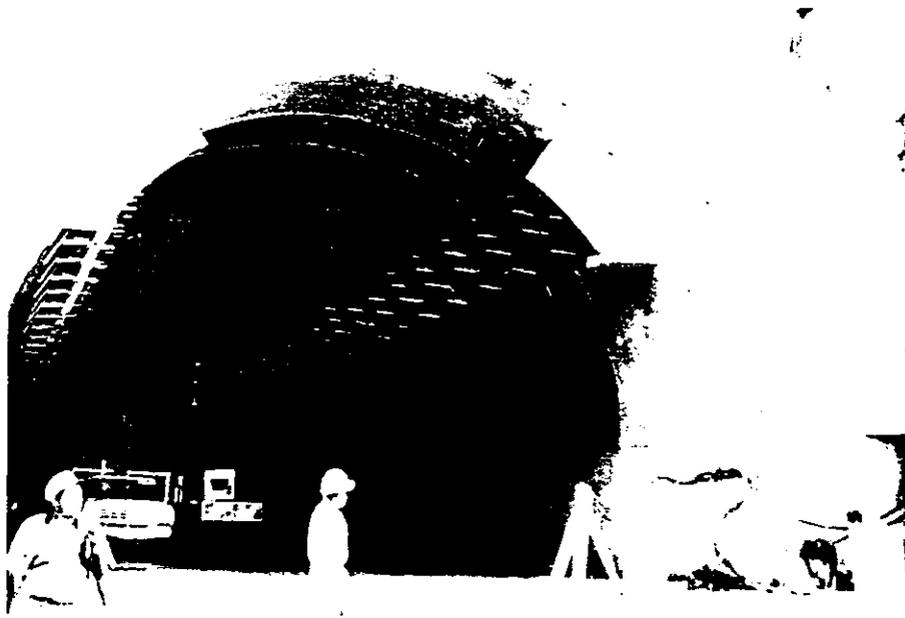


Foto 5.26. Revestimiento definitivo.

Con el revestimiento definitivo del túnel, se concluyó el acabado del mismo, adquiriendo una especial importancia por razones de visibilidad e iluminación; a su vez, brinda una excelente apariencia estética para permitir dar seguridad y confianza a los usuarios del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco. Además, en el sistema de ventilación, el revestimiento definitivo, elimina la fricción en las paredes del túnel para proporcionar una adecuada ventilación en el interior del mismo.

CAPÍTULO 6

Sistemas de seguridad en el túnel en operación.

6 Sistemas de seguridad en el túnel en operación.

En este capítulo, se tratará de manera muy breve, para no distraer la atención del lector del objetivo principal de esta tesis, algunos de los sistemas de seguridad con los que cuenta el túnel en operación, como son: el sistema de ventilación, el de iluminación y nichos de emergencia.

La seguridad en túneles carreteros es muy importante, debido a que el túnel no es un sector muy visible para los conductores. Los anuncios para los usuarios a través de un túnel carretero, serán luminosos, así como las señales de tránsito y los señalamientos de control de tráfico.

Los sistemas de telefonía inter-túnel de emergencia por ejemplo, serán usados por los automovilistas en casos de emergencia, en el momento necesario que se requiera. Estos son muy importantes para brindarle la ayuda que la gente necesite, para ser atendida lo más pronto posible. .

Los sistemas de seguridad que son instalados en un túnel carretero, son de acuerdo al largo del túnel y a la densidad de tráfico, éstos son operados desde un control central de operación, las 24 horas del día y los 365 días del año.

La función de los operadores en el control central, es observar el tráfico vehicular a través de las cámaras de televisión instaladas dentro del túnel, y en casos de emergencia, tomar una apropiada decisión, así como el monitorear la concentración de monóxido de carbono (OC) y realizar la operación más factible. Los operadores cuentan con la ayuda de un sistema de computación, el cual es esencial para controlar los sistemas.

6.1 Sistema de iluminación en el interior del túnel.

La iluminación subterránea, es ayuda indispensable dentro del túnel y necesaria para la seguridad de los conductores a través de él. La iluminación dentro de un túnel carretero, proporciona al conductor, la visibilidad necesaria para permitirle la velocidad límite de superficie de rodamiento y visualizar los obstáculos sobre ésta.

La velocidad a la cual, un automóvil puede ser conducido de manera segura dentro del túnel, depende de la información que el conductor pueda recibir. La obtención de esta información es principalmente por medio de la vista, el único medio por el cual el conductor puede detectar, asimilar objetos y obstáculos sobre el camino. El proyecto de iluminación de un túnel, se adapta al funcionamiento del ojo humano, asegurando que las líneas de guía y cualquier obstáculo sobre el camino, sean vistos a suficiente distancia. La velocidad y distancia de frenado de un automóvil, deben de respetarse. Es por todo ésto que de una buena iluminación, depende la seguridad de los usuarios.

La iluminación en un túnel, sobre todo durante el día, trae consigo algunos problemas; ésto, debido a que es prácticamente imposible iluminar el interior, como el exterior.

El criterio para decidir la cantidad de luz que debe tener un túnel en su interior, se basa en la capacidad para reflejar la luz de las paredes y techo (70 por ciento), así como de la calzada (20 por ciento). En un túnel, para efectos de iluminación, se divide en zonas (figura 6.1), como son: la zona

de entrada que comprende el umbral; la zona de transición donde los niveles se van reduciendo, hasta alcanzar el nivel de la zona interior y otro para la zona central.

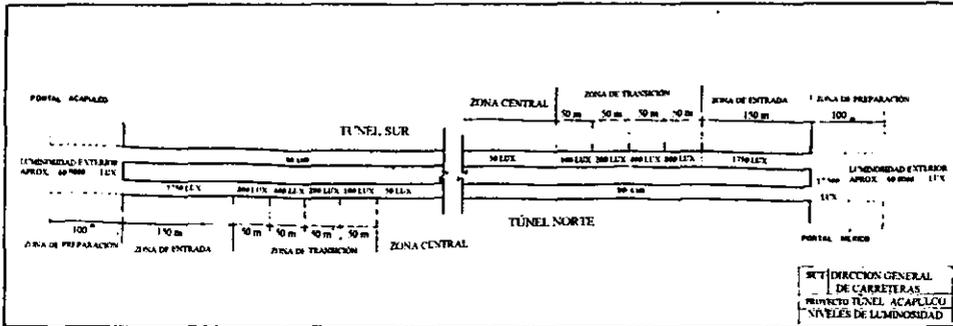


Figura 6.1 . Niveles de luminosidad diurna.

Los niveles de luminosidad son de vital importancia, para preparar el acceso a los automovilistas al túnel y evitar, entrar a una zona totalmente oscura en donde no se pueda ver nada o que se produzca una sobre iluminación. Antes de entrar al túnel, la luminosidad exterior aproximada, es de 60 000 luxes, y 100 metros antes de entrar, vecino a los portales, se desarrolla una reducción de la luminosidad a un valor cercano a 17 500 luxes, llamada zona de preparación, disminuyéndola mediante la colocación de árboles, vegetación de gran follaje, sobre el terreno vecino a los portales. En la zona de entrada, la luminosidad se reduce a 1 750 luxes, hasta una distancia de 150 m. y conforme se introduce al interior del túnel, la luminosidad va disminuyendo de 800 a 100 luxes; llamándole a esta zona de transición, en donde el ojo humano se irá adaptando a la iluminación del interior del túnel, hasta una zona central con iluminación constante de 50 luxes. Durante el día, a la salida del túnel, aparecerá de manera muy brillante la visibilidad para el conductor, y normalmente los obstáculos, serán visibles por su silueta y por el contraste que ocasiona la salida. En la noche, el

sistema de iluminación del túnel es suficientemente flexible para permitir su operación a un nivel más reducido, figura (6.2).

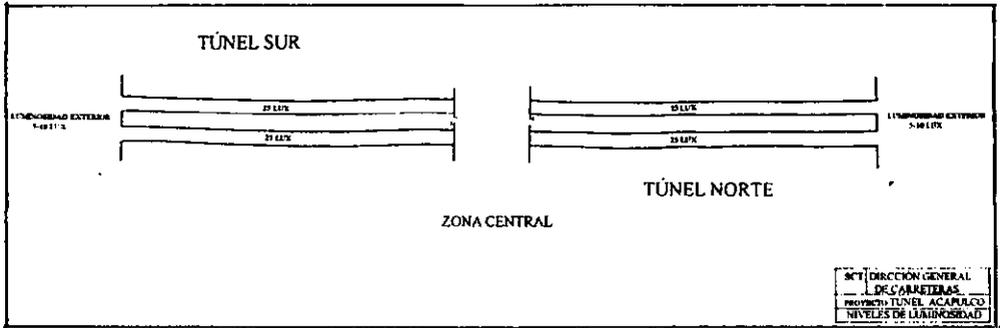


Figura 6.2 . Niveles de iluminación nocturna.

La iluminación en la entrada debe de emplearse en las paredes, techo y calzada, de tal forma que estas superficies, sirvan eficientemente como fondo para distinguir las siluetas de los objetos y los obstáculos

El tipo de luminarias instaladas en el Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, son de luz de sodio de alta presión, y no provocan deslumbramiento a los usuarios del túnel, figura (6.3). Los reflectores con los que cuenta, para señalar carriles y las guarniciones, son de gran ayuda para los automovilistas.

El sistema de control computarizado con el que cuenta el túnel, regula la intensidad de luz en el interior, disminuyendo los niveles de luz durante el día, en la entrada y zona de transición, brindando una mejor iluminación a los usuarios.

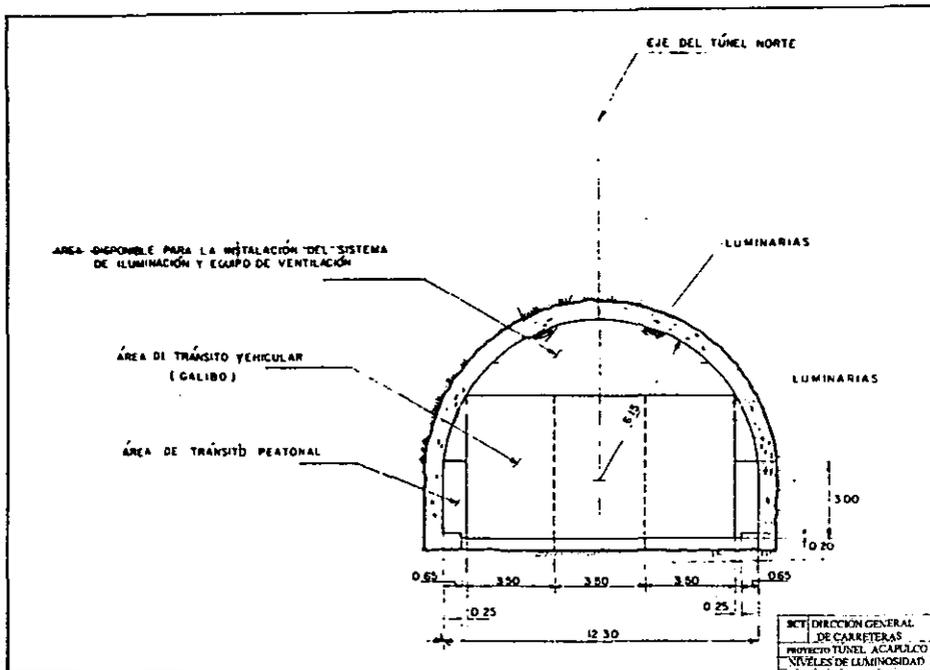


Figura 6.3 . Sección transversal.

6.1.1 Operación normal en el túnel.

- a) La alimentación eléctrica, se hace mediante dos subestaciones, cada una de las cuales se encarga de suministrar energía a las luminarias.

- b) La capacidad de suministro eléctrico de las subestaciones, es suficiente para cubrir los requerimientos de iluminación diurna dentro del túnel y de ventilación, principalmente.

- c) Los niveles de luminosidad en el interior del túnel, son controlados durante las 24 horas del día, en función de la luminosidad del exterior.

D) Si es interrumpido el suministro de corriente eléctrica en alguna de las dos subestaciones, en túnel, podrá continuar en servicio, si su dirección operativa lo considera pertinente.

6.1.2 Operación de emergencia.

a) Si es interrumpido el suministro de corriente eléctrica en las dos subestaciones, el sistema de iluminación del túnel, entrará en operación de emergencia.

En forma instantánea, se encienden las luminarias de emergencia, con ayuda de una fuente ininterrumpible de electricidad que permitirá proporcionar un nivel de luminosidad equivalente al 20 % de la nocturna, por un lapso no menor de 3 minutos, mediante lámparas incandescentes. Simultáneamente, arrancará una planta eléctrica de emergencia, conectada al mismo sistema de luminarias de emergencia, desplazando a la fuente ininterrumpible, en el momento en el que la planta, esté en condición de operación.

b) Al regresar la corriente eléctrica en alguna de las dos subestaciones, se interrumpirá la operación de la planta de emergencia, toda vez que las lámparas de sodio, alcancen su intensidad normal de operación.

Todas las partes constitutivas del sistema de iluminación del túnel, incluyendo el cableado, son inflamables. El cableado, es alojado en canastillas de material aislante, fijadas a las paredes del túnel a una altura no mayor que la de las luminarias, foto (6.1).

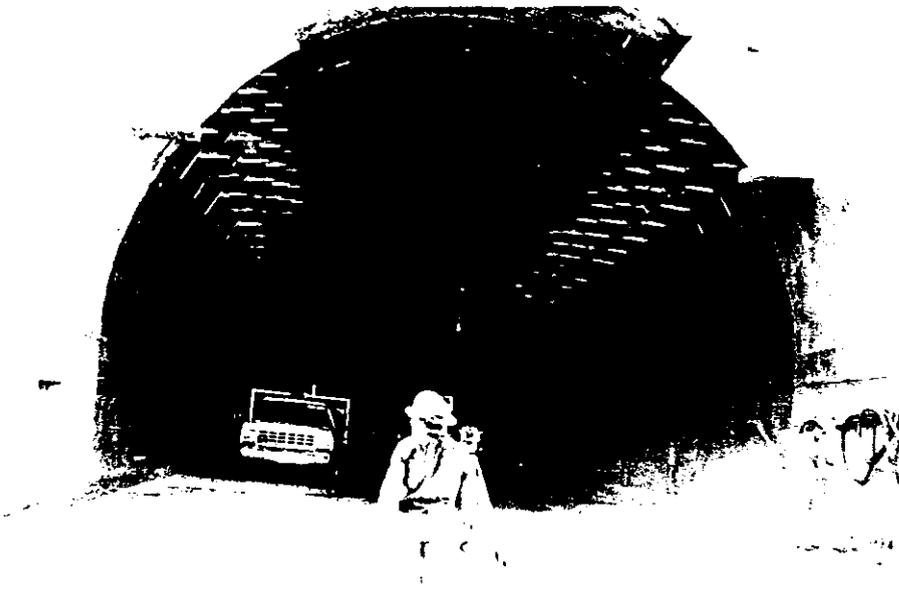


Foto 6.1 . Vista frontal del portal.

6.2 Ventilación

La ventilación en un túnel, es un elemento muy importante, debido a la concentración de monóxido de carbono (CO), ocasionada por los vehículos automotores, pudiendo causar molestias a la salud, como son: malos olores, irritación en las mucosas de los ojos, nariz, garganta y por supuesto una disminución en la vista de los conductores. Por esos detalles, es indispensable eliminar los contaminantes perturbadores y en todo caso, diluirlos con el sistema de ventilación.

La circulación de los automóviles dentro de un túnel, contamina el ambiente con la emisión de gases, producto de la combustión de los motores, de tal manera que para evitar una concentración, se necesita una ventilación artificial que mejore la calidad del aire.

El principal propósito de un sistema de ventilación de un túnel vehicular, es el de proporcionar una atmósfera respirable dentro del túnel que no produzca efectos en la salud de los pasajeros; también la visibilidad dentro del túnel, se mejora con el efecto de dilución que produce la ventilación de aire.

El sistema de ventilación usado en el Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, es un sistema artificial longitudinal, mediante la circulación de aire fresco a través del túnel, impulsado con ventiladores eléctricos que están instalados en la parte superior del túnel, figura (6.4) mostrada más adelante. Los ventiladores son de dos en dos, operados en línea a lo largo del túnel y éstos, operan de acuerdo a las corrientes naturales; por las mañanas, la corriente va del mar hacia el portal Cruces, en las noches y madrugada, cambia de sentido. Los ventiladores funcionan silenciosamente, contando con dos velocidades, rápida y lenta. Trabajan eficientemente bajo las condiciones de temperatura y humedad usuales en Acapulco. Los metales usados en su fabricación, son resistentes a las condiciones de salinidad y corrosión, así como resistentes a los humos que generan los motores de gasolina y diesel de los vehículos que se circulan por el túnel.

Con el revestimiento del túnel, se eliminó la fricción del aire en las paredes del túnel y con esto, se logró reducir el número de ventiladores de 36 a 24.

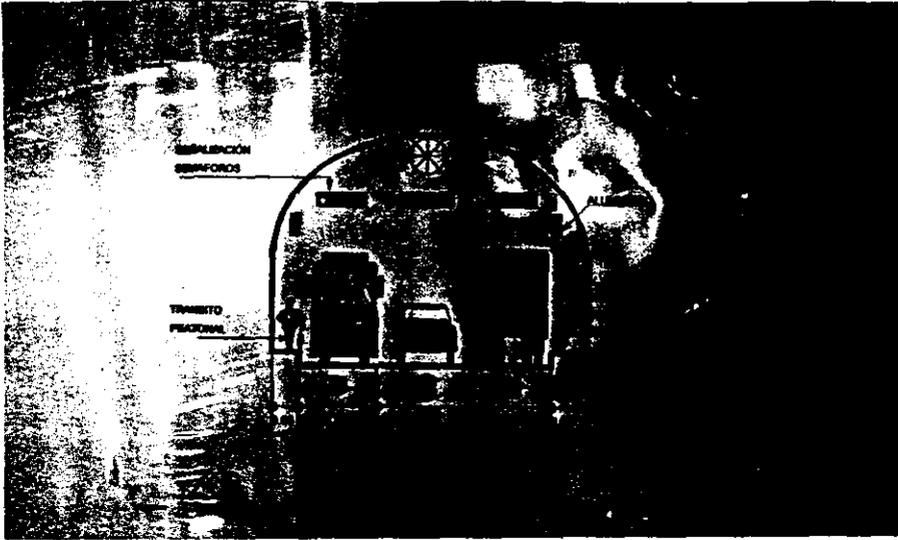


Figura 6.4.

El túnel cuenta con un sistema de detección de gases, que determina la calidad del aire. Si se detecta aire de mala calidad, los ventiladores trabajarán en otra velocidad más rápida, operada desde la sala de control computarizada.

Durante la operación del túnel, no se permitirá el acceso a los vehículos de carga que transporten productos flamables o explosivos.

El volumen de aire fresco que suministra el sistema de ventilación, es aproximadamente de 620 m³ /seg, para una longitud total de 2,947 m., asegurando que la concentración de contaminantes en el túnel, sea menor o igual a 150 PPM para monóxidos de carbono (CO) y 25 PPM para monóxidos de nitrógeno. El sistema de ventilación, también remueve los humos generados por los motores a diesel, asegurando una visibilidad de por lo menos 133 m.

Al ocurrir un incendio en el interior del túnel, se cerrará el acceso a los vehículos y se controlará la propagación de humos, variando apropiadamente las velocidades de los ventiladores.

Si la energía falla en alguna de las dos subestaciones, el túnel podrá seguir en servicio, basándose en los niveles de contaminación y visibilidad dentro del túnel. Si la energía falla en ambas subestaciones, entrará en operación una planta de emergencia con capacidad suficiente para conservar los ventiladores en operación, a un porcentaje reducido de su capacidad. Si se observa que los niveles de contaminación no son adecuados, la dirección operativa deberá impedir el acceso a los vehículos.

6.3 Sistemas de nichos de emergencia.

La instalación de sistemas de nichos de emergencia, es uno de los sistemas de seguridad más importantes a lo largo del túnel, haciendo posible que el conductor los utilice en casos de emergencia, poniéndolo en contacto inmediato con el control central de operación para darle instrucciones sobre los pasos a seguir para su seguridad o brindarle la ayuda necesaria.

Los nichos de sistemas de emergencia, son instalaciones hechas directamente dentro del túnel, en cabinas empotradas en la pared, que permiten un fácil acceso a los usuarios. Su introducción en los túneles fue en 1978, en Austria con cabinas telefónicas dentro de estos nichos. Esta innovación fue hecha por Hopferwiser Consultores. Las ventajas de estos nichos son: el prestar un servicio más eficiente de emergencia, fácil servicio de mantenimiento, larga vida, fácil de operar por el usuario y la fácil identificación de unidades de emergencia, tanto por el público como por los operadores del cuarto de control cuando la estación sea activada.

El promedio de profundidad de un nicho es de 1.75 m. y el de ancho es de 1.60 m. En el lado izquierdo de los nichos, se encuentra una puerta de 1 m. de ancho. La puerta tiene una cubierta que menciona ser usada, solo en casos de emergencia, siempre con iluminación para el usuario. En la siguiente puerta del lado derecho, otra puerta en la cual se encuentran los extinguidores contra incendio. Cerca de los extinguidores, se encuentra un botón contra incendio. Dentro del nicho de emergencia telefónico contra incendio, se encuentra el equipo para llamadas de emergencia, el cual puede ser usado por operación libre o como teléfono normal.

Los usuarios de los nichos de emergencia, solo necesitan presionar el botón de llamada de emergencia o levantar la bocina telefónica. Con esto, estará registrada, y la llamada será atendida automáticamente por el sistema que está conectado al control central de operación. El operador en el control central de operación, puede visualmente, ver el lugar de la llamada, pudiendo hacer contacto con su voz, con el usuario para brindarle la ayuda necesaria.

De un solo lado, se encuentran los nichos de emergencia, que cuentan con sistemas de sensores, que al momento de abrir las puertas, éstas activan la alarma y es detectada en el edificio de control donde se sabrá en que cadenamiento fue. Dentro de estos nichos de emergencia, existen tres casetas que están fabricadas de aluminio, debido a la salinidad en la zona y evitar la corrosión.

Del otro lado, se encuentran instalados los nichos de emergencia contra incendios, para ser usados en casos de incendio. Este sistema, cuenta con una serie de ductos que serán abastecidos por la tubería municipal. En estas estaciones, se encuentran alojadas mangueras y una válvula.

6.4 Sistema de cámaras de circuito cerrado de televisión.

Es un sistema instalado con cámaras de televisión de circuito cerrado, operadas desde el control central que ofrece los medios para un monitoreo de tiempo completo, de las condiciones del tráfico dentro del túnel y sus accesos. Este sistema, permitirá la fácil evaluación del flujo de tráfico, la ocurrencia de incidentes y/o situaciones de emergencia.

Conclusiones.

Los túneles son obras subterráneas que han sido de suma importancia desde su inicio, la forma en que han evolucionado en cuanto a su construcción forma y tipo, ayudan al hombre a satisfacer sus distintas necesidades. Desde tiempos remotos hasta nuestros días, son importantes para librar obstáculos, transportar o transportarse a través de ellos y así acortar las distancias entre dos puntos disminuyendo el tiempo de recorrido.

En nuestro país, los túneles han sido y seguirán siendo indispensables para el progreso como nación. Estas obras de infraestructura deben crecer paralelamente a nuestras demandas, siendo necesarias para el próximo milenio.

La realización de la obra del túnel de Acapulco, Guerrero, permite incrementar el desarrollo turístico, social, económico y la agilización del tránsito vehicular que llega y sale del puerto, debido a la expansión urbana que se ha acrecentado en los últimos años.

Con la terminación del túnel, se cumplió así con las expectativas del proyecto, que era acortar la distancia y aminorar el tiempo de recorrido a la llegada a Acapulco, Guerrero, disminuyendo el tiempo en 30 minutos comparado con el acceso por la cima, culminando la autopista del sol, con la avenida Farallón.

La puesta en operación del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero, contribuye al crecimiento del puerto turístico, brindando al sector turístico nacional, extranjero y urbano, una comunicación con mayor seguridad y rapidez que brinda este tipo de infraestructura.

El túnel, mejoró el aspecto paisajístico del puerto, a la llegada de la autopista del sol y a la salida de Acapulco, ya que en la zona donde se construyeron los portales, eran asentamientos urbanos irregulares y tiraderos de basura que causaban mal aspecto al turismo y al medio social. Con esta infraestructura se tiene como opción, no pasar por la cima donde se encuentran asentamientos irregulares, que carecen de servicios urbanos, que dan mal aspecto al turismo extranjero.

El tránsito vehicular se mejoró, evitando con el túnel, los congestionamientos viales que se generaban en este lugar, disminuyendo así, el alto índice de contaminantes que generan los automotores.

El túnel, además de cumplir con el objetivo de librar la cima y acortar distancias entre las zonas denominadas Farallón y las Cruces, permitió respetar al medio ambiente, sólo afectándolo en la zona de los portales y entronques. Estos efectos se integraron armoniosamente, identificando el daño que causaría al entorno ambiental para mitigar lo que provocaría alteraciones y el bienestar social de área.

Hoy en día, es de suma importancia llevar a cabo un estudio de impacto ambiental para una obra determinada, para analizar los efectos que esta cause al entorno natural, social, económico, cultural, y biótico, encontrando formas para mitigar el efecto que cause y restaurar los daños. De esta manera

llegaremos al próximo milenio con un panorama más humano y un planeta más estable. Necesitamos reflexionar sobre nuestra propia esencia y nuestra relación con el medio natural y social que nos rodea a fin de proponer acciones para alcanzar un desarrollo sustentable. No construir por construir, haciendo a un lado al medio ambiente y pensar en las futuras generaciones.

Un túnel carretero, es una solución respetuosa con el paisaje, frente a los enormes cortes que desencarnan las laderas y vertebran al medio ambiente al construir una carretera; su presencia es solo percibida en los portales.

Los estudios geológicos resultaron de vital importancia para conocer las condiciones físicas y mecánicas del macizo rocoso, para predeterminar el tipo de soportes a utilizar y el procedimiento de excavación en la construcción.

Para verificar el buen funcionamiento de los sistemas de soporte una vez realizada la excavación, se observó en las estaciones de convergencia colodas para determinar así los sistemas de soportes que fueran los adecuados y tener la seguridad de la excavación. Siendo estos seguros.

El procedimiento constructivo en el túnel, se llevó a cabo satisfactoriamente de acuerdo a las calidades de roca encontradas, realizándose diferentes procesos de excavación y tratamientos de la masa de roca, lográndose las expectativas de tener calidad y seguridad en la obra. El método convencional utilizado fue apropiado para el macizo rocoso, realizándose con barrenación y voladura para la fragmentación de la roca en los frentes de trabajo, obteniendo avances satisfactorios, calidad y seguridad en el proceso. La excavación hecha por cuadrantes contribuyó a

mantener seguro el proceso constructivo, evitando altos riesgos de colapso por la oquedad, estabilizada por los sistemas de ademe que se establecieron en función de las características geológicas de la roca expuestas durante la excavación.

La excavación del túnel dependió de la plantilla de barrenación que varió de acuerdo a la calidad de la roca encontrada, cargada ésta con explosivos, para evitar una sobre excavación mayor que el perímetro de la sección del túnel, lo que habría originado aumento en el costo de la rezaga, sistemas de ademe (concreto lanzado con fibras metálicas, marcos de acero, anclas y madera de retaque) que habrían hecho más tardado el proceso.

Hace algunos años, se consideraba el uso y manejo de explosivos como una actividad peligrosa de alto riesgo; hoy en la actualidad se utilizan explosivos y artificios seguros que permiten desarrollar detonaciones con toda seguridad y calidad en el contorno de la excavación, dejando paredes, pisos, cielos más lisos, disminuyendo el riesgo y conservando el perímetro de la sección. En el túnel de Acapulco sólo se utilizaron artificios y explosivos seguros.

La ventilación dentro de la construcción, jugó un papel muy importante en mantener las condiciones ambientales adecuadas para realizar los ciclos de excavación, manteniendo siempre despejado el frente de trabajo de gases producto de las detonaciones. Este sistema de ventilación de inyección de aire hacia ambos frentes en los dos portales de entrada, permitió un medio óptimo para la excavación creando un flujo de aire fresco y húmedo para el personal que laboró en el interior de la obra sin ninguna dificultad y riesgo a la salud.

La estabilidad de la excavación se desarrolló con el tradicional método Austriaco, aplicándose de acuerdo a la calidad de la roca encontrada en el frente de trabajo, haciendo que la masa de roca que circunda una cavidad participe en forma conjunta y activa con el mecanismo de soporte del propio suelo, conviniéndolo con el uso de concreto lanzado con fibras metálicas, anclas de acero y marcos de acero, de tal modo que la masa de roca trabaje como un anillo de soporte. Esta técnica, se sigue desarrollando en todo el mundo con gran aceptación por su seguridad que brinda en túneles en roca.

La combinación de las técnicas de estabilización del Nuevo Método Austriaco del Tünelo, permitió durante la construcción del túnel disminuir el riesgo al realizar la excavación por etapas, produciendo menores deformaciones en el contorno y aprovechando el tiempo suficiente para revestirlo lo más pronto posible con concreto lanzado con fibras metálicas para proporcionarle una resistencia de piel a dicha superficie y su colocación de las anclas de acero, formando un arco de roca evitando el desprendimiento de cuñas. De acuerdo al tipo de roca encontrada, se utilizaron los marcos de acero que siguen teniendo la ventaja de ser una estructura tradicional por lo que existe personal técnico para su instalación. Actualmente estas técnicas permiten la realización de nuevas excavaciones subterráneas con gran calidad y seguridad.

Con la introducción de fibras metálicas, los avances fueron considerables, ya que con el uso de la malla electrosoldada su proceso de instalación era tardado. La aplicación de estas fibras revolucionaron el tiempo de avance en ambos frentes.

Con el uso del concreto lanzado por vía húmeda, redujo el rebote en las paredes, garantía en la resistencia en el concreto, ahorro en el rebote, eliminación total del polvo del cemento en el interior

del túnel que causara molestias al sistema respiratorio, aunado a esto con la introducción de fibras metálicas y la eliminación de la malla electrosoldada, se hizo más eficiente la colocación del concreto lanzado en el interior, lográndose mejores avances e incrementando el número de ciclos por jornada. Este fue uno de los trabajos que destacaron, ya que este método se ha venido empleando en diversas partes del mundo con buenos resultados referente a calidad, rapidez y seguridad en la realización de los trabajos.

Una vez concluida la excavación y estabilizada en toda la sección, el revestimiento definitivo se llevó a todo lo largo del túnel. La colocación del concreto se logró mediante la cimbra metálica, éste se distribuyó uniformemente vibrándose y cañoneándose con aire a presión para garantizar el compactado del concreto, obteniendo un acabado con excelente apariencia y calidad; adquiriendo una especial importancia en la visibilidad e iluminación que brinda un excelente aspecto estético para permitir dar seguridad y confianza al usuario, proporcionando también una adecuada ventilación al eliminar la fricción del aire en las paredes.

Este trabajo de tesis, puede usarse como material de apoyo para los estudiantes de ingeniería, ya que la descripción del proceso constructivo explica brevemente las técnicas que se emplearon, de tal modo que los alumnos a través de este trabajo pueden conocer de que forma fue construida esta obra y saber de los sistemas de soporte empleados, así como el método convencional que brinda gran seguridad y calidad en las obras subterráneas; empleándose en la actualidad en todo el mundo.

La tecnología utilizada en la obra subterránea, permitió desarrollar la excavación satisfactoriamente; los soportes empleados en el túnel contribuyeron a la autoestabilización de la cavidad, evitando la

improvisación, disminuyendo el riesgo, y proporcionando al personal de construcción, un medio óptimo para el ciclo de trabajo a través de la sistematización de las actividades.

La aplicación de las técnicas actuales como son, el concreto lanzado con fibras de acero, anclas de acero y los marcos metálicos, permitieron realizar la excavación subterránea con gran estabilización. Actualmente, estas técnicas (Método Convencional y Método Austríaco) dan confianza a la realización de excavaciones subterráneas.

El gobierno de México debe promover más la construcción de obras de esta magnitud que tienden a la modernización, para que participen paralelamente con el crecimiento del país.

La ingeniería civil mexicana, participa técnicamente en la creación de obras de infraestructura como la del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero, contando con la tecnología en construcción para la realización de este tipo de obras.

Bibliografía.

Antonio Linares Sánchez, C. Saenz.

“Túneles y Obras Subterráneas”.

Barcelona, España.

Editores Técnicos Asociados S.A., 1977.

Varios autores

“Túneles y Excavaciones Subterráneas, Tomo I Y Tomo II”.

Curso Víctor Hardy 1985.

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C.

AMITOS, México, D.F.

Varios autores

“Túneles y Excavaciones Subterráneas, Tomo I Y Tomo II”.

Curso Víctor Hardy 1993

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C.

AMITOS, México, D.F.

Varios autores.

“Curso Víctor Hardy 1995”.

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C.

AMITOS, México, D.F.

Varios autores.

“Curso Víctor Hardy 1998”.

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C.

AMITOS, México, D.F.

Varios autores.

“Primer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas”.

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C.

México, D.F., octubre de 1995.

Consortio en Ecología Aplicada, S.A. de C.V.

“Estudio de Manifestación de Impacto Ambiental del Túnel Interurbano de Acceso a Acapulco”.

México, Noviembre de 1994.

Fermin A. Sánchez Reyes

“El Túnel Los Querendes”.

México, D.F.

Tesis Profesional, UNAM 1994.

Nichols, Hebert Lownds.

“Movimiento de tierras, Manual de excavaciones”.

Sexta edición, México.

Editorial Continental S.A.

ICI Explosivos - México.

“Seminario Sobre el Uso y Manejo de Explosivos, ICI”.

México D.F., 1995.

Ingenieros Civiles Asociados, ICA - Gerencia de estructuras.

“Procedimiento Constructivo Túnel Interurbano de Acapulco”.

México, D.F., julio de 1995.

Ingenieros Civiles Asociados, ICA.

“Procedimiento Constructivo para el proyecto del Túnel de Acapulco, Guerrero”.

México, enero de 1996.

Ingenieros Civiles Asociados, ICA - SOLUM

“Nuevo Acceso Túnel Acapulco”.

México, D.F.

Juárez Badillo, Alfonso Rico Rico Rodríguez.

“Mecánica de suelos”, Tomo I.

13 a. edición., México D.F.

Editorial Limusa, 1995

SOLUM, S.A. de C.V.

“Estudio Geológico del Nuevo Acceso en Túnel al Puerto de Acapulco, Guerrero”.

México, D.F. , Julio de 1989.

T.M. Megaw y John V. Bartlett

“Túneles, Planeación Diseño y Construcción”

Vol. I, primera edición.

Verción española,

Editorial Limusa, 1995.

VI Curso Internacional de Ingeniería Geológica Aplicada a Obras Superficiales y Subterráneas,

Modulo III. “Diseño y construcción de túneles, métodos de construcción y revestimiento en rocas”

División de Educación Continua Facultad de Ingeniería UNAM, Junio de 1994.

Publicaciones.

Revista Grupo ICA, No. 93.

México, D.F.

Litografía Panamericana, Enero - Febrero - Marzo de 1995.

Drámix, Steel Fibres for Concret Reinforcement.

N.V. BEKAERT S.A.

Editorial W. Looverie - Moen Belgium.

Swevegem, Bélgica, 1994.

Geotecnología Ambiental Aplicada a la Construcción Minería y Medio Ambiente.

Grupo CICONSA

México, D.F., 1995