

108
ZED



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"REVESTIMIENTO DEFINITIVO Y TRATAMIENTOS DEL
TUNEL DE CONDUCCION DEL PROYECTO
HIDROELECTRICO ZIMAPAN"

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 N :
ADAN MENESES MARQUEZ
EDUARDO ENRIQUE VICENTE CELIS



MEXICO, D. F. CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 1995

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-197/94

Señores
ADAN MENESES MARQUEZ
EDUARDO ENRIQUE VICENTE CELIS

Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. LUIS CANDELAS RAMIREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

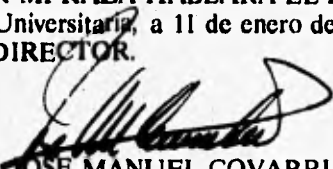
**"REVESTIMIENTO DEFINITIVO Y TRATAMIENTOS DEL TUNEL DE
CONDUCCION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO ZIMAPAN"**

- I. INTRODUCCION**
- II. GENERALIDADES DEL P. H. ZIMAPAN**
- III. GENERALIDADES DEL TUNEL DE CONDUCCION**
- IV. REVESTIMIENTO**
- V. TRATAMIENTOS**
- VI. CAVERNA**
- VII. CONTROL DE CALIDAD**
- VIII. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario, a 11 de enero de 1995.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

h. JMCS/RCR*nl1

DEDICATORIA

A mis padres: Soledad Celis Miguel
 Mauro Vicente Carrizosa

Por que los valores que me han servido en la formación de mi persona los he adquirido de ustedes.

Por el gran esfuerzo que han realizado para poder brindarme una educación.

Gracias

A mis hermanos: Francisco
 Lidia
 Elizabeth
 Irma
 Gloria
 Mauro
 Armando
 Rogelio
 Elia
 Miguel

Les agradezco lo mucho que he aprendido de ustedes.

Eduardo

DEDICATORIAS

A mis padres: Asunción Meneses Leal y Natalia Márquez Cruz

A DIOS gracias por tener en ustedes el hombro de un amigo, la enseñanza del maestro, al guía en el camino, que vierten sobre mí ese noble sentimiento llamado amor, haciendo de ella la fuerza impulsora que mantuvo firme -en los momentos de desgano- el propósito de darle término a la carrera emprendida. Mi dedicación y agradecimiento será por siempre.

A mis hermanos:

En especial a Roberto y Daniel por su ayuda tan grande y comprensión mostrada en todo tiempo, que hicieron posible lo alcanzado hoy.

A los amigos:

Florencio, Guillermo, Jaime, Jorge,

No es el tiempo de conocidos lo que nos hizo amigos, sino las afinidades y momentos compartidos.

"Un hombre es juzgado según sus amigos, pues el sabio y el necio nunca han coincidido".- Baltasar Gracián.

Adán

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
II. GENERALIDADES DEL P.H. ZIMAPAN.....	7
II.1 UBICACION, LOCALIZACION Y CARACRERISTICAS	
GENERALES.....	8
II.2 HIDROLOGIA.....	14
Datos climatológicos e hidrométricos	14
Estudio de avenidas	16
Escurremientos	16
Azolves	17
II.3 GEOLOGIA Y GEOTECNIA.....	18
Introducción	18
Geología regional	18
Sismicidad	21
Condiciones de estanqueidad en el área de la boquilla	22
II.4 PLANEACION DE LA CONSTRUCCION.....	23
Organización	23
Infraestructura	23
Cronograma	23
II.5 DESCRIPCION DE LAS OBRAS.....	25
Obra de desvío	25
Obra de contención	26
Obras de generación	27
Obra de excedencias	28
III. GENERALIDADES DEL TUNEL DE CONDUCCION.....	29
III.1 DESCRIPCION DEL TUNEL DE CONDUCCION.....	30
Características geométricas	31
Secciones de excavación y revestimiento	32
Secciones adicionales	36

Tapones y ventanas de acceso	37
Líneas "A" y "B"	37
III.2 DISEÑO DEL TUNEL.....	38
Proyecto original	38
Análisis hidráulicos	39
Hidrofracturación	41
Lineamientos generales para el diseño del revestimiento	42
III.3 CAMINOS DE ACCESO.....	44
III.4 INFRAESTRUCTURA DE VENTANAS.....	46
Plataforma de instalaciones en V1	46
Plataforma de instalaciones en ventanas V2, V3, y V4	49
III.5 EXCAVACION.....	50
Procedimiento de excavación de los túneles crucero	50
Procedimiento de excavación del túnel de conducción	51
IV. REVESTIMIENTO.....	57
IV.1 PROPUESTA INICIAL.....	58
IV.2 PROCEDIMIENTO REAL.....	60
Reposición de roca en piso	60
Apoyos para el revestimiento	62
Procedimiento de colado de la sección	69
Ciclos de colado	74
Reparaciones al concreto	75
IV.3 RECURSOS DE MANO DE OBRA Y EQUIPOS.....	77
Mano de obra	77
Equipo	81
Recursos para las reparaciones	84
IV.4 PROBLEMATICA DE CONSTRUCCION.....	85
Ventilación	85
Transporte de los agregados	85
Revestimiento en zona de caídos geológicos	86
Relleno de nichos durante el revestimiento	87

Zonas de concreto armado	88
Bloqueo de caminos de acceso, paros laborales y lluvia extraordinaria	91
V. TRATAMIENTOS.....	92
V.1 GEOLOGIA DEL TUNEL DE CONDUCCION.....	93
Geología superficial	93
Áreas estudiadas	93
V.2 PERMEABILIDAD EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.....	96
V.3 TRATAMIENTO DE CARSTICIDAD.....	99
Carsticidad local	99
Oquedades mayores	100
Alta densidad cársica	102
Diques	104
V.4 INYECCIONES.....	107
Contacto concreto-roca (inyección tipo "A")	107
Inyección de contacto concreto-concreto lanzado-roca (inyección tipo "B")	108
Zonas de alta permeabilidad (inyección tipo "C")	109
Supervisión y control de inyecciones	112
VI. CAVERNA.....	120
VI.1 ESTUDIOS REALIZADOS.....	121
Condiciones geológicas	121
Exploración geológica	123
Tramos con caídos	124
Prospección geofísica	126
Módulos de deformabilidad	127
VI.2 REHABILITACION DEL TRAMO.....	127
Limpieza	127
Protección provisional	127
Revestimiento definitivo	128

Instrumentación	129
VII. CONTROL DE CALIDAD.....	130
VII.1 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACION DE CONCRETOS.....	131
Cemento	131
Agregados	132
Agua	134
Aditivos	134
VII.2 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS..	136
Transporte	136
Almacenamiento a cielo abierto	136
VII.3 CONCRETOS.....	137
Concreto fresco	137
Concreto endurecido	138
VII.4 REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....	139
Recepción previa al colado	139
Acero de refuerzo	139
Preparación de la junta de construcción	140
Inspección de cimbra	140
Colocación de cimbra	141
Inspección topográfica	141
Supervisión y control del colado	142
Reparaciones	144
VIII. CONCLUSION.....	149
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA.....	152

I. INTRODUCCION

INTRODUCCION

La energía eléctrica en abundancia ha sido la llave para la expansión industrial y el progreso material en las décadas recientes. El Gobierno Federal, a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), atiende el compromiso de satisfacer en forma precisa la demanda requerida en la modernización industrial y social con políticas de diversificación de fuentes de energía existentes. De acuerdo a estas políticas, se ejecuta actualmente el diseño y construcción del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, localizado en los límites de los estados de Hidalgo y Querétaro, cuya finalidad principal es la generación de energía eléctrica aprovechando el potencial del río Moctezuma, el cual forma parte del sistema hidrológico del río Pánuco.

Las hidroeléctricas y termoeléctricas son las fuentes de energía que podemos mencionar como las principales en cuanto a su aprovechamiento y desarrollo en nuestro país; en donde, los generadores hidroeléctricos son impulsados por turbinas hidráulicas, mientras que las plantas térmicas (o de vapor), producen la energía por combustión del material energético. Muchas plantas de energía térmica utilizan turbinas de vapor y combustible fósil (carbón, petróleo y gas natural) o nuclear.

El agua, corriente o embalsada, puede siempre utilizarse para producir trabajo, represándola y conduciéndola a un punto situado a nivel inferior de aquel en que se halla, así sucede que por todas partes se nos ofrecen fuerzas hidráulicas utilizables; pero no obstante, su aprovechamiento no resulta siempre económico, ya que muchas veces el costo de instalación sería enormemente desproporcionado con la magnitud de la potencia obtenida. Esto ocurre especialmente en zonas bajas, pues si bien es frecuente encontrar en ellos grandes caudales de agua, la pendiente es demasiado pequeña y esto obligaría a construir presas y canales de importancia para conseguir potencias relativamente reducidas. Las regiones montañosas son, naturalmente más ricas en saltos de agua utilizables.

Puede haber diversos sitios factibles para la localización de una planta hidroeléctrica en proyecto y en cada sitio, varios diferentes diseños pueden ser posibles. Por tanto, la selección de un diseño final para un proyecto hidroeléctrico con frecuencia involucra la comparación entre muchas alternativas. Algunos criterios para tal caso serian los siguientes:

- 1) Reunión de los datos hidrológicos de las corrientes y determinación de la cantidad de agua disponible y su distribución a través del año, y de año en año. Si esto se necesita se hace una extrapolación de los datos por simulación y/o métodos estocásticos.
- 2) Formulación de diseños preliminares de todas las instalaciones que aparezcan compitiendo en costo y definición del diseño más económico en cada sitio por medio de la comparación de costos e ingresos estimados por ventas de energía.
- 3) Determinación de las exigencias que vayan a satisfacerse (carga máxima instantánea en kilovatios, energía total en kilovatios hora y variación en el tiempo, en kilovatios).
- 4) Selección de proyectos factibles que se localicen lo más cerca posible del centro de carga.
- 5) Comparación de los mejores diseños para los diversos sitios y selección del sitio de la combinación de sitios que evidentemente sea la mejor para la producción de la cantidad necesaria de energía. Con frecuencia, esta selección se norma por las necesidades futuras estimadas y por las posibilidades de expansión para satisfacerlas.
- 6) Comparación del costo de una planta de energía hidroeléctrica con una planta equivalente de energía térmica.
- 7) Si la energía hidroeléctrica compite con la térmica, se continúa con el diseño ya detallado de la instalación hidroeléctrica.

De acuerdo a los criterios mencionados, la central hidroeléctrica Zimapán, contará con la instalación de dos unidades generadoras constituidas con dos turbinas del tipo Pelton de 146 MW de potencia cada una y generará un promedio anual de 1292.4 GWH que dada la posición de este proyecto, su cercanía a las ciudades de Querétaro y México, y su facilidad de intercomunicación con el sistema eléctrico nacional por la proximidad con las Plantas termoeléctricas de Tula, Hidalgo y el Sauz, Querétaro, ayudará a satisfacer las demandas de energía eléctrica de la región central del país.

Los proyectos de energía eléctrica se encuentran por lo general en áreas montañosas y dependen del almacenamiento de agua a un nivel elevado y de la utilización de su energía de bajada hasta las turbinas situadas muy por debajo del nivel de almacenamiento. Se necesitan normalmente túneles para alimentar las turbinas y, a menudo, también para la descarga; además, se requieren a través de las montañas (en algunos casos) para reforzar el suministro disponible en un valle con el área colectora adyacente.

Con las mejoras que se han conseguido en las técnicas de excavación de túneles en roca, resulta además ventajoso situar en algunos proyectos las turbinas bien profundas en el corazón de la roca en cavernas excavadas con ese fin. Entre las ventajas obtenidas se encuentran la reducción de la presión en los túneles que llevan a la estación y, además, la protección de las estaciones generadoras.

Es preciso establecer una importante distinción entre aquellos en que el agua está contenida a una elevada presión y aquellos en donde fluye como si estuviera en un canal cubierto. En los túneles de alta presión es poco probable que la roca sea suficientemente impermeable y las relaciones entre los esfuerzos en el revestimiento del túnel y en la roca adyacente adquieren una importancia vital ya que se ha de impedir el agrietamiento y las fugas. Los turbogeneradores, por estar situados en un nivel bajo, deberán estar alimentados con agua a alta presión por la línea más directa posible, haciendo mínima la pérdida de carga por fricción, en las curvas y en los cambios de sección. Es común un pozo vertical. Las presiones hidrostáticas al nivel de las turbinas son muy altas y, además hay presiones por ondas de choque y por oleajes que se originan cuando se cierran o abren los tubos de alimentación de las turbinas para tener diferentes gastos de acuerdo con la demanda. Estas presiones se mantienen dentro ciertos límites con el uso de tiros o cámaras de alivio. El sistema hidrodinámico que comprende túneles, tiros, tuberías y turbinas debe diseñarse en conjunto, con el fin de manejar la energía tan alta de la masa de agua en movimiento. Las necesidades particulares de estos túneles a presión son por consiguiente: un gradiente muy pronunciado que requiere las técnicas de perforación de pozos más bien que las de perforación de túneles, y un revestimiento capaz de resistir altas presiones y mantenerse impermeable.

A grandes profundidades en la roca, es necesario considerar la roca natural inalterada como si estuviera sometida hidrostáticamente a esfuerzos debido a su propio peso. Después de la relajación de este esfuerzo en virtud de la excavación, la carga puede elevarse lentamente de manera que, en último término, la estructura del túnel quede sometida a esfuerzos elevados. Para hacerle frente a esta condición, se puede diseñar la estructura del túnel para que abarque no sólo el revestimiento, sino toda la parte de la roca circundante que se pueda integrar con él mediante sólidos métodos de construcción (inyecciones).

El revestimiento es una estructura compuesta, formada por un ademe de concreto simple para el túnel de conducción a baja presión, que va de obra de toma al pozo de oscilación y de concreto simple con un revestimiento interior de acero soldado para el túnel de alta presión. El acero no sólo es adecuado para resistir la tensión producida por la presión interna del agua, sino también se asegura contra la contingencia de que puede pandearse cuando el túnel esté vacío y se desarrollen las presiones externas del agua y de la roca. El revestimiento de concreto y también la roca circundante constituyen un soporte sustancial para la placa de acero contra la presión interna; pero contra la presión externa el acero se ancla adecuadamente al concreto. La inyección de selladores a alta presión detrás del revestimiento de concreto es muy valiosa, se utiliza para la precompresión del revestimiento de concreto, lo que ayuda a evitar la tensión subsiguiente debido a las presiones internas.

En cualquier consideración sistemática de los túneles y de los medios apropiados de construcción, la función del túnel terminado tiene una importancia fundamental. Las funciones de los túneles y, por consiguiente, dimensiones, forma y revestimiento son diversas. En el proyecto y la construcción, los factores importantes que se deben analizar en relación a la función abarcan: localización, suelo, dimensiones y geometría, la forma estructural, el método de construcción y el equipo permanente.

Las operaciones fundamentales realizadas en la construcción del túnel son: levantamiento, excavación del terreno, ademe provisional del terreno, ademe permanente del terreno y, control del agua.

Cuando todas las condiciones son favorables, la construcción resulta relativamente simple; pero la historia de la construcción de túneles muestra cuán a menudo condiciones inesperadas han hecho imposible un proyecto tal como fue diseñado originalmente; y éste no es la excepción, ya que el proyecto original contemplaba al principio del túnel, la sección de concreto reforzado, el resto de concreto armado en la cubeta y lanzado en los muros y bóvedas. Se buscaron alternativas de cambio para mejorar las condiciones hidráulicas, eligiéndose secciones de construcción; finalmente se determinó que todo el túnel debería quedar revestido de concreto hidráulico, en un 96% de simple y el resto armado.

II. GENERALIDADES DEL P. H. ZIMAPAN

II.1 UBICACION, LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS GENERALES

II.2 HIDROLOGIA

II.3 GEOLOGIA Y GEOTECNIA

II.4 PLANEACION DE LA CONSTRUCCION

II.5 DESCRIPCION DE LAS OBRAS

II.1 UBICACION, LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS GENERALES

El Proyecto Hidroeléctrico Zimapán forma parte del potencial Hidroeléctrico del Río Moctezuma, el cual a su vez pertenece al sistema del Río Pánuco.

El sistema Hidrológico del río Pánuco, uno de los 27 sistemas en que se ha dividido el país para propósitos de estudios de planeación hidroeléctrica, ofrece un potencial de 7,621 GWH, distribuidos en 37 proyectos, ocupando el tercer lugar a nivel regional (Región Golfo) y el octavo a nivel nacional, siguiendo a los sistemas Grijalva, Balsas, Usumacinta, Papaloapan, Santiago, Costa de Veracruz y Costa de Guerrero. Su generación representa el 4.8% del potencial nacional.

REGION GOLFO			
	PAPALOAPAN	45	14,235
REGION	COSTA VERACRUZ	50	9,387
GOLFO	PANUCO	37	7,621
	COATZACOALCOS	11	3,084

SISTEMA HIDROLOGICO PANUCO			
	MOCTEZUMA	18	5,218
SISTEMA	TEMPORAL	5	383
HIDROLOGICO	GUAYALEJO	2	112
PANUCO	TAMPAON	12	1,908
	TOTAL	37	7,621

El proyecto está ubicado sobre el Río Moctezuma (límite de los estados de Querétaro e Hidalgo) en el cañon del Infiernillo en la confluencia de los Ríos San Juan al oeste y Tula al este. Fisiográficamente el área queda ubicada en la zona limítrofe de las provincias de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico Transmexicano.

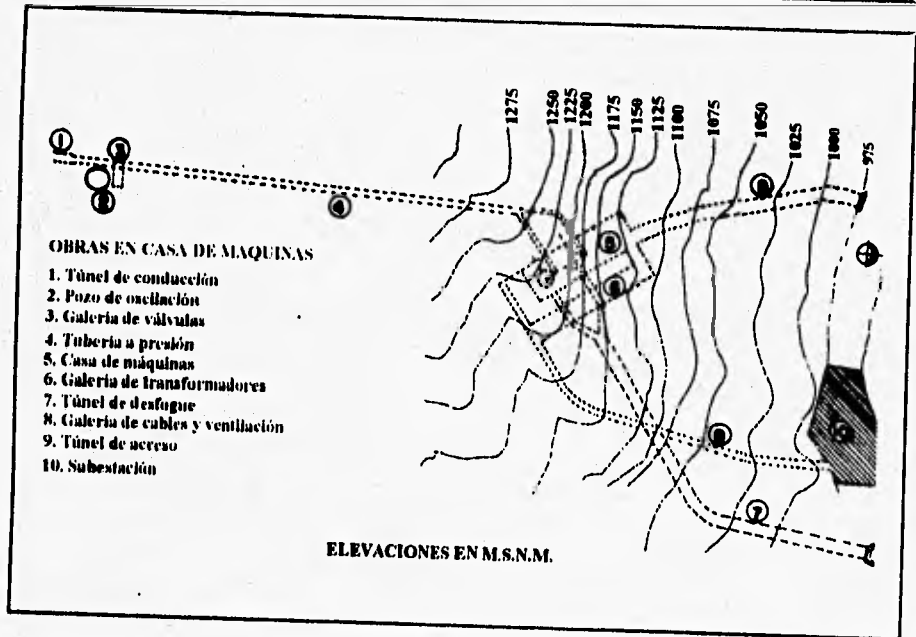
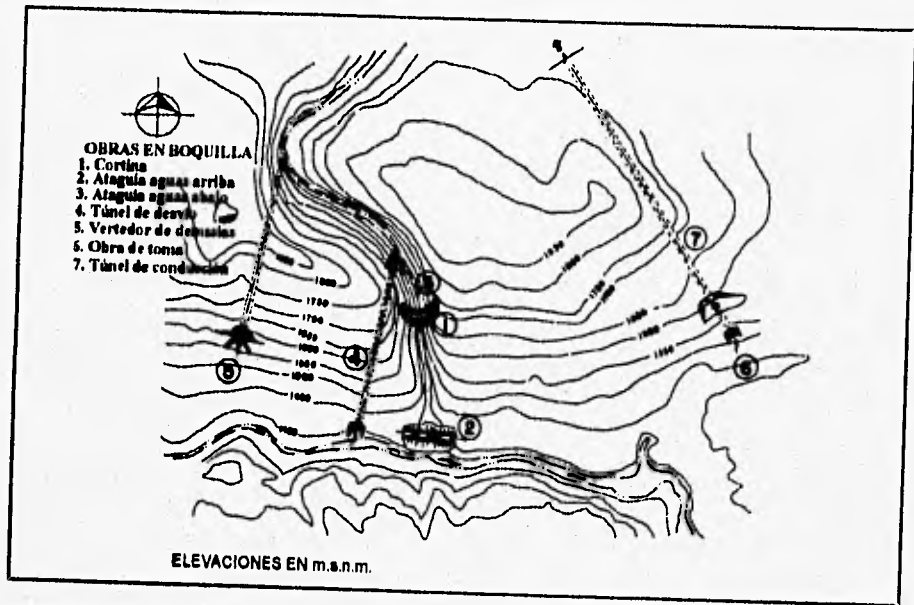
El sitio donde se ubica la cortina se encuentra en la parte occidental del Estado de Hidalgo, colindando con el Estado de Querétaro al noroeste (NW) de la ciudad de Pachuca, sus coordenadas geográficas son 20° 40' de latitud norte y 90° 30' de longitud oeste, en la confluencia de los ríos de Tula y San Juan en el sitio conocido como cañón de el infiernillo.

El acceso al sitio de la cortina desde Zimapán se realizó a través de un camino vecinal de terracería a una distancia de 30 km. El acceso por Cadereyta fue a través de un camino vecinal que entronca con la carretera San Juan del Río-San Joaquín a 10 km de esa población. Las obras de generación se ubican a 21 km de la cortina, en el Estado de Hidalgo y su acceso es por la población de San Joaquín, Querétaro, por un camino de 32 km.



Ubicación y localización

Una de las características del proyecto es su conducción, la cual tiene una longitud de 21 km. Esto hace prácticamente que el Proyecto se divida en dos áreas de trabajo: Zona Boquilla y Zona Casa de Máquinas.



Obras en boquilla y Casa de máquinas

Por otra parte, la posición geográfica del Proyecto Zimapán, muy cercano a las ciudades de México y Querétaro y a corredores industriales, junto con la relativa viabilidad de interconexión a la red eléctrica por su proximidad a las plantas termoeléctricas de Tula Hidalgo y el Sauz Qro., presenta ventajas técnico-económicas que hacen atractiva la construcción de la obra.

	Área de la cuenca del río Pánuco	84,956 Km ²
HIDROLOGIA	Número de años de registro de escurrimiento	43
	Escurrimiento medio anual	982 Mm ³
	Gasto medio	31.1 Mm ³

	ELEVACIONES	CAPACIDAD
VASO DE ALMACENAMIENTO	NAMINO 1520 m.s.n.m.	690 Mm ³
	NAMO 1560 m.s.n.m.	1,390 Mm ³
	NAME 1563 m.s.n.m.	1,460 Mm ³
	Capacidad para azolves	250 Mm ³
	Capacidad del NAMO-NAMINO	700 Mm ³
	Capacidad para control de Avenidas NAME-NAMO	70 Mm ³
	Área ocupada por el embalse al NAME	22.9 Km ²
	Área ocupada por el embalse al NAMO	21.8 Km ²
	Área ocupada por el embalse al NAMINO	13 Km ²

	Gasto máximo de avenida	810 m ³ /seg.
OBRAS DE DESVIO	Gasto de diseño máximo	702 m ³ /seg.
	Elevación siagula aguas arriba	1,409.5 m.s.n.m.
	Túnel sección portal	9.4 x 9.4
	Elevación de entrada	1,383 m.s.n.m.
	Longitud total	306 m.
	Velocidad máxima	8 m/seg.
	Cierre provisional	Obstruidores metálicos
	Cierre definitivo	Tapón de concreto
	Volumen de la avenida	310 Mm ³

CORTINA	Tipo	Arco-bóveda de concreto
	Elevación de la corona	1565 m.s.n.m
	Longitud de la corona	115 m.
	Altura total al desplante	203 m.
	Volúmen de concreto	210,000 m ³
	Desplante	1,362 m.s.n.m.
	Bordo libre	2 m.

OBRAS DE EXCEDENCIAS	Periodo de retorno de la avenida	10,000 años
	Gasto máximo de la avenida	2,960 m ³ /seg.
	Volúmen de la avenida	1,209 Mm ³
	Gasto de diseño	2,520 m ³ /seg.
	Elevación de la cresta	1,545.27 m.s.n.m.
	Longitud de la cresta	20 m.
	Compuertas	Radiales 2 de 9.9m x 20m.
	Número de túneles	2
	Sección de los túneles	9.9m x altura variable de 13.9 a 8.5m.
	Velocidad máxima	25 m/seg.
Longitud promedio de cada túnel	300 m.	
Relación de llenado	0.65	

TUNEL DE CONDUCCION	Diámetro (sección herradura)	4.70m
	Longitud	21,000 m.

POZO DE OSCILACION	Altura	135 m.
	Diámetro del pozo	12 m.

OBRA DE TOMA	Tipo de toma	Rampa
	Elevación de la obra de toma	1,500 m.s.n.m.
	Dimensión de compuertas	3.50 x 4.5 m.
	Dimensión de rejillas	5 tableros de 2 x 8.5 m.

TUBERIA A	Diámetro	3.5 m.
PRESION	Longitud	1,030 m.

CASA DE MAQUINAS	Gasto de diseño por unidad	29.5 m ³ /seg.
	Nivel medio de desfogue	948 m.s.n.m.
	Velocidad de rotación de las turbinas	300 r.p.m.
	Carga bruta máxima	603 m.
	Carga mínima bruta	563 m.
	Carga de diseño bruta	593 m.
	Carga neta de diseño	553 m.
	Generador	147.4 MVA.
	Potencia de cada unidad	146 MW.
	Capacidad instalada, 2 pelton	292 MW.
	Factor de planta media anual	0.53
	Generación media anual firme	1,139.6 Gwh.
	Generación media anual secundaria	152.8 Gwh.
	Generación media anual	1,292.3 Gwh.
	Nivel de la subestación	965 m.s.n.m.
2 líneas de salida de	230/115 KV c/a	
Longitud hacia la red Daño Huichapan	80 km.	

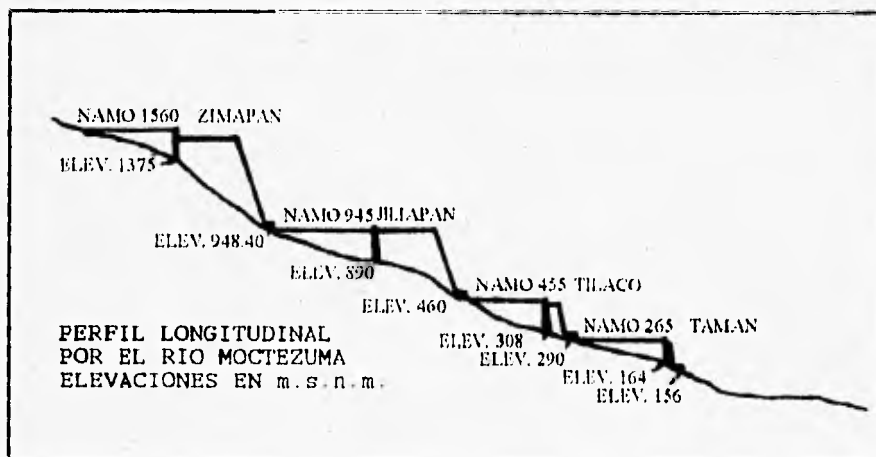
II.2 HIDROLOGIA

Datos climatológicos e hidrométricos

Para el estudio hidrológico del proyecto, se analizaron datos climatológicos distribuidos en las cuencas del Valle de México, del río Tula y del río San Juan, de las cuales las más antiguas operan desde 1963. Los registros de escurrimientos, azolves, evaporaciones, temperaturas y lluvias, han permitido determinar la magnitud del aprovechamiento, así como los gastos de diseño de las obras de desvío y excedencias. Los datos mencionados son los siguientes:

a).- Datos del sistema hidrológico Pánuco.

1.- Area de la cuenca del río Pánuco	84,956 km ²
2.- Area de la cuenca hasta Zimapán	11,869 km ²
3.- Número de años de registro (deducidos)	43
4.- Escurrimiento medio anual	982 Mill. m ³
5.- Volumen medio mensual escurrido	81.8 Mill. m ³
6.- Gasto medio	31.1 Mill m ³



Proyectos hidroeléctricos en el río Moctezuma.

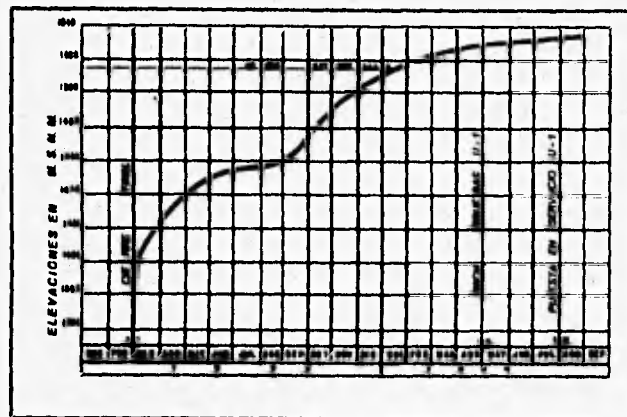
b).- Datos del vaso de almacenamiento

1.- Elevación, área y capacidad

ELEVACION (m.s.n.m.)	AREA (km ²)	CAPACIDAD (mill .m ³)
1380	0.0	0
1400	0.4	2
1425	2.1	33
1450	4.3	113
1475	6.9	252
1500	9.6	459
NAMINO 1520	13.0	690
1525	13.6	749
1550	19.0	1156
NAMO 1560	21.8	1390
NAME 1563	22.9	1460
1575	27.8	1741
1600	39.7	2584
1625	50.1	3325

Tabla 2.1

2.- Curva de llenado del vaso de almacenamiento.



Gráfica de llenado del vaso

Estudio de avenidas

Dadas las características hidrológicas de la cuenca, se consideraron cuatro eventos por separado, que al intergrarlos definen la avenida de diseño, tanto para la obra de desvío como para la obra de excedencias. Inicialmente se definió una avenida hasta la estación hidrométrica Paso de Tablas y otra hasta la estación Ixmiquilpan teniendo estas dos estaciones un período de registro hidrométrico de 11 años. Para la cuenca propia, compuesta por dos subcuencas, se definió una tormenta que a través de un modelo lluvia-escorrimento para cada confluente proporcionó las avenidas por cuenca propia.

Finalmente se integraron las cuatro avenidas para cada período de retorno seleccionado, sumándola entre sí y respetando su tiempo de traslado.

Los resultados obtenidos al utilizar el modelo anterior son los siguientes:

PERIODO DE RETORNO (Tr) años	GASTO MAXIMO m³/seg	VOLUMEN Mill. m³
10	632	310
20	842	403
10000	2960	1209

Tabla 2.2

En todos los casos la duración de la avenida se consideró de 11 días.

Escorrimentos

Una parte muy importante del estudio hidrológico lo constituyen los escurrimentos que deberán ingresar al embalse del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, integrados estos afluentes por los registros simultáneos de lluvia, volúmenes y gastos de las estaciones hidrometeorológicas consideradas así como la dotación de agua potable a la Ciudad de México, las demandas de riego en las cuencas de los ríos Tula y San Juan y los volúmenes empleados en la termoeléctrica de Tula. Dada la complejidad de las cuencas en estudio, se planteó un modelo de funcionamiento llamado de caja negra, que considera solo los factores

que intervienen de manera directa en la integración de los escurrimientos.

Cabe mencionar la importancia que tiene el crecimiento del área metropolitana de la Ciudad de México, ya que los efluentes de la misma representan un volumen significativo y son desalojados hacia la cuenca del río Tula, principal aportador del Proyecto. De tal suerte que los volúmenes aportados variarán con el crecimiento de la población en el Valle de México, por lo tanto se considera que el volumen efluente máximo se alcanzará cuando la tasa de crecimiento de la población estimada se estabilice para el año 2026, según las tendencias actuales y las proyecciones efectuadas.

Azolves

De acuerdo con estudios de aportación de sedimentos, basados en los registros de las estaciones Tula y San Juan, se obtuvo un volumen de sedimentos del orden de 250 millonde m³ para un período de 100 años.

II.3 GEOLOGIA Y GEOTECNIA

El sitio de presa del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán se localiza a 400m aguas abajo de la confluencia de los ríos Tula y San Juan sobre el río Moctezuma, que forma parte de la cuenca Hidrológica del río Pánuco. Fisiográficamente el área queda ubicada en la zona limítrofe de las provincias de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico Transmexicano.

Debido a que la zona de Zimapán se ha caracterizado por su riqueza mineral, hasta antes de la iniciación de los estudios geológicos que ha llevado a cabo la Comisión Federal de Electricidad desde 1980 en los alrededores de los ríos Tula, San Juan y Moctezuma, enfocados a proyectos hidroeléctricos, la mayoría de los trabajos existentes habían sido enfocados a la minería.

Los métodos de trabajo empleados para la realización de los estudios geológicos son los convencionales. Se elaboraron con auxilio de fotografías aéreas, planos fotogeológicos, se hicieron detalles geológicos en áreas específicas, secciones para establecer controles estructurales, perforación de barrenos con recuperación integral de núcleos, practicándose en algunos casos pruebas de permeabilidad tipo Lugeon.

También se excavaron socavones en ambas márgenes del río en la zona de la boquilla, describiéndose las características de la roca en el interior del macizo rocoso, con lo que se obtuvo información acerca del fracturamiento y de la calidad de la roca. Como complemento de lo anterior, se practicaron diferentes pruebas relacionadas con la mecánica de rocas.

Parte importante de los trabajos de exploración lo constituyeron los métodos geoelectricos y geosismicos empleados en auxilio de las interpretaciones geológicas. Se practicaron en la boquilla métodos específicos como el de "Cross-Hole" para la determinación de las propiedades de la roca, así como tomografías orientadas a detectar presencia de cavernas.

Geología Regional

Los rasgos fisiográficos correspondientes a la Sierra Madre Oriental consisten en sierras altas con orientación NW-SE, formadas por rocas carbonatadas, separadas por valles amplios

desarrollados sobre lutitas y areniscas. Estos rasgos topográficos están parcialmente sepultados por rocas volcánicas, la mayoría de las cuales se presentan en su posición original de depósito y, en menor grado afectadas por fallas; este conjunto de rocas volcánicas dio origen a la topografía escalonada de la región y se considera que pertenece al extremo norte del llamado Eje Neovolcánico Transmexicano.

En la región estudiada se observa una tectónica que se desarrollo en varios eventos ocurridos desde el Jurásico Tardío hasta el Plioceno.

Regionalmente las principales formaciones que afloran en el área del proyecto incluyen a rocas marinas del Mesozoico, separadas en cuatro formaciones: Fm. Las Trancas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, Fm. El Doctor del Cretácico Inferior, Fm. Soyatal y Fm. Méndez del Cretácico Superior; de igual forma incluyen a rocas ígneas intrusivas y extrusivas, así como continentales Terciarias-Cuaternarias.

Formación Las Trancas (JT)

Esta formación está representada por una secuencia areno-calcárea en la base y por una calcáreo-arcillosa en la cima.

En la falda del cerro de Los Lirios, bajando hacia la mina El Rey, cerca del sitio de casa de máquinas, La Fm. Las trancas tiene un espesor calculado de 800m y subyace concordantemente a la Fm. El Doctor.

Formación El Doctor (KD)

Consiste esencialmente de dos facies: una potente secuencia de gruesos bancos calcáreos depositados en ambiente de plataforma y por calizas arrecifales, periarrecifales, micritas, brechas dolomíticas y dolomías y otra secuencia formada por calizas de cuenca, que se presentan en capas delgadas a medianas, con presencia de lentes y bandas de pedernal y hacia su base por calizas con delgados cuerpos de lutitas, depositados en la llamada cuenda de Zimapán.

El espesor para las facies de plataforma varía de 1500 a 2000m y para los sedimentos de cuenca, entre 300 y 1200m.

Formación Soyatal (KS)

Aflora en Sinclinatorio de Malconi, y al sur del Cañón del Infiernillo, en el área de embalse.

Se presenta con alternancia rítmica de calizas arcillosas y lutitas calcáreas en estratos de 0.10 a 0.20m de color gris, predominando la caliza en la parte inferior y la lutita en la superior, observándose ocasionalmente limolitas y delgadas capas de yeso en la cima.

Los estratos de esta formación se caracterizan por los numerosos pliegues sinsedimentarios, causados por ruptura y flujo de la roca no consolidada. Su espesor varía de 150 a 250m, el cual se adelgaza hacia el banco El Doctor, hasta casi desaparecer.

Formación Mendez (KM)

Esta compuesta por alternancia rítmica de areniscas y lutitas, predominando hacia la base las lutitas, en estratos desde laminares hasta de 0.30-0.40m, color gris verdoso; hacia la cima predominan las areniscas de grano fino a grueso, en estratos de 0.20 a 0.50m, de color gris claro, intercalados con lutitas laminares en paquetes de 0.15 a 0.20m. El espesor de la unidad es cercana a los 1000m.

Rocas Igneas

En el cerro Daxhi, al oriente del área, se clasificó un pórfido de latita y, en otras zonas, cuerpos de menor extensión fueron determinados petrográficamente como diabasa augítica y pórfido riolítico. Todas ellas se hallan en forma de stocks o diques. Asociados a las cuarzomonzonitas se encuentran sobre todo skarns y rocas silicificadas. Los diques están ampliamente distribuidos en toda el área y son de dimensiones reducidas: fueron clasificados como latita cuarcífera, riolita, latita, andesita de augita, basalto granofírico y andesita de hiperstena.

Depósitos Recientes

En general, todas estas unidades están constituidas por gravas y arenas parcialmente consolidadas y cubiertas en ocasiones por una costra de caliche. La composición de los fragmentos varía de acuerdo a la localización de los depósitos.

Los suelos residuales están formados principalmente por arcilla; al sur, por productos basálticos y al norte por disolución de caliza, dando lugar a depósitos de la llamada "Tierra Rosa".

Sismicidad

El área donde se construyó el P.H. Zimapán, de acuerdo con la Carta de Regionalización de Esteva (1970), queda ubicada en la frontera de las zonas asísmica y penesísmica.

Sin embargo, para fijar el coeficiente sísmico del proyecto se realizó un estudio de riesgo que condujera al establecimiento de dicho coeficiente. Para ello, se localizaron los epicentros en un área de 100km. de radio a partir de la cortina, correspondientes a los eventos ocurridos en el periodo 1948-1984, obteniendo una aceleración máxima de 0.014g en el sitio de la boquilla.

SISMICIDAD REGISTRADA					
FECHA	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA KM	MAGNITU D (RICHTER)	ACELERACION
14 Nov 48	20.720	99.283	67	4.5	0.009
3 Feb 49	20.117	99.283	67	4.5	0.009
11 Mar 50	20.350	98.980	67	5.0	0.014
15 Ago 56	20.117	99.833	72	4.0	0.005
14 Feb 84	20.012	99.703	77	2.4	0.001
23 Jul 84	20.040	100.010	90	2.8	0.002
21 Dic 84	20.674	99.068	43	3.4	0.002

Adicionalmete se evaluó el potencial sísmico de las principales discontinuidades mayores, concluyendose que la más peligrosa pudiera ser la Falla El Doctor, que en caso de reactivarse produciría aceleraciones máximas hasta de 0.21g. La segunda falla potencialmente

más peligrosa es la Florida, que produciría aceleraciones del orden de 0.01g en caso de reactivarse y de existir continuidad en sus segmentos oriental y occidental.

Debido a la muy escasa posibilidad de reactivación de cualquiera de las fallas geológicas mencionadas, se consideró para las obras un coeficiente sísmico de 0.10g.

Condiciones de estanqueidad en el área de la boquilla

La zona limítrofe entre los estados de Hidalgo y Querétaro, que enmarca el nacimiento del río Moctezuma a partir de la confluencia de los ríos San Juan y Tula, comprende las obras de la boquilla del P.H. Zimapán, cuyas principales excavaciones son: los empotramientos de cortina, túneles de acceso a cortina, túneles vertedores, túnel caminero de Márgen Izquierda, banco de agregados Yethay y Obra de Toma del Túnel de Conducción.

El área de la boquilla reúne condiciones litológicas y estructurales favorables para la estanqueidad del embalse, sobresaliendo los siguientes aspectos:

En el subsuelo de todo el vaso de la presa se encuentra la Fm. Soyatal que tiene características impermeables que contribuyen a su estanqueidad.

El macizo rocoso de la Fm. El Doctor presenta una topografía abrupta en la zona frontal de la boquilla, conformando el rasgo geomorfológico más sobresaliente del área, el cual efectuará la función de una auténtica barrera natural para el paso del agua del embalse hacia aguas abajo del Río Moctezuma; la única salida superficial había sido el Cañón del Infiernillo, sitio en el que se ha edificado la Cortina.

Las fallas normales Tula y Cajón, que presentan rellenos volcánicos y recristalización, son estructuras favorables que se comportarán como planos impermeables dificultando las infiltraciones hacia aguas abajo.

La márgen izquierda reúne condiciones favorables por el plegamiento suave de las calizas que en la zona frontal presentan echados hacia el embalse, además de la presencia de fallas normales del sistema Tula-Cajón que controlan la topografía abrupta del frente calcáreo.

El estudio estadístico de los ductos cársticos en el Túnel Caminero y Túnel de Acceso a Márgen Izquierda, demuestra que estos se dirigen hacia el embalse que al parecer fue el área de descarga geohidrológica subterránea.

II.4 PLANEACION DE LA CONSTRUCCION

Organización

Se ejecutó la construcción de las obras principales por contrato, mediante concursos. La Gerencia Técnica de Proyectos Hidroeléctricos, a través de la Residencia General en el sitio, realizó las actividades de planeación, supervisión y control de obra. El número de trabajadores en la obra fue de 3400, de los cuales 3150 correspondieron a contratistas y 250 a la Comisión.

infraestructura

Para facilitar los trabajos de construcción se planeó realizar la pavimentación de los caminos de acceso, sobre ambas márgenes, tanto a la Boquilla como a la Planta; por el Estado de Querétaro, se construyó el camino San Joaquín-Casa de Máquinas con una longitud aproximada de 23 km; así también se efectuó la rectificación de algunos tramos sobre los caminos y la construcción de una subestación para suministro de energía durante la construcción, el equipamiento y servicios necesarios, como campamentos y comedores entre otros.

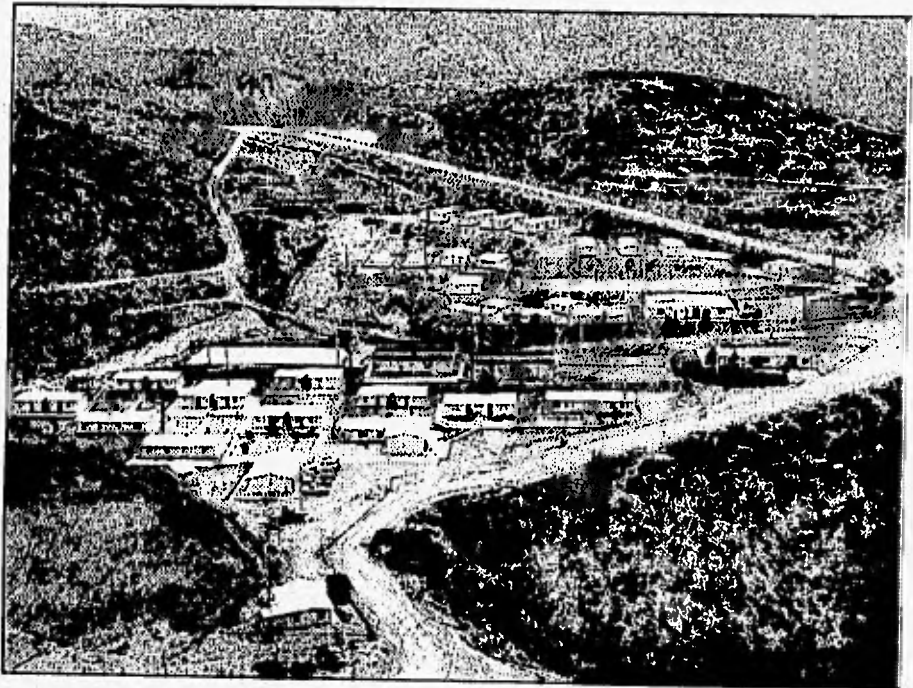
Cronograma

Las fechas más importantes dentro del cronograma de construcción consideradas tentativamente fueron las siguientes:

* Inicio de las obras de infraestructura	Abril 1989
* Inicio de la obra de desvío	Junio 1990
* Inicio de las obras de contención	Enero 1991
* Desvío del río	Abril 1991
* Inicio de fabricación de turbinas	Febrero 1992
* Inicio de fabricación de generadores	Febrero 1992
* Inicio de obras de generación	Julio 1990

- * Inicio de obras de excedencias
- * Cierre final del túnel de desvío
- * Sincronización de la primera unidad generadora

Marzo 1991
Julio 1993
Octubre 1994



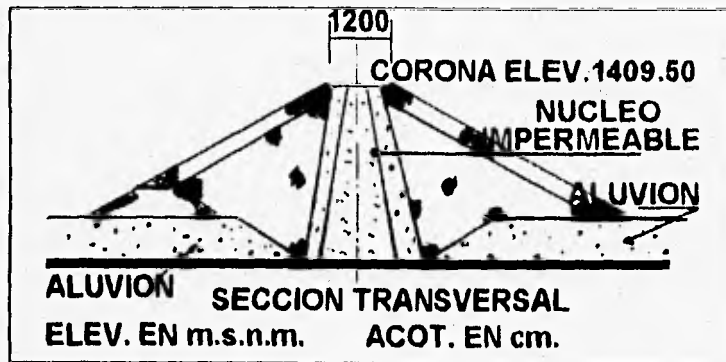
Campamento Botiña

II.5 DESCRIPCION DE LAS OBRAS

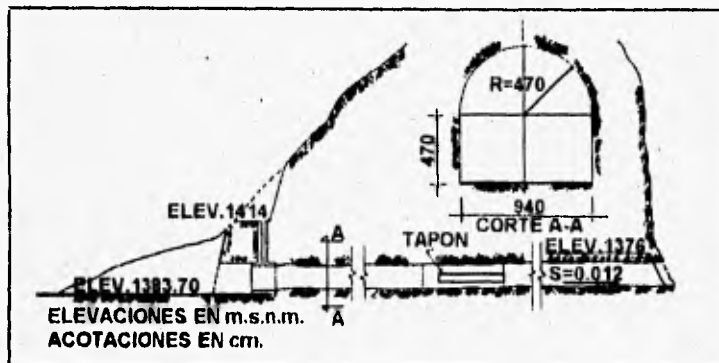
Obra de desvío

Consiste en un túnel de sección portal de 9.40x9.40 m sin revestir, localizado en la margen izquierda del río, con una longitud total de 566 m para desalojar un gasto de diseño máximo de 702 m³/seg.

El río Moctezuma se desvió el día 2 de Abril de 1991. Para esto, se construyó una ataguía de materiales graduados y corazón impermeable de arcilla, de 37.50 m de altura



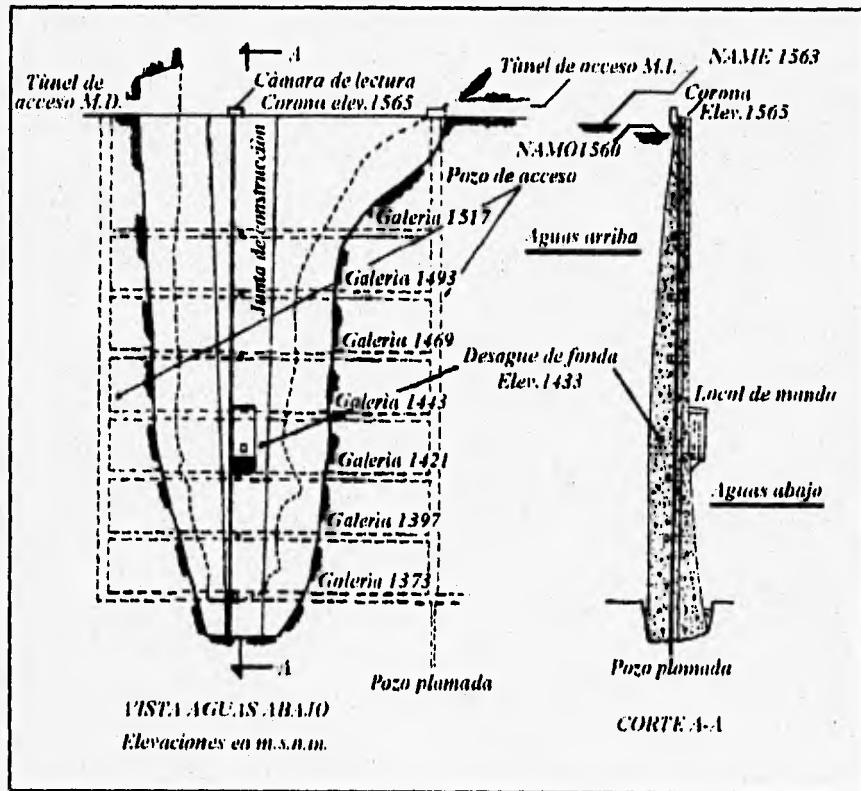
Ataguía aguas arriba



Túnel de desvío

Obra de contención

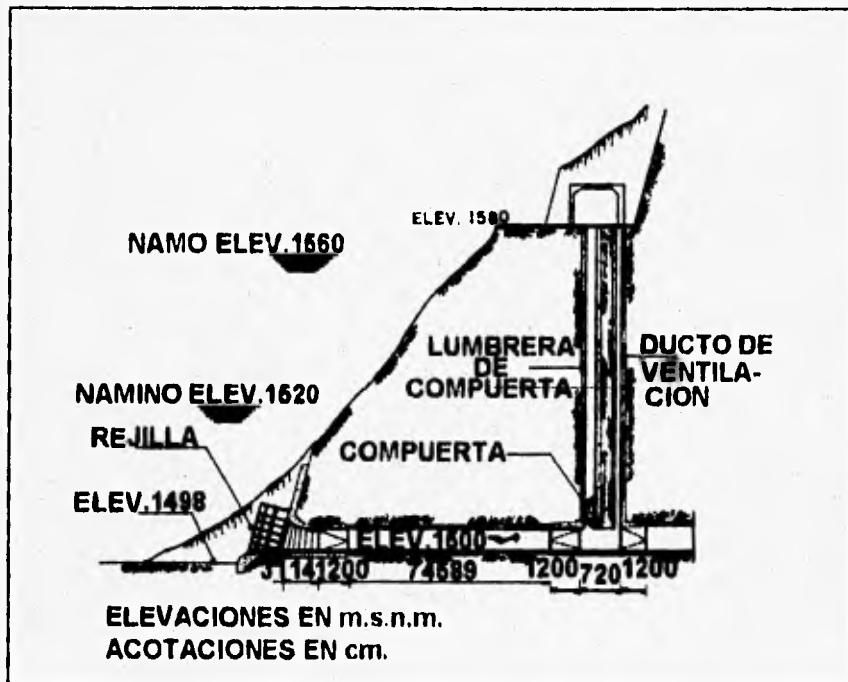
Se estudió que para esta boquilla se conjugan favorablemente las características geológicas y topográficas, de tal manera que lo hicieron ideal para planear como factible una cortina de concreto del tipo ARCO-BOVEDA. Ubicada dentro del cañón de El Infiernillo, la cortina tiene una altura desde el desplante hasta la corona de 207 m, en su base 20 m y en la corona 4 m, con un desarrollo de 130 m, llegando por dos túneles, uno en cada margen con una longitud de 1 260 m a la corona. El desplante de esta estructura se realizó el 5 de Noviembre de 1992.



Cortina tipo Arco-Bóveda

Obras de generación

El esquema adoptado es de una obra de toma tipo rampa operada por dos compuertas de 3.50 x 4.50 m para un gasto total de 59 m³/seg. La elevación del umbral es la 1500 m.s.n.m. El túnel de conducción es de sección herradura de 4.70 m de diámetro y 21.1 km de longitud. El pozo de oscilación es de 12 m de diámetro y 133 m de altura, la tubería a presión tiene un diámetro interior de 3.50 m, longitud de 1050 m y bifurcación a diámetros de 2.10 m. La Casa de Máquinas es de tipo caverna con dos unidades tipo Pelton de 146 MW de potencia cada una para aprovechar una carga de diseño de 563 m. El desfogue será un túnel de sección portal de 4.80 x 5.00 m y longitud de 330 m. Para reducir el tiempo de excavación y colado del túnel, se excavaron cinco ventanas o accesos, permitiendo atacar esta obra por diez frentes a la vez. Su excavación se terminó en mayo de 1993.

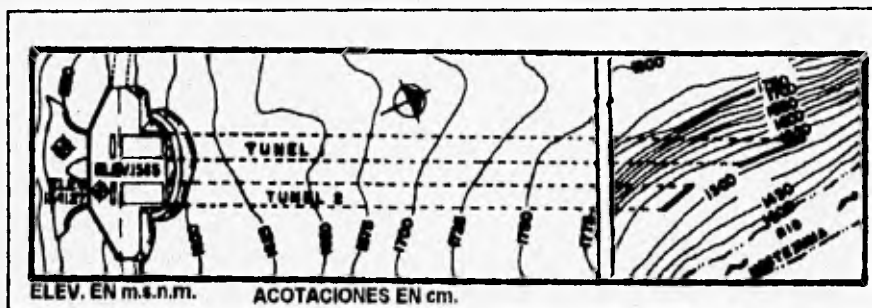


Obra de Toma

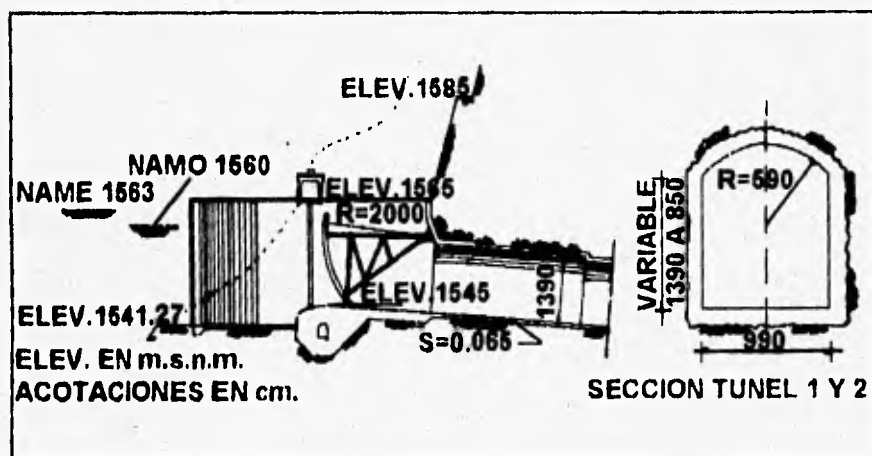
Obra de excedencias

Serán dos túneles paralelos de 9.90 m de ancho y altura variable de 8.50 a 13.90 m de sección con una longitud de 500 m cada uno. Tendrá dos compuertas radiales de 9.90 m (ancho) x 17.75 m (altura), y un radio de 20.00 m.

Los túneles fueron diseñados para transitar una avenida de $2960 \text{ m}^3/\text{seg}$ con un Tiempo de Retorno (TR) igual a 10 000 años a una velocidad máxima de 25 m/seg conservando una relación de llenado de 0.65 y un gasto de diseño de descarga de $2520 \text{ m}^3/\text{seg}$.



Vista en planta de los túneles vertedores.



Perfil longitudinal de la obra de excedencias

III. GENERALIDADES DEL TUNEL DE CONDUCCION

III.1 DESCRIPCION DEL TUNEL DE CONDUCCION

III.2 DISEÑO DEL TUNEL

III.3 CAMINOS DE ACCESO

III.4 INFRAESTRUCTURA DE VENTANAS

III.5 EXCAVACION

III.1 DESCRIPCION DEL TUNEL

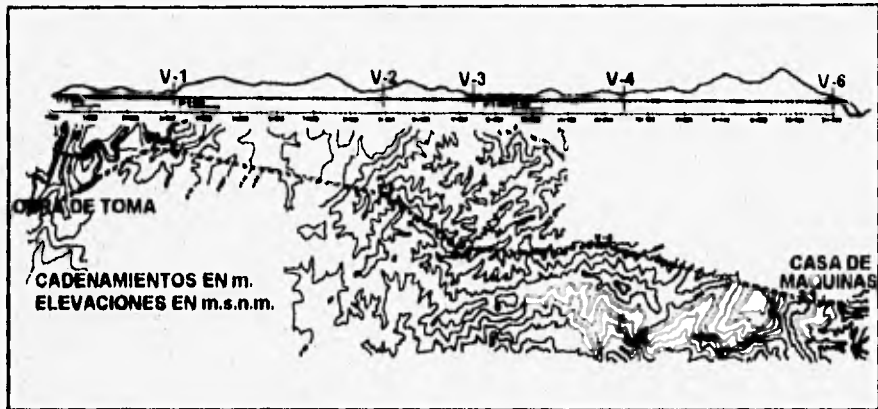
El túnel de conducción se localiza sobre la margen derecha del río Moctezuma; la Obra de Toma por donde inicia la conducción, se encuentra sobre la elevación 1499 m.s.n.m. a una distancia de 1200 m hacia el Este del cañón del infiernillo, su trayectoria está orientada de Norte-Sur. La entrada de la Obra de Toma está protegida por rejillas metálicas empotradas sobre el talud de la toma; hacia aguas abajo en el sentido del flujo, a 126 m, se localiza la compuerta de control del túnel de conducción. Las ventanas 1, 2, 3, 4 y 6 servirán para acceso al túnel durante su operación, a través de puertas previstas en los túneles crucero.

La longitud del túnel desde la Obra de Toma hasta el pozo de oscilación es de 20954 m, su sección excavada es de tipo herradura y varía de 5.10 a 5.50 m de diámetro; en algunas zonas se excavaron con sección ampliada y otras con sección tipo portal, todo el túnel tiene un diámetro terminado de 4.70 m, con espesores de concreto de proyecto a línea "A" que varían de 20 a 35 cm, los primeros 146 m, son de sección variable y corresponden a la zona de control.

El túnel fue excavado con cuatro secciones tipo, de diámetro externo variable, 15440 m con 5.10 m (73%), 538 m con 5.50 m (2.6%), 1501 m con 5.40 m (7.2%) y 2196 m con 5.25 m (1.5%), con revestimiento de concreto simple. El resto que corresponde a 1271 m (6.7%) se excavó con secciones variables para colarse una parte con acero de refuerzo.

La finalidad de este túnel es conducir, desde el vaso de almacenamiento hasta la Casa de Máquinas, el gasto requerido para la generación de energía eléctrica.

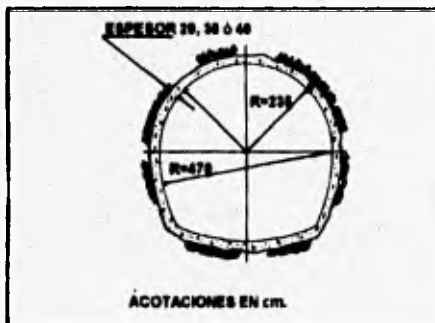
Esta estructura conecta la Obra de Toma con el pozo de oscilación a lo largo de 20947 m con una orientación aproximada Norte-Sur y cruza el distrito minero de Zimapán, Hidalgo.



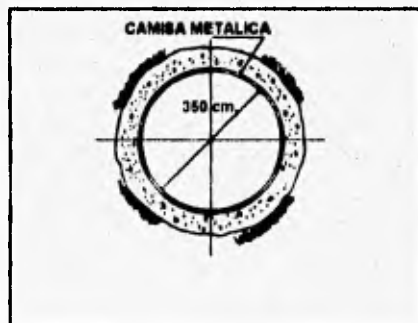
Localización del túnel de conducción

Características geométricas

La sección es de tipo herradura de 4.70 m de diámetro interior, revestido de concreto hidráulico, a lo largo de su desarrollo presenta siete deflexiones en planta y tres cambios de pendiente. La orientación y pendiente obedecen a las condiciones topográficas y geológicas prevalecientes tales como: coberturas de roca mínimas requeridas tanto verticales como horizontales, salvar condiciones geológicas adversas y facilitar la ubicación de accesos para su construcción.



Sección conducción



Tubería a presión

Secciones de excavación y revestimiento

Considerando que el túnel sería excavado prácticamente en su totalidad a través de rocas sedimentarias de buena y mediana calidad, y basándose en los procedimientos constructivos que se adoptarían se diseñaron cuatro secciones de excavación y revestimiento, enfocadas al tipo de sistema de reforzamiento que requerirían diferentes tramos.

a).- Sección tipo 1.

La sección corresponde a aquellas partes del túnel, en donde se encontró roca de buena calidad, con fracturas cerradas y limpias y/o con estratificación sin intercalaciones arcillosas y con orientación favorable. A juicio de la Residencia podría colocarse anclaje selectivo como el indicado en la sección 4.

b).- Sección tipo 2.

La sección corresponde a aquellas partes del túnel donde se encontró roca de mala calidad o fallas geológicas. El concreto lanzado y el anclaje fue selectivo a juicio de la Residencia; la utilización de marcos metálicos fue necesaria solamente de manera provisional.

c).- Sección tipo 3.

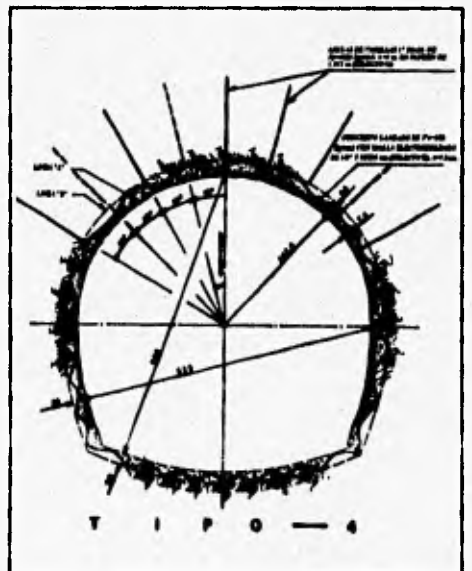
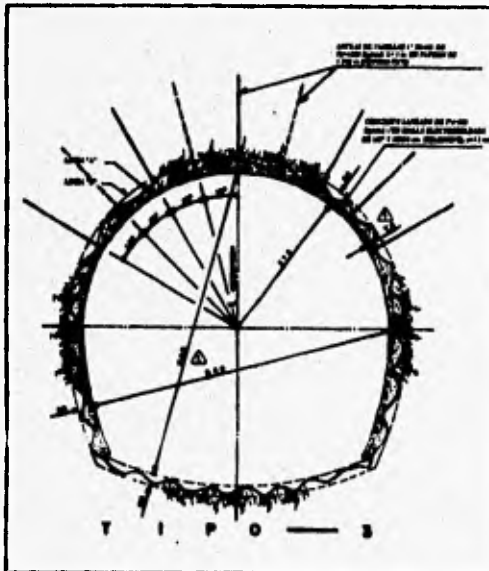
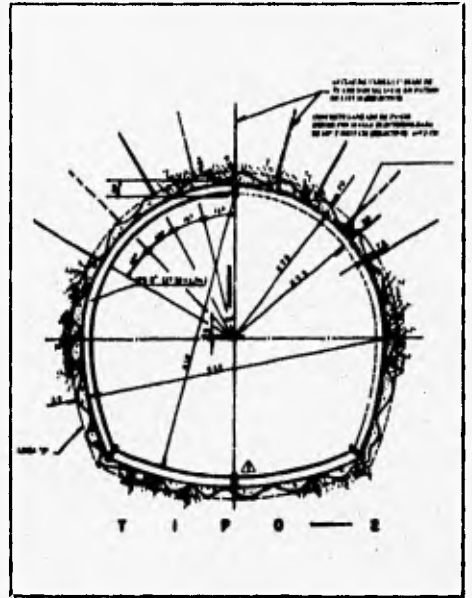
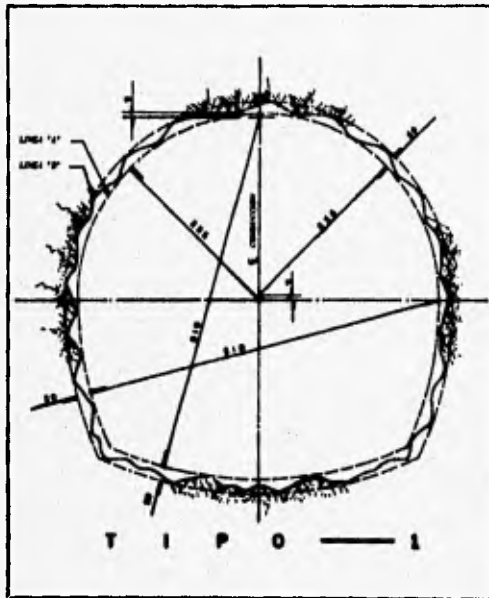
La sección corresponde a aquellas partes del túnel en donde se encontró fracturamiento espaciado definiendo bloque en combinación con estratos, fracturas y que además se tenía poca cobertura de roca. El tratamiento consistió en el anclaje indicado y concreto lanzado (ambos selectivos a juicio de la Residencia). El acero de refuerzo considerado no se utilizó en la forma selectiva.

d).- Sección tipo 4.

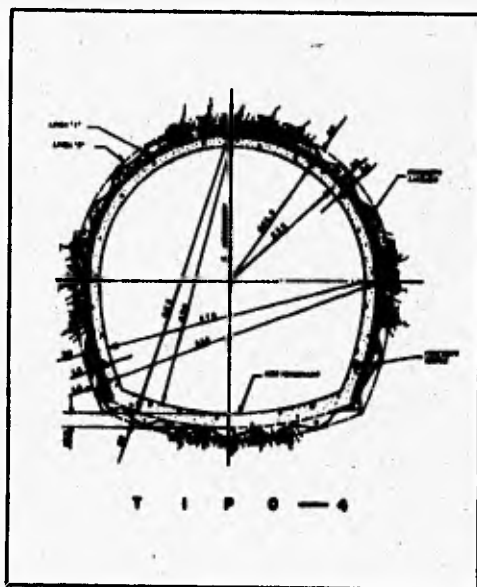
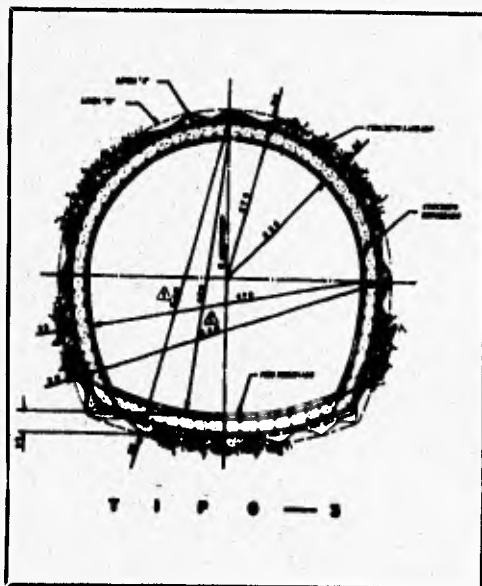
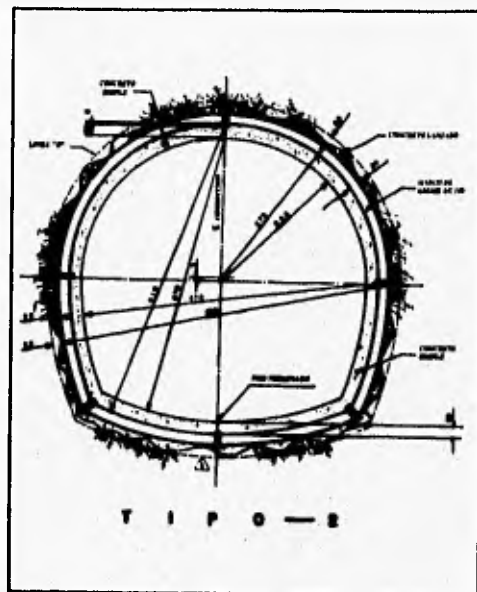
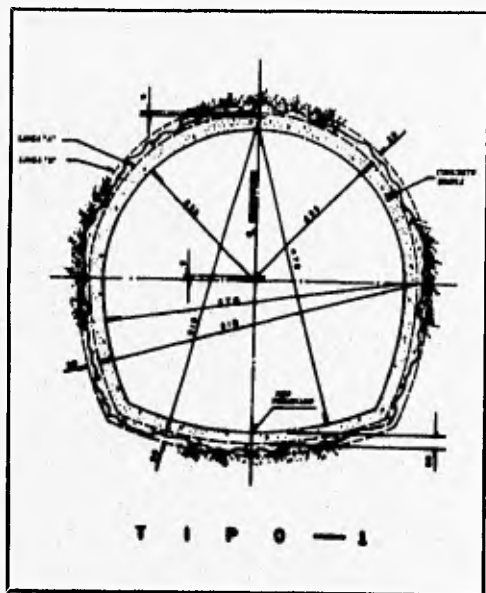
La sección corresponde a aquellas partes del túnel en donde se encontraron bloques espaciados definidos por estratos, fallas y fracturas. El tratamiento de roca fue a base de anclas y/o concreto lanzado y fue selectivo a juicio de la Residencia.

LOCALIZACION DE SECCIONES TIPO DE EXCAVACION Y REVESTIMIENTO		
TIPO DE SECCION	DIAMETRO DE EXCAVACION	CADENAMIENTOS
(1) ANCLAJE SELECTIVO, CONCRETO e=20 cm	5.10 m	0 + 500 - 1 + 350 1 + 577 - 2 + 356 2 + 402 - 2 + 480 3 + 120 - 3 + 600 4 + 000 - 4 + 320 4 + 460 - 6 + 300 6 + 400 - 6 + 500 6 + 600 - 6 + 740 14 + 380 - 17 + 450 17 + 525 - 20 + 814.8
(2) MARCOS 20 cm, CONCRETO e=20 cm	5.50 m	1 + 350 - 1 + 355 1 + 360 - 1 + 440 2 + 480 - 2 + 520 2 + 580 - 2 + 900
(3) CONCRETO ARMADO e=35 cm	5.40 m	0 + 000 - 0 + 135.65 11 + 270 - 11 + 460 12 + 540 - 12 + 720 13 + 970 - 14 + 150
(4) ANCLAJE Y CONCRETO LANZADO e=7.5 cm Y CONCRETO e=20 cm	5.25 m	2 + 900 - 3 + 120 3 + 600 - 4 + 000 4 + 320 - 4 + 460 6 + 300 - 6 + 400 6 + 500 - 6 + 600 6 + 740 - 11 + 270 11 + 460 - 12 + 540 12 + 720 - 13 + 970 14 + 150 - 14 + 380

Tabla 3.1



Secciones de excavación y tratamientos.



Secciones de revestimiento.

Secciones adicionales

En algunas zonas que representan el 4.8% de la longitud total del túnel, presentaron condiciones particulares que obligaron a una modificación en la geometría de su sección, respetando la sección hidráulica con diámetro interno de 4.70 m.

a).- La sección E5, corresponde a los primeros metros del túnel y se adoptó como una alternativa a la sección tipo 3 por su facilidad de construcción.

b).- La sección 2a, se consideró su utilización como transición en la zona de la caverna, encontrada en el tramo entre la Obra de Toma y ventana 1, para reforzar la zona adyacente con presencia de carsticidades importantes.

c).- La sección 3a, se empleó para reforzar zonas de alta densidad cárstica. El acero de refuerzo no fue utilizado en todos los casos.

d).- Las secciones E4, E1a y 3b se utilizaron en dos zonas del túnel consideradas de alta permeabilidad e incluyeron transiciones, con espesores de revestimiento variables de 35 a 140 cm. Las secciones de la tabla 3.2 se muestran en las figuras del capítulo IV.4 (Zonas de concreto armado pagina 88).

TIPO DE SECCION	DIAMETRO DE EXCAVACION	CADENAMIENTOS
E5 e=35 cm	5.10 m	0 + 135.65 - 0 + 500
2b e=40 cm	5.50 m	1 + 355 - 1 + 360 1 + 440 - 1 + 577
3a e=35 cm	5.50 m	2 + 356 - 2 + 402 2 + 520 - 2 + 580
E1a e=80 cm	5.10 m	17 + 450 - 17 + 470 17 + 505 - 17 + 525
E4 e=140 cm	5.10 m	17 + 470 - 17 + 505
3b e=35 cm	5.40 m	20 + 814.8 - 20 + 964.8

Tabla 3.2

Tapones y ventanas de acceso

En los túneles crucero que se emplearon para abrir los diferentes frentes de excavación y revestimiento, se diseñaron accesos permanentes para utilizarse durante la operación del túnel; en cada ventana se construyó un tapón de concreto de longitud variable dependiendo de la geometría del mismo túnel, dentro de este tapón queda alojado una pequeña galería de acceso permanente, de sección herradura, con una puerta estanca en la intersección con el túnel de conducción.

Líneas "A" y "B"

La línea "A" o línea de proyecto, es aquella línea considerada en el diseño del revestimiento de concreto, en donde, la línea de excavación no deberá sobresalir de la línea "A". La línea "B" o línea de pago, es la línea teórica que define las áreas con las que se estimarán las secciones de excavación y de revestimiento de concreto. La separación entre éstas líneas siempre será de 20 cm.

III.2 DISEÑO DEL TUNEL

Proyecto original

El proyecto original concursado para la excavación y revestimiento definitivo fue basado en tres diferentes secciones transversales como se indica a continuación:

- **SECCION 1.** Con revestimiento de concreto reforzado de 30 cm de espesor, se colocaría en los primeros 500 m de la conducción medidos a partir del inicio de la Obra de Toma. La sección debería soportar las cargas hidráulicas externas debidas a las posibles filtraciones que se generarían por la proximidad de este tramo con el embalse.
- **SECCION 2 Y 3.** Revestidas a base de concreto lanzado y malla electrosoldada con espesores de 15 y 10 cm , fueron asignadas, para fines de cotización, con longitudes de 7200 y 13400 m respectivamente

Las tres secciones tienen en la parte inferior una cubeta de concreto reforzado que sirve de apoyo a los concretos laterales y de la bóveda. Asimismo, la sección de excavación común para las tres, es trapecial, con ancho de, 4 m en la plantilla para luego ampliarse en su parte media a 5.45 m para la sección 1 y 5.30 m para las otras dos, complementándose en los tres casos con una sección circular en la bóveda.

Se consideraron dos opciones para llevar a cabo la excavación del túnel con 6 ventanas de acceso.

a).- Método tradicional con jumbo (barrenación, carga y voladura), el ancho de 4 m de plantilla correspondía directamente al uso de equipo para excavación subterránea. La sección hidráulica se consideró circular con las dimensiones siguientes:

- Sección 1, con diámetro de 4.85 m (concreto reforzado)
- Sección 2, con diámetro de 5.00 m (concreto lanzado)
- Sección 3, con diámetro de 5.10 m (concreto lanzado)

b).- Máquina tunelera la cuál daría una sección circular, consideró de igual forma tres secciones de excavación, revestidas a base de concreto reforzado en la cubeta y el resto de la sección de concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada. Los espesores de revestimiento y diámetros interiores son los siguientes:

- Sección 1, con espesor de 30 cm en concreto armado toda la sección, con un diámetro interior de 4.85 m correspondiente a los primeros 500 m de la conducción.
- Sección 2 y 3, revestidos con concreto lanzado y malla electrosoldada con espesores de 12.5 y 7.5 cm, concreto armado en la parte inferior de la cubeta con los mismos espesores respectivamente, con diámetro de la sección hidráulica de 4.90 y 5.00 m respectivamente.

Después de analizar las diferentes propuestas recibidas, se determinó que las ofertas con tunelera limitaban de manera importante la ejecución de la obra ante una eventual contingencia, ya que, de acuerdo con las ofertas de los contratistas correspondientes, sólo se podría contar con uno o dos frentes de ataque como máximo. De aquí que el contrato se haya asignado al consorcio Zimapán, ya que para realizar el proyecto propuso ejecutarlo mediante la aplicación del método convencional con los frentes de obra que se requerían.

Análisis hidráulicos

Las pérdidas de carga que arrojó la distribución de las tres secciones consideradas cuyas longitudes ya han sido mencionadas, resultaron del orden de 78 m. La magnitud de esta cifra fue juzgada excesiva, por lo que se tomó la decisión de modificar la geometría y características de la sección transversal del túnel tal. La sección quedó compuesta por una cubeta de concreto hidráulico en la parte inferior, complementándose hasta la bóveda con concreto lanzado. Para esta última condición, los cálculos dieron como resultado pérdidas de carga de 26.80 m. Posteriormente, el contratista propuso una modificación al diseño de la sección del túnel. Esta propuesta consistió en cambiar la sección de concreto lanzado por una de concreto hidráulico de 4.60 m o por una de 4.80 m de diámetro. Tales secciones se analizaron desde el punto de vista económico; también fue estudiada una sección adicional de 4.70 m de diámetro y con las mismas condiciones que las anteriores.

Para todos los casos se consideraron los costos asociados a la construcción, a supuestos tratamientos, y a las pérdidas de carga. Las condiciones de análisis adoptadas fueron:

TASA DE INTERES	12%
HORIZONTE DE PLANEACION	50 AÑOS
COSTO DEL KWH	\$ 141.73
PRECIOS DE CONCURSO DE	1990
RUGOSIDADES (n de Manning):	
Concreto hidráulico	0.014
Concreto lanzado	0.026
Roca	0.036

Tabla 3.3

Los resultados de los análisis efectuados se indican a continuación

ALTERNATIVA DIÁMETRO (m)	4.60	4.70	4.80	5.80
Costo de construcción	148.093	148.592	149.885	164.355
Costo de tratamientos	3.800	3.800	3.800	-
Costo const. + tratamiento	151.893	152.392	153.685	164.355
Pérdidas de carga (m)	38.00	33.90	30.28	26.80
Costo energía no generada	67.567	60.178	53.847	47.659
COSTO TOTAL	219.461	212.570	207.533	212.014

Tabla 3.4 (los costos están en miles de millones de viejos pesos)

La sección que dió un costo total menor fue la de concreto hidráulico de 4.80 m de diámetro. Sin embargo, la inversión inicial es, en forma práctica, la misma para cualquiera de las secciones formadas con concreto hidráulico.

Si se considera que el rubro referente al costo de energía no generada se recuperará durante el transcurso de los 50 años de vida útil de la planta, se puede concluir que conviene seleccionar la sección de 4.70 m de diámetro puesto que su costo inicial es menor que el de la sección de 4.80 m y su costo total es del orden del de la sección de concreto lanzado de 5.80 m de diámetro.

La propuesta del contratista respecto a no colocar concreto lanzado quedó reforzada por el Grupo Consultor ya que en opinión de ellos, a lo largo del tiempo, esta clase de revestimiento podría presentar desprendimientos de arena y finos que serían transportados hasta las turbinas ocasionando los consecuentes daños; de aquí se deduce que el túnel revestido con concreto hidráulico presentará mayor confiabilidad durante su operación.

La razón del revestimiento satisface principalmente la condición del diseño ya que el revestimiento sirve únicamente para mejorar las condiciones de rugosidad del túnel; sin embargo, la magnitud del gradiente hidráulico que ejerce presión a lo largo del mismo, impone la revisión de su comportamiento estructural y a prever una cuidadosa colocación.

Se estimó que aproximadamente el 94% de la longitud del túnel estaría revestida con concreto simple y el resto con concreto armado.

Hidrofracturación

La trayectoria definitiva del túnel de conducción requirió de la reubicación de algunos tramos que por su escasa cobertura de roca circundante en el trazo original, presentaban problemas de fracturamiento hidráulico al someter la estructura túnel-roca a las importantes presiones hidráulicas que actúan en el interior del conducto.

Para aplicar el criterio de hidrofracturación en la revisión de las coberturas de roca en el techo y los laterales de las secciones del túnel, se siguió la metodología propuesta por el Dr. Bernard Schneider, consultor de la G.I.E.Y C. Su método tiene sus fundamentos en los criterios de J. Bergh Christensen y en comparaciones estadísticas mundiales de comportamiento de túneles de gran magnitud. Para definir los límites de las zonas de hidrofracturación el Dr. Bernard, clasifica y define las tres zonas a considerar en el diseño del conducto sujeto a presión hidráulica interior, que son las siguientes:

ZONA A.- Es la de mayor importancia, dado que es en ésta donde se han originado la mayoría de los fracturamientos ocurridos en el mundo. A nivel proyecto definitivo, el límite del blindaje debe determinarse por medio de ensayos de hidrofracturación realizados en el sitio midiendo los caudales infiltrados con presiones crecientes y decrecientes.

ZONA B.- La experiencia obtenida durante la medición de la permeabilidad en la zona A, permite estimar un menor número de ensayos en la zona B, siendo más importante en ésta zona la definición del nivel freático que se obtiene por medio de sondeos piezométricos. El problema de la zona B es únicamente económico valuando el costo de la impermeabilización del conducto contra la pérdida de energía por fuga de agua.

ZONA C.- No representa ningún problema de hidrofracturación, dado que el nivel freático se localiza por encima del nivel piezométrico en el conducto.

Sobre éstas bases, el Dr. Schneider recomendó que los valores de cobertura de roca considerados en el diseño del túnel de conducción del proyecto fueran 0.8 veces la carga dinámica del agua para la cobertura vertical y 2 veces dicha carga para la horizontal. En zonas del túnel donde se considere que las coberturas son escasas o están al límite de los valores, se debe realizar pruebas de permeabilidad, ya que de existir fisuras en la roca éstas podrían abrirse y formar fracturas que ocasionen el colapso.

Lineamientos generales para el diseño del revestimiento

Todo el túnel estará revestido con concreto hidráulico, sin embargo existirán dos clases de concreto: simple y reforzado. El concreto simple será colocado en un espesor de 20 cm y no tendrá ninguna función estructural. Para el diseño del revestimiento de concreto reforzado se planteó el siguiente criterio que considera las condiciones de carga debidas a presión interior y exterior.

a).- Generalidades

El modelo de análisis debe considerar que la roca contribuye para resistir las acciones de las cargas. Para valorar los módulos de elasticidad de cada tramo se consideraron los resultados de los ensayos de Geofísica del tipo Petite Sismique recomendados por el Dr. Schneider. Para el diseño del revestimiento se descuenta la proporción con que participa la roca y se aplica la recomendación del Grupo Consultor de limitar el ancho de la grieta a un máximo de 0.2 mm.

b).- Zonas cársticas

El espesor del revestimiento propuesto fue de 35 cm y su diseño se realiza de acuerdo con lo indicado en el inciso precedente.

c).- Zonas con filtraciones

En los casos de tramos sujetos a presión exterior debido a filtraciones se consideró un espesor mínimo de 35 cm estimando un máximo de hasta 65 cm. El diseño se realizaría según se estableció en el punto a).

d).- Zonas con estructuras geológicas

Donde existiera esta condición (cambios de formación, fracturamientos abiertos, etc.) se colocará un espesor mínimo de revestimiento de 35 cm. Aquí se previó la posible acción de presión exterior originada por carga de roca. Los límites de los tramos para cada espesor de revestimiento se determinarían a través de inspecciones directas en campo definiendo posteriormente en gabinete, los valores de módulos estáticos a utilizar.

III.3 CAMINOS DE ACCESO

La gran extensión del túnel de conducción el cual cruza por una fisiografía de altas montañas, con laderas y cañadas con pendientes muy grandes, planteó siempre una problemática difícil la construcción de los caminos de acceso a los diferentes frentes de construcción.

Los caminos de acceso que conducirían a los túneles crucero o ventanas, fueron en un principio: V1, V3, V4, y V6; posteriormente se agregaron la Obra de Toma y V2.

Las construcciones se realizaron de la siguiente manera:

ACCESO	LONGITUD (m)	PERIODO DE EJECUCION
Obra de Toma	300	Agosto/91
V1	2106	14 Jul. 90 - 07 Oct. 90
V2	2995	01 May. 91 - 22 Oct. 90
V3	5800	14 Ago. 90 - 12 Nov. 90
V4	7960 y 5280	01 Ene. 91 - 01 Jun. 91
V6	840	01 Abr. 91 - 31 Jun. 91

Tabla 3.5

Los caminos de acceso partieron de un camino de terracería de la ciudad de Zimapán al sitio de boquilla. La longitud total planeada de oferta fue de 21 km y la longitud real ejecutada fue de 26.2 km.

a).- Camino de acceso V1

Este fue el primer acceso en construirse el 14 de Julio. Su fecha reprogramada era el 01 de Junio de 1990, iniciándose con 43 días de retraso. La longitud de oferta fue de 3500 m, construyéndose solo 2106 m beneficiando la terminación por la reducción.

b).- Camino de acceso V3

La construcción del acceso que se denominó "por abajo", con un desarrollo de 8000m aproximado, se inició el 14 de Agosto de 1990 suspendiéndose el 04 de Octubre del mismo año, debido a que las expectativas para terminarlo se salían de programa, por lo cual se decidió aprovechar la construcción del camino de la línea de transmisión lo que reduciría la fecha de llegada al portal (V3); el desarrollo de este camino denominado "por arriba" fue de 2600 m, el cual inició el 05 de Octubre y se terminó el 12 de Noviembre de 1990. Posteriormente se concluyó el acceso denominado "por abajo".

c).- Camino de acceso a V2

Se aprovechó el acceso construido en un principio para llegar a la V3, el cual fue suspendido temporalmente denominado por la contratista alternativa No. 1 (camino por abajo), la longitud de este camino es de 2515 m desde el entronque del camino Zimapán- Boquilla (ya existente), al portal de entrada.

d).- Camino de acceso a V4

El programa para este camino fue de Noviembre de 1990 a enero del 91, se inició el 01 de enero y se concluyó el 01 de Junio de 1991, con 4 meses posteriores a lo programado; para llegar a este frente se construyó un camino de 3030 m y se mejoraron 4930 m. Dadas las fuertes pendientes y lo prolongado de este camino, se construyó otro denominado "por abajo" de 5280 m con pendientes mas suaves y menor longitud que entronca con el camino a V3.

III.4 INFRAESTRUCTURA DE VENTANAS

Los procedimientos de construcción adoptados por la contratista obligaron a la terminación de plataformas exteriores en cada ventana, equipadas con las instalaciones requeridas para dar servicio a los equipos al interior del túnel, patios de almacenamiento, planta de concreto, oficinas, comedores, así como para maniobras en general.

Los trabajos de conformación de las plataformas de instalaciones comenzaron simultáneamente a los trabajos de emportalamiento de las ventanas y conforme se fue avanzando en la construcción del túnel, se fueron adecuando las instalaciones hasta su arreglo final.

Plataforma de instalaciones en V1

a).- Instalaciones de vías

Del portal de entrada del túnel de acceso, se ramifica hasta el taller, hacia la planta de concretos y hacia la zona de tiro de rezaga. La vía se construyó de 1 m de ancho apoyados los rieles en durmientes de madera y/o metálicos.

b).- Drenaje

Por la cercanía del portal a un arroyo, fue necesario construir un canal revestido de aproximadamente 100 m de longitud para desviar el cauce. Además de esta obra, se construyeron canales de menor tamaño para desagüe del agua industrial proveniente del túnel y para la adaptación de las aguas pluviales.

c).- Taller mecánico y eléctrico

Consta de una nave construida a base de marcos metálico y forrada de lámina en el techo y parcialmente en los costados. La vía entra al taller donde se localiza una fosa para reparación y mantenimiento de equipos.



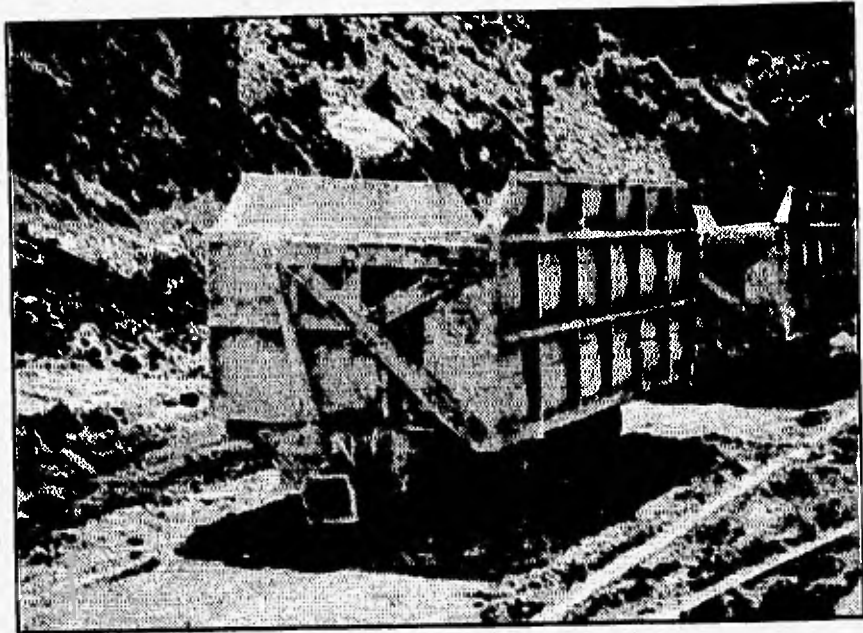
Taller en ventana I

d).- Planta de concreto

En esta área se contó con las tolvas, básculas, mezcladores y silos de cemento que conforman la planta. Se contó además con una extensa área para patio de agregados protegidas con muros de gaviones para evitar contaminaciones. La planta de concreto tiene una capacidad de 35 m³/hr.

e).- Tiro de rezaga

El material producto de las excavaciones retirado del túnel por medio de vagonetas era depositado en esta zona. Las vagonetas se descargaban lateralmente con ayuda de un equipo volteador instalado en la zona. La rezaga se removía hacia la cañada con un tractor sobre orugas.



Vagoneta de 6 m³

f).- Equipos

Para dar servicio al interior del túnel se contó en la plataforma con dos compresores de 600 pcm de capacidad, tanque para aire comprimido, tanque de agua industrial de 18,000 litros de capacidad. La captación del agua se realizó del río Moctezuma a través de un cárcamo de bombeo y una conducción de 300m aproximadamente con tubería de 3 pulgadas de diámetro. Ventiladores para mantener la calidad del aire en el interior del túnel. Una planta generadora de emergencia. Además, equipo y herramienta menores utilizadas en los talleres. Subestación eléctrica para el control y suministro de las ventanas.

g).- Oficina de campo y bodegas

Se construyeron oficinas de campo para personal administrativo de la contratista, y para la supervisión, así como un laboratorio de campo, para el control de calidad del concreto. Se contó con pequeñas bodegas para resguardar herramientas, refacciones, material eléctrico, etc.

h).- Otras instalaciones

A 500 m aproximadamente del portal de entrada del túnel de acceso fue construida una plataforma para helipuerto. Cerca del inicio del camino de acceso a la ventana, fue construido el polvorín para resguardo de explosivos.

Plataforma de instalaciones en ventanas V2, V3 y V4

Las instalaciones que fue necesario ejecutar en estas ventanas son similares a las ejecutadas en ventana V1 con algunas variantes:

a).- Ventana V2

Por la fuerte pendiente del túnel de conducción en los frentes de esta ventana no fueron utilizados equipos sobre rieles; no se instaló planta de concreto, únicamente se instaló una olla revolvedora y tolva para utilizarlas durante la etapa de reposición de roca en piso.

b).- Ventana V4

Al igual que la ventana V2, no se instaló planta de concreto completa, solamente se colocó una olla revolvedora y tolvas utilizadas durante la reposición de roca en piso.

c).- Obra de Toma.

debido a su cercanía con las obras de infraestructura del sector de la boquilla, además de no utilizarse equipos sobre rieles, prácticamente no contó con instalaciones propias, con excepción del equipo de ventilación y de aire comprimido.

III.5 EXCAVACION

Procedimiento de excavación de los túneles crucero

Una vez que los caminos de acceso llegaron a las ventanas se procedió a la construcción de los patios de instalaciones, zonas de tiro y emportalamiento de los túneles crucero. La excavación de estos túneles fue de la forma siguiente:

FRENTE	LONGITUD (m)	PERIODO DE EJECUCION
V1	303	26 Oct. 90 - 19 Feb. 91
V2	584	30 May. 91 - 07 Dic. 91
V3	380	12 Nov. 90 - 16 Jun. 91
V4	522	16 Jun. 91 - 01 Oct. 91
V6	264	01 Abr. 91 - 31 Jul. 91

Tabla 3.6

a).- Excavación a cielo abierto y emportalamiento

Para garantizar la cobertura mínima de techo de roca se realizaron en los sitios donde quedaría la posición definitiva de cada portal, las excavaciones a cielo abierto necesarias realizadas con voladuras controladas. En los taludes frontales fue necesario proteger el talud con malla electrosoldada fijadas con anclas de 1.5 m de profundidad en los casos de V2 y V3. En caso de la V1 y V4 no fue necesario este tratamiento de estabilización.

Para realizar el emportalamiento de las ventanas V1, V2 y V3 fue necesario avanzar a media sección o con un túnel piloto en los primeros 10 m y posteriormente ampliar la sección a su geometría definitiva. En cada portal se construyó un túnel falso formado por marcos de perfil I de acero estructural embebidos en un arco de concreto hidráulico.

b).- Excavación de los túneles

Utilizando el método tradicional con uso de los explosivos, iniciaron las excavaciones utilizando perforadoras de pierna para la barrenación y voladuras controladas; conforme se fue disponiendo en los distintos frentes de los Jumbos de barrenación se emplearon estos.

c).- Tratamientos

Además de los túneles falsos en los portales de las ventanas conforme avanzaron las excavaciones en algunos tramos se presentaron problemas de estabilidad, principalmente en los frentes de V1 y V3; la contratista eligió la aplicación de concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada y colocación de anclas de 3.0 m de longitud para reforzar los tramos.

Procedimiento de excavación del túnel de conducción

a).- Ciclos de excavación.

El procedimiento de excavación se componía de un ciclo con las etapas siguientes: trazo, barrenación, carga de explosivos, voladuras, ventilación, amacise y rezaga. Dependiendo de las condiciones de la roca, el ciclo podía contemplar tratamientos. El bombeo no se incluyó dentro del ciclo debido al poco caudal de filtraciones. Simultáneamente a estas etapas se realizaban otras operaciones como, la prolongación de las tuberías de aire comprimido, agua industrial y drenaje, ducto de ventilación e instalaciones eléctricas de fuerza e iluminación; cuando las condiciones de la roca lo permitían se realizaban los tratamientos, simultáneamente dentro de las etapas del ciclo.

Todos los frentes de excavación presentaron condiciones distintas en cuanto a características geológicas, por lo que las operaciones del ciclo tuvieron algunas variantes.

1.- Trazo.

Para realizarlo de manera ágil se contaba con el apoyo de un rayo láser, con el cual se precisaba el alineamiento horizontal y vertical del túnel y servía de base para el trazo de la plantilla de barrenación para el frente de ataque. Este equipo se tenía instalado a una distancia máxima de 500 m del frente colocado sobre el lado izquierdo de la sección, con una altura de 1.30 m y sobre el nivel medio de la sección. Todos los frentes contaron con este sistema.

2.- Barrenación.

Se utilizaron Jumbos de barrenación electrohidráulicos de tres brazos, montados sobre rieles en los casos de las ventanas V1, V3, V4 y V6 ; y sobre neumáticos en V2 y Obra de Toma. La barrenación se realizó en profundidades de 3.20 m únicamente en V1-V2 y de 3.80 m cuando las condiciones geológicas lo permitían. El diámetro de las brocas de carburo de tungsteno redondeadas de 6 a 8 botones y con uno o dos orificios para inyectar el agua, de 1 7/8" para barrenos cargados y de 2 1/2" a 4" para barrenos vacíos.

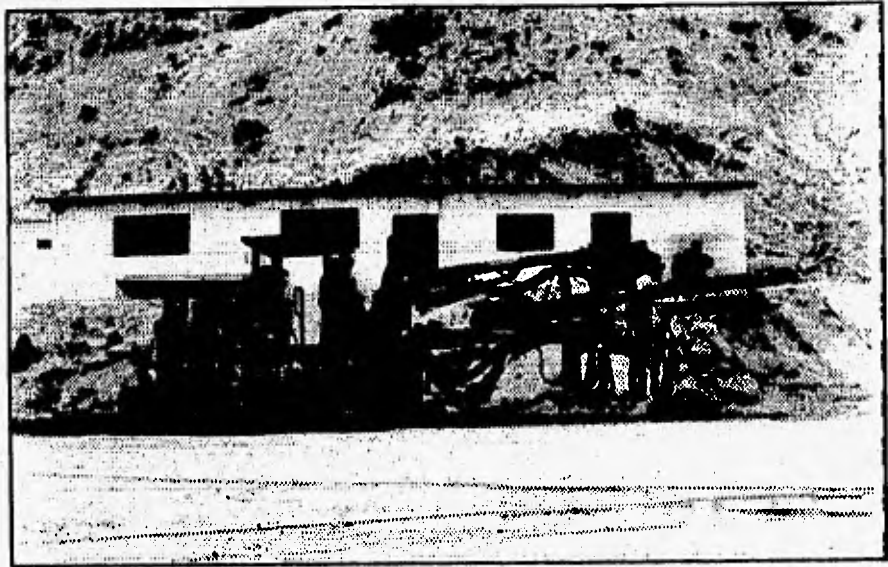


Figura 3.8: Jumbo electrohidráulico

3.- Carga y conexión.

Se utilizó explosivo Hidrogel (explosivo licuado) de 1 1/2" x 16" y 1" x 39", Tovex T-1 y Tovex 700, suministrado en bombillos con bolsas de tubo flexible de polietileno; un sistema de detonación con iniciadores de retardo no eléctricos (Nonel) de milisegundos (MS) y de período largo (PL); cordón detonante primacord y E-Cord y mecha de seguridad.

Previo al cargado se realiza el sopleteo de los barrenos para recibir el explosivo y limpieza por medios manuales para la carga de los barrenos inferiores.

El procedimiento para la carga consistió en la preparación del cebo, introducción del iniciador Nonel en el bombillo de fondo y de la carga total del barreno con ayuda de faineros, y la colocación del taco (de cartón). Cargados todos los barrenos se conectaban los Nonel al cordón detonante y este a su vez a la mecha de seguridad.

4.- Voladura.

Terminada la carga se retiraba los explosivos sobrantes, instalaciones como mangueras, tuberías, reflectores, herramientas, Jumbo de barrenación, y personal para proceder a realizar la voladura. La mecha se dejaba con una longitud tal que permitiera el retiro del personal a nichos localizados a lo largo del túnel y de ser posible hasta el exterior.

5.- Ventilación.

Se utilizó un sistema de inyección de aire para los gases producto de la voladura. La inyección se realizaba a través de las ventanas de acceso, con equipos independientes por tramo en todos los casos instalados en el portal de entrada y cuando fue necesario se instalaron equipos intermedios. Dentro del ciclo de excavación, esta etapa consistió únicamente en la espera de que el frente de ataque se despejara para continuar con la siguiente operación.

6.- Amacise.

Esta actividad se realizaba con agua a presión y con herramienta manual, después de cada voladura y antes del inicio de la rezaga.

7.- Rezaga.

Esta etapa fue la que presentó mayores variantes en cada frente de trabajo; en los frentes en donde se contó con equipo sobre rieles se utilizó una rezagadora eléctrica que cargaba trenes de 6 vagonetas de 6 m³ de capacidad.

En los frentes más largos V1-V2 y V4-V6 se instaló un sistema de vía desplazable denominado cambio "california", con desplazamiento electrohidráulico, donde se pudiera realizar las operaciones de espera y maniobras hasta de 15 vagonetas para su retiro al exterior. En los frentes V1-O.T., V2-V3, y V4-V6 se utilizaron cambios de vía (escapes) de 30 m de longitud, ubicados a cada 500 m del túnel. En los frentes de la O.T. y V2 el sistema de rezagado fue con cargadores sobre neumáticos de 6 a 12 m³ de capacidad. Para las maniobras de los camiones fue necesario excavar nichos de maniobras a cada 500 m.

8.- Tratamientos de roca durante la excavación.

Consistieron en el empleo del concreto lanzado en espesores de 4 a 7.5 cm simple o reforzado con malla y anclajes de fricción de 3 a 4 m de longitud con varillas de acero de 1" de diámetro. La aplicación de estos tratamientos se realizó de manera sistemática o selectiva según las condiciones del frente. Influyó en la duración del ciclo cuando éstos eran intensos.

9.- Plantillas de barrenación y carga.

El método de ataque fue a sección completa y se utilizó la barrenación horizontal con voladuras controladas con post-corte perimetral. Las cargas específicas varían de 1.65 a 2.01 kg/m³, dependiendo de la competencia mecánica de la roca excavada.

b).- Instalaciones en el interior del túnel

Para llevar a cabo las diferentes actividades que conforman el ciclo de excavación, fue necesario llevar siempre cercano al frente de ataque las líneas para alimentación de equipos y servicios, los cuales se dispusieron según las condiciones de los trabajos y geometría del túnel, lo más funcional posible, para dejar libre el tránsito de los equipos.

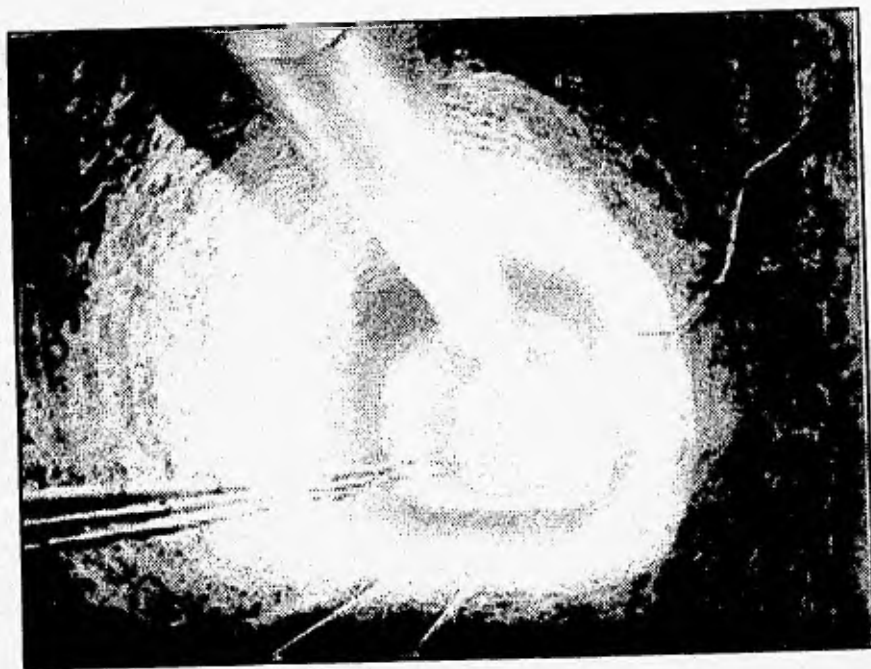
1.- Instalación para aire comprimido, agua industrial y desagüe

Sobre la tabla derecha de la sección, se colocaron anclas de varilla para alojar tres líneas paralelas de 6", 3" y 2" de diámetro para abastecimiento de aire comprimido, agua industrial y drenaje, respectivamente

2.- Instalaciones eléctricas

Para la alimentación de equipos eléctricos e iluminación se empotraron sobre la tabla izquierda, bastidores fijados con anclas a cada 7 m. Se tenían 4 cables, 3 con fases de 110 V cada una y uno más de aterrizaje de donde se conectaban focos de 200 W y 220 V.

Para la alta tensión, se tendió un cable de 6600 V, a una longitud máxima de 500 m del frente se instalaron los transformadores para bajar la potencia a 440 V ubicados en nichos previamente excavados.



Instalaciones en el túnel

3.- Instalación de vía

Se instaló al centro del túnel; para maniobrar y dar paso en sentidos opuestos, se utilizaron dos sistemas: laderos o escapes y el sistema californiano. El ancho de vía es de 1 m, utilizándose en dos tipos: con durmientes metálicos y de madera, colocados en tramos de 6 a 8 m apoyadas sobre un colchón de rezaga para mantener su alineamiento y nivelación. Los escapes o laderos se colocaron a cada 500 m con una longitud de 30 m suficientes para librar trenes de 15 tolvas de rezaga completo. El sistema californiano consiste en un doble cambio de vía que se monta sobre la vía principal por la que se desplaza hacia el frente, con un sistema propio de autopropulsión de gatos hidráulicos con avances en cada acción de 1 m. La longitud total de este cambio es de 150 m y se mantiene constantemente cerca del frente hasta una distancia máxima de 150 m.

4.- Ducto de ventilación

Siendo un sistema de inyección de aire el utilizado para ventilar el túnel a lo largo de toda la longitud, hubo la necesidad de instalar conforme avanzaba la excavación un ducto flexible en diámetros que variaron de 0.90 a 1.40 m, fijándose en la bóveda del túnel con cable y anclas cortas. Hubo necesidad de colocar ventiladores intermedios con tubería metálica junto a ellos para evitar efectos de supresiones sobre la tubería flexible.

IV. REVESTIMIENTO

IV.1 PROPUESTA INICIAL

IV.2 PROCEDIMIENTO REAL

IV.3 RECURSOS DE MANO DE OBRA Y EQUIPOS

IV.4 PROBLEMATICA DE CONSTRUCCION

IV.1 PROPUESTA INICIAL

La propuesta inicial para el revestimiento del túnel, formulada por la contratista, consistió en lo siguiente:

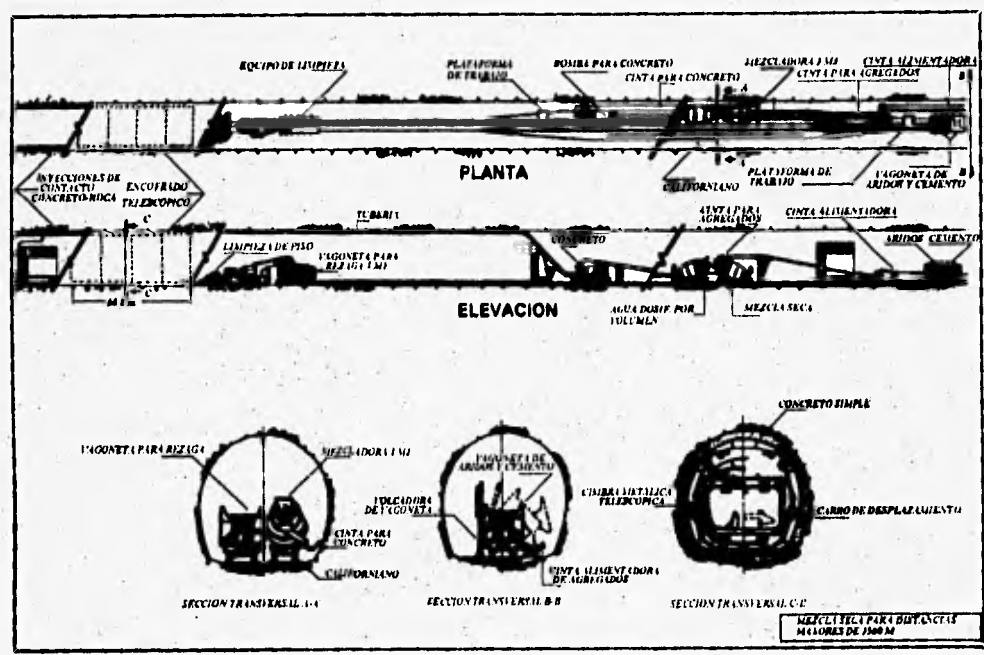
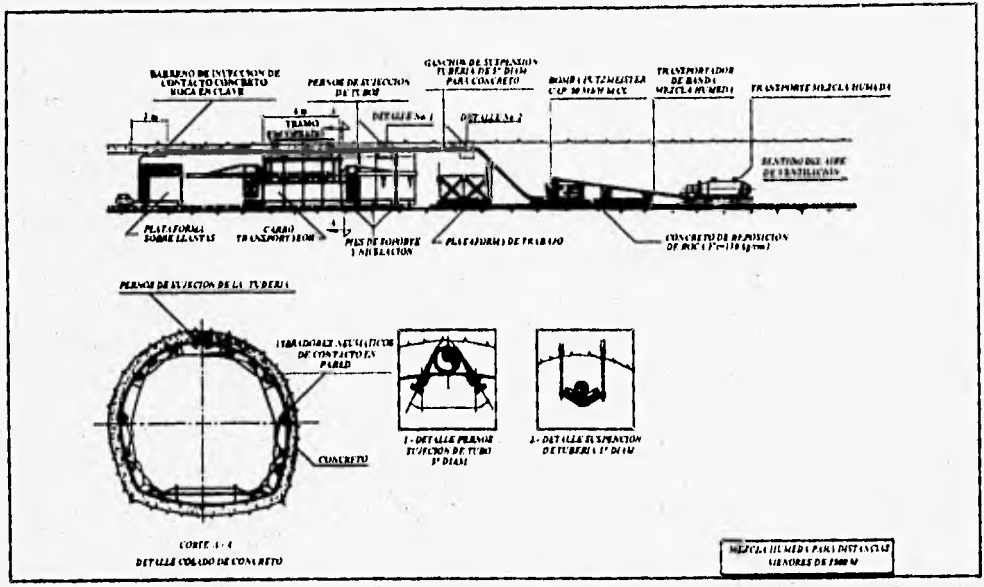
a).- Para distancias menores de 3500 m desde el frente a la planta de concreto se utilizará mezcla húmeda, sin necesidad de instalar un tren de colado. Este procedimiento se describe mas adelante ya que no se modificó con la metodología real de revestimiento.

b).- Para colados del túnel a distancias mayores de 3500 m desde el frente previsto a la planta de concreto, se utilizaría mezcla seca.

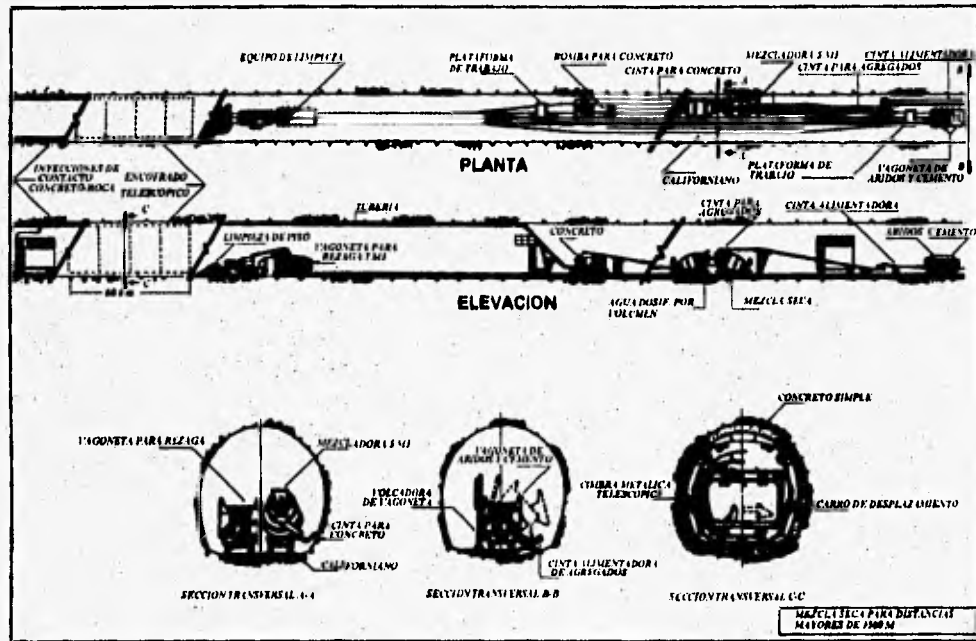
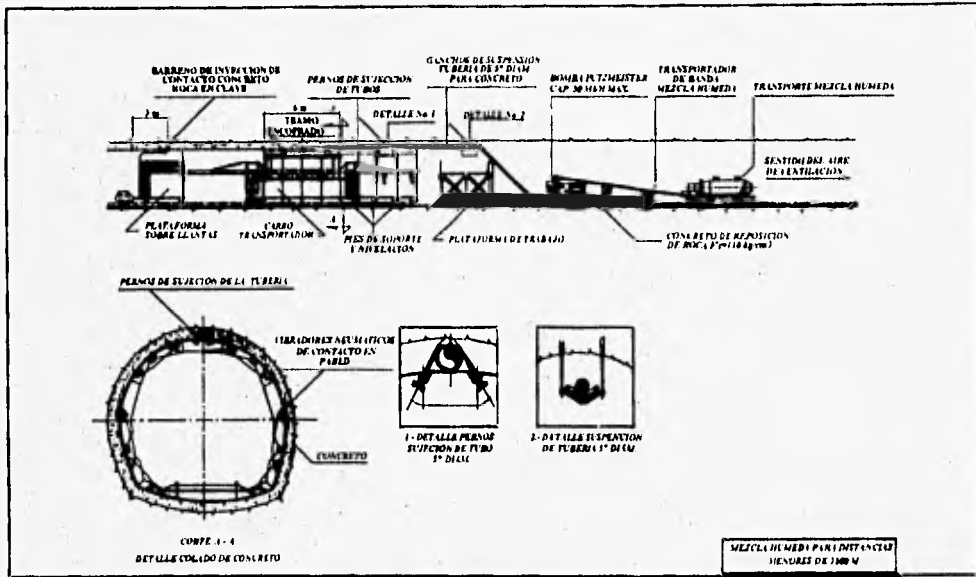
Se instalaría en el interior del túnel un tren de colado para la elaboración de concreto en el frente. Este conjunto de equipos se instala arriba de un cambio california, manteniendo el acceso al frente para permitir la limpieza contemporánea del colado y la posibilidad de ejecutar trabajos de reposición de roca en piso en caso de presentarse sobreexcavaciones considerables.

La disposición del tren de colado que se utilizaría, consta de tolvas para el transporte de cemento y agregados, que estos a su vez alimentan por medio de una banda transportadora a dos mezcladoras de 5 m³ y las mezcladoras a su vez a la bomba de concreto por medio de otra banda transportadora, la bomba colocaría el concreto en la bóveda del túnel a una distancia promedio de 120 a 140 m, ya que adelante de la bomba, estaría la rezagadora y las tolvas retirando la rezaga producto de la limpieza del piso; en esta misma acción se retiraría la vía; posterior a la limpieza se volvería a colocar la vía apoyada sobre la superficie irregular del piso para el deslizamiento de la cimbra.

Por recomendaciones del grupo consultor, se considera que mediante el uso de aditivos retardantes de fraguado no es necesario usar la mezcla seca. Uno de los inconvenientes de esta es que durante el tiempo de transporte inicia la reacción entre el agua, los agregados y el cemento, por lo que al agregar el agua de diseño la reacción ya ha progresado en un porcentaje desconocido; la consecuencia era de un concreto de mala calidad y con resistencias erráticas. Por experiencia del grupo en otros proyectos indica lo inconveniente que es la mezcla seca y que mediante el uso controlado de aditivos, es posible retardar el fraguado por mas de 1 hora; por lo cual se determinó anular esta alternativa.



Procedimientos de construcción: mezcla seca y mezcla húmeda.



Procedimientos de construcción: mezcla seca y mezcla húmeda.

IV.2 PROCEDIMIENTO REAL

Reposición de roca en piso

Concluida la excavación y previo al colado se procede a una serie de trabajos preliminares para garantizar una mejor realización de actividades antes de ser instalada la cimbra de colado continuo. Los trabajos se desarrollan como se indica a continuación:

a).- Se realiza un control topográfico para garantizar la sección mínima requerida a línea "A", en todo el tramo interesado y en el caso de detectarse subexcavaciones, se procede a las correcciones (peines) en forma oportuna, efectuándose, los de mayor volumen con Jumbo y los menores con perforadoras manuales. El retiro de los peines es a base de barrenación corta, carga y voladura del tramo a colar durante un período determinado.

b).- Al término de la excavación se procede a la limpieza del piso, realizándose con una máquina rezagadora, acompañada de la acción de un chiflón de agua y aire; en los casos donde la calidad de la roca es mala (zonas con alto grado de fracturamiento e intercalación de arcilla) después del retiro grueso de rezaga, se reduce a un sopleteo mínimo retirando manualmente el material suelto. La vía se va retirando conforme avanza esta actividad.

c).- El colado de la plantilla a base de concreto hidráulico simple con $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, se realiza en las tres formas siguientes:

1.- A base de concreto bombeado.

Se preparan tramos de 80 a 90 m lineales, instalándose la bomba y tubería (en piezas de 3 m) a lo largo de todo el tramo, de tal forma que la bomba quede instalada en el lado opuesto de donde se inicia el colado. Conforme se avanza en el colado, se va preparando el tramo siguiente. El acarreo del concreto se realiza desde la planta al sitio del colado, con transportadores conocidos como Mixers o carros Moran con capacidad de 7 m^3 nominal, cargados a 5 m^3 . Este sistema de colado se llevó a cabo en el tramo Caverna-VI (cad. 1+500 al 3+050).

2.- Colados a tiro directo con transporte tipo volteo utilizando camiones de bajo perfil.

Se realiza previamente la limpieza del piso en toda la longitud considerado para este sistema. Se reciben los tramos, de 80 a 90 m, perfectamente lavados, sopleteados y sin acumulamiento de agua.

Al término del colado, se da un tiempo de fraguado al concreto de 8 horas, de tal manera que permita el paso del equipo de transporte para el siguiente tramo a colar. El sentido del colado es en forma contraria al sistema anterior (de afuera hacia adentro), hasta cerrar la longitud total prevista del frente. Los frentes efectuados con este sistema fueron: O.T-Caverna, V2-V1 (cad. 8+720 al 6+870), V2-V3, V3-V2, V4-V3 Y V4-V6 (cad. 15+200 al 18+000). El equipo de transporte es por medio de Normet operando con 3 m³ de concreto, ocupándose 3 unidades por frente. Para el frente V2-V1, dada la dificultad de la pendiente del acceso (15%), el transporte del concreto fue con 3 camiones de volteo de 5 m³ de capacidad por unidad, cargados con 2 m³ solamente.

3.- Colados a tiro directo con equipo sobre vía.

Los frentes que utilizaron este sistema fueron los siguientes: V1-V2 (cad. 3+100 al 6+870) y V6-V4 (cad. 20+900 al 18+000). El procedimiento es el siguiente:

- Retiro de rezaga y vía férrea de tramos cortos (100 a 150 m).
- Posteriormente se realiza la limpieza de la zona con chiflón de agua y aire, para garantizar una buena adherencia entre la roca y el concreto.
- Se instala nuevamente la vía férrea perfectamente alineada y nivelada, ya que quedará embebida en el concreto de reposición.
- El transporte y vaciado se realiza con 3 Mixer o carros Morán, operando con 5 m³ de concreto por unidad.
- El sentido del colado es de manera continua, ya que no se requiere tiempo de fraguado, debido a que el equipo de transporte pasa por la vía sin afectar al concreto cuando aún está fresco. La vía se apoya sobre durmientes metálicos, varillas o pedazos de riel y estos a su vez sobre la roca.
- Cuando se termina el colado del tramo en cuestión (100 a 150 m), se prepara el siguiente de la misma manera.

Concluida la reposición de roca se procede a la recolocación de la vía, en los tramos colados mediante los primeros dos sistemas mencionados, con la precisión suficiente para garantizar un buen tránsito de los trenes durante el revestimiento definitivo.

Apoyos para el revestimiento

a).- Plantas para la producción de concreto

Las plantas para la producción de concreto del revestimiento definitivo se ubicaron, en la zona de boquilla, V1, V3 y V6.

1.- Zona de boquilla (CIFA).

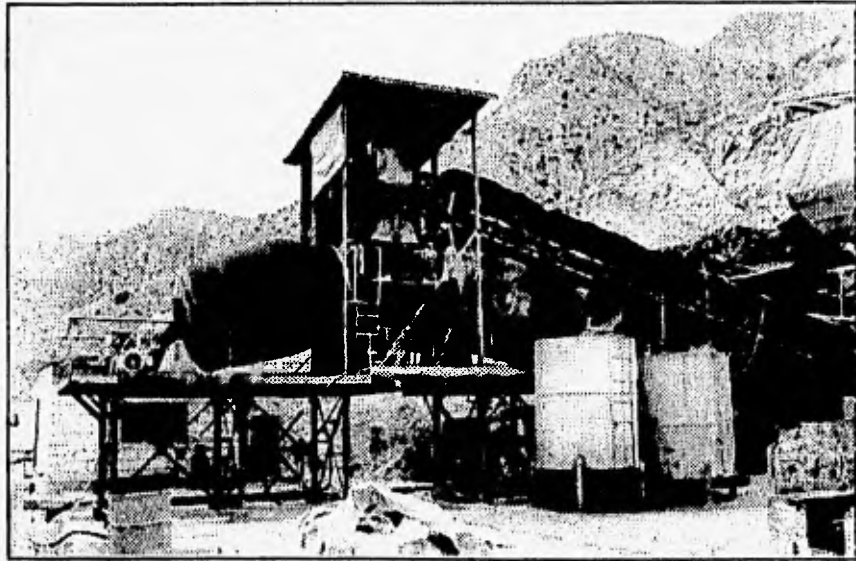
Su producción se canalizó para las obras de la cortina, vertedor del túnel de desvío, obra de toma y los primeros 500 m del túnel de conducción; adicionalmente se requirió para los concretos de soporte definitivo de la caverna, reposición de roca en piso en los primeros 1500 m, así como una parte de los primeros 300 m de la zona armada.

2.- Plantas de ventana 1 y ventana 3.

Son de iguales características, diseñadas para una producción de concreto de 35 m³/hr, su dosificación es en forma manual, cuenta con dos mezcladores de eje horizontal con capacidad de 6 yd³ por cada unidad, montados sobre pórticos, tiene una banda transportadora, básculas para el cemento y agregados, dosificador de aditivos, hidrómetro electrónico, tres tolvas para agregados de 18 m³ (c/u) y 3 silos para el almacenamiento a granel del cemento de 30, 50 y 450 toneladas. No contaron con dispositivos para la dosificación de hielo, cuando se requirió se realizó manualmente por peso, haciendo los ajustes con el agua de mezclado.

3.- Planta de ventana 6.

Cubre los requisitos de igual forma que las plantas anteriores, cuenta con dispositivos propios para la fabricación y dosificación del hielo en escamas. Abastece al frente V4-V6, tubería de presión y pozo de oscilación.



Planta de concreto en ventana 3

Para la verificación del buen funcionamiento de las plantas, los dispositivos de medición se calibran cada 15 días como máximo, además de su programa de mantenimiento respectivo. La tolerancia de precisión para los dispositivos de medición corresponden a las especificaciones técnicas de esta obra, siendo ésta del 2 por ciento.

b).- Materiales para la producción del concreto

1.- Agregados.

Fueron procesados en la planta CIFA, obtenidos de la pedrera denominada "Yethay". En este sitio se controla la producción y calidad de acuerdo a lo especificado por ASTM C-33. La producción generada en este banco, cubrió las necesidades de la zona de boquilla y túnel de conducción. Para el revestimiento del tramo V4-V6, el suministro fue por V6 y los agregados fueron extraídos en forma natural, obtenidos del arroyo Tolimán, procesados y clasificados en Casa de Máquinas.

2.- Cemento.

El cemento autorizado y requerido por las especificaciones dadas para el túnel fue el Portland-Puzolana tipo IP, utilizado en el concreto lanzado y reposición de roca en piso (Caverna-V1). Este tipo de cemento fue sustituido para el revestimiento del túnel por cemento Cruz Azul tipo IIP, de bajo contenido de alcális procedente de Jasso Hidalgo. La justificación de este cambio se debió a la alta reacción de alcális-agregados procedentes del banco Yethay con el cemento tipo IP. En el caso del tramo V4-V6 colado por casa de Máquinas, se conservó el mismo tipo de cemento ya que los agregados extraídos del arroyo Tolimán no sufrían esta reacción. El transporte y almacenamiento del cemento en sacos y a granel se recibieron en la planta CIFA. La calidad la aprobaba la GIEYC desde la planta cementera.

El cemento a granel es almacenado en silos herméticos de 800 toneladas de capacidad, a partir de los cuales se expidió a las plantas instaladas en VI y V3.

3.- Agua.

El agua autorizada por GIEYC para la producción de concretos es la procedente del río Moctezuma, al cumplir con un máximo de 1000 p.p.m. de contenido de sulfatos, 600 de cloruros y 2000 de sólidos disueltos. Se rechazó el agua procedente de los abrevaderos y escurrimientos naturales cercanos a las ventanas 2 y 3, por su alta concentración de alcális, mayor de 1000 p.p.m.(partes por millón). Para la boquilla se obtenía del río San Juan y para las ventanas 1 y 3 del río Moctezuma, a través de captaciones previamente preparadas. Para el frente V4-V2, el suministro se realizó por V4, de los escurrimientos naturales del río Moctezuma, reforzando el suministro a V3 con pipas, procedente de boquilla. Para el frente O.T.-V2 el suministro fue de la captación del río Moctezuma desde VI. Se reforzó el suministro a VI por pipas procedente de boquilla.

4.- Aditivos.

Los aditivos para el uso de mezclas, fueron aprobados en fábrica por GIEYC, mediante análisis y estudios propios según la presentación de lotes por parte de la contratista, cumpliendo con la norma ASTM C-494. Los aditivos requeridos son los siguientes:

- Pozzolith 322-R.- Reductor de agua, retardante de fraguado.
- MB-VR.- Includor de aire.
- Rheobuild XA-3520.- Superfluidificante (importado).

Para el curado del concreto en lo correspondiente al revestimiento, se utilizó Curaquim E Blanco (membrana), aprobada por GIEYC.

c).- Concretos

Se consideran tres tipos de concreto: masivo, espesor mayor de 100 cm, semi-masivo, entre 60 a 100 cm y normal, menor de 60 cm. Cuando por efectos de sobreexcavación u otra causa el espesor previsto aumenta, el concreto se considera como semi-masivo o masivo según sea el caso. Las resistencias consideradas a utilizarse son:

- * Concreto simple o reforzado de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ para reposición de roca en piso.
- * Concreto simple o reforzado de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ para el revestimiento definitivo.
- * Concreto o mortero lanzado de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ para tratamientos.

La temperatura de las diferentes mezclas de concreto, no deberán exceder los valores mostrados en la tabla siguiente:

Tipo de concreto	Espesor (cm)	Temp. en planta (°C)	Temp. al colar (°C)
Masivo	>100	20	23
Semi-masivo	60-100	23	26
Normal	<60	28	31

Tabla 4.1

La dosificación básica de la mezcla de concreto especificada es la siguiente:

DOSIFICACION 1		
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento	Kg/m ³	320
Arena	Kg/m ³	745
Grava	Kg/m ³	1170
Agua	Lt/m ³	180
Aditivo	c.c./Kg de cemento	3
Revenimiento	cm	10-12

Tabla 4.2

Esta dosificación se ajusta posteriormente de acuerdo al diseño real indicadas por el proyecto y para cada frente de trabajo, que a continuación mencionamos:

1.- Caverna.

Para la construcción de los muros de protección, el concreto de $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$, se colocó con bomba,teniendo la siguiente dosificación autorizada:

DOSIFICACION 2		
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento	Kg/m ³	280
Arena	Kg/m ³	898
Grava 3/4"	Kg/m ³	898
Agua	Lt/m ³	171
Aditivos:		
Pozzolith 322-R	Lt/m ³	1.12
MB-VR	Lt/m ³	0.112

Tabla 4.3

Sin embargo, la cantidad de cemento real utilizado es de 300 kg/m^3 para asegurar la bombeabilidad, quedando el excedente a cargo de la contratista.

2.- Caverna - Obra de Toma.

Para el revestimiento de la sección con concreto reforzado se autorizó la ejecución en tres etapas que son:

- * Colado de piso hasta el nivel de la cubeta con cercha.
- * Colado de muros.
- * Colado de bóveda.

El concreto utilizado en éstas etapas es la autorizada con 280 kg/m³ de cemento para T.M.A. de 1 1/2" y 300 kg/m³ de cemento para T.M.A. de 3/4" con las siguientes dosificaciones:

DOSIFICACION (No.,TMA)		3 , 3/4"	4 , 1 1/2"	5 , 1 1/2"
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
Cemento	Kg/m ³	300	280	300
Arena	Kg/m ³	849	836	870
Grava 3/4"	Kg/m ³	1000	664	693
Grava 1 1/2"	Kg/m ³	-	358	372
Agua	Lt/m ³	156	154	152
Aditivos:				
XA-3520	Lt/m ³	3.6	3.36	3.36
322-R	Lt/m ³	0.6	0.56	0.56

Tabla 4.4

Los colados de relleno en la parte superior se realizaron con concretos de 300 kg/m³ de cemento para T.M.A. de 1 1/2" y f'c=250 kg/cm² en la zona de caverna.

3.- Caverna - Ventana I.

Se realiza el primer colado a cimbra parada, vaciando el concreto por las ventanas de inspección en los laterales. La mezcla utilizada es la indicada en la dosificación 2, incrementándose de 4 a 6 c.c./kg de cemento de aditivo Pozzoloth 322-R. Posteriormente, se acepta el incremento a 300 kg/m³ de cemento, para el mismo T.M.A. durante el llenado de la cubeta y la clave armada.

Para el colado en forma continua, se inició con una mezcla de 320 kg/m³ de cemento y T.M.A. de 3/4" con los aditivos Pozzoloth 322-R y MB-VR en cantidades de 4 c.c. y 0.6 c.c. por kg de cemento respectivamente.

DOSIFICACION (No. , TMA.)		6 , 3/4"	7 , 1 1/2"
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
Cemento	Kg/m ³	320	280
Arena	Kg/m ³	837	870
Grava 3/4"	Kg/m ³	1023	693
Grava 1 1/2"	Kg/m ³	-	372
Agua	Lt/m ³	163	152
Aditivos:			
XA-3520	Lt/m ³	3.2	3.36
322-R	Lt/m ³	0.9	0.56

Tabla 4.5

Posteriormente se modifica ésta mezcla por las dosificaciones 3 y 4 hasta la terminación del frente de obra.

4.- Ventana 2 - Ventana I.

Se aumenta la carga de los carros transportadores de 5 a 6 m³. Se continúa el colado con la dosificación 4 hasta la terminación del frente.

5.- Ventana 2 - Ventana 3.

Se inicia el revestimiento a cimbra parada con taponés en los extremos y con un consumo de cemento de 320 kg/m^3 y T.M.A. de $3/4''$ (dosificación 6), siendo el autorizado de 280 kg/m^3 para el mismo T.M.A. .

Durante los primeros colados a cimbra en movimiento, se analizaron las dosificaciones 3 y 6 a fin de comparar el manejo y comportamiento de las mismas. Terminadas las pruebas, se concluye que la mezcla 3 reúne los requisitos de bombeabilidad, trabajabilidad, tiempo de fraguado y desarrollo de resistencias, por lo cual el colado de todo el frente se realiza con ésta dosificación.

6.- Ventana 4 - Ventana 3.

La mezcla utilizada es la autorizada por Control de Calidad usando 280 kg/m^3 con T.M.A. de $1 \ 1/2''$, cambiando la relación de gravas y arena.

Se tuvieron problemas en el bombeo de ésta mezcla debido a la segregación causada durante el transporte y almacenamiento del agregado de $3/4''$, presentando contaminación por subtamaño en ocasiones mayores del 100% ; por lo que se autoriza incrementar el consumo de cemento hasta 20 kg/m^3 en tanto se agote el material almacenado en patio.

Posteriormente se decide mantener el incremento anterior para todos los frentes de obra por concluir (V4-V3, V4-V6, V2-V1, O.T.-V1), bajo el argumento de tener mejores rendimientos de bombeo, incremento de velocidad en los colados, mejor acabado del concreto y disminución de reparaciones, terminando los colados con la dosificación 5.

Procedimiento del colado de la sección

Acabados los trabajos de reposición de roca en piso y asegurada la geometría del túnel, el colado se desarrolla de acuerdo al siguiente procedimiento:

a).- Limpieza.

Consiste en el retiro de rezaga, lavado y sopleteo de la zona por colar, y retiro de vía férrea y durmientes en los tramos donde la vía no quedó embebida en el concreto de reposición.

b).- Cimbrado.

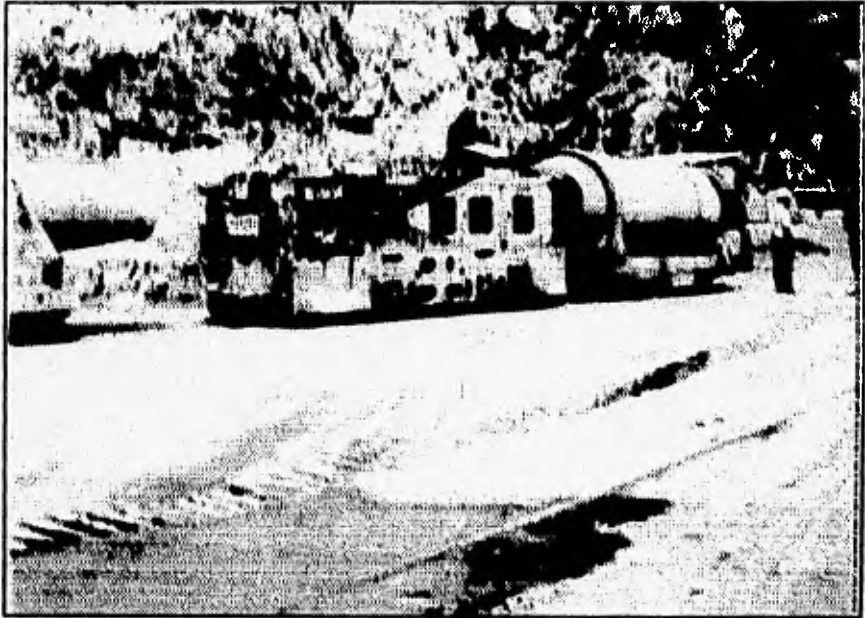
Se realiza la instalación del encofrado metálico (cimbra telescópica) de 66 m, compuesta por 11 módulos y 12 invert ambos de 6 m de longitud cada uno, un carro transportador para el movimiento de los módulos y 11 carros desplazables a lo largo del invert para el acabado en la zona central del piso. Además, cuenta con un gran número de vibradores de contacto (70-80 piezas), distribuidas de tal forma que garantizan la buena compactación y vibradores de inmersión (manuales) de 3" de diámetro que son utilizados en las partes laterales de la sección y en la zona de piso. El control topográfico se lleva a cabo durante el movimiento de cada módulo, para evitar la acumulación progresiva de errores en alineamiento y tolerancias.



Cimbrado de la sección

c).- Transporte del concreto.

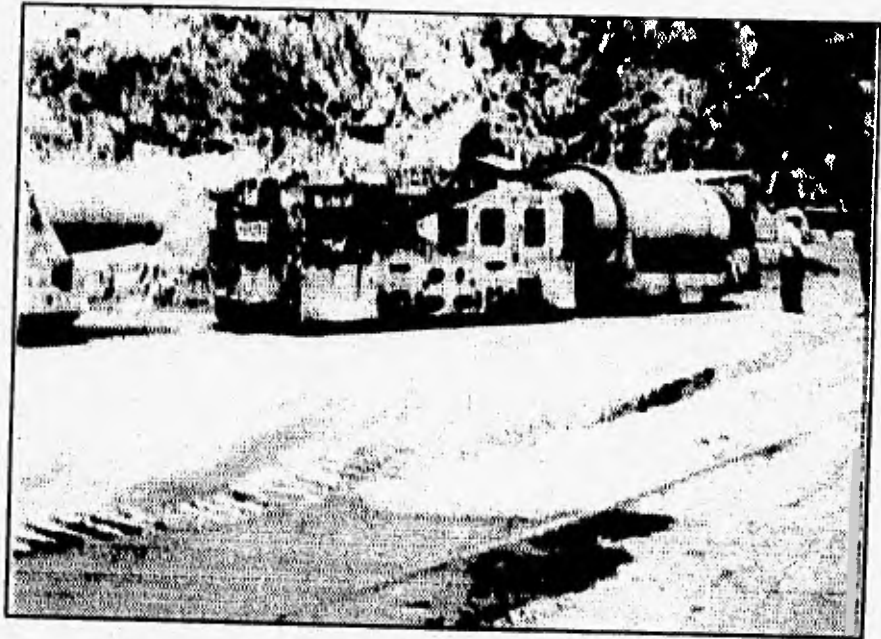
Se utilizan carros Moran o Mixer de 7 m³ de capacidad (5 unidades por frente). Se cuida que: el tiempo de traslado no exceda las 2 horas estipuladas entre fabricación y colocación y se realice, al llegar al sitio del colado, la homogenización del concreto durante 4 minutos. Homogenizado el concreto, se obtiene el revenimiento para determinar si cumple con lo especificado (12 + - 2 cm) y así proceder a su colocación.



Mixers o Carro Morán de 7 m³ acoplado a una locomotora.

c).- Transporte del concreto.

Se utilizan carros Moran o Mixer de 7 m³ de capacidad (5 unidades por frente). Se cuida que: el tiempo de traslado no exceda las 2 horas estipuladas entre fabricación y colocación y se realice, al llegar al sitio del colado, la homogenización del concreto durante 4 minutos. Homogenizado el concreto, se obtiene el revenimiento para determinar si cumple con lo especificado (12 + - 2 cm) y así proceder a su colocación.

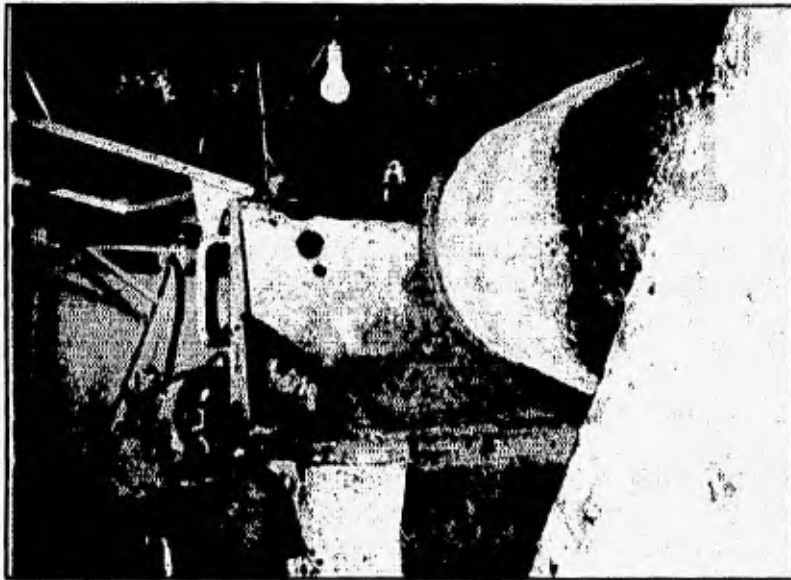


Mixers o Carro Morán de 7 m³ acoplado a una locomotora.

d).- Colocación y vibrado del concreto

Se procede a bombear el concreto en la bóveda del túnel y con los vibradores de contacto e inmersión se distribuye por gravedad en toda la sección. Para el llenado de la bóveda, en zonas con poca sobreexcavación, el tubo de alimentación del bombeo se mantiene ahogado en el concreto por lo menos 2 m, evitando así la segregación; pero, en zonas sobreexcavadas, el tubo se mantiene separado entre 50 a 60 cm del concreto, cañoneando y vibrando a cada 2 o 3 pistoneos de la bomba, distribuyendo el concreto por las partes laterales y el centro de la sección. A fin de evitar la formación de taludes largos del concreto durante el proceso de llenado de los módulos, se coloca retenes de malla desplegable sostenidas con varillas (1" de diámetro) en las partes laterales y centro(abajo) del invert, controlando de ésta manera un talud de 12 m en promedio siendo idóneo para el llenado de la cubeta y bóveda.

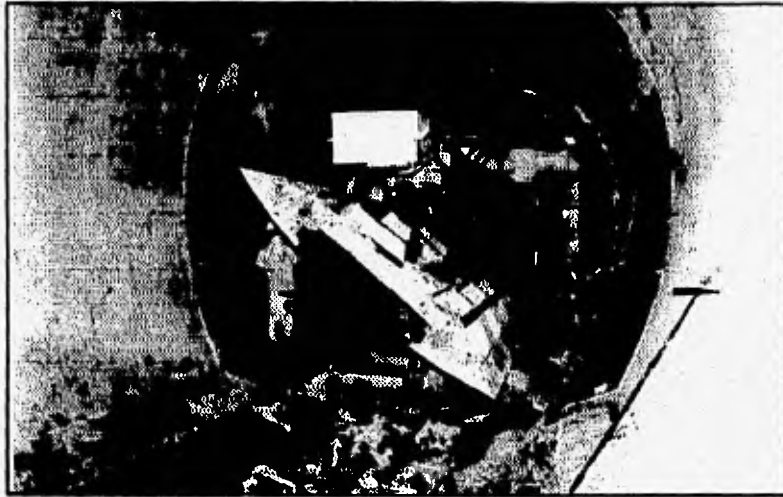
La cimbra metálica está dotada de ventanillas de inspección por las cuales se interviene para asegurar la correcta distribución del concreto. El concreto es bombeado de una distancia de 60 a 80 m con bomba sobre ruedas Schwing modelo Bp2000-2012HDE, que le dio continuidad al colado.



Descarga y bombeo del concreto.

e).- Descimbrado

El descimbrado se efectúa cuando el concreto alcanza una resistencia mínima de $f'c=25$ kg/cm²; esto es, ajustando la mezcla con la inclusión de aditivo retardante (322-R) y fluidificante (XA-3520) se determinó un tiempo de 12 horas, a fin de optimizar el rendimiento de la cimbra y disponer de más tiempo para una correcta instalación y alineación de la siguiente cimbra (módulo).



Descimbrado y curado de la sección.

f).- Curado.

El curado del concreto se realiza cuando el fraguado inicia en la zona de la cubeta e inmediatamente después del descimbrado de los módulos. Se aplica por aspersión en toda la superficie expuesta una membrana de curado (Curaquim E Blanco), humedeciéndose antes con agua el área mencionada. Puede efectuarse con agua manteniendo húmedo el concreto durante 7 días como mínimo, operación muy dificultosa en túnel.

g).- Juntas de construcción.

Durante la suspensión e inicio de un colado, se efectúa el tratamiento "dental" de la junta de construcción, de manera que los agregados quedan expuestos para recibir el siguiente colado, con chiflón de agua-aire cuando el concreto tiene ya cierta resistencia mecánica.

Ciclos de colado

Para efectos de programa, se considera la siguiente producción prevista por cimbra:
Avance promedio: $880 \text{ m/mes} = 440 \text{ m/ncena} = 40 \text{ m/día}$. Considerando 20 horas de trabajo, se obtiene: $40/20 = 2 \text{ m/hora}$ de avance efectivo de concreto ($10 \text{ m}^3/\text{m}$ de concreto), incluyendo la reposición de roca en piso y el relleno de nichos. Al ejecutarse éstos trabajos en forma independiente, el volumen de concreto se reduce a $8.5 \text{ m}^3/\text{m}$ de túnel. Considerando ésta producción se previó garantizar una colocación promedio de $8.5 \text{ m}^3/\text{m} \times 2 \text{ m/hora} = 17 \text{ m}^3/\text{hora}$. Los ciclos de colado para distancias de planta al sitio de colocación son: para distancias de 6000 m (frentes V4-V6 y V2-V1), que es la mayor longitud a verificarse y para distancias cortas de 3000 m aproximadamente (frentes O.T.-V1, V2-V3, y V4-V3).

a).- Ciclo de colado para distancias de 6000 m

- 1.- Carga de mixer de 6 m^3 con la planta de $30 \text{ m}^3/\text{hora}$: $(6/30) \times 60 = 12 \text{ min}$.
- 2.- Traslado desde la planta al sitio de colocación a una velocidad promedio de 10 km/hora : $(6000/10000) \times 60 = 36 \text{ min}$.
- 3.- Descarga y bombeo. Comprende las maniobras y 10 minutos de bombeo efectivo, trabajando la bomba a $40 \text{ m}^3/\text{hora} = 20 \text{ min}$.
- 4.- Regreso a la planta = 36 min .
- 5.- Tiempo total del ciclo = 104 min .

Considerando los $17 \text{ m}^3/\text{hora}$ de concreto a colocar, se infiere que se necesitan: $(104 \times 17/6)/60 = 4.9 = 5 \text{ trenes}$.

b).- Ciclo de colado para distancias de 3000 m

- 1.- Carga de mixer de 6 m^3 con la planta de $30 \text{ m}^3/\text{hora}$: $(6/30) \times 60 = 12 \text{ min}$.
- 2.- Traslado desde la planta al sitio de colocación a una velocidad promedio de 10 km/hora : $(3000/10000) \times 60 = 18 \text{ min}$.
- 3.- Descarga y bombeo = 20 min .
- 4.- Regreso a la planta = 18 min .
- 5.- Tiempo total del ciclo = 68 min .

Por lo tanto se infiere que se necesitan: $(68 \times 17/60) \times 60 = 3.2 = 4 \text{ trenes}$.

Reparaciones al concreto

Posterior al revestimiento definitivo del túnel, se realizaron las reparaciones del concreto dañado, después de haber concluido los tratamientos de inyección. Se procede al acabado de las superficies de concreto de acuerdo a las siguientes reparaciones:

a).- Juntas de construcción

Se determina una junta de construcción, cuando la unión de dos concretos diferentes en tiempo de colocación, no presentan una buena liga de integración, quedando marcado con segregación la separación de las dos capas de concreto. Para su reparación se realiza lo siguiente:

- 1.- Delimitar la zona afectada cortando el concreto con disco a una profundidad aproximada de 3 a 4 cm.
- 2.- Retirar todo el concreto atorado hasta encontrar concreto sano, tratando de mantener el perfilamiento original.
- 3.- Limpiar con chorro de agua y sopleteo la superficie, hasta el total retiro del material suelto.
- 4.- Previo al inicio del lanzado del mortero, se mantendrá la superficie húmeda(SSS: Saturado Superficialmente Seco).
- 5.- Rellenar la zona con mortero aplicado neumáticamente, hasta cubrir todo el espesor.
- 6.- Terminada la reparación se aplica una capa de membrana de curado.
- 7.- Posteriormente se pule el exceso de mortero hasta lograr la regularidad de la superficie.

b).- Pequeñas oquedades

Procedimiento de reparación:

- 1.- Localizada la zona se corta el concreto con disco para delimitar el área a reparar a una profundidad de 3 a 5 cm aproximadamente.
- 2.- Se retira todo el concreto alterado hasta encontrar el concreto sano.
- 3.- Los cortes se elaboran de manera que se evite tener puntas, procurando los cortes a 90°, fabricando cajas.

- 4.- Limpiar con chorro de agua y sopleteo de la superficie, hasta el total retiro del material suelto.
- 5.- Previo al lanzado del mortero se mantendrá la superficie húmeda.
- 6.- Se rellena la zona con mortero lanzado neumáticamente hasta cubrir todo el espesor de la caja por reparar.
- 7.- Concluida la operación, se aplica una capa de membrana de curado.
- 8.- Posteriormente se pule el exceso hasta regularizar la superficie.

c).- Irregularidades en la superficie del concreto (escalonamiento)

El procedimiento para este tipo de irregularidades es el siguiente:

- 1.- Limpieza de la zona por tratar.
- 2.- Marcar la superficie por desvanecer.
- 3.- Rebajar las aristas para hacer gradual la irregularidad (escalón).

Caso 1. Paralelos al flujo. Rebajar el concreto mas alto para corregir el escalón en una relación 1:2:5 aproximadamente.

Caso 2. Perpendicular al flujo. Rebajar el concreto en forma gradual con relación 1:5 aproximadamente.

- 4.- Rebajar el concreto con piedra abrasiva hasta lograr la regularización de la superficie.

d).- Relleno de huecos de tornillos de cimbra en piso y perforaciones para inyección

- 1.- Limpieza y secado del interior del hueco con agua y aire a presión.
- 2.- Para el relleno de huecos se utiliza concreto de bajo revenimiento (proporción original con TMA de 3/8") o mortero seco.
- 3.- Cuando se utiliza concreto de bajo revenimiento, se compacta con vibrador, el mortero seco se compacta con pisón de las dimensiones del hueco en capas de 5 cm aproximadamente.
- 4.- Terminada la reparación, se da el acabado de la superficie evitando irregularidades.

Para el caso de las burbujas por aire atrapado en las partes laterales y piso del túnel, C.F.E. consideró no realizar reparaciones, en base a los resultados obtenidos por Control de Calidad en la extracción de núcleos en los cuales no aparecieron oquedades internas.

IV.3 RECURSOS DE MANO DE OBRA Y EQUIPOS

Mano de obra

El personal integrado a cada cimbra se compone por cuadrillas con actividades específicas, las cuales se describen a continuación:

CONCEPTO	CIMBRA 1	CIMBRA 2
MONTAJE (CIMBRADO):		
Cabo montador	2	2
Operador de Jumbo	2	2
Mecánico	-	2
Montadores	8	10
Soldador	2	2
Ayudante general	6	6
Ayudante eléctrico	-	2
COLOCACION DEL CONCRETO:		
Sobrestante de colocación	2	2
Cabo	2	2
Vibradorista	4	8
Cañonero	2	2
Operador de bomba	2	2
Albañil	8	2
Ayudante general	6	8
Carpintero	2	4
SOPLETEO Y LIMPIEZA DE PISO:		
Cabo	2	2
Perforista	8	2
Rielero	-	4

Ayudante general	6	4
Albañil	2	-
PEINES Y TAPONES DE CIMBRA:		
Maniobrista	-	2
Soldador	2	2
Perforista	2	2
Ayudante general	-	4
TRANSPORTE DE CONCRETO:		
Operador de locomotora	12	10
Ayudante general	12	10
FABRICACION DE CONCRETO		
Encargado de control de calidad	2	2
Operador de cargador frontal	2	2
Operador de planta de concreto	2	2
Operador de camión de volteo	2	-
Ayudante general	2	4
MANTENIMIENTO MECANICO:		
Oficial soldador	4	2
Oficial mecánico	2	4
Ayudante mecánico	4	4
Oficial eléctrico	-	2
SERVICIO DE PATIO:		
Operador de tractor	2	2
Seguridad	-	2
Tomador de tiempo	2	2
Chofer	2	2
Operador de retroexcavadora	-	2
Velador	2	2
Operador para bomba de agua	2	-
INDIRECTOS:		

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Jefe de ventana	1	1
Jefe de turno	2	2
Sobrestante	2	2
TOTAL	131	135

Tabla 4.6

1.- Cuadrilla de montaje

Este personal se encarga del movimiento, limpieza, engrasado y montaje (alineación) de la cimbra en el sentido del avance, así como el curado del concreto. En la producción máxima se coloca de 4 a 5 módulos de cimbra por turno de 12 horas (24 a 30 ml).

2.- Cuadrilla para colocación de concreto

Se encarga de la correcta distribución y compactación del concreto. Se tienen dos personas para los vibradores de contacto, dos para la vibración con inmersión de 3" de diámetro, una para el cañoneo a 15 m del fondo de la tubería, una persona para verificar el llenado y distribución del concreto en las partes laterales, dos albañiles para el acabado del piso y curado del mismo, dos albañiles para el calafateo y limpieza, una persona para el movimiento de los carros centrales y, un operador de bomba en comunicación constante con el sobrestante.

3.- Cuadrilla para el sopleteo y limpieza de piso

Estas cuadrillas realizan el sopleteo y lavado de la sección con aire y agua a presión. En los frentes donde no quedó embebida la vía en la etapa de reposición de roca en piso, se retira manualmente hasta el cambio de vía, actividad dirigida por un cabo.

4.- Cuadrilla para peines y retenes de cimbra

Realiza la colocación de los retenes de malla desplegable sostenida con varilla en las partes laterales de la cimbra y debajo del invert para el control del talud, en caso de existir peines menores esta cuadrilla los retira con martillos neumáticos.

5.- Cuadrilla para transporte de concreto

Este personal corresponde a los operadores de locomotora con su ayudante; el ayudante es quien realiza las maniobras en los cambios de vía, destapar los Mixers para su llenado y descarga y, contribuir a hacer más eficiente el ciclo de transporte.

6.- Cuadrilla para fabricación de concreto

En planta el personal de fabricación tiene la responsabilidad de obtener y enviar el concreto con la dosificación y revenimientos estipulados en la orden de colado, estando en comunicación por teléfono con el personal de colocación para realizar cualquier ajuste durante el colado.

7.- Cuadrilla de mantenimiento mecánico

Este personal se localiza en los talleres de la ventana 4, encargándose de mantener el equipo en buenas condiciones de operación.

Equipo

Se describe y se relaciona a continuación el equipo utilizado en cada cimbra y frente de trabajo, durante el desarrollo del revestimiento del túnel de conducción.

EQUIPO	MARCA	CIMBRA 1	CIMBRA 2	CIMBRA 3
Cimbra	Mekano	1	-	-
Cimbra	Moldequipos	-	1	-
Planta de concreto	Mypsa	-	-	1
Planta de concreto	Icoma	1	1	1
Bomba de concreto	Schwing	6	6	5
Locomotoras	Plymouth	5	5	5
Mixers	Sacma	5	5	5
Cargador frontal	Caterpillar 396	-	1	-
Cargador frontal	Dresser DP936	2	1	-
Compresor	I.Rand P 750	-	1	-
Compresor eléctrico	Equiment	-	1	-
Compresor diesel	Dresser	1	1	-
Camión	Famsa 6 m ³	1	1	-
Planta de soldar	Miller	2	1	-
Ventilador	ABC	-	1	-
Ventilador	Berry	1	1	-
Generador eléctrico	Caterpillar	1	-	-
Tractor	Caterpillar D5H	1	1	-
Jumbo	Tamrock 307H	1	1	-
Rezagadora	Schaeff	1	1	-
Vagones	Valente	6	10	-

Tabla 4.7

1.- Cimbras deslizantes

Las tres cimbras tienen las mismas características; constan de 11 módulos de 6 m cada uno, compuestos cada módulo con segmento en la clave de cuatro partes de 1.5 m cada uno, en las partes laterales compuesta por dos partes de 3 m cada uno. La parte del inferior o piso consta de 12 invert de 6 m cada uno los cuales sirven de pista para deslizar la parte superior. Por el centro del invert se deslizan 14 carros centrales móviles de 1 m de ancho para dar el acabado y forma de la cubeta; en cada módulo se encuentran instalados vibradores de contacto de alta frecuencia (6000-8000 R.P.M.). El carro transportador de los módulos e invert, se desplaza por la parte central de la cimbra sobre los rieles el cual hace el movimiento de las secciones colapsables, cuyo funcionamiento es hidráulico.

2.- Bomba para concreto

Este equipo es marca Schwing modelo BP-2000-20RHDE, con capacidad de 50 m³/hora a 300 m, con motor eléctrico de 120 KW.

3.- Locomotoras y Mixers

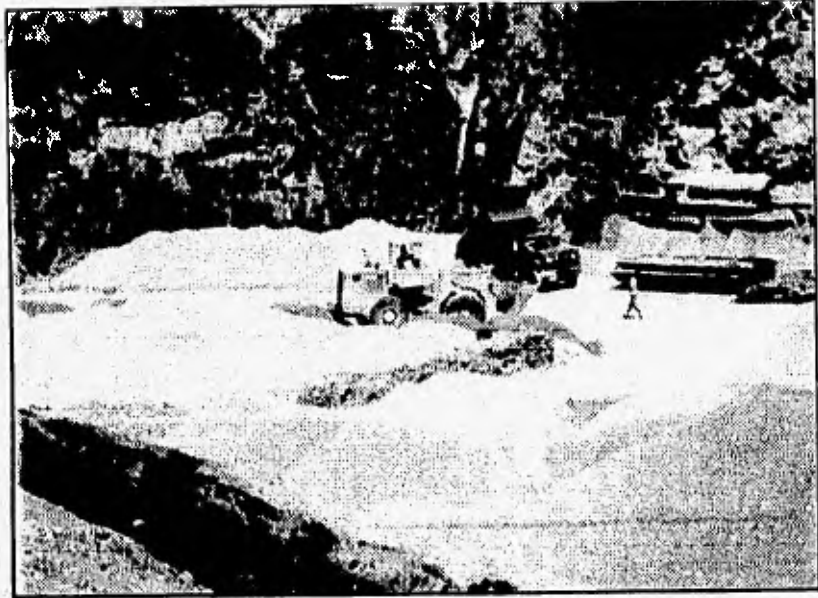
Se utilizan 5 trenes para distancias de 6000 m y 4 para distancias de 3000 m en base al análisis realizado para el ciclo de transporte del concreto.

4.- Cargador frontal y camión volteo de 5 m³

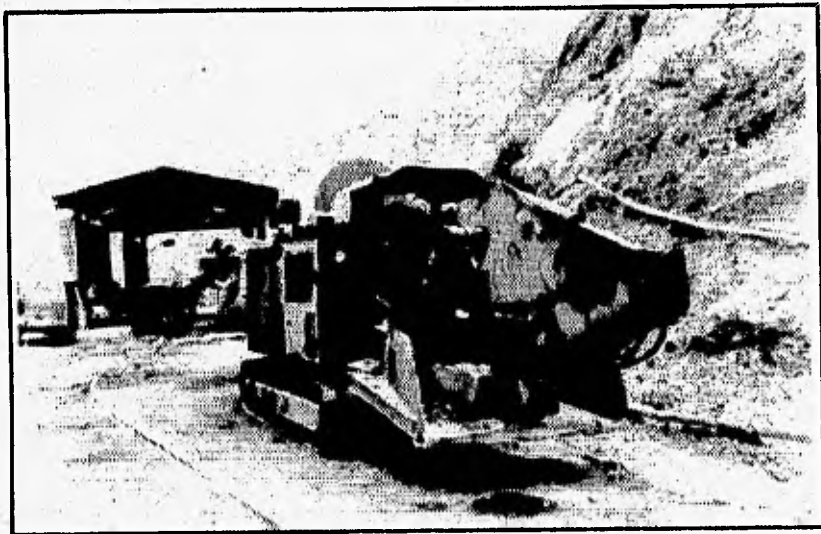
El cargador frontal se utiliza para homogenizar el agregado antes de su uso y transportarlo a las tolvas de la planta dosificadora. El camión volteo junto con el cargador frontal, se utilizan en la planta de ventana I, debido a que la distancia de acarreo de los agregados es considerable (300-350 m) y la pendiente del acceso es alta (15%).

5.- Jumbo-Rezagadora-Vagones y Tractores

Se utilizan para los peinados realizados posteriores a la excavación. La barrenación en la zona por peinar se realiza con el Jumbo, la rezagadora y vagones son empleados para el retiro de la rezaga y el tractor realiza el movimiento de la rezaga en el banco de tiro.



Camión volteo y cargador frontal para suministro de agregados (VI)



Rezagadora en ventana 3.

Recursos para las reparaciones

Los recursos utilizados para los trabajos de las reparaciones para cada frente de obra son los siguientes:

EQUIPO	CANTIDAD	PERSONAL	CANTIDAD
Cortadores de concreto	2	Cabo	1
Martillos	3	Oficial albañil	5
Escarificadores	3	Ayudante general	5
Pistola para mortero lanzado	2		
Pulidoras con disco abrasivo	5		

Tabla 4.8

IV.4 PROBLEMATICA DE CONSTRUCCION

Ventilación

Terminados los frentes de excavación, se retiró la manga de ventilación hasta los cruceros, así como los ventiladores del interior del túnel por donde pasaría la cimbra telescópica, quedando en operación durante el revestimiento, únicamente los colocados en la entrada de los túneles de acceso.

Ya en operación las tres cimbras, para asegurar una correcta ventilación en los frentes de trabajo, del lado opuesto al sentido del colado se instala una puerta de lona con un ventilador en el exterior para el suministro del aire; siendo funcional la ubicación de éstas puertas en los tramos de V2-V3 y Caverna-V1, no así para los demás frentes (V4-V3, V2-V1 Y V4-V6), dado que comenzaron en forma continua las actividades de inyecciones y reparaciones del concreto, presentándose condiciones deplorables de trabajo al contaminarse el aire con los polvos del concreto originados por las reparaciones.

Transporte de los agregados

El acarreo desde la planta trituradora a la ventana 3 tiene una distancia de 30 km con pendientes fuertes y bastante prolongadas que dificultan el tránsito pesado, más aún en época de lluvia extrema, debido al poco mantenimiento a los caminos, ocasionando la suspensión temporal del suministro de los agregados y del colado. Considerando una producción máxima en fabricación de concreto de 600 m³/día (24 horas, V3) se requiere el siguiente volumen de agregados para éste frente.

CONCEPTO	CANTIDAD (m ³)	PESO VOL. (Kg/m ³)	CANTIDAD (m ³ /DIA)
Cemento	280	-	-
Arena	850	1730	850x600=510000/1730=195
Grava 3/4"	700	1550	700x600=420000/1550=270
Grava 1 1/2"	360	1530	360x600=210000/1530=141
TOTAL	-	-	706

Tabla 4.9: Proporción para 1 m³ de concreto: f'c=250 kg/cm² y T.M.A.=1 1/2".

CONSIDERANDO:

6 tractocamiones de 12 m³ de capacidad c/u: 6x12x4 viajes = 288 m³.

28 camiones de 5 m³ de capacidad c/u: 28x5x3 viajes = 420 m³.

TOTAL = 708 m³.

Trabajando solo un turno de 12 horas tal que se puede garantizar el acarreo cuando las condiciones de los caminos es aceptable, teniendo siempre un stock de agregados de:

Arena	900 m ³ .
Grava 3/4"	1000 m ³ .
Grava 1 1/2"	600 m ³ .
Cemento	500 ton.

Revestimiento en zona de caídos geológicos

En los cadenamientos 5+198 al 5+150 (V2-V1) durante la excavación se produjo un caído en la bóveda y tabla derecha, el cual fue estabilizado a base de concreto lanzado con doble malla y espesor de 11 cm, anclaje sistemático de resina de sección completa y reforzando la tabla derecha con anclaje de inyección en todo el tramo correspondiente a dicho caído.

El procedimiento de revestimiento se realizó en dos etapas:

Primera etapa:

- 1.- El encofrado durante el colado continuo se para en el cadenamiento 5+198.
- 2.- Se trasladan 8 módulos (48 m) quedando cubierto el caído del cadenamiento 5+198 al 5+150.
- 3.- Se coloca un espesor de 50 cm de concreto en todo el tramo del caído.

Segunda etapa:

Se realiza el colado faltante sobre los primeros 50 cm de concreto colocados en la primera etapa cuando éste a alcanzado una resistencia de $f'c=40-50 \text{ kg/cm}^2$ entre un tiempo de 15 a 20 horas aproximadamente.

El concreto utilizado tiene un revenimiento de 18-20 cm para garantizar un buen llenado ya que no hay forma de compactarlo, siendo su colocación con tubería de 6" de diámetro, de la bomba al acople de las guillotinas por el centro de la cimbra.

Relleno de nichos durante el revestimiento

Durante la excavación hubo la necesidad de construir dos tipos de nichos; para maniobras y para instalaciones, en ambos casos por procedimiento constructivo. A todo lo largo del túnel se excavaron nichos pequeños sobre el lado izquierdo en distancias de 500 a 700 m conforme avanzaba el frente para la instalación de los transformadores eléctricos. Los frentes donde se excavaron nichos para maniobras fueron exclusivamente donde se utilizaron Jumbos, cargadores y camiones sobre neumáticos para el retiro de rezaga.

El procedimiento para el colado de los nichos de maniobras es el siguiente:

- 1.- Limpieza del sitio con chiflón de agua y aire.
- 2.- Se coloca un tapón con estructura a base de rieles transversales, longitudinales y puntales soldados entre sí para darle rigidez a la estructura, posteriormente se coloca malla desplegable en todo el área del tapón, dejando en la parte superior una entrada para la tubería de bombeo. Además se habilita un andamio en el interior del nicho para utilizarla como plataforma y asegurar un vibrado eficiente.
- 3.- Se coloca la bomba de concreto cerca del nicho, teniendo una tubería de 6" de diámetro en tramos de 3 m, para proceder de esta forma al llenado del mismo (concreto $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$).

4.- Se realiza el tratamiento del concreto que quedó expuesto antes de su fraguado final y se procede al curado.

Los nichos para instalaciones se colaron a la par con la cimbra en movimiento, por ser su sección pequeña ($25 \text{ m}^3 \text{ c/u}$) y no dificultar el vaciado del concreto.

Zonas de concreto armado

a).- Tramo 0+135 al 0+360 y 17+450 al 17+505

Primera etapa.- Se coloca el acero en todo el tramo y se realiza el colado en el piso, dejando una junta de construcción longitudinal a nivel de la cubeta. El acabado es en forma manual y la sección controlada a base de cerchas colocadas a una distancia de 3 m cada uno garantizándose el llenado de esta parte.

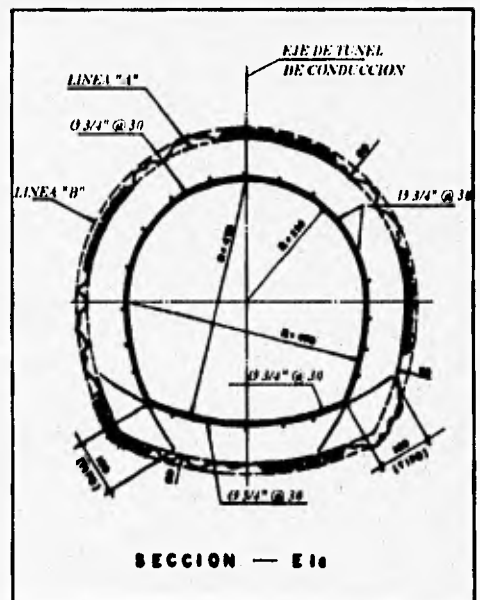
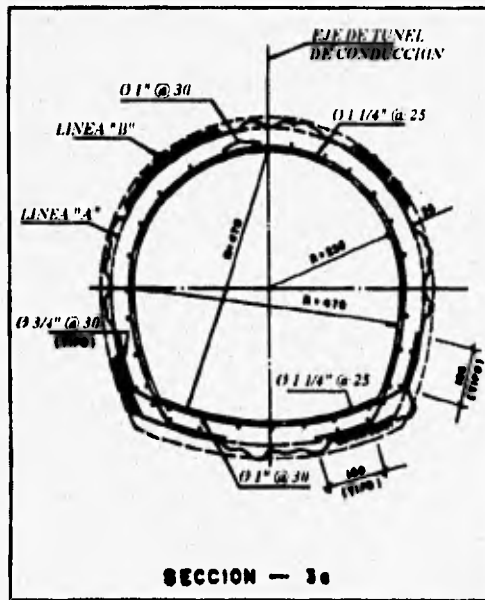
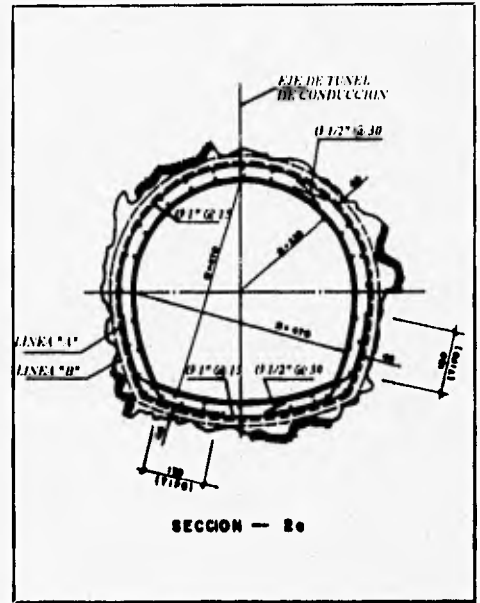
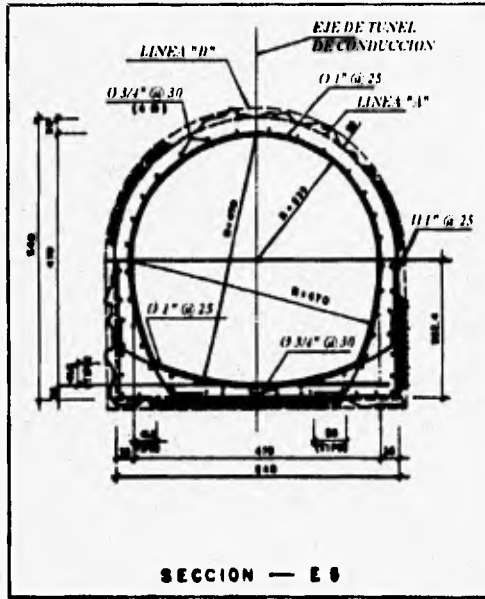
Segunda parte.- Se prepara la junta de construcción para dar continuidad al colado de muros y bóveda a cimbra parada, realizando cuatro colados de 12 m, uno de 42 m y el último de 24 m lineales, obteniendo un rendimiento de $11.2 \text{ m}^3/\text{h}$.

b).- Tramo 1+440 al 2+402

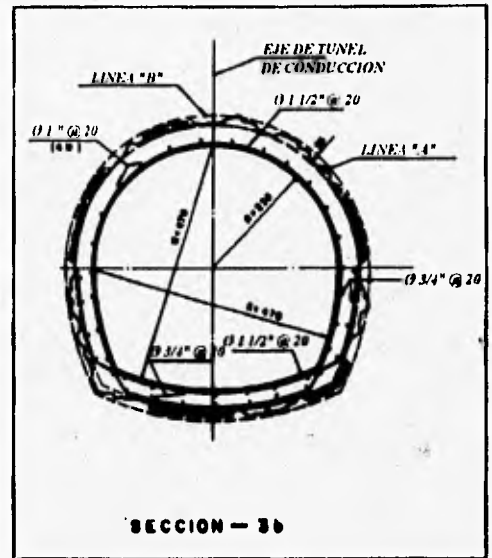
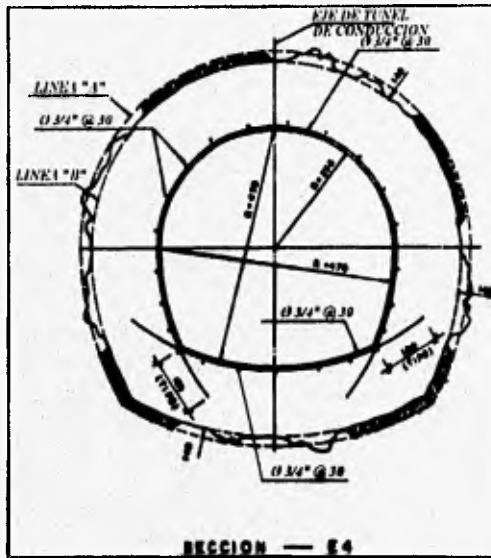
Los colados se realizaron a cimbra parada. La tubería del bombeo se instala por dentro de la cimbra en tramos de 3 m cada uno y una manguera flexible para llenar primero la cubeta, introduciendo el concreto por las ventanas intermedias del lado derecho y con la ayuda de los vibradores de contacto corriera el concreto hacia el lado izquierdo. Adicionalmente se cuenta con los vibradores de inmersión cuyos operadores se situaron entre el cimbrado y la roca saliéndose de su posición una vez terminado el llenado del piso. Después de llenar a la altura de las ventanas intermedias, se conecta la descarga del concreto a través de conductos con guillotinas situadas sobre el eje de la clave, inspeccionándose por arriba del armado para el aseguramiento del correcto llenado.

c).- Tramo 2+250 al 2+580

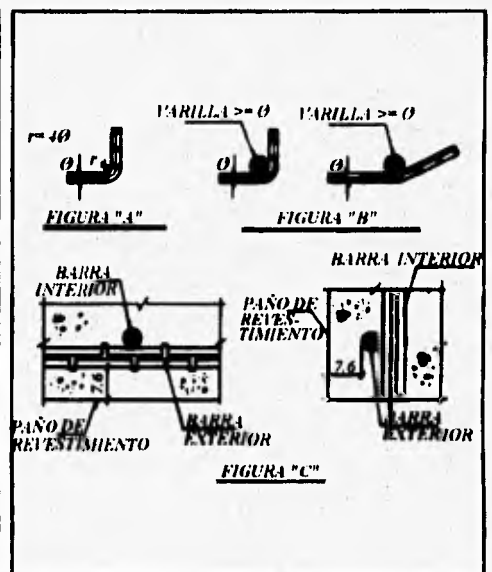
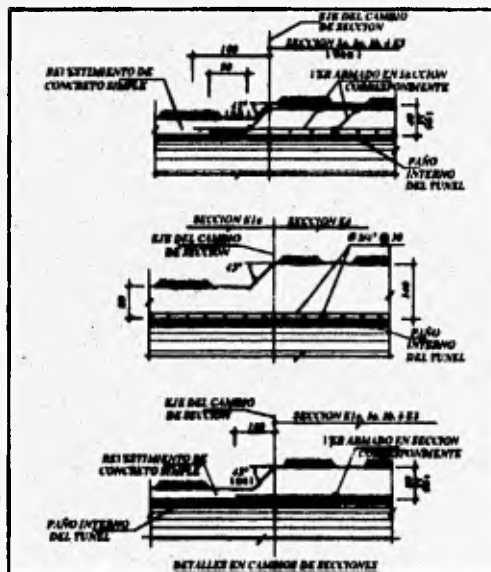
Los colados se realizaron en forma continua, colocando la tubería en la parte superior del túnel, obteniéndose rendimientos de $17.5 \text{ m}^3/\text{h}$ de colocación de concreto.



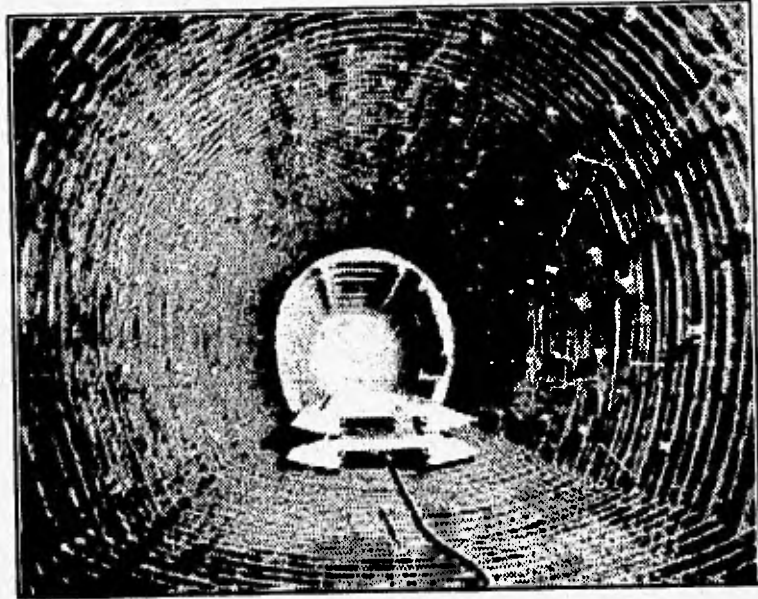
Secciones adicionales en zonas con acero de refuerzo



Secciones adicionales en zonas con acero de refuerzo (continuación)



Detalles del armado y doblado del acero de refuerzo



Armado de acero en las secciones adicionales.

Bloqueo de caminos de acceso, paros laborales y lluvia extraordinaria

Pobladores de la región llevaron a cabo bloqueos sistemáticos de los caminos de acceso a frentes de trabajo, en solicitud del cumplimiento de los acuerdos establecidos con C.F.E. y que el camino Zimapán-Boquilla pase por la comunidad de San Antonio (proyecto inicial), en vista de que dicho camino se construye en dirección a las comunidades de Temuthe y La Tinaja (proyecto final), siendo este evento incumbencia del Gobierno del Estado de Hidalgo.

El personal obrero del Consorcio Zimapán suspendió labores por inconformidad con su contratante al declarar ésta, no haber obtenido ganancias en el período 1993 por consecuencia no habría reparto de utilidades.

Se presentaron lluvias extraordinarias que dañaron parcialmente los caminos de acceso hacia V2, V3 y V4, haciendo difícil y riesgoso el tránsito vehicular dado las fuertes pendientes y laderas muy profundas, así como a las instalaciones de V1 ubicadas en una cañada con obras de drenaje deficientes, debido a que el constructor no previó esta condición.

V. TRATAMIENTOS

V.1 GEOLOGIA DEL TUNEL DE CONDUCCION

V.2 PERMEABILIDAD EN EL TUNEL DE CONDUCCION

V.3 TRATAMIENTO DE CARSTICIDAD

V.4 INYECCIONES

Los tratamientos realizados en el Túnel de Conducción los podemos dividir en dos etapas: tratamientos de carsticidades, realizados antes del revestimiento definitivo e inyecciones, realizados después del revestimiento.

Los tratamientos realizados tienen como objetivos principales minimizar problemas potenciales de pérdidas de gasto a través de las distintas zonas de carsticidad que se presentan a lo largo del túnel y además consolidar un anillo periférico para minimizar la deformación del revestimiento (fisuras) que pudieran presentarse en aquellos casos en que se tuvieran rellenos erosionables.

GEOLOGIA DEL TUNEL DE CONDUCCION

Geología Superficial

El trazo del túnel para la conducción se localiza sobre rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas, afectadas por fallas inversas, normales y emplazadas en estructuras anticlinales y sinclinales, simétricas y recostadas.

Los plegamientos en las rocas sedimentarias que tuvieron lugar en el Banco El Doctor (Plataforma), se caracterizan por estructuras simétricas y suaves, mientras que los sedimentos depositados en la Cuenca de Zimapán fueron plegados con mayor intensidad, debido a las características mecánicas de estas rocas; este fenómeno se pone en manifiesto más claramente en la sección estructural interpretada para el subsuelo del cadenamamiento 10+000 en adelante.

Las rocas volcánicas, por su parte, afloran principalmente del cadenamamiento 1+600 al 1+700 y sus espesores se han calculado por geofísica y por exploración directa desde algunos metros hasta 200m, en su sección más potente.

Áreas estudiadas

La selección y exploración geológica, llevada a cabo en las seis áreas sobre el trazo del túnel de conducción, tuvo como principal objetivo el conocer más detalladamente las características litológicas de los diversos niveles estratigráficos de los intrusivos y fallas

presentes.

Area 1

Se localiza en la porción sur del trazo de conducción, entre los cadenamientos 2+740 y 3+240. En esta área se suponía la presencia de un cuello volcánico con espesor de 200m y brechamiento asociado, pero con la exploración efectuada se puede decir que no hay evidencias de un cuello volcánico en este cadenamiento y que el brechamiento presente se debe a la fricción e inclusión de fragmentos andesíticos arrastrados durante el flujo de la riolita sobre la andesita preexistente.

Las rocas volcánicas representan una cubierta superficial por lo que no se cortarán a nivel del túnel; en cambio, la excavación en este tramo atravesará la parte superior de la Formación El Doctor, cuya calidad de roca se considera buena, debido a las velocidades registradas (4.1-5.2 km/seg.)

Area 2

Se ubica hacia la porción sur central de la conducción, entre los cadenamientos 7+500 a 8+000.

La porción de la Formación Méndez constituye un macizo rocoso de buena calidad, a profundidades mayores de 30m, mientras que en superficie se presenta muy alterada e intemperizada.

El afloramiento del intrusivo riolítico exhibe alteración, pero se considera que a la profundidad del túnel se encuentra sano y salicificado, por lo cual no se prevén problemas de sustentación al atravesarlo.

De acuerdo a la interpretación efectuada, el túnel será excavado sobre la base de la Formación Soyatal o cima de la Formación El Doctor.

Area 3

Se localiza en la porción central de la conducción entre los cadenamientos 10+170 y 10+670.

La transición formacional Soyatal-Méndez se observa alterada e intemperizada, pero

su constitución litológica se considera que la parte inferior de la Formación Méndez y la parte superior de la Formación Soyatal presentarán buenas condiciones mecánicas en el subsuelo.

De la interpretación geológica-geotécnica se desprende que, al nivel del túnel, la excavación será sobre la porción media de la Formación Soyatal, en roca de buena calidad.

Area 4

Sobre el trazo de conducción se sitúa hacia la porción central del mismo, entre los cadenamientos 11+150-11+700.

De la exploración realizada se desprende que la transición formacional Soyatal-Méndez presentará buenas condiciones geotécnicas en el subsuelo.

Por otra parte, los contactos dique-roca sedimentaria encajonante no presentan arcilla o alteración entre ellos, que pudieran significar grandes problemas de estabilidad durante la excavación.

Finalmente cabe mencionar que a la profundidad del túnel se espera encontrar la parte media de la Fm. Soyatal, siendo buena la calidad de la roca, dadas las velocidades de 4.4 y 4.2 km/seg. allí detectadas.

Area 5

Se localiza entre los cadenamientos 13+995 y 14+485.

Aflora exclusivamente la Formación Soyatal en su porción basal e intermedia y está representada por calizas oscuras en alternancia con lutitas de igual color. La porción intermedia basal de la Formación Soyatal presenta cualidades de roca de regulares a buenas en superficie, lo que permite suponer que en el subsuelo será buena la calidad del macizo rocoso, correspondiente a este nivel estratigráfico.

Con la exploración efectuada se comprobó la existencia de la Falla Malacate, la cual no presenta arcillosidad en su plano de falla; sin embargo, al nivel de excavación del túnel deberá considerarse en la zona de falla la manera de ademar el túnel durante su colado para evitar caídos y derrumbes.

Finalmente cabe mencionar que la excavación se llevará a cabo sobre la porción basal de la Formación Soyatal, la cual representa un macizo rocoso de buena calidad, dadas las

velocidades de 5.0-6.8 km/seg. allí presentes.

Area 6

Se localiza sobre el trazo de la conducción entre los cadenamientos 15+985 y 16+485.

El contacto entre las formaciones Soyatal y El Doctor se transicional; las calizas de la primera se hacen masivas y desaparecen las lutitas, mientras que las de la Formación El Doctor son delgadas y poco a poco aumenta su espesor.

Finalmente, de la interpretación geológica-geofísica se interfiere que el túnel de conducción atravesará a las calizas con pedernal de las facies de cuenca de la Formación El Doctor y considerando el perfil sísmico de la zona se estima que la excavación se realizará sobre un macizo rocoso de buena calidad.

V.2 PERMEABILIDAD EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

Con la finalidad de conocer las condiciones de permeabilidad del macizo rocoso en el cual se excavó el túnel de conducción, se realizó una recopilación de las pruebas de permeabilidad efectuadas en el P.H. Zimapán, la cual se analizó correlacionándola con las estructuras geológicas cartografiadas a detalle, dando como resultado zonas propensas a presentar fugas y recomendando su tratamiento.

Se realizaron 425 pruebas de permeabilidad tipo Lugeón distribuidas en el área de toda la obra, los resultados de estas pruebas permitieron clasificarlas conforme al criterio que rige estos ensayos, cuyos limites y atributos se ilustran en la siguiente tabla.

CLASIFICACION	UNIDADES LUGEON
Impermeable	0 - 3
Poco permeable	3 - 11
Permeable	11 - 25
Muy permeable	25 - 40
Altamente permeable	> 40

Tabla 5.1

Con el objeto de hacer una clasificación más precisa, se ha subdividido el intervalo correspondiente a roca impermeable en tres rangos de una unidad Lugeon cada uno.

Las pruebas Lugeon realizadas en las diferentes áreas del proyecto, se clasificaron de acuerdo al tipo de Formación en que fueron realizadas, Formación Doctor, Formación Soyatal y Formación Trancas. En Las Formaciones Soyatal y Trancas las pruebas realizadas están comprendidas dentro del rango de impermeabilidad y sólo en la Formación Doctor algunas de las pruebas cayeron dentro del rango permeable.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de pruebas que se encuentran dentro del rango permeable en la Formación el Doctor.

Unidades Lugeon	Impermeable			Poco Permeable	Permeable	Muy Permeable	Altamente Permeable	TOTAL
	0-1	1-2	2-3	3-11	11-25	25-40	> 40	
AREA								
Boquilla	133	4	6	10			1	154
Embalse	49	15	12	41	5	1		123
T o t a l	182	19	18	51	5	1	1	277
Prueb.								
% Pruebas	65.7	6.9	6.5	18.4	1.8	0.4	0.4	100

Tabla 5.2

El mayor porcentaje de la excavación del Túnel de Conducción se realizó en la Formación Soyatal (55%); un intermedio en la Formación El Doctor (37%) y el menor porcentaje en la Formación Trancas (8%).

Cadenamiento: de	A	Formación	Longitud, m
0 + 019	2 + 815	Doctor	2,796
2 + 815	3 + 290	Soyatal	475
3 + 290	4 + 520	Doctor	1,230
4 + 520	6 + 655	Soyatal	2,135
6 + 655	8 + 200	Doctor	1,545
8 + 200	17 + 155	Soyatal	8,955
17 + 155	19 + 370	Doctor	2,215
19 + 370	21 + 023	Trancas	1,653

Tabla 5.3

Se observa que de las pruebas Lugeon realizadas, sólo las que se realizaron en la Fm. El Doctor presentan características permeables, pero la permeabilidad en la caliza es secundaria y se da preferentemente en las discontinuidades.

En general todo el túnel se encuentra seccionado por estructuras geológicas impermeables tales como diques, arcilla relleno discontinuidades o bien fallas que en cierta forma son barreras impermeables que impiden el paso del agua desviándola hacia otros lugares.

Asimismo existen zonas de discontinuidades (fallas, fracturas, ejes de anticlinales y sinclinales) con carst asociado que también se consideraron para tratamientos.

V.3 TRATAMIENTO DE CARSTICIDAD

Carsticidad local

Se refiere a los ductos u oquedades cársticas que se descubrieron con la excavación y, que se presentan en forma aislada (no se relaciona en la mayoría de los casos con estructuras geológicas), con geometrías circular, ovaloide o alargadas, con o sin rellenos y que presentan diámetros equivalentes entre los 10 y 50 cm. El procedimiento que se realizó para el relleno de este carso a manera de tratamiento dental es el siguiente:

1.- Identificación

Conforme se avanzó en los trabajos de limpieza y retiro de rezaga (plantilla del túnel) se identificaron los sitios en donde predominantemente existe la presencia de este tipo de carsticidad. Durante la remoción de la rezaga del piso, el carso descubierto se trató antes de colar la plantilla de reposición.

2.- Limpieza

Este tipo de carsticidad se presenta con rellenos de calcita y arcilla, principalmente esta última. La limpieza se realiza como a continuación se describe:

Identificada la oquedad cárstica se retira el relleno de arcilla penetrando en la oquedad o ducto una profundidad de: dos diámetros, si la oquedad es prácticamente circular; dos diámetros mayores, si la oquedad es de tipo oval ó la mitad de la longitud, si la oquedad es de tipo alargada. En este caso se considerará alargada si la longitud mayor es tres veces la longitud menor o ancho.

3.- Colocación de tapón

Habiendo limpiado la oquedad con el criterio anterior, se coloca un tapón interior (por ejemplo de concreto) con un espesor aproximado de un radio de la oquedad o equivalente a la longitud menor si es de tipo alargado.

4.- Relleno

Durante los trabajos de colocación del tapón se deja incluida un tramo de manguera de una pulgada de diámetro que atraviese dicho tapón, a través de la cual, se inyecta un mortero denso de cemento-arena con la siguiente relación:

arena/cemento $Ar/c = 0.8$

agua/cemento $a/c = 0.5$

La presión máxima de inyección es de 5 kg/cm^2 , mientras que los volúmenes máximos por inyectar son los que se indican en la gráfica I.

Para el caso de las oquedades alargadas la disposición de mangueras será de dos a tres, equidistantemente procediendo a inyectar un volumen máximo por manguera para un diámetro equivalente de $L/2$.

Oquedades mayores

Corresponden a carsticidades que se presentan generalmente en forma local en el túnel y que son mayores de 50cm de diámetro.

El procedimiento recomendado para el tratamiento de este tipo de carsticidad es el siguiente:

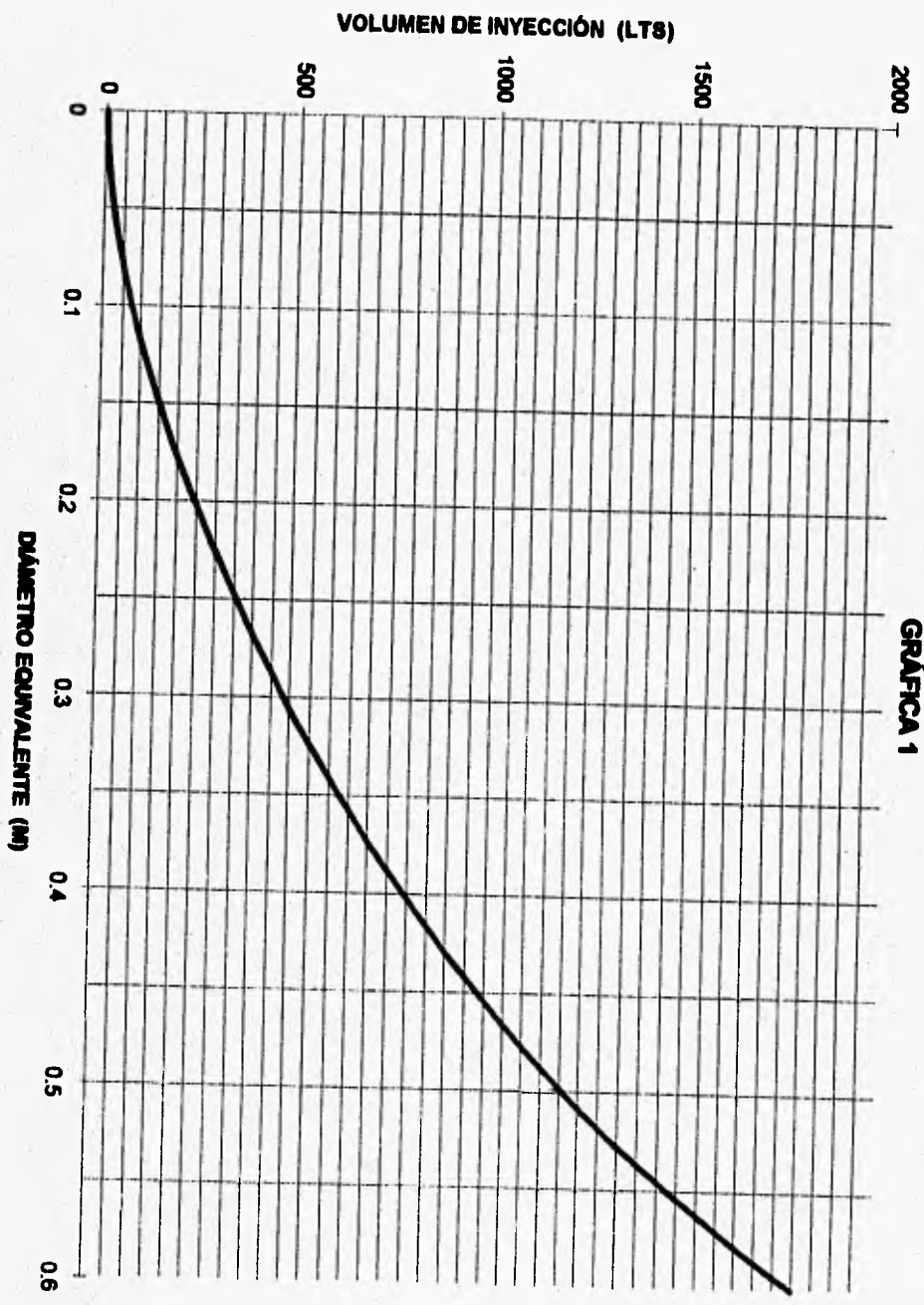
1.-Identificación.

Se localizarán los sitios por tratar, adicionalmente, si durante el proceso de limpieza y retiro de rezaga del piso se localiza una cavidad de este tipo, se realizará el tratamiento correspondiente para rellenarse junto con el colado de la plantilla de reposición.

2.-Limpieza.

Al igual que en el caso de carsticidades de menor diámetro, este tipo de oquedades se encuentra también con rellenos arcillosos, los cuales se retiran en forma manual hasta una distancia máxima de un diámetro y mínima de un radio del túnel, en ambos casos la posibilidad de este retiro depende del desarrollo y geometría a profundidad. El uso de chorro de agua y aire a presión puede auxiliar en el retiro de la arcilla, además debe considerarse en este caso la posibilidad de ampliar con rompedoras.

En este caso, resulta ventajoso ampliar localmente la oquedad para lograr una mejor limpieza y relleno, además de que los fragmentos pueden obturar a profundidad el hueco, limitando así la profundidad del relleno al requerido entre 1 a 1.5 veces el diámetro de la oquedad.



GRÁFICA 1

3.-Relleno.

Si este carst grande se localiza de la media sección al piso del túnel, es posible rellenarlo con concreto (previo al paso de la cimbra), para controlar las condiciones del llenado. Si se localiza sobre la bóveda y partes superiores de la sección, el relleno se efectúa con inyección de mortero o concreto lanzado, incluso es factible una combinación de ambos, rellenando un tapón con concreto lanzado e inyectando posteriormente, con una manguera que atraviesa el tapón, con mortero cemento-arena.

Las cavidades grandes que se localizan con los barrenos de investigación se rellenan con mortero utilizando las mismas perforaciones, previa limpieza en caso de tener relleno de arena ó arcilla.

Alta densidad cársica

Corresponde a un carst pequeño, menor de 20 cm (diámetro equivalente), que se desarrolló a través de zonas de fracturamiento abundante en la roca, con espaciamiento entre fracturas de 10 y 20 cm.

El tratamiento originalmente considerado para este tipo de carsticidad, debe aplicarse previamente a los trabajos correspondientes al colado de la sección definitiva del túnel. Como alternativa, a fin de no interferir en los trabajos anteriores, se efectúa una inyección de relleno y consolidación a través de barrenos de 5m de longitud dispuestos en aureolas de ocho barrenos y con una separación entre ellos de 3m.

Con el propósito de hacer más eficiente la inyección de estas zonas de alta densidad carstica, los barrenos tendrán una dirección determinada a fin de interceptar un mayor número de discontinuidades en la roca. Las características de tales aureolas se muestran en la figura 3 del final de este capítulo; a continuación se indican las características de esta inyección.

1.-Inyección de Contacto.

Previamente a la ejecución de los barrenos para la inyección de la zona de alta densidad cársica, deberán de perforarse e inyectarse los barrenos de contacto concreto-roca para el relleno de las cavidades existentes en la clave del revestimiento.

2.- Barrenos.

Concluida la inyección de contacto, se realizan los barrenos en aureolas separadas a cada 3m., compuestas de 8 barrenos cada una, los cuales se perforan en forma de tresbolillo entre aureolas. Los barrenos penetran una longitud mínima de 5m en roca. Los ocho barrenos están dispuestos en la sección a cada 45°, con diámetro de 2¹/₄" y con las siguientes características:

Las perforaciones se ejecutan con un ángulo de 70° con respecto al revestimiento del túnel; los barrenos 2,3,4 y 5 (tabla izquierda y clave de la sección) se dirigen con el ángulo anterior hacia aguas abajo, mientras que los barrenos 6, 7, 8 y 1 (tabla derecha y piso de la sección) se dirigen hacia aguas arriba.

3.-Materiales y proporcionamiento.

Se emplean lechadas y morteros, las primeras hasta un volumen máximo de 150 lts. por barreno para cambiar a inyección con mortero. Se considera recomendable que próximo a alcanzar la presión final, se cambie de mortero a lechada.

4.-Presiones y volúmenes de inyección.

La presión que se aplica para las inyecciones de las zonas de alta densidad cársica es de 15 kg/cm², al rechazo.

5.- Procedimiento de inyección.

Debido a que en estas zonas de alta densidad cársica se tienen consumos de moderados a altos, el procedimiento a seguir es el que se indica a continuación:

Cada aureola estará compuesta de 8 barrenos, los cuales en el sentido del flujo se encuentran numerados con respecto al sentido de las manecillas del reloj. Se ejecutan aureolas a cada 6m perforándose e inyectándose en forma consecutiva los barrenos de acuerdo a su numeración. Posteriormente, se perforan e inyectan las aureolas intermedias (a cada 3m) en forma similar para completar el tratamiento requerido.

También se llevan los registros correspondientes a la perforación y consumos por barreno.

Diques

En algunas zonas del Túnel de Conducción se presentan cuerpos intrusivos de composición, dimensión y dirección variables, los cuales provocan zonas de alteración en el contacto con la roca encajonante. Esta alteración corresponde a material arcilloso de espesor variable, el cual, en el perímetro de la excavación conforma un anillo de material deformable.

En ciertos tramos del túnel los diques vienen introduciendo, a través de sus respaldos arcillosos, filtraciones al interior de la sección.

Por esta razón, es necesario efectuar el tratamiento de los mismos para retirar el material deformable y sellar la posibilidad de una alta permeabilidad.

El tratamiento consiste en el retiro del material arcilloso (limpieza dental) en todo su espesor hasta una profundidad de 50 cm en toda la sección. En las paredes y bóveda se aplica concreto lanzado como relleno, mientras que en el piso se coloca concreto. En el caso de que los espesores sean reducidos, se aplica chiflon de agua y aire a presión para el retiro de la arcilla.

En la siguiente tabla se indican los cadenamientos donde se localizan los diferentes tipos de carsticidad y diques que reciben el tratamiento indicado anteriormente.

TRAMO	CARSTICIDAD			DIQUES
	LOCAL	QUEDADES MAYORES	ALTA DENSIDAD CARSTICA	
OT-V1	0+019 - 1+360	2+395	2+350 - 2+405	
	1+440 - 2+350		2+520 - 2+580	
	2+405 - 2+520			
	2+580 - 2+800			
VI - V2	3+310 - 3+390	3+315 - 3+330	3+400 - 3+425	3+987 - 3+995
	3+415 - 3+400	3+397	3+545 - 3+565	6+995
	3+695 - 3+740	3+495	3+695 - 3+800	7+065
	3+750 - 3+775	3+502	3+875 - 3+890	7+160
	3+945 - 3+970	3+695	3+910 - 3+930	7+190
	4+020 - 4+050	3+740 - 3+750	4+280 - 4+305	7+320
	4+080 - 4+090	3+765	4+430 - 4+470	8+150 - 8+202
	4+135 - 4+145	4+300	4+485 - 4+495	8+355 - 8+365
	4+ 485 - 4+500	4+430 - 4+440		8+515 - 8+530
	6+700 - 6+500	6+675		8+650 - 8+690
	7+075 - 7+645	6+690		
	7+715 - 7+750	6+722		
	7+805 - 7+940	6+750		
		7+420		
	8+010 - 8+080	7+652		
	8+125 - 8+160	7+665		
		7+669		
		7+700		
		7+702		
	7+798			
	7+802			
	7+840			
	7+970			

V2 - V3				9+375 - 9+415
				9+455 - 9+485
V3 - V4				12+985 - 13+010
				13+145 - 13+180
				13+350 - 13+400
				14+410 - 14+450
V4 - V6		17+475 - 17+485		18+405 - 18+415
		20+198 - 20+200		

Tabla 5.4

V.4 INYECCIONES

Las inyecciones estan comprendidas dentro de los tratamientos posteriores al revestimiento definitivo del túnel de conducción.

Se realizan tres tipos de inyecciones: concreto-roca (inyección tipo "A"), contacto concreto-concreto lanzado-roca (inyección tipo "B") y zonas de alta permeabilidad (inyección tipo "C").

Contacto concreto-roca (Inyección tipo "A")

Para rellenar el espacio anular entre la roca y el revestimiento de concreto en la bóveda del túnel, se realiza una inyección de contacto con lechada o mortero (en función de los consumos) a través de barrenos cortos.

Esta inyección se efectúa una vez que el concreto del revestimiento en el tramo por inyectar haya alcanzado su resistencia de proyecto. A continuación se indican las características de esta inyección:

1.- Barrenos.

Los barrenos se realizan en secciones de a cada 3m en aureolas de 3 y 2 barrenos a tresbolillo, debiendo penetrar una longitud mínima de 20cm en roca. En la sección de 3 barrenos se realiza un barreno en la clave y dos adyacentes con una inclinación de 30° a cada lado del eje del túnel.

Los barrenos son normales a la sección revestida con un diámetro de 1³/₄" .

2.- Materiales y proporcionamientos.

Los materiales y dosificaciones para la elaboración de lechadas y morteros, destinados para este tipo de inyección son los siguientes:

Lechada:

Cemento Monterrey tipo II

Rel. A/c = 0.7

Aditivo Sikament NZ

Adit. 0.75% (con relación al peso del cemento).

Morteros:

Cemento Cruz Azul tipo II Rel. A/c = 0.5

Arena de la Planta de trituración Ar/c = 0.8

Cemento Monterrey tipo II Rel. A/c = 0.5

Arena de la Planta de trituración Ar/c = 0.7

En ambos casos se emplea agua del Río San Juan.

3.- Presiones y Volúmenes de Inyección.

Las presiones máximas que se utilizan son de 3 kg/cm^2 , tanto para el caso de las lechadas como de los morteros. Es recomendable cerrar la inyección con lechada hasta alcanzar la presión de rechazo.

Los consumos en general son reducidos, sin embargo, cuando se tienen consumos por barreno superiores a los 150 lts se sustituye la inyección de lechada por mortero.

4.- Procedimiento de Inyección.

Se denomina aureola "A" la correspondiente a 3 barrenos y aureola "B" la de 2 barrenos; cuando se inicia la inyección en un tramo dado, se hace con las aureolas "A" con los barrenos A1 y A2 (laterales) y se finaliza con el barreno A3 (central). Concluida la inyección de las aureolas "A", se procede a inyectar las aureolas "B" con los barrenos B1 y B2. Se llevan registros correspondientes a los consumos por barreno.

Inyección de contacto concreto-concreto lanzado-roca (Inyección tipo "B")

Este tipo de inyección se realiza en los tramos del túnel en donde se aplicó concreto lanzado durante la etapa de excavación. Este tratamiento corresponde a una consolidación corta.

Esta inyección se efectúa una vez que el concreto del revestimiento en el tramo por inyectar, ha alcanzado su resistencia de proyecto.

1.- Barrenos.

Los barrenos se realizan en secciones o aureolas a cada 3m con aureolas de 9 y 8 barrenos a tresbolillo, penetrando una longitud mínima de 1m en roca, el diámetro es de $1\frac{3}{4}$ ".

La disposición de los barrenos es la que se indica en la figura 2.

2.-Materiales y proporcionamiento.

Se emplean únicamente lechadas:

Cemento Monterrey tipo II

Rel. A/c = 0.7

Aditivo Sikament NZ

Adit. 0.75% (con relación al peso del cemento)

3.- Presiones y volúmenes de inyección.

La presión máxima a utilizar es de 5 kg/cm^2 sin límite de volumen.

4.- Procedimiento de inyección.

La aureola "A" corresponde a 9 barrenos y la "B" a 8 barrenos. La inyección se empieza en las aureolas "A" a través de los barrenos inferiores (que se encuentran en las tablas) pares y nones hasta cerrar en la clave. Posteriormente se inyectan las aureolas "B" en forma similar, es decir, iniciando con los barrenos de las tablas y cerrando con los de la clave. Se lleva un registro correspondiente a los consumos por barreno.

Zonas de alta permeabilidad (Inyección tipo "C")

Este tipo de inyección se realiza en los tramos del túnel, en donde existen condiciones de permeabilidad natural al túnel a través de los rasgos estructurales de la roca, en conjunción con las características topográficas superficiales de cañadas y escurrimientos.

Este tipo de inyección se realiza en aureolas de 8 barrenos, separadas 3m y con longitudes de perforación de 5m.

Las características de este tipo de tratamiento se describen a continuación:

1.-Inyección de contacto.

Previamente a la inyección de los barrenos de este tipo, deben de perforarse e inyectarse los barrenos de contacto concreto-roca para el relleno de las cavidades existentes en la clave del revestimiento.

2.- Barrenos.

Los barrenos se relizan en secciones a cada 3m con aureolas de 8 barrenos (4 primarios ortogonales y 4 secundarios ortogonales intermedios a los primarios). La longiud de estos barrenos es de 5m, perforándose en forma radial al túnel, con diámetro de $2\frac{1}{4}$ ". En la figura 4 se muestra la disposición de los mismos.

3.- Materiales y proporcionamiento.

Se emplea la siguiente mezcla de inyección.

Cemento Monterrey Rel. A/c = 0.7

Aditivo Sikament NZ Adit. 0.75% (con relación al peso del cemento)

4.- Presiones y volúmenes de inyección.

La presión que se aplica es de 15 kg/cm² hasta el rechazo.

5.- Procedimiento de inyección.

Se perforan e inyectan las aureolas "A" (a cada 6m) a través de los barrenos primarios y en seguida los secundarios. Posteriormente se perforan e inyectan en forma similar las aureolas "B", intermedias a las aureolas "A".

En la siguiente tabla se indican los cadenamientos para inyecciones.

TRAMO	INYECCION "A"	INYECCION "B"	INYECCION "C"
OT -VI	0+019 - 1+360	2+840 - 3+078	2+800 - 2+840
	1+440 - 2+330		
	2+405 - 2+320		
	2+380 - 2+800		
SUMA	2,385m	338m	40m

tabla 5.5

TRAMO	INYECCION "A"	INYECCION "B"	INYECCION "C"
VI - V2	3+130 - 3+400	3+078 - 3+130	4+495 - 4+530
	3+425 - 3+545	4+530 - 4+750	5+870 - 5+895
	3+565 - 3+695	5+120 - 5+870	5+945 - 5+980
	3+800 - 3+875	6+145 - 6+180	6+100 - 6+125
	3+890 - 3+910	6+190 - 6+700	6+180 - 6+190
	3+930 - 4+280	8+040 - 8+140	8+140 - 8+210
	4+305 - 4+430	8+210 - 8+310	
	4+470 - 4+485		
	4+750 - 5+120		
	5+895 - 5+945		
	5+980 - 6+100		
	6+125 - 6+145		
	6+700 - 8+040		
	8+310 - 8+717		
SUMA	3,392m	1,787m	200m
V2 - V3	8+718 - 10+970		10+970 - 11+020
	11+020 - 11+353		
SUMA	2,785m		30m
V3 - V4	12+000 - 12+070	11+553 - 11+700	11+700 - 11+750
	12+100 - 12+180	11+750 - 11+850	11+850 - 11+960
	12+220 - 12+420	11+960 - 12+000	12+420 - 12+460
	12+680 - 12+800	12+070 - 12+100	12+490 - 12+530
	12+900 - 12+980	12+180 - 12+220	12+570 - 12+630
	13+250 - 13+194	12+460 - 12+490	12+860 - 12+900
		12+530 - 12+570	12+980 - 13+020
		12+630 - 12+680	13+080 - 13+120
		12+800 - 12+860	
		13+020 - 13+080	
SUMA	2,494m	727m	420m

TRAMO	INYECCION "A"	INYECCION "B"	INYECCION "C"
V4 - V6	15+194 - 16+270		16+270 - 16+310
	16+310 - 16+900		16+900 - 16+940
	16+940 - 17+015		17+015 - 17+220
	17+220 - 17+305		17+305 - 17+345
	17+345 - 20+964.8		
SUMA	5,445m		325m

Tabla 5.5 continuación

Supervisión y control de inyecciones

El objetivo es establecer los procedimientos de control para asegurar que las inyecciones cumplan con los requerimientos especificados. Este procedimiento es conocido y aplicado por todo el personal asignado a esta actividad.

1.- Ubicación de boquillas.

En estructuras con acero de refuerzo el supervisor debe verificar que se coloquen ahogados en el concreto tubos de P.V.C. de 3" de diámetro, distribuidos radialmente en secciones perpendiculares al eje, con el espaciamiento longitudinal y transversal de proyecto.

En los tramos sin acero de refuerzo se procederá a marcar de manera visible la zona donde se llevará a cabo cada perforación, de acuerdo al patrón indicado.

2.- Inspección de equipo de barrenación.

Antes de iniciar la perforación el supervisor verifica lo siguiente:

- a) El equipo sea el adecuado para garantizar la perforación en diámetro, longitud y tiempo de barrenación.
- b) El diámetro de la broca y el acero de barrenación garanticen las dimensiones requeridas del barreno.
- c) El equipo se ubique de tal forma que se garantice la dirección e inclinación requerida.

d) En los lugares con poca ventilación, vigilar que el equipo no sea accionado por motores de combustión interna.

3.- Inspección de la barrenación.

Esta etapa debe considerar los siguientes aspectos:

- a) Se verifica que el diámetro de la barrenación sea el indicado
- b) Se verifica que las perforaciones penetren en la roca hasta la profundidad indicada.
- c) En los casos de concreto armado las perforaciones se llevan a cabo a través de las preparaciones de P.V.C.
- d) Durante la barrenación se verifica que esta se ejecute en los lugares previamente marcados con la dirección e inclinación indicada.

4.- Inspección de las instalaciones y equipos de inyección.

Se verifica que el equipo a utilizar cumpla como mínimo lo siguiente:

a) Para la mezcla:

- Mezclador de 1,250 r.p.m.
- Agitador de 60 r.p.m.
- Tanque de almacenamiento de 200 lts.

b) Para la inyección:

- Bombas con capacidad de inyección de 0 a 60 lt/min. y presión ajustable de 0 a 15 kg/cm².
- Tubería que resista 1.5 veces la presión de trabajo.
- Medidores de gasto.
- Manómetros (1.5 veces la presión de rechazo).
- Suficientes obturadores (podrán ser neumáticos, hidráulicos o mecánicos).

c) Instalaciones:

- De agua.
- De aire.
- Energía eléctrica e iluminación.
- Plataformas de trabajo.

5.- Verificación de materiales.

a) Agua.

Se obtienen muestras periódicas de las fuentes de abastecimiento, las cuales deben estar libres de aceites, ácidos, alcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser nocivas para el cemento y el concreto.

b) Arena.

Debe cumplir con las especificaciones granulométricas, tomándose una muestra cada 20,000 lts. aproximadamente, en forma aleatoria.

c) Cemento.

Debe cumplir las normas ASTM-C-150, ASTM-C-595 y ASTM-C-618, muestreándose periódicamente.

6.- Verificación de la mezcla.

En esta etapa el supervisor debe conocer, cuidar y registrar los siguientes conceptos a la elaboración de la mezcla.

a) Vigilar la dosificación de materias primas, que dependerá del proyecto de cada estructura.

Estos proporcionamientos pueden ser variables dependiendo de las indicaciones de la Residencia de Obra y de las condiciones que se presentan durante la ejecución de las inyecciones.

b) Verificar tiempo y velocidad de mezclado (tiempo óptimo de 2 minutos y velocidad del mezclador de 1,250 r.p.m.)

c) Verificar que la temperatura de la mezcla no exceda de 38 grados centígrados.

d) Verificar que el tiempo, entre la elaboración de la mezcla y su inyección no exceda de 1 hora.

e) Se deben ejecutar pruebas físicas para el control de la calidad de la mezcla.

- Obtención de muestras representativas de la mezcla.
- Pruebas de fluidez.
- Prueba de densidad.
- Obtención del porcentaje de decantación.

7.- Verificación de la inyección.

Conceptos durante la etapa que debe cuidar el supervisor:

a) Lavado del barreno.

Se utiliza agua o aire a presión, garantizando que salga el material producto de la barrenación o de caídos de roca.

b) Secuencia de inyección.

En toda la estructura se inicia la inyección en los barrenos inferiores continuando con los superiores, de tal forma que la inyección sea ascendente. en túneles se realiza en secciones alternadas, procediendo a inyectar las secciones extremas y a continuación las secciones intermedias.

c) Una vez lavado el barreno se coloca el obturador y se inicia el proceso a baja presión hasta llegar a la presión de rechazo especificada.

d) Comunicación entre barrenos.

Cuando en el proceso de inyección de un barreno se comunique éste con otros, se deberán obturar los barrenos comunicados y cuando se complete la inyección del barreno, de inmediato se debe inyectar él o los barrenos comunicados hasta llegar a la presión de rechazo especificada.

e) Interrupción de la inyección.

Cuando por alguna causa se interrumpa la inyección de una perforación, se debe ejecutar el lavado de mezcla; el cual consiste en la limpieza del barreno en el tramo que estaba inyectándose. el lavado se debe ejecutar previamente al fraguado de la mezcla de cemento, utilizando un chifón que lance agua a una presión suficiente para disolverla.

f) Alto consumo de mezcla.

En donde se presentan altos consumos, debe sustituirse el tipo de mezcla, si continúa, se suspende la inyección por 12 hrs. para que las cavidades se obturen parcialmente.

g) Término de inyección por barreno.

Se da por finalizada la inyección cuando a la presión de rechazo especificada la absorción sea prácticamente nula, aún cuando después de mantener esta presión por un periodo de 5 minutos.

8.- Retaque de barrenos.

Después de 24 hrs. de haberse terminado la inyección de un barreno previamente se limpia el barreno con aire a presión y se procederá a rellenar con mortero (mezcla de agua-cemento-arena) retacándolo con fainero, en la proporción siguiente:

- Agua 27 lts.
- Cemento 50 kg.
- Arena 26 kg.

Después de la terminación de todos los trabajos relativos a la inyección se efectúa una limpieza general de los desperdicios de materiales y mezclas fraguadas.

9.- Elaboración de registros.

El supervisor registra en formatos los resultados del proceso, relativos a:

- Datos de ubicación de los barrenos.
- Datos del tipo de mezcla y presiones utilizadas.
- Datos del consumo de mezcla empleada
- Datos del tiempo utilizado para cada actividad y recursos empleados
- Datos del supervisor

Elaborados los registros, se concilia con la contratista los resultados de la actividad.

El tipo de formatos que se utilizan para estas actividades se muestran a continuación.

**PROYECTO HIDROELECTRICO ZIMAPAN
TUNEL DE CONDUCCION
REPORTE DE CONTROL DE INYECCIONES**

ESTRUCTURA: _____
 FRENTE: _____
 DE ELEV. _____ A ELEV. _____
 DEL CAD. _____ AL CAD _____

FECHA: _____
 TURNO: _____
 HOJA: _____ DE: _____

INYECCION TIPO: _____
 DISTANCIA ENTRE AUREOLAS
 LONGITUDINAL: _____ m
 TRANSVERSAL: _____ m

TOTAL DE BARRENOS INYECTADOS: _____
 CONSUMO TOTAL _____
 LECHADA: _____ It.
 MORTERO: _____ It.

DESPERDICIO _____
 LECHADA: _____ It.
 MORTERO: _____ It.

CAD.	BARRENO	HORARIO		TIPO DE MEZCLA	PRESION (Kg/cm ²)			CONSUMO (It.)	DESP (It.)	OBS.
		INICIA	TERMINA		BOMBA	BOQUILLA	SELLO			

SUPERVISOR

FIRMA: _____
 NOMBRE: _____

CONTRATISTA

FIRMA: _____
 NOMBRE: _____

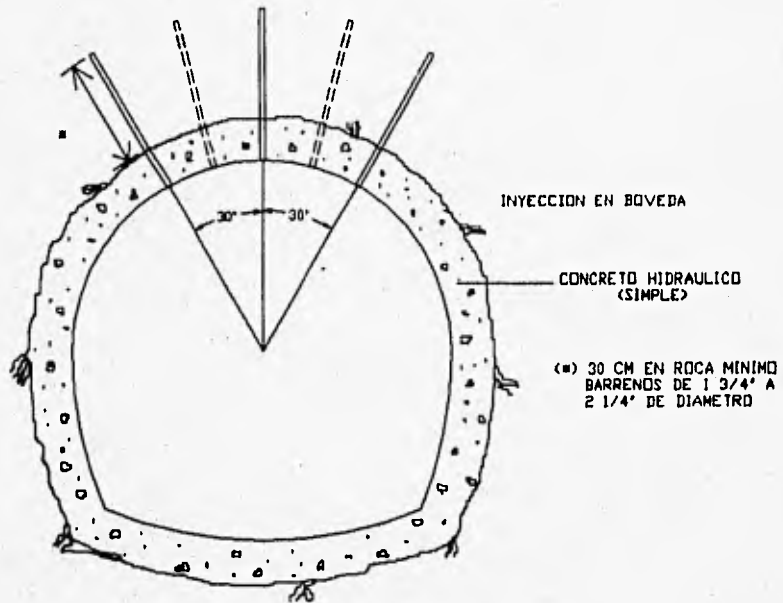


FIG. 1 INYECCION TIPO "A"

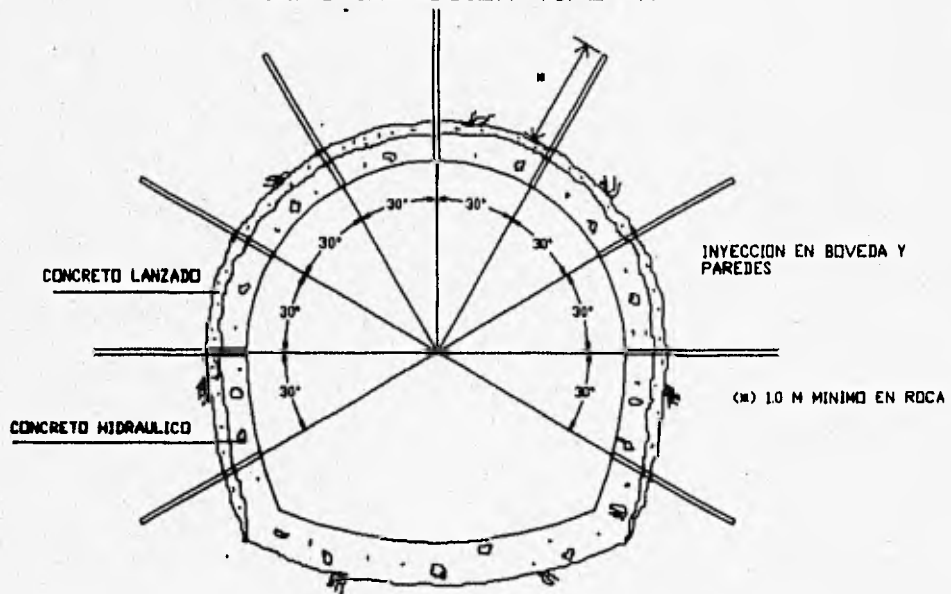


FIG. 2 INYECCION TIPO "B"

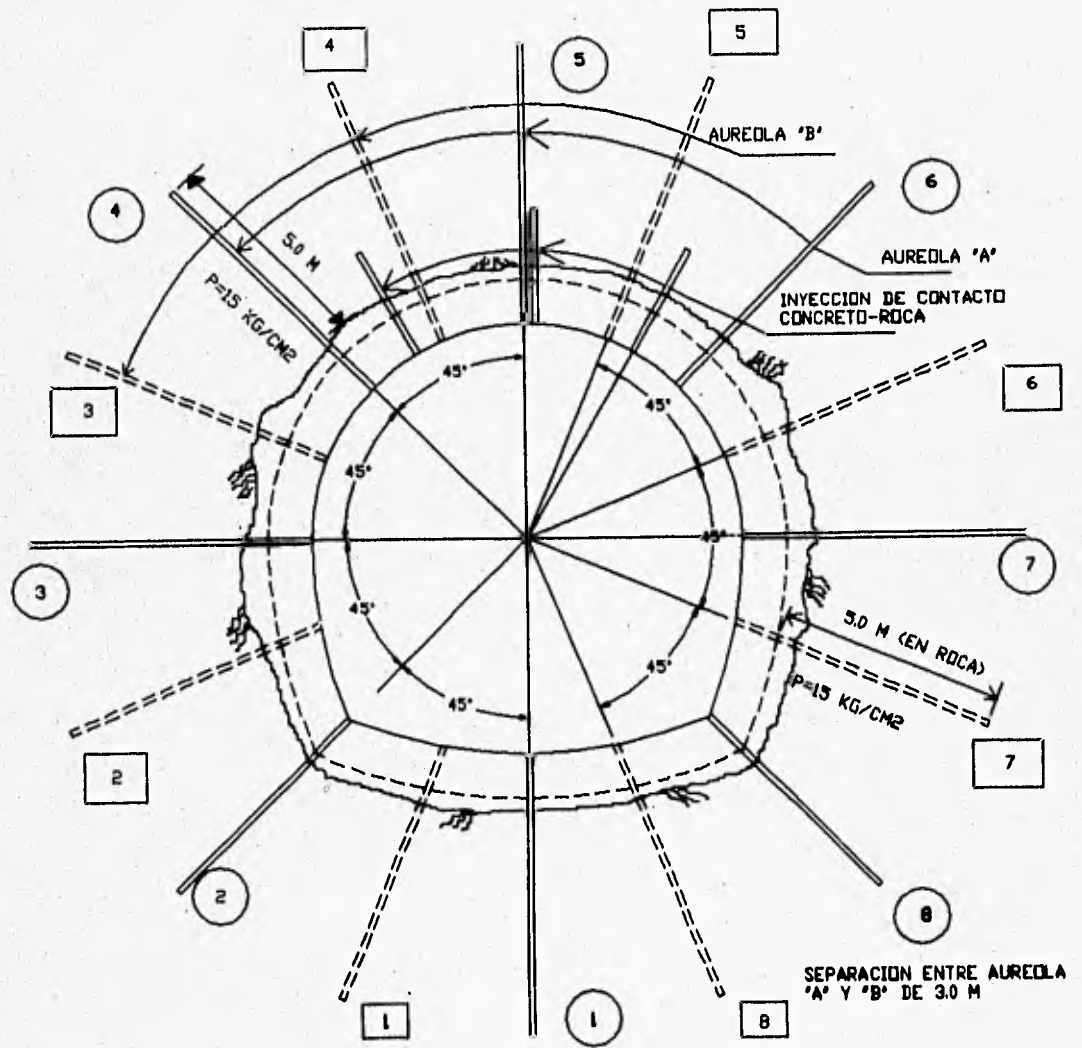


FIG. 3 INYECCION TIPO "C" DIRECCIONAL
ZONAS DE ALTA DENSIDAD CARSTICA

VI. CAVERNA

VI1 ESTUDIOS REALIZADOS

VI2 REHABILITACION DEL TRAMO

Durante la excavación del túnel de conducción en el tramo de Obra de Toma a la Ventana 1 , al realizar la conexión de los dos frentes de ataque, en el cadenamiento 1+370 se detectó una caverna que intercepta al túnel, se realizaron en obra varias medidas preventivas para poder cruzar este tramo en forma provisional, excavando con colocación de marcos y reposición de concreto, de tal manera de que se logro una liga entre ambos frentes.

VL1 ESTUDIOS REALIZADOS

A medida que se tuvo acceso a esta zona, se realizaron varios estudios, los cuales se efectuaron con la finalidad de determinar las protecciones temporales y definitivas de este tramo del túnel y para conocer su naturaleza y origen de esta cavidad.

Los estudios realizados, así como sus conclusiones se describen a continuación:

Condiciones geológicas

En junio de 1992 cuando se tuvo acceso al sitio, se hizo un estudio de las condiciones geológicas, indicándose lo siguiente:

En el frente Ventanal-Obra de Toma, los estratos de calizas presentan de echado N 78° E 77° de inclinación, en espesores que oscilan entre 0.40m a 0.80m de color gris claro a crema. Los estratos se van cortando casi paralelos al túnel.

Por la coincidencia con una falla inversa de rumbo NW 50° SE20°, muy ondulada y conteniendo en su plano de 30 a 10 cm de arcilla combinada con alguna fractura de importancia, carstificada, favoreció la introducción de arcilla en el plano de estratificación localizado en la tabla derecha del túnel.

Al interceptarse con la excavación se produjo un caído de regular magnitud en su parte frontal y la tabla derecha, constituido por bloques de 0.592 cm de espesor delimitados por arcillas de color café ocre, húmeda y plástica.

Debido a las condiciones de este frente, Mecánica de Rocas optó por la utilización de marcos metálicos con una separación de 1m, seguido de un anclaje en bóveda con una longitud de barras de 4m inyectadas con mortero.

Con objeto de reanalizar las condiciones geológicas de la intersección de los frentes de OT-V1, se procedió a hacer un reconocimiento geológico en la zona del cañón, donde se observó el comportamiento de una de las muchas fallas intraformaciones o satélites que existen en la zona.

La falla observada se localiza aproximadamente en la elevación 1,560, es muy elevada o irregular, al proyectarla hacia la zona del túnel se observó que es correlacionable con la obtenida en el túnel de conducción.

La presencia de arcilla en el túnel probablemente se debe a la existencia de una fractura importante que contribuyó a la formación de cavidades de disolución que fueron posteriormente rellenadas por material arcilloso proveniente del material volcánico localizado en superficie o a través de los estratos dada su posición.

De acuerdo a la geología de detalle obtenida de las excavaciones se observa:

- De acuerdo a la proyección del estrato límite del caído, éste lo podremos encontrar en el cadenamiento 1+350.
- La falla inversa se prolonga sobre la clave del túnel, alejándose del mismo con un ángulo muy agudo alcanzando en el cadenamiento 1+350 apenas un diámetro de túnel de separación.
- En el frente OT-V1 y a partir del cadenamiento 1+315 se observan vetillas de caliza de 1 cm de espesor con una separación entre ellos de 10 a 15 cm y cuya orientación es de NE 65°/15° NW.

Exploración geológica

Se realizó una exploración de la zona para detectar el contacto arcilla-roca sana, encontrándose lo siguiente:

- Se realizaron 18 líneas de barrenos exploratorios a partir del cadenamiento 1+359 al 1+450 con una profundidad de 11m cada uno, en cada sección o línea se programaron ocho barrenos.

El propósito de esta barrenación fué la de encontrar el contacto arcilla-roca sana y en base a estos resultados conformar la caverna para efectos de diseño en el túnel.

El procedimiento general consistió en perforar cada uno de los barrenos indicados, los que mediante observación directa durante la perforación, se determinó el contacto entre la arcilla y la roca sana; a fin de asegurar el anterior intervalo se penetró en roca firme por lo menos 3m.

De la perforación efectuada se concluyó lo siguiente:

- 1.- Exploración en los cadenamientos 1+359 al 1+370. Se comprobó la continuación de la caverna hacia la tabla izquierda alcanzando en el cadenamiento 1+365 una cobertura lateral de 1.5 diámetros, para el cadenamiento 1+375 ésta disminuye considerablemente alcanzando sólo 2m; en la tabla derecha solo se encontró roca, en el piso se detectó la presencia de roca y arcilla a partir del cadenamiento 1+367.5 hacia aguas abajo.
- 2.- Exploración en los cadenamientos 1+380 al 1+400. En los cadenamientos 1+390 y 1+395 se perforaron cinco barrenos a 13.5m en promedio en piso, sin encontrar roca sana ya que se atravesaron bloques de grandes dimensiones con arcillas, los cuales a profundidad pudiesen ser estratos fracturados con tubificaciones o ductos cársticos rellenos de arcilla. Dichas perforaciones son puntuales ya que el método exploratorio no permitió recuperación de muestras.
- 3.- Exploración en los cadenamientos 1+400 al 1+450. En este tramo se realizaron un total de 54 barrenos, definiéndose en primer término la presencia de roca sana en la tabla izquierda, con ocasionales oquedades rellenas de arcilla que varían de 20 a 50 cm de diámetro. En la bóveda del túnel sólo se encontró roca, hacia la tabla derecha entre los cadenamientos 1+400 y 1+420 se tiene una zona de brecha y arcilla.

En los cadenamientos 1+425 al 1+450 se comprobó la presencia de roca con coberturas laterales que van desde uno a dos diámetros respectivamente, en los cadenamientos 1+429 y 1+435 se encontró regular cantidad de arcilla, la cual se encuentra alojada en oquedades cársticas, asimismo se delineó la continuación de la caverna en la tabla derecha, respecto al piso, la barrenación reportó la existencia de bloques empacados en arcilla, teniendo su máxima profundidad hacia el cadenamiento 1+400 disminuyendo dichos espesores hacia aguas abajo, siendo hasta el cadenamiento 1+425 cuando se detectó roca sana.

Tramo con caídos

Dos aspectos son necesarios para la rehabilitación del túnel en el tramo en cuestión: primero, trabajos para asegurar la continuidad del tránsito a lo largo del túnel antes del colado definitivo y segundo, la solución definitiva del revestimiento.

1.- Rehabilitación inmediata para garantizar el tránsito. Consiste en construir un túnel falso en el tramo de caverna (1+380 al 1+398), en cuyo interior se pueda alojar posteriormente el revestimiento definitivo, para ello se acordó proceder como sigue:

- Limpiar (peinar) la tabla derecha del túnel aproximadamente 50cm, la limpieza será principalmente en arcillas y alguna parte en roca brechoide soldada parcialmente con calcita.

- Limpiar el piso hasta 1m abajo del espacio necesario para alojar el revestimiento definitivo o bien hasta la roca si esta se encuentra antes.

- Colocar un piso de concreto simple hasta el nivel inferior de lo que será el revestimiento definitivo; en este piso se apoyarán marcos metálicos que esten acondicionados con puntales transversales al túnel entre sus patas, los cuales pueden quedar incluidos en el colado.

- Colocar marcos metálicos librando el espacio en el que quedará el revestimiento definitivo.

- Colocar cimbra apoyada en los marcos y colar concreto contra el terreno natural hasta alcanzar una altura sobre la bóveda de cuando menos 2m, dejando instalados a través del colado tubos de diferentes longitudes para realizar un relleno parcial de la caverna mediante la inyección de un suelo-cemento o concreto pobre.

2.- Revestimiento definitivo del túnel. Previamente a la construcción del revestimiento definitivo del túnel se requiere de la realización de exploración en el tramo en cuestión para definir el espesor de arcilla que lo rodea y las características de la roca en el entorno del mismo.

En virtud de la presencia de arcilla en el tramo, el revestimiento definitivo del mismo se ha diseñado considerando que no existe contribución del medio circundante para tomar la presión interna en el conducto. Para poder construir esta sección a lo largo del tramo de túnel, se requerirá retirar los marcos metálicos de los tramos en los que se colocaron. De acuerdo con el personal de la obra que inspeccionó las condiciones del túnel durante su excavación, esto es factible ya que la bóveda era estable por sí misma y los marcos solo fueron puestos para protección y dar confianza al personal. Sin embargo, los marcos que están del lado de aguas arriba de la conducción, empacados con sacos de cemento, aparentemente sí están sujetos a carga por el terreno y su retiro plantearía problemas particulares. El retiro de los marcos del lado de aguas abajo de la caverna por lo menos requeriría de medidas para retirar el concreto de relleno que se colocó atrás de ellos. Además, en ambos tramos se requerirá de adecuar la excavación para dar cabida a la sección del revestimiento considerada en este tramo.

De no poderse retirar los marcos por condiciones de estabilidad de la excavación, habrá de habilitarse un procedimiento junto con el contratista para lograr el espacio requerido para alojar el revestimiento de proyecto, o modificarlo en esta sección, considerando incluso la instalación de camisa metálica.

Cualquiera que sea la solución que se adopte, se deberá ejecutar al final una inyección de empaque terreno-revestimiento y dependiendo de los resultados de la exploración pudiera ser necesaria una inyección de consolidación.

Prospección geofísica

En septiembre de 1992 se efectuó el estudio geofísico de la zona de la caverna teniendo lo siguiente:

Se efectuó una prospección dentro del túnel de conducción entre los cadenamientos 1+380 al 1+400, mediante las técnicas de resistividad eléctrica y refracción sísmica, para determinar la profundidad del piso de la caverna que se encuentra cubierta por arcilla y bloques de caliza. Para cumplir con el objetivo antes mencionado, se prospectaron tres líneas longitudinales de 40m paralelas y a 2.50m una de la otra, que se denominaron Sección Derecha, Sección Central y Sección Izquierda.

En cada sección, a partir del cadenamiento 1+380 se realizaron cinco sondeos eléctricos verticales (SEV) tipo Schlumberger con puntos de atribución a cada 5m y aberturas máximas interelectrónicas (AB/2) de 40m y un tendido sísmico de refracción (TRS) de doce sismodetectores espaciados a cada 2m con nueve puntos de generación de ondas ubicadas a 1, 7 y 13m de los geófonos exteriores del tendido, así como en los puntos medios entre los geófonos 3-4, 6-7 y 9-10.

Del estudio realizado se concluye que:

- Se pudo determinar la profundidad a la cual se encuentra el piso de la caverna por los contrastes tan elevados que existe entre la resistividad eléctrica de las calizas de la Formación El Doctor y los materiales arcillosos que la rellenan.
- Los valores de resistividad y velocidad compresional de los materiales de relleno indican que éste está constituido por arcillas con bloques de diferente tamaño de caliza, sin ninguna cohesión y que serían fácilmente removibles si no fuera por la dimensión de algunos de estos bloques.
- Los espesores del material de relleno de la caverna se determinaron en un rango que oscila entre los 3.5 y 9m.
- La configuración que presenta del piso de la caverna, con tendencia a profundizarse rumbo a la pared izquierda, sugiere una posible extensión lateral o diagonal de la misma en esta dirección.

Módulos de deformabilidad

En febrero de 1993 se llevó a cabo el estudio geofísico del piso de la caverna para determinar el módulo de elasticidad del mismo, de este estudio se concluye que:

Para el diseño definitivo del túnel en esta zona debe abandonarse el concepto anterior de estructurarlo como "puente" con un apoyo central, ya que los resultados de la exploración directa mostraron una calidad de roca óptima y uniforme para la cimentación, lo que fué confirmado con el estudio de geología.

VL2 REHABILITACIÓN DEL TRAMO

Limpieza

En la zona de la caverna y con un ancho hasta de 8.5m entre los cadenamientos I+355 al I+577, se deberá limpiar la plantilla de la caverna 2.8m abajo de la rasante terminada del túnel o hasta detectar la roca sana, en ambas paredes se deberá extraer los bloques de roca empacados en arcilla que se encuentren en estado suelto.

Protección provisional

Se colocará una protección provisional en la zona de la caverna, la cual estará resuelta por dos muros de 5.4m de altura (1.05m arriba del eje del túnel) a lo largo de toda la caverna, sobre estos muros se colocará a cada metro un marco metálico que servirá de apoyo de una cimbra de madera. Se procederá al colado de los dos muros laterales, en las zonas donde los muros no tengan un apoyo mínimo de 60cm se colocarán anclas en forma selectiva, recomendándose que sean a cada metro tres anclas de 1 1/4" con una longitud del orden de 6m.

En la parte inferior de los muros, se colocará una losa de concreto simple con un espesor de 80cm, en caso de que ésta no tenga una continuidad con los muros, se colocará una zapata de concreto a cada tres metros.

Cuando el concreto de los muros alcance una resistencia mínima de 100 kg/cm^2 , se procederá a colocar los marcos metálicos a cada metro.

Posteriormente se colocará la cimbra a base de tablonces de madera, los cuales se apoyarán sobre el patín inferior de los marcos, dejando ahogados cuatro tubos de 3" de diámetro a cada cuatro metros, la longitud de los tubos se fijará en obra.

Revestimiento definitivo

1.- **Habilitado del acero.** Una vez que se tenga la zona por construir limpia, se realizará el habilitado y armado del acero de refuerzo, revisando en las zonas donde el espesor es ligeramente menor al proyecto, de que este pueda ser colocado y colado.

2.- **Colado del revestimiento.** Se procederá a colocar el revestimiento definitivo de acuerdo a lo indicado en los planos estructurales, teniendo cuidado en el vibrado de este tramo debido a que el volúmen del concreto es superior al de los otros tramos.

3.- **Relleno parcial de la cavidad.** Una vez terminado de colar este tramo de túnel se procederá a la colocación de un mortero a base de arena fina con mortero, cuya relación será arena/cemento = 0.8 en peso y agua/cemento = 0.5 en peso, el espesor mínimo de este relleno es de 4m sobre el concreto y también se colocará en capas no mayores de 50cm. Dejando fraguar esta mezcla un mínimo de 48 hrs. entre capas, el relleno será colocado por medio de bombeo.

4.- **Inyección de contacto.** La inyección de contacto tiene por objeto el sellar el espacio comprendido entre la roca y el paño exterior del revestimiento definitivo del túnel en la pared izquierda, al inicio de la caverna, así como en la zona donde existe techo.

Para efectuar la inyección, se deberán perforar barrenos de 5.08cm de diámetro y deberán penetrar en la roca 50cm; la separación entre ellos (horizontal y vertical) será de 1m.

La inyección de mezclas será con la dosificación indicada en la sección de tratamientos, en inyecciones de contacto.

Instrumentación

1.- Revestimiento provisional. La instrumentación en esta etapa de construcción compuesta por seis estaciones de convergencia colocadas en los cadenamientos; 1+370, 1+390, 1+400, 1+410 y 1+420, nivelaciones y plomos de los muros laterales.

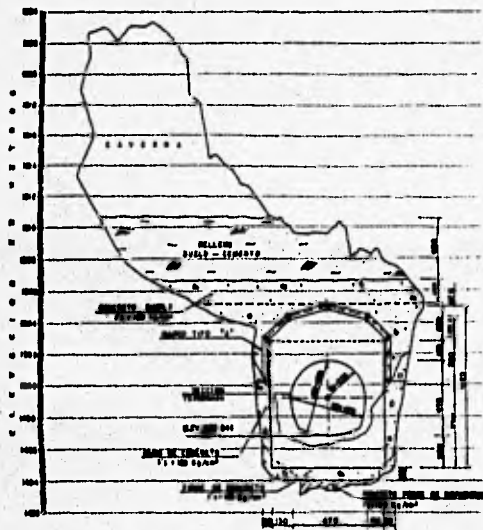
Las mediciones de los aparatos se realizan cada tercer día hasta que se establezcan las mediciones.

2.- Revestimiento definitivo. Dependiendo de los resultados de la instrumentación colocada en el revestimiento provisional, se definirá si es necesario aumentar o reducir el número de secciones para medir la convergencia de este tramo de túnel.

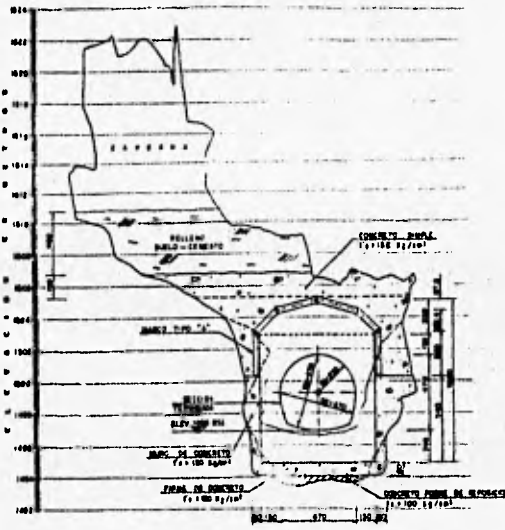
3.- Túnel en operación. Se diseñó una instrumentación desde superficie, para así conocer el comportamiento a largo plazo de este tramo especial del túnel, esta instrumentación se compone de los siguientes aparatos:

- Una estación de extensometría para medir el comportamiento del relleno colocado y para conocer el comportamiento del techo de la caverna.

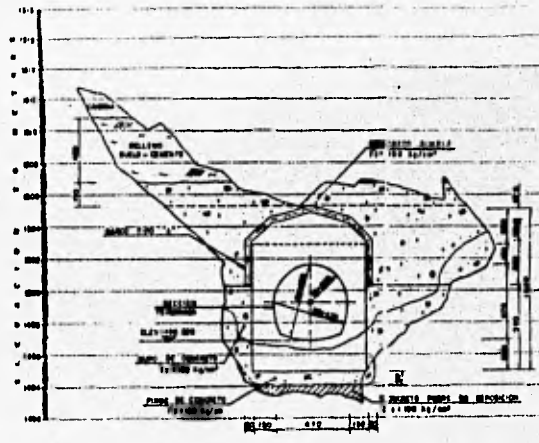
- Una estación de piezometría para medir si esta zona se está saturando y conocer la presión externa gravitando en el revestimiento definitivo.



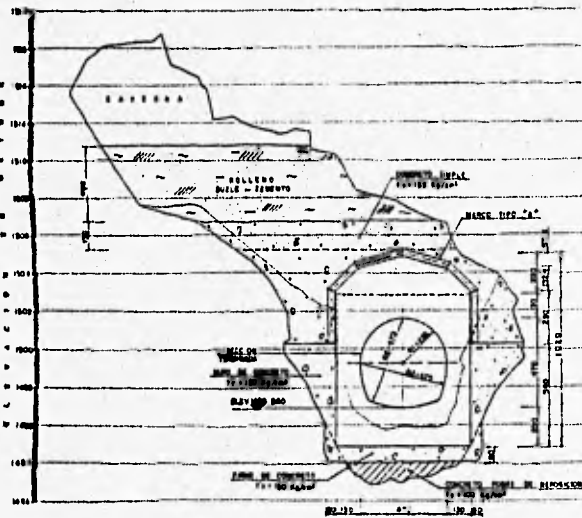
C O R T E B - B'
 TIPO - E3
 CAD. 1 - 394.00 Km.
 1936 1-1001



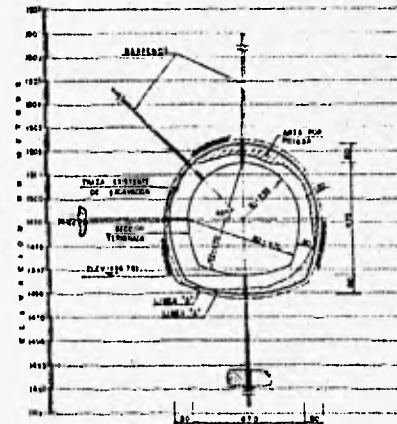
C O R T E C - C'
 TIPO - E3
 CAD. 1 - 398.00 Km.
 1936 1-1001



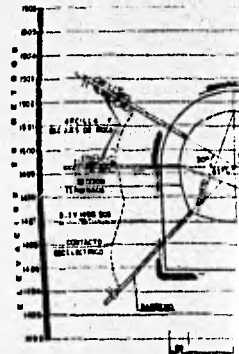
C O R T E D - D'
 TIPO - E3
 CAD. 1 - 402.00 Km.
 1936 1-1001



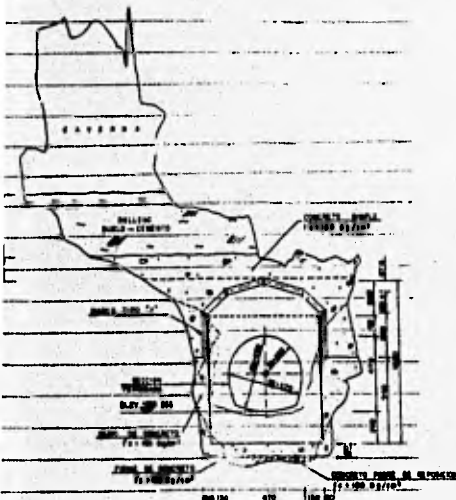
C O R T E E - E'
 TIPO - E3
 CAD. 1 - 188.00 Km.
 1936 1-1001



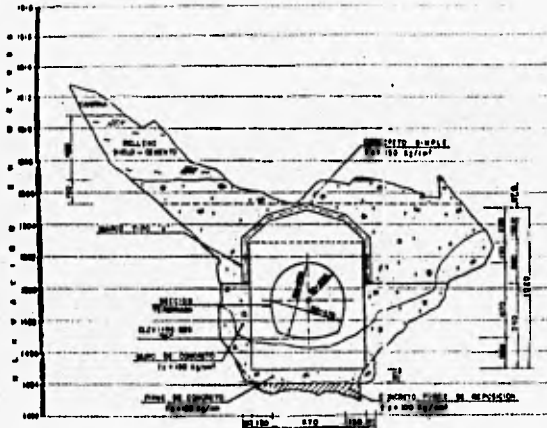
C O R T E F - F'
 SECCION TIPO EN TUNEL
 TIPO - E1
 CAD. 1 - 438.00 Km.
 1936 1-1001



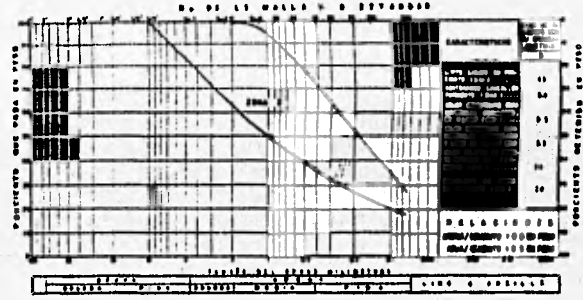
C O R T E
 SECCION TIPO
 TIPO
 CAD. 1 -
 1936



C O R T E C - C
 TIPO - E2
 CAD. 1+398.00 Km.
 (1981/1982)



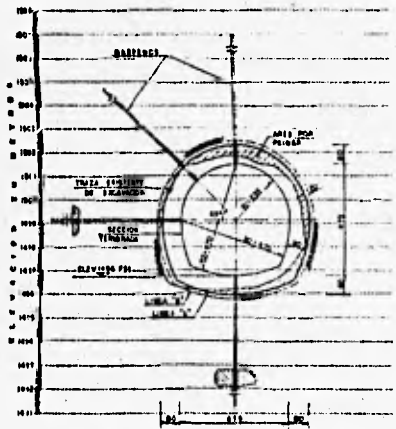
C O R T E D - D
 TIPO - E2
 CAD. 1+402.00 Km.
 (1981/1982)



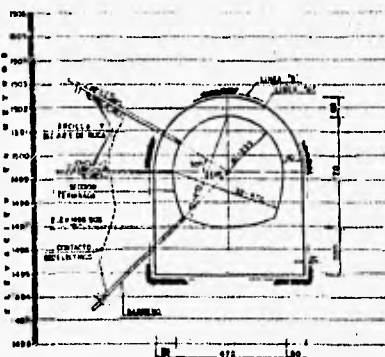
F I G U R A N ° 1
 ESPECIFICACIONES PARA EL MATERIAL DE RELENCO
 EN LA ZONA DE LA CAVERNA

- NOTAS:**
- ESTACIONES DE ALIBRISTOS
 - ALIBRISTOS DE INTERIOR, SEPARADOS AL MENOS 50 CM DEL PISO
 - ALIBRISTOS DE EXTERIOR, SEPARADOS AL MENOS DE 50 CM DEL PISO
 - LA TOLERANCIA DE GRABACION ES LA LINEA "A" Y LA LINEA "B" DE 50 CM
 - LAS DIMENSIONES DE LAS SECCIONES SON REFERIDAS A LA LINEA "A"

- REFERENCIAS:**
- TUNEL DE REVISIONES, SECCIONES (EXCAVACION Y CONCRETO), NUMERO DE ESPECIFICACIONES: E2/2-E-1-8488; (P.M.S., 1981)
 - TUNEL DE REVISIONES, TUNEL, PLAN, CAD. 1+398.00 AL CAD. 1+402.00 (DICIEMBRE, 1980)



C O R T E F - F
 SECCION TIPO EN TUNEL
 TIPO - E1
 CAD. 1+438.00 Km.
 (1982/1/1982)



C O R T E G - G
 SECCION TIPO EN TUNEL
 TIPO - E2
 CAD. 1+372.00 Km.
 (1982/1/1982)

FECHA:	ESTACIONES:	HECHOS:	ESTRUC.	HECHOS:
1981	1398	1402	1402	1402
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD				
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION				
COORDINACION DE PROYECTOS Y OBRAS DE CONSTRUCCION DE LA RED NACIONAL DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA				
PROYECTO HIDROELECTRICO ZIMAPAN, HGO.				
CONJUNTO TU: EL DE CONDUCCION				
TITULO: TRATAMIENTO INTERIOR DE LA CAVERNA				
CAD. 1+398.00 AL CAD. 1+377.00				
AREA DE OBRAS: ESTRUCTURAS				
APROBACION PARA CONSTRUCCION				
PROYECTO:	HECHOS:	ESTRUC.	HECHOS:	ESTRUC.
1398	1402	1402	1402	1402
APROBADO POR: ING. ROBERTO MANRIQUE NORIEGA				
FECHA: 1981/12/15				

VII. CONTROL DE CALIDAD

**VIL1 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACION DE
CONCRETOS**

VIL2 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

VIL3 CONCRETOS

VIL4 REVESTIMIENTO DEFINITIVO

V11.1 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACION DE CONCRETOS

Para producir concreto en forma continua y con la calidad establecida en las especificaciones, se requiere atender y controlar la calidad de las materias primas que se utilizan para la fabricación del concreto. Las materias primas que se requieren en la fabricación del concreto son: cemento, agregados (grava y arena), agua y aditivos.

Cemento

El cemento empleado en la obra debe corresponder al que se ha tomado como base para la selección del proporcionamiento del concreto. El control más efectivo del cemento consiste en comprobar su calidad antes de que se envíe a la obra, lo cual indica, ensayarlo antes de abandonar la fábrica, los resultados de estos ensayos deberán cumplir con las normas ASTM C-150, C-595 y C-618 especificadas.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, se realizan las siguientes actividades para determinar si se produce algún cambio en las características del cemento debido al transporte y almacenaje.

- 1.- Se registra todo el cemento que llegue, así como la temperatura de llegada.
- 2.- Se toma una muestra de 2 kgs aproximadamente de cada pipa y se le realiza las siguientes pruebas:
 - Fraguado falso (de acuerdo al método de prueba ASTM C-451).
 - Finura de malla 325 (de acuerdo al método de prueba ASTM C-430).
- 3.- Se toma una muestra de 5 kgs aproximadamente del lote de cemento total recibido durante el día y se le realiza las siguientes pruebas:
 - Consistencia normal (prueba ASTM C-187).
 - Tiempo de fraguado (prueba ASTM C-191).

Los resultados obtenidos de las pruebas antes mencionadas, se registran en formatos diseñados para tales pruebas.

4.- Dependiendo del volumen de cemento que llegue a la obra, se integra una muestra de 6 kgs aproximadamente por mes o por quincena para enviarse a GIEYC.

5- Supervisar que se use el cemento en orden cronológico de llegada, es decir usar el sistema Primeras Entradas-Primeras Salidas (PEPS), para evitar mantener almacenado el cemento por largos periodos de tiempo.

Agregados

Considerando que las primeras mezclas de concreto que se ensayan en el laboratorio, con objeto de definir los proporcionamientos requeridos, se fabrican con muestras de agregados representativos de los que deberán emplearse más adelante, es necesario, durante la producción mantener los agregados en las condiciones más similares a las originales, a fin de que los proporcionamientos de la mezcla continúen siendo válidos.

Entre las características físicas de los agregados, la más susceptible de cambiar en el curso de su producción son: su contenido de sustancias deletéreas (materia orgánica, limo, arcilla) y su composición granulométrica; lo primero ocurre normalmente en los agregados naturales y lo segundo, tanto en los naturales como en los manufacturados.

Los cambios de composición granulométrica de los agregados, constituyen el principal motivo de control durante su producción, debido a que es la característica más tendiente a variar y que estos cambios suelen producir efectos notables en el comportamiento del concreto fresco y endurecido.

Para facilitar el control de la granulometría en los agregados, y con ello conseguir mayor uniformidad en la composición de las mezclas, se deben separar las partículas en fracciones de acuerdo a su tamaño, las cuales se almacenan, manejan y clasifican en forma individual, la separación mínima que se exige es de dos fracciones, cuyos intervalos nominales son:

- Arena (agregado fino), de 0 a 4.8 mm (0 a malla número 4).
- Grava (agregado grueso), de 4.8 mm hasta el tamaño especificado.

Para asegurar la calidad de los agregados se realizan las siguientes pruebas de acuerdo a las normas ASTM y cuyos resultados obtenidos, deberán cumplir con los límites especificados en la norma ASTM C-33.

1.- Para la salida del primario y secundario se realiza las siguientes pruebas una vez por semana:

- Partículas planas y alargadas (prueba CRD C-119).
- Coeficiente de forma.

2.- Para el sitio de acopio de material integral, se realizan las siguientes pruebas una vez por semana:

- Partículas planas y alargadas (prueba CRD C-119).
- Coeficiente de forma.
- Granulometría integral (norma ASTM C-136).

3.- Para la descarga del cribado inicial de gravas, se realizan las siguientes pruebas tres veces por semana.

- Partículas planas y alargadas (norma CRD C-119).
- Coeficiente de forma.
- Granulometría (norma ASTM C-136).
- Pérdida por lavado (norma ASTM C-117).

4.- Para la descarga del cribado final de gravas, se realizan las siguientes pruebas tres veces por semana:

- Granulometría (norma ASTM C-136).
- Pérdida por lavado (norma ASTM C-117).
- Contaminaciones sub y sobretamaño (norma ASTM C-136).

5.- Para la salida de arena gruesa y fina, se realizan las siguientes pruebas tres veces por semana:

- Granulometría (norma ASTM C-136).
- Pérdida por lavado (norma ASTM C-117).

6.- Para la arena en tolva de concreto, se realizan diariamente la prueba de:

- Granulometría (norma ASTM C-136).

7.- Los resultados de las pruebas antes mencionadas, se registran de acuerdo a lo siguiente:

- Partículas planas y alargadas.
- Determinación de contaminación de agregados.
- Para composición granulométrica de diversas gravas.
- Para composición granulométrica de arena.

Agua

La calidad del agua, en relación con el concreto, tiene importancia como agua de mezclado en el concreto fresco y como agua de concreto endurecido, es decir, como agua de curado ó como la que forma parte del medio que rodea a un elemento de concreto.

Antes de empezar una obra de concreto, se deben estudiar las características del agua que se estime usar en la elaboración y curado del concreto. Normalmente se considera que el agua que se aprueba para mezclar el concreto, también es apropiada para el curado.

Para asegurar la calidad del agua de mezclado, se realizan las siguientes actividades:

- 1.- Obtención de muestras de las diferentes fuentes de abastecimiento. Las cuales deben estar limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, alcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el acero de refuerzo.
- 2.- Se envían mensualmente éstas muestras a la GIEYC para su análisis físico y químico.
- 3.- Vigilar que la selección de las proporciones del concreto se basen en mezclas de concreto utilizando agua de la misma fuente.
- 4.- Realizar una prueba de resistencia a los cubos de mortero preparados y probados de acuerdo a ASTM C-109. La comparación de la prueba de resistencia, debe hacerse de morteros idénticos excepto por el agua de mezclado, la cual será agua potable para el testigo y agua de la fuente propuesta para el cubo de prueba. La resistencia del cubo de prueba, a los 7 y 28 días debe ser por lo menos 90% de la resistencia obtenida en el cubo testigo.

Aditivos

Los aditivos que deben emplearse en el concreto están sujetos a la aprobación previa de la supervisión. Como parte de la calificación de los aditivos, se efectúa un análisis de laboratorio previo a la salida del producto a la obra.

Para el P.H. Zimapán, dicho análisis los realiza GIEYC y el producto regresa acompañado de la boleta de liberación.

La inspección de los aditivos en campo se avoca a los siguientes aspectos:

1.- Verificar que el lote de los aditivos a utilizar, tengan la boleta de liberación por parte de GIEYC y que en ella se indique que cumple con las siguientes especificaciones apropiadas:

- Los aditivos inclusores de aire deben cumplir con ASTM C-260.
- Los aditivos reductores de agua, retardantes y acelerantes deben cumplir con ASTM C-494.
- La ceniza volante u otras puzolanas que se emplean como aditivo, deben cumplir con ASTM C-618.

2.- Verificar que los aditivos sean almacenados correctamente para evitar su contaminación.

3.- Verificar que durante el uso de los mismos la dosificación e incorporación a la mezcla sea de acuerdo a lo especificado.

VII.2 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

Debido a la distancia entre la planta de producción de agregados y la planta dosificadora, se hace necesario el transporte y almacenaje de agregados en partes estratégicas de la obra. Para garantizar la inalterabilidad de la calidad de los agregados durante el transporte y almacenaje, se debe supervisar y controlar los siguientes aspectos.

Transporte

Para asegurar que la calidad de los agregados no se afecte durante el transporte, se supervisan los siguientes aspectos:

- 1.- Verificar el lavado y escurrido de las cajas de los camiones transportadores para evitar residuos o materiales distintos a los que se van a transportar.
- 2.- Elaboración y entrega de boleta para su transporte indicando pérdida por lavado (PXL).
- 3.- Verificación del PXL.
- 4.- Verificar que material requiere o no ser lavado. En caso de requerirse, se vigilará el lavado del material en Garsa.
- 5.- Autorizar boleta del material para su transporte.
- 6.- Una vez lavados los agregados, se descargan en tolvas cuando se encuentran vacías o en el almacén de emergencia en caso contrario.

Almacenamiento a cielo abierto

El lugar elegido para almacenar los agregados, deberá contar con área suficiente para alojar la cantidad requerida de material, la cual será determinada en función de las necesidades de cada área de trabajo. Los aspectos que se supervisan durante esta etapa son:

- 1.- Área drenada y protegida, para eliminar el agua producto de escurrimientos por lluvias y para proteger a los agregados de vientos y tolvaneras.
- 2.- Cama de material. Para evitar la contaminación del agregado por mezclarse con el suelo.
- 3.- Zona de maniobras. Para evitar la formación de lodos por el tránsito de equipos.
- 4.- Identificación del agregado. Para evitar mezclas de agregados de distintas características.

VII.3 CONCRETOS

Los ensayos de comprobación de la calidad del concreto, constituyen el aspecto culminante de una serie de medidas diseñadas, planeadas y adoptadas para conseguir un concreto cuyas propiedades se hayan estimado indispensables para el buen comportamiento de la estructura, donde se empleará.

Los ensayos de comprobación, se realizan al concreto fresco y al concreto endurecido.

Concreto fresco

Los ensayos de comprobación del control de calidad del concreto fresco, constituyen un aspecto importante, ya que a través de sus resultados, se obtiene la primera información que permite predecir si el concreto elaborado es de la calidad requerida. Los aspectos que se deben vigilar, así como las pruebas y frecuencias de las mismas que se le deben efectuar al concreto fresco son:

- 1.- Obtención de la muestra del concreto fresco. Estas muestras se obtienen y manejan de acuerdo con la norma ASTM C-172.
- 2.- Consistencia. La prueba de revenimiento, norma ASTM C-143, es el método de mayor aceptación que se utiliza para medir la consistencia del concreto. La frecuencia del muestreo para esta prueba durante un colado es; al principio del colado los 3 o 4 primeros viajes o hasta lograr la consistencia del concreto, posteriormente todos los viajes se inspeccionan visualmente y si no se observan variaciones importantes, el revenimiento se mide cada 4 o 5 viajes.
- 3.- Medición de la temperatura. Debido a la importante influencia que la temperatura del concreto tiene sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido, se realizan mediciones de la temperatura del concreto (norma ASTM C-2064) con la misma frecuencia que la prueba de revenimiento, aprovechando así la muestra tomada.
- 4.- Peso volumétrico y rendimiento. Se determinan de acuerdo con la norma ASTM C-138. Los resultados obtenidos se utilizan para determinar la cantidad de concreto producido por mezcla y su contenido de aire. La frecuencia en la realización de esta prueba es cada 3 o 4 colados dependiendo del volumen y de si el concreto tiene o no aditivo inclusor de aire.

5.- Contenido de aire. Se utiliza el método de presión (norma ASTM C-231). Para concretos con TMA de 1.5 pulgadas o menores, la frecuencia varia, dependiendo del volumen por colado y de si el concreto tiene o no aditivo inclusor de aire, en general, la prueba se realiza cada 3 o 4 colados.

Concreto endurecido

Estas pruebas tienen la finalidad de comprobar que el concreto adquiera y manifieste las propiedades que a su vez se estimaron indispensables para el buen comportamiento de las estructuras.

La resistencia mecánica es la propiedad del concreto endurecido que se comprueba con mayor frecuencia, los aspectos que se deben optimizar así como las pruebas de resistencia del concreto endurecido son:

- 1.- Elaboración y curado de especímenes obtenidos de muestras de concreto fresco. Se realiza de acuerdo a las normas ASTM C-192 (para laboratorio) y ASTM C-31 (para campo). Para TMA de 1.5 pulgadas o menores, se fabrica una serie de 6 cilindros 15x30 por cada colado que se realice. Cuando el volumen del colado sea mayor de 250 m³ se fabrican 2 series.
- 2.- Obtención de especímenes extraídos o aserrados provenientes de miembros de concreto endurecido. Estos se obtienen de acuerdo a la norma ASTM C-42.
- 3.- Cabeceo de cilindros de concreto. Antes de relizar la prueba de resistencia a la compresión de los cilindros, se realiza el cabeceo de los especímenes de prueba de acuerdo a la norma ASTM C-617.
- 4.- Ensayo de resistencia a compresión de los cilindros. Los resultados obtenidos permiten comprobar las propiedades del concreto, por lo que es de vital importancia el cuidado durante la realización de esta prueba, la cual debe realizarse de acuerdo a la norma ASTM C-39.
- 5.- Ensayo de núcleos de concreto. La superficie e inspección de la realización de esta prueba y los resultados obtenidos, certifican y corroboran las propiedades del concreto. Se realiza de acuerdo a las normas ASTM C-42 y ASTM C-174.

VII.4 REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento constituye la etapa final de la construcción del túnel, siendo de vital importancia la obtención de los resultados con las dimensiones, acabados y calidad especificada; por lo que se requiere llevar a cabo la inspección y control durante y después de los colados, para lo cual se consideran los siguientes aspectos:

Recepción previa al colado

En esta etapa se realiza la recepción de la excavación, tratamientos y limpieza; lo cual en ambos casos van por adelantado, previo al desplazamiento de la cimbra.

- 1.- **Excavación.-** El supervisor solicita que la contratista realice la última verificación a la excavación y en caso de existir pequeños peines proceder a su marcaje para su retiro. El supervisor se encarga de revisar la ejecución del peine y retiro del material, previo al desplazamiento de la cimbra.
- 2.- **Tratamientos.-** Debido a que durante la excavación se realizaron tratamientos de soporte como anclaje y concreto lanzado, se hace una revisión final de sus condiciones. Se realizan tratamientos a zonas cársicas, por lo tanto se verifica que hayan sido tratadas previamente, de lo contrario se indica a la contratista para que se realice.
- 3.- **Limpieza.-** Verificar que se retire material grueso como rezaga o desperdicio y agua; con el fin de facilitar las maniobras de la cimbra.

Acero de refuerzo

- 1.- **Previo al habilitado del acero** la supervisión verifica que este cuente con los certificados de la liberación de control de calidad del fabricante, avalados por GIEYC.
- 2.- **El supervisor debe contar con el despiece del proyecto**, el cual debe cumplir con lo indicado en las normas ACI 318-77, capítulo 7; en base al mismo se debe inspeccionar su habilitado.
- 3.- **El supervisor verifica que el acero esté libre de escamas, óxidos, aceites, grasas u otro recubrimiento que puede destruir o reducir la adherencia con el concreto.**

4.- Se verifica las tolerancias para la colocación del acero de refuerzo, que debe cumplir con lo siguiente:

- Por recubrimiento

Para 5.0 cm + 0.6 cm

Para 7.5 cm + 1.0 cm

- Por espaciamiento + 2.5 cm

5.- Se vigila todos los empalmes, tanto los soldados a tope como los traslapados, localización de empalmes, colocación y empotramiento del refuerzo cumpliendo con los requisitos aplicables en los capítulos 7 y 12 del ACI 318-77.

6.- El supervisor verifica la fijación del acero, lo cual está a elección de la contratista y como requisito debe mantenerlo en el sitio colocado.

7.- El supervisor procede a la verificación una vez colocado el acero, siempre previo al movimiento de la cimbra.

8.- Para efectos de cuantificación; el supervisor aplica los pasos teóricos consignados en el manual AHMSA.

Preparación de la junta de construcción

Se verifica que las juntas sean tratadas de manera que los agregados queden expuestos para recibir el siguiente colado; de preferencia con chiflón de agua-aire cuando el concreto ya tenga cierta resistencia mecánica (en verde). Para proceder a la ejecución del siguiente colado, la junta de construcción debe estar limpia, libre de toda basura o materiales sueltos y el concreto húmedo, pero sin charcos.

Inspección de cimbra

Esta inspección se efectúa en cada movimiento de la cimbra, debido a que durante su uso y manejo se esperan desgastes y deterioros que tendrán que repararse, por lo que se toma en cuenta lo siguiente:

1.- La evaluación en cada movimiento de las condiciones de la cimbra determinando si alguna de sus partes requiere reparación; en caso necesario se indica a la contratista se realice.

2.- Previo al traslado al sitio de colado, se verifica que la cimbra se encuentre limpia, sin incrustaciones de concreto o cualquier otro elemento contaminante.

3.- Verificar la aplicación del desmoldante que se requiere a fin de evitar que la cimbra absorba agua de la mezcla de concreto y evitar su adherencia con el mismo, facilitando el descimbrado.

Evitarse que durante su aplicación se contaminen las zonas por colar y el acero de refuerzo.

Colocación de la cimbra

Se verifica lo siguiente:

1.- Que las uniones entre los módulos estén dentro de las tolerancias especificadas en la tabla 3.11 del manual S.R.H. 1970.

2.- Que los elementos que le dan fijación y rigidez a la estructura estén debidamente colocados.

3.- Que todas las instalaciones y alimentaciones que forman parte de la cimbra como: aire, agua, energía eléctrica, seguridad, bombeo, entre otros se encuentren en condiciones.

4.- Durante el cierre de un colado o colados con longitud fija, se inspecciona el tapón en cuanto a troquelamiento y estanqueidad.

Inspección topográfica

El personal de topografía realiza las verificaciones necesarias para recibir la cimbra dentro de la tolerancia especificada, siendo lo más importante por revisar lo siguiente:

1.- Verificación del alineamiento vertical y horizontal de la cimbra; las tolerancias están referidas en la tabla 3.11 del manual de concretos, S.R.H. 1970; siendo los siguientes:

- Alineamiento o pendiente establecida 20.0 mm
- Variaciones en las dimensiones interiores 0.5%
- Variación del espesor establecido en cualquier punto 0

2.- Las variaciones de la cimbra para su recepción se realizan en cada módulo en toda la longitud del túnel, debido al constante movimiento de este y así evitar la acumulación progresiva en los desalineamientos y tolerancias indicadas en el punto anterior.

3.- Como apoyo topográfico opcional se tiene el rayo laser, el cual no debe exceder una distancia de 500 m, topografía debe revisarse por lo menos una vez por semana y cuando se cambie de sitio.

Supervisión y control del colado

Una mezcla de concreto puede tener las propiedades y características adecuadas que satisfagan los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso, sin embargo, si no se toman las medidas preventivas de supervisión y control de calidad del colado, se obtendría un concreto con marcadas deficiencias de calidad. Es por ello que se deben realizar la inspección y control de calidad antes, durante y después del colado considerando los siguientes aspectos básicos de inspección.

a).- Inspección antes del colado

Se debe efectuar una inspección previa y rutinaria con objeto de comprobar si todas las condiciones cumplen con las especificaciones correspondientes; los principales puntos de inspección son:

- 1.- Verificación de la preparación del terreno donde se colocará, en cuanto a compactación apropiada y contenido de humedad.
- 2.- Verificar que no existan charcos de agua, para no aumentar la relación agua-cemento del concreto.
- 3.- Verificar la colocación del acero de refuerzo, ya que si esta es inapropiada puede producir agrietamiento severo, corrosión del acero y deflexiones excesivas. El acero debe estar libre de polvo, oxidación, aceite, pintura y mortero seco.
- 4.- Verificar el hermetismo, alineación y aceitado de las cimbras.
- 5.- Verificar la limpieza general de todo el tramo de colado.
- 6.- Revisar la existencia de ventanas de inspección suficientes y accesibles en donde sea necesario.
- 7.- Revisar que el equipo, herramientas y mano de obra sean las adecuadas para el vibrado, compactación, acabado y curado.

8.- Revisar los procedimientos o métodos que se van a usar para el descimbrado y curado posterior.

9.- Verificar que la contratista tome medidas preventivas (cuando se requiera) contra sol y lluvia, así como iluminación suficiente.

10.- Revisar el buen estado mecánico de la planta dosificadora en general; que las básculas cumplan con los límites especificados para la dosificación (previa verificación); que la existencia de materiales sea suficiente para todo el colado y que cumplan con las especificaciones correspondientes; que el número de vehículos (mixer) sean suficientes para el transporte del concreto y que estos no provoquen segregación o contaminación.

11.- Registro de las actividades previas al colado.

b).- Inspección durante el colado

En el momento de colar, la inspección atiende los siguientes aspectos:

1.- Comprobar que los materiales que se empleen sean los originalmente previstos y aceptados para el colado en turno.

2.- Verificar que las cantidades de materiales que se dosifican por revoltura correspondan al proporcionamiento establecido (después de corregido según contaminaciones y humedades de los agregados).

3.- Vigilar que se suministre a las mezclas de concreto el tiempo de revoltura especificado.

4.- Comprobar el número de mezclas de concreto que se elaboren y procurar que tengan la consistencia requerida (prueba de revenimiento) sin que se presente segregación al descargar la revoltura.

5.- Observar si ocurren cambios en las condiciones granulométricas y de humedad de los agregados y/o en el aspecto y consistencia de las mezclas de concreto al salir de la mezcladora.

6.- Vigilar que el concreto se transporte de la revolvedora al sitio de colado en condiciones que no produzcan segregación y que el tiempo de transportación no resulte mayor del previsto (2 hrs). El tiempo está dado en función del aditivo empleado y por las recomendaciones del fabricante. Para su medición se toma como referencia la hora de fabricación anotada en la remisión de salida del concreto.

- 7.- Cuidar que se coloque dentro de las formas sin segregar y a ritmo uniforme, siguiendo el plan trazado para el avance del colado.
- 8.- La colocación del concreto debe ser con caída vertical sin golpeo contra formas ni refuerzo.
- 9.- Vigilar que el concreto se acomode mediante el equipo aprobado hasta que todo el espacio confinado se llene de concreto homogéneo y exento de cavidades, evitándose el sobrevibrado.
- 10.- Comprobar que se dé a las superficies del concreto recién acomodado el acabado estipulado.

c).- Inspección después del colado

No puede decirse que exista una delimitación clara entre la inspección durante y después del colado, ya que frecuentemente esta última requiere iniciarse antes de que concluya aquella. Los aspectos considerados como parte de la etapa de inspección posterior al colado son:

- 1.- Vigilar la aplicación del curado especificado a las superficies libres después de darles al acabado requerido.
- 2.- Comprobar que la remoción de las formas y apoyos se lleve a cabo cuando el concreto tenga la edad establecida (12 hrs), y que esta operación se realice con el debido cuidado, para evitar daños a la estructura.
- 3.- Verificar que se aplique el curado especificado a las superficies moldeadas en cuanto se retiren las formas que las cubren.
- 4.- Supervisar la ejecución de resanes y reparaciones al concreto que sean necesarios para corregir defectos de construcción. Esto se realiza de acuerdo al siguiente procedimiento.

Reparaciones

Se verifican las reparaciones efectuadas al concreto en dos clases principales, que se relacionan con las causas que originaron el defecto o daño que se debe reparar, estas son:

a).- Reparaciones inmediatas al colado

Estas reparaciones, se realizan a la estructura (túnel) de concreto cuya superficie moldeada presenta defectos de construcción o que haya sufrido desperfectos en el momento de retirar las formas, los aspectos a verificar son:

a.1).- Preparación de la superficie

Durante esta operación el supervisor verifica lo siguiente:

- 1.- Retiro del concreto defectuoso o débilmente adherido, evitando dañar el resto del concreto.
- 2.- Que el espacio por rellenar (caja) presente ángulos de 90 grados en todas las aristas recortadas cuando se utilice mortero seco como material de repuesto y ángulos de 45 grados cuando se trate de reposición con mortero lanzado.
- 3.- Limpieza de la "caja" mediante chorro de agua a presión.
- 4.- Presaturación de las superficies de concreto de la "caja" durante 4 hrs mediante un método continuo de humidificación sin llegar al encharcamiento.
- 5.- Aplicación de capa de mortero de liga, el cual debe ser de consistencia suave para aplicar en toda la superficie mediante brocha o cepillo.

a.2).- Dosificación y preparación del material de repuesto

La elección del material de repuesto se realiza de acuerdo a las características geométricas del volumen por reponer, siendo los más comunes; el mortero seco de relleno (Dry-Pack), mortero lanzado neumáticamente y concreto. En cada caso se verifica la dosificación y preparación del material de reposición.

1.- Mortero seco (Dry-Pack). Se verifica que este material de reposición se utilice en oquedades, ranuras o grietas, cuya profundidad mínima sea de 3 cm y que el espacio en que se aplique ofrezca apoyos laterales y de fondo. Durante su preparación se vigila:

- Relación cemento-arena 1:2.5 ò 3
- Relación agua-cemento igual a 0.01
- El tipo de arena que pase la malla número 16 (1.2 mm).

2.- Mortero lanzado neumáticamente. Este material se utiliza para cavidades extensas y cuya profundidad no admite el empleo de concreto, durante su preparación se vigila:

- La dosificación sea diseñada por el laboratorio de concretos, misma que la utilizada en la estructura pero sin grava.c).

3.- Concretos. Este material de reposición se aplica cuando las cavidades presenten una superficie mayor de 0.10 m² y una profundidad que excede 10 cm. Durante la preparación se vigila:

- La mezcla sea diseñada por el laboratorio de concretos, puede tener la misma composición de la original excepto por el tamaño máximo de la grava que puede ser reducido, y por el contenido unitario de agua, que se recomienda sean menores.

a.3).- Aplicación y acabado del material de reposición

En esta etapa el supervisor vigila la correcta aplicación del material de repuesto la cual depende del tipo de material elegido.

1.- Mortero seco (Dry-Pack). El mortero de relleno debe aplicarse cuando la capa de liga esté suave al tacto, vigilando los siguientes aspectos:

- Espesor de las capas de mortero, de 1 a 2 cm.
- Compactación del material colocado mediante un pisón.
- Ranurado de capa antes de colocar la siguiente.
- Enrasado del mortero.
- Curado del mortero mediante humedificación durante 48 hrs posteriores a su colocación.

2.- Mortero lanzado neumáticamente. Para este tipo de material de reposición, se verifica lo siguiente:

- Equipo de bombeo.
- Llenado homogéneo de la cavidad.
- Exceso de mortero en la cavidad, aproximadamente 1 cm.
- Retiro del exceso cuando esté próximo al fraguado y enrasado con la superficie adyacente con llana de madera.
- Curado del mortero, similar al de Dry-Pack.

3.- Concreto. Para este tipo de material de reposición se verifica lo siguiente:

- Utilización de la forma que permite confinar el espacio por rellenar.
- Dejar un espacio para sobreconcreto.
- Colocación y acomodo del concreto.
- Retiro de forma o cimbra.
- Recorte de sobreconcreto.
- Acabado de pulido con piedra, consiste en aplicar una delgada capa de mortero y pulirlo con piedra carborudum No. 60 antes de su fraguado inicial.
- Curado similar al aplicado en el material Dry-Pack.

a.4).- Revisión al concreto para su recepción

El supervisor verifica continuamente la condición de los concretos inmediatos al colado. Son objetables las siguientes fallas de acuerdo a la especificación No. 2-16-00 y a la tabla 3.13 anexa del manual del concreto S.R.H. parte 3.

- 1.- Cacarizos, panal de abeja, superficies arenosas, burbujas, bolsas, escamas, astillas, etc.
- 2.- Agrietamientos, perforaciones, reventaduras, ranuras, cavidades, cuarteaduras pequeñas y mayores, etc.
- 3.- Descimbrado defectuoso, descostramiento, oquedades, asentamientos, huecos, despostillamiento, etc.
- 4.- Manchas y variación notable de color sobre la superficie.
- 5.- Tratamiento defectuoso en juntas frías.

b).- Reparaciones a concreto dañado en servicio

Antes de proceder a reparar un concreto que ha resultado dañado a consecuencia de las condiciones de exposición y servicio, es necesario determinar las causas de perjuicio y si es posible llevar a cabo una reparación durable. De lo contrario, debe tratarse de corregir las causas que la originaron, para evitar dañarlo nuevamente. Para la supervisión de las reparaciones a concreto dañado, se verifican los siguientes aspectos:

b.1).- Preparación de la superficie

La preparación de la superficie de concreto dañado, es similar a la preparación indicada en el punto a.1

b.2).- Dosificación y preparación del material de reposición

El tipo de material de restitución está en función de los daños en el concreto, imputables a condiciones de exposición y servicio.

El control y supervisión de las inyecciones se trataron en el capítulo V.4 (Pagina 112).

VIII. CONCLUSIONES

VIII. CONCLUSIONES

Después de haber permanecido en el túnel de conducción realizando trabajos de control y supervisión del revestimiento y de los tratamientos, concluimos lo siguiente.

El cambio en el diseño original del revestimiento del túnel de conducción fué acertado, en virtud de que el acabado del concreto lanzado ocasionaría pérdidas de carga muy grandes, del orden de 78 metros y daños a las turbinas por el desprendimiento de arenas y finos. Sin embargo, dada la magnitud de cantidad de obra que ocasionó el cambio, consideramos que ésta se hubiera analizado en la etapa de planeación del Proyecto, para que así, en las mismas condiciones se hubiese dado la oportunidad de concursar a otras empresas con sus respectivos procedimientos constructivos, teniendo de esta manera un panorama más amplio de alternativas de donde elegir y poder obtener un costo menor de la obra.

Debido al cambio adoptado en el revestimiento del túnel, que en principio se había considerado concreto lanzado y finalmente se eligió una sección de concreto hidráulico, flexibilizó la supervisión del revestimiento durante la ejecución de los colados, circunstancia que no se debió permitir; descuidándose las consistencias de las mezclas así como el acabado de la sección del túnel, generando así otras actividades como las reparaciones al concreto por juntas de construcción, pequeñas oquedades e irregularidades en la superficie del concreto (escalonamiento) entre otros, sin afectar a la estructura por encontrarse ésta sobradamente.

Durante el revestimiento definitivo fue importante estandarizar las dosificaciones de las mezclas de concreto hidráulico en todos los frentes de obra, en una que cumpliera los requisitos de bombeabilidad, trabajabilidad y consistencia adecuada con el propósito de mejorar los rendimientos de bombeo, incremento de velocidad en los colados, mejor acabado del concreto, disminución de reparaciones y tener de esta manera uniformidad de criterio en la ejecución y en el control de calidad del revestimiento del túnel.

La elección de los tratamientos fue la adecuada, ya que se debía tener la certeza de no dejar alguna oquedad que causara filtraciones inadmisibles o alguna falla estructural. En la aplicación de los tratamientos no se fue muy estricto con respecto a las normas y procedimientos definidos para estos trabajos, tanto por parte de la supervisión como de la

contratista, pero esto no influyó en los resultados finales como se demostró satisfactoriamente en las pruebas de permeabilidad aplicadas al túnel.

Una observación que deseamos hacer con respecto a este tipo de obra es respecto a la importancia que tienen las condiciones en que labora el personal. Frecuentemente se trabaja en condiciones que no son las adecuadas y que repercuten en la salud de los trabajadores, por lo cual pensamos que no se deben escatimar recursos para proporcionar buenas condiciones de trabajo.

Con respecto al procedimiento constructivo de colado continuo, pensamos que la utilización de cimbra telescópica deslizante fue la más adecuada entre las diferentes opciones para este tipo de revestimiento ya que su uso representó maniobrabilidad y rapidez en la ejecución de los colados. Al comparar la cimbra telescópica fija con la utilizada en el proyecto, encontramos que con la primera se obtiene un mejor acabado pero se tendría más tiempo no aprovechable y dado que las irregularidades no representan un problema significativo, la alternativa utilizada fue la óptima.

Por otro lado, consideramos que dado los resultados obtenidos en la ejecución del Túnel de Conducción por parte del Consorcio y por las características del Proyecto, para fines de concurso, la obra se hubiera dividido en tres grandes zonas:

Zona de Cortina: cortina, obra de desvío, obra de excedencia.

Zona de Conducción: obra de toma, túnel de conducción.

Zona de Casa de Máquinas: pozo de oscilación, galería de válvulas, tubería a presión, casa de máquinas, galería de transformadores, túnel de desfogue, galería de cables y ventilación, túnel de acceso y subestación.

De esta manera, cada empresa según su experiencia y capacidad podría concursar en alguna o las tres zonas de obra y así se tendrían mayores y mejores alternativas de elección.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- P.H. Zimapán. Estudio de factibilidad, Informe Final, Memoria. Abril de 1987.
Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos. Subgerencia de Anteproyectos.
- 2.- P.H. Zimapán. Estudio de Factibilidad. Informe Final.
Anexo I: Estudio Hidrológico. Abril de 1987.
- 3.- P.H. Zimapán. Estudio de Factibilidad. Informe Final.
Anexo II: Criterio probabilístico para la deducción de las avenidas de diseño. Octubre de 1985. Unidad de Estudios de Ingeniería Civil. Subjefatura de Estudios Civiles.
- 4.- P.H. Zimapán. Estudio de factibilidad. Anexo III: Informe Geológico Final.
Septiembre 1985.
- 5.- P.H. Zimapán. Estudio de factibilidad. Anexo III-a: Informe Geológico del Area del Túnel de Conducción. Septiembre 1985.
- 6.- P.H. Zimapán. Descripción y Datos Generales. C.F.E. Subdirección de Construcción.
Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos. 1989.
- 7.- P.H. Zimapán. Túnel de Conducción. Tratamiento Interior de la Caverna.
Cad. 1 + 355 al 1 + 577. C.F.E.
- 8.- P.H. Zimapán. Diseño del Túnel de Conducción.
Ing. F.J. Contreras Weber. C.F.E.
- 9.- Túneles. Planeación, Diseño y Construcción. Volumen I
T.M. Megaw. J.V. Bartlett.
Editorial Limusa