

102
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO HIDROELECTRICO ZIMAPAN
EN EL RIO MOCTEZUMA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A
TOMAS PACHECO AZPEITIA

DIRECTOR DE TESIS: ING. MIGUEL MORAYTA M.

**TESIS CON
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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I.- INTRODUCCION.**1.1 Generalidades.****1.2 Localización.****1.3 Vías de Comunicación y Acceso.**

1.3.1 Acceso a la zona de la Boquilla.

1.3.2 Acceso a la zona de Casa de Máquinas.

1.4 Datos Hidrológicos y Climatológicos.**1.5 Geología de la zona.**

1.5.1 Túnel de Desvío.

1.5.2 Vaso.

1.5.3 Boquilla.

1.5.4 Obra de Excedencias.

1.5.5 Obra de Conducción.

1.5.6 Pozo de Oscilación, Túnel a Presión y Casa de Máquinas.

II.- CARACTERISTICAS DEL PROYECTO.**2.1 Caminos de Acceso.**

2.1.1 Camino Puerto-Salitre-Boquilla-Estructura de Control.

2.1.2 Camino San Joaquín-Casa de Máquinas-Pozo de Oscilación.

2.1.3 Camino Zimapán-Boquilla.

2.1.4 Características de puentes.

2.1.5 Caminos de Acceso a los Frentes de Trabajo.

2.2 Obra de Desvío.

2.2.1 Túnel de Desvío.

2.2.2 Atagüía de Materiales Graduados.

2.3 Obra de Contención.**2.4 Obra de Generación.**

2.4.1 Obra de Toma.

2.4.2 Túnel de Conducción.

2.4.3 Pozo de Oscilación.

2.4.4 Túnel a Presión.

2.4.5 Casa de Máquinas.

2.4.6 Galería para Transformadores.

2.4.7 Acceso a Casa de Máquinas.

2.4.8 Desfogues.

2.4.9 Obturadores de Desfogues.

2.5 Subestación.**2.6 Obra de Excedencias.****2.7 Infraestructura.**

2.7.1 Instalaciones de Obra.

2.7.2 Campamentos.

2.7.3 Servicios de Obra.

2.7.3.1 Energía Eléctrica.

2.7.3.2 Agua Industrial.

a).- Zona de la Boquilla.

b).- Zona de Casa de Máquinas.

2.7.4 Aire Comprimido.

- 2.7.5 Sistema de Telecomunicaciones.
- 2.7.6 Plantas de Agregados y Concreto.
 - a).- Zona de la Boquilla.
 - b).- Zona de Casa de Máquinas.

III.- PROCESO CONSTRUCTIVO.

3.1 Caminos de Acceso.

- 3.1.1 Terracerías y Capas Subrasantes.
- 3.1.2 Secciones en Cortes.
- 3.1.3 Secciones en Terraplén.
- 3.1.4 Sub-base y Base Hidráulica.
- 3.1.5 Riegos Asfálticos.
- 3.1.6 Carpeta de Concreto Asfáltico.
- 3.1.7 Riego de Sello.

3.2 Obra de Desvío.

- 3.2.1 Actividades.
- 3.2.2 Túnel de Desvío.
- 3.2.3 Excavación Exterior del Portal de Entrada y de Salida.
- 3.2.4 Excavación Subterránea.
- 3.2.5 Construcción de Ataguías.

3.3 Obra de Contención.

- 3.3.1 Actividades.
- 3.3.2 Procedimiento de Construcción.
 - 3.3.2.1 Túneles de Acceso a la Cortina.
 - 3.3.2.2 Excavación de las Laderas de la Cortina.
 - 3.3.2.3 Galerías de Inyección y Drenaje.
 - 3.3.2.4 Tratamiento de la Roca.
 - 3.3.2.5 Colocación del Concreto.
 - a).- Fase de Colado del Nivel 1365 a 1500 m.s.n.m.
 - b).- Fase de Colado del Nivel 1500 a 1565 m.s.n.m.
 - 3.3.2.6 Post-Enfriamiento del Concreto.
 - 3.3.2.7 Inyección de las Juntas de la Cortina.

3.4 Obra de Generación y Subestación.

- 3.4.1 Actividades.
- 3.4.2 Obra de Toma.
- 3.4.3 Túnel de Conducción.
 - a).- Frentes de Excavación.
 - b).- Frentes de Revestimiento.
- 3.4.4 Excavación.
- 3.4.5 Instalaciones del Túnel.
- 3.4.6 Colocación del Concreto Lanzado.
 - a).- Suministro del Concreto Lanzado.
- 3.4.7 Construcción de la Central Hidroeléctrica.
 - a).- Túnel de Acceso.
 - b).- Túnel de Cables e Inyección de Aire.
 - c).- Caverna de Casa de Máquinas.
 - d).- Caverna de Transformadores y Subestación.
 - e).- Galería de Computas.
 - f).- Túnel a Presión.
 - g).- Pozo de Oscilación.

3.4.7.1 Vaciados del Concreto.

- a).- Caverna de Casa de Máquinas, Transformadores y Subestación.
- b).- Bóvedas.
- c).- Muros y Losas.
- d).- Túneles Varios.
- e).- Pozo de Oscilación.
- f).- Tubería a Presión.

3.4.8 Ventilación.**3.4.9 Inyección y Drenaje.**

- a).- Operaciones para el Proceso de Inyección.

3.5 Obra de excedencias.**3.5.1 Actividades.****3.5.2 Excavación.****IV.- Conclusiones.****Bibliografía.**

I.- Introducción.

1.1 Generalidades.

El proyecto forma parte del potencial hidroeléctrico del Río Moctezuma, el cual a su vez pertenece al sistema del Río Pánuco y que la Comisión Federal de Electricidad tiene en estudio.

La finalidad principal es la generación de energía eléctrica que en operación conjunta con otras plantas que se localizarán aguas abajo del Río, atenderán las demandas de electricidad de la región central del país.

En el proyecto se ha considerado la construcción de una cortina de concreto del tipo Arco-Bóveda de 200 mts. de altura, una conducción de 20 km. para aprovechar una carga bruta de 600 mts., una casa de Máquinas que alojará Dos Unidades de 140 MW., cada una proporcionara una generación media anual de 1292 G.W.H., obra de demasías, subestación y obras colaterales.

Es necesario hacer notar que aunque la inversión inicial en una Obra Hidroeléctrica pudiera llegar a parecer excesiva, queda compensada con creces con el hecho del ahorro de combustible fósil que cada vez es más caro.

Antes de la creación de la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1937, se importaba el 100% de la Tecnología Hidroeléctrica, desde la concepción, estudio y diseño, hasta la construcción y operación del proyecto.

Fue en el año de 1939 cuando el vocal ejecutivo de la Comisión Federal de Electricidad, Ingeniero CARLOS RAMIRES ULLOA, integro un grupo de Ingenieros Mexicanos en las Ramas Civil, Mecánica y Eléctrica, así con estos pioneros fue posible diseñar y construir en México, esté tipo de obra. A la fecha los proyectos Hidroeléctricos en nuestro país son 100% Diseñados y construidos por la Ingeniería Mexicana, y de la inversión total más o menos 20% corresponde a elementos de importación en la compra de maquinaria y equipo electromecánico, ya que también parte de estos son fabricados en el país.

1.2 Localización.

El proyecto Zimapán esta ubicado sobre el Río Moctezuma, (límite entre los estados de Querétaro e Hidalgo) en el cañón del "INFIERNILLO" en la confluencia de los Ríos San Juan al Oeste y Río Tula al Este Fig. 1.1.

El sitio previsto para la cortina se encuentra en las coordenadas Geográficas 99°31' de longitud Oeste y 20°40' de latitud Norte.

El lugar para la Casa de Máquinas y la Subestación se localiza sobre la margen derecha del Río Moctezuma a 36 km.

aguas abajo de la cortina, medidos sobre el cauce del Río.

1.3 Vías de comunicación y de acceso.

Las vías de comunicación terrestres más importantes al sitio de la presa son:

1.3.1 Acceso a la Zona de la Boquilla.

Por la autopista (No.57) México-Querétaro en el kilómetro 165 (San Juan del Río), tomar carretera 120 (hacia Jalpan) y 10 km adelante de cadereyta, desviarse por un camino de terracería hacia la ranchería Vista Hermosa, hasta el poblado Rancho Nuevo Localizado en el km. 29 de este camino. Se atraviesa el Río San Juan por un vado a unos 3 km. de la confluencia con el Río Tula, siguiendo con la margen derecha del Río San Juan, se llega a la entrada del cañón " EL INFIERNILLO " donde esta localizado el sitio de la boquilla.

Por la misma autopista (No 57) en el km. 56 desviarse y tomar la carretera hacia Tula hasta llegar a Zimapán y de este poblado al sitio de la boquilla recorrer 30 km. por terracería hacia Rancho Nuevo.

Por la carretera (No 58) México-Pachuca en el km. 84 tomar la desviación hacia Ixmiquilpan - Ciudad Valles y 40 km. después de Ixmiquilpan desviarse hacia Zimapán 7 km., y seguir por terracería hasta Rancho Nuevo 30 km.

1.3.2 Acceso a la Zona de Casa de Máquinas.

La población más cercana a Casa de Máquinas es San Joaquín Querétaro, la cual se localiza a 62 km, al norte de cadereyta, en la confluencia por el Río Moctezuma, continuando sobre la margen derecha de este Río, siguiendo una brecha de 4 km. se llega al lugar donde se ubicará la Casa de Máquinas y la Subestación.

Este acceso sólo se usa en época de estiaje.

Por ferrocarril el acceso más cercano al sitio, está en la estación Bernal cerca de Tequisquiapan a 205 km. de recorrido desde la ciudad de México.

En Zimapán existe una pista aérea de terracería en buenas condiciones; actualmente es ocupada por aviones particulares.

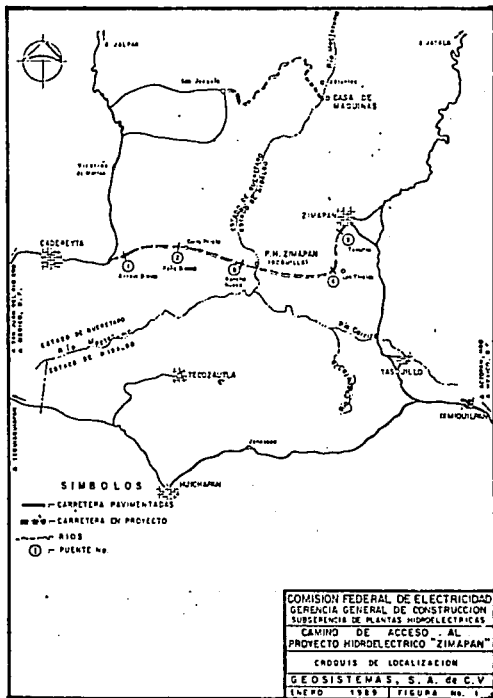


Fig. 1.1.

1.4 Datos Hidrológicos y Climatológicos.

Se tiene registro del área de proyecto en las estaciones Paso de Tablas sobre el Río San Juan, Ixmiquilpan sobre el río Tula y seis estaciones climatológicas más, distribuidas en la cuenca del proyecto, de los cuales se proporcionan los siguientes datos:

Area de la cuenca (Río Panuco)	84 956	km ²
Area de la cuenca hasta el sitio de captación.	11 869	km ²
Area del embalse al N.A.M.O.	21.8	km ²
Capacidad Util.	680	Mill. m ³ .
Capacidad al NAMO (El. 1560 msnm)	1360	Mill. m ³ .
Número de años de registro	22	Años.
Escorrentamiento medio anual	982	Mill. m ³ .
Volúmen medio anual	81.8	Mill. m ³ .
Gasto medio anual	31.1	Mill. m ³ .
Volúmen medio anual aprovechado	868	Mill. m ³ .
Gasto medio aprovechado	27.4	m ³ /s.
Porcentaje de aprovechamiento	88 %.	
Precipitación media anual	1188	mm.
Periodo de lluvias	Junio-Octubre.	

Para el diseño de la obra de desvío se utilizó una avenida con periodo de retorno de 10 años arrojando un Volumen de 298 mill. m³ y un gasto máximo de 609 m³/s.

1.5 Geología de la Zona.

1.5.1 Túnel de desvío.

El túnel quedará excavado totalmente en la formación Doctor, unidad 1, consistente en roca Dolomía masiva color gris obscuro, interestratificada con capas de caliza Dolomítica de 0.5 a 1.0 m de espesor. Esta unidad presenta fracturamiento casi siempre relleno de calcita, por lo que las rocas son de muy buena competencia, alta resistencia y poco deformables.

Localmente se observan oquedades producidas por disolución en los socavones de exploración; éstas no tienen dimensiones mayores de 40 cm.

La estratificación tiene un echado de 10° a 15° al Noroeste. Ya que las fracturas están cerradas o rellenas con calcita, la formación de bloques inestables en el interior del túnel, será poco probable, excepto en la intersección con la falla Cajón, única falla reportada con características desfavorables.

En resumen el túnel de desvío encontrará roca de buena calidad a lo largo de su desarrollo, siendo de menor calidad sólo en las áreas de entrada y salida del túnel por la orientación de la obra.

1.5.2 Vaso.

El embalse estará cubriendo una secuencia de rocas volcánicas básicas constituidas por coladas de basalto, tobas y brechas basálticas. Esta formación se encuentra en posición casi horizontal y solo se encuentra afectada, probablemente por la **Falla la Florida**.

Hacia el Oriente, el vaso se extenderá sobre el cause del río Tula, cubriendo las rocas sedimentarias de las **Formaciones Soyatal-Méndez y el Doctor**, así como rocas volcánicas de carácter riolítico con sus tobas y brechas asociadas, que se presentan al final del embalse.

1.5.3 Boquilla.

El cañón del infiernillo fue labrado en roca sedimentarias de la **formación el Doctor**, la que sobreyace a las calizas arcillosas intercaladas con areniscas de grano fino de la **Formación las Trancas**.

En la parte baja del cañón afloran brechas dolomíticas y dolomía en estratos gruesos a medianos, en tanto que en la parte alta del cañón se encuentran interestratificadas calizas micríticas y dolomías. Los estratos de esta formación se encuentran ligeramente inclinados: en la margen izquierda hacia dentro del macizo rocoso y en la margen derecha hacia el cauce.

Se presentan, en la parte baja del cañón, pequeñas fallas, de salto reducido, tres pliegues con buzamiento al NW y cuatro sistemas de fracturas, la mayoría de ellas selladas con calcita.

La Formación El Doctor se clasifica como de "Buena calidad".

La resistencia a la compresión simple en las calizas de la Formación El Doctor arrojó valores entre 850 y 1280 kg/cm² y los módulos de deformación entre 725 000 y 800 000 kg/cm².

1.5.4 Obra de excedencias.

Quedará alojada en la Formación El Doctor, constituida en esta zona por calizas micríticas y brechas dolomíticas en estratos de 30 cm a 2 m de espesor. Los sistemas de fracturamiento levantados están orientados al NE y NW, teniendo relleno la mayoría de las discontinuidades de calcita y solo algunas de arcilla.

Considerando la calidad del macizo rocoso, se considera que la excavación del túnel se podrá efectuar sin el empleo de un proceso sistemático de soporte temporal y exclusivamente en los tramos aislados que eventualmente lo pudieran requerir, se recomienda ademar las paredes y clave de la excavación con marcos metálicos.

Los cortes para alojar los portales se considera que no tendrán problemas de inestabilidad, aunque es probable la ocurrencia de pequeños bloques inestables que pudieran ser soportados con anclas de tensión.

1.5.5 Obra de Conducción.

Cruzará la formación El Doctor la cual ha sido afectada por nueve fallas normales y una falla inversa. Así mismo, la excavación cruzará dos Diques de carácter riolítico. En base a los estudios realizados, puede mencionarse que entre los kilómetros 1+650 y 4+500 la competencia de la roca es "mala".

El túnel cruzará la Formación Soyatal que ha sido afectada por tres discontinuidades mayores. También el túnel pasará por diques andesíticos y tranquilandesíticos y en algunos tramos es probable que la excavación se efectúe en las Formaciones Méndez y El Doctor.

Del kilómetro 15+650 hasta el 16+800, el túnel quedará alojado en la Formación El Doctor, la que fue intrusionada por dos diques andesíticos en las estaciones 16+630 y 16+450.

En el cadenamiento 16+800 se estima que a la elevación de la conducción se encontrará el contacto entre las Formaciones El Doctor y Las Trancas, formadas esta última por calizas y areniscas estratificadas. El túnel quedará alojado en la Formación Las Trancas hasta su conexión con el pozo de oscilación, excepto entre las estaciones 17+550 - 18+250 donde se estima que cruce de nuevo por la Formación El Doctor. En los últimos 3,500 metros no se levantó alguna discontinuidad mayor y de acuerdo con el estudio geofísico la competencia del macizo rocoso es "buena".

Teniendo como base lo anterior, puede mencionarse que el túnel se excavará en general en un macizo rocoso de buena calidad, que garantizará la estabilidad de excavación. Sin embargo, deberá considerarse el empleo de marcos metálicos en zonas de falla, en contactos entre diferentes unidades litológicas y donde estas unidades se encuentren afectadas por diques andesíticos.

1.5.6 Pozo de Oscilación, Túnel a presión y Casa de Máquinas.

En la Formación Las Trancas, sobre uno de los flancos del plegamiento anticlinal "El Piñón" quedaran alojadas las obras para el Pozo de Oscilación, Tubería a Presión, Casa de Máquinas y Túnel para descarga al Río Moctezuma.

Dicha unidad está constituida por dos miembros principales: el superior formado por calizas margosas en estratos de 30 a 40 cm de espesor y por lutitas calcáreas que se encuentran en capas de 60 cm a 1.0 m de espesor; y el inferior, que lo componen areniscas de grano grueso a medio interestratificadas con calizas arcillosas y lutitas, cuyos espesores de capa varían de 20 cm a 2.0 m. Ambos miembros se encuentran afectados por una gran cantidad de diques silicificados de composición ácida, que han dado lugar a una mineralización acentuada.

En esta zona se pueden apreciar gran cantidad de pliegues anticlinales y sinclinales, así como varios sistemas de fracturas ortogonales, siendo el más persistente el de inclinación subvertical que da por consecuencia una aspecto columnar y la formación de bloques de diversos tamaños.

El pozo de oscilación y la conducción a presión quedarán alojadas casi totalmente en la unidad superior de la Formación Las Trancas, en tanto que la parte inferior del pozo de oscilación, el extremo final del Túnel a Presión y la casa de Máquinas quedarán dentro de la unidad inferior. Por los resultados geofísicos, así como por la caracterización del macizo rocoso puede decirse que éste es de calidad "buena" a "excelente" lo que hace suponer que existirán pocos problemas de caídos. Deberá, sin embargo, considerarse la necesidad de ademar con marcos metálicos aquellas zonas donde se determine durante la excavación que existe la posibilidad de ocurrencia de inestabilidades locales y prever el lanzamiento de concreto en los tramos donde la roca sea susceptible a intemperizarse. Así mismo, en el contacto entre el concreto de revestimiento con la roca se deberá efectuar un tratamiento de inyectado.

C A P I T U L O I I**Características del Proyecto**

- 2.1 Caminos de Acceso.**
- 2.2 Obra de Desvío.**
- 2.3 Obra de Contención.**
- 2.4 Obra de Generación.**
- 2.5 Subestación.**
- 2.6 Obra de Excedencias.**
- 2.7 Infraestructura.**

2.1 Caminos de Acceso.

Por las condiciones que impone la construcción de la **Central Hidroeléctrica** es indispensable comunicarla hacia la carretera más próxima existente. Para ello se escogió una carretera **Tipo C Modificado** con una velocidad de proyecto de 40 Kph, ancho de la corona de 7 mts. y ancho de carpeta de 6 mts., el grado de curvatura máximo es de 30, radio mínimo de 38.20 mts y pendiente gobernadora de 8 ‰.

2.1.1 Camino Puerto Salitre-Boquilla Estructura de control.

Se desarrolla por el estado de Querétaro la parte principal y una parte por el estado de Hidalgo Fig.2.1.

Al Este de la ciudad de Cadereyta, este camino tiene su origen en el km 60+200 de la carretera **San Juan del Río-Pinal de Amoles** y se divide en tres subtramos que se terminaran hasta nivel carpeta, dos Túneles carreteros y tres subtramos de terracería.

Los Túneles carreteros tendrán una sección Portal de 6 X 6 m., la clave será cubierta con concreto lanzado, armado con malla electrosoldada donde se requiera y la superficie de rodamiento se terminara a nivel carpeta.

Subtramo	Longitud (km)	Nivel
Pto. Salitre-Cerro Prieto	25.20	Carpeta
Cerro Prieto-Túnel M. I.	4.30	Carpeta
Túnel Margen Izquierda	0.60	Carpeta
Túnel Margen Derecha	0.40	Carpeta
Túnel M.D.-Plataforma Obra de Toma	0.50	Carpeta
Cerro Prieto-Atagüfa	6.50	Terracería
Atagüfa-Bifurcación	1.80	Terracería
Bifurcación-Obra de Toma	0.60	Terracería

2.1.2 Camino San Joaquín-Casa de Máquinas-Pozo de Oscilación.

Al Sureste de San Joaquín en el Km 60+000 de la carretera **Cadereyta-San Joaquín**, se encuentra la estación 00+835 Origen del camino, con una longitud aproximada de 40 km y que se desarrolla en terreno montañoso, este camino se divide en tres subtramos;

los que se terminaran ha nivel carpeta con concreto asfaltico Fig.2.2.

Subtramo	Longitud (km)
San Joaquín-La Mojonera	14.00
La Mojonera-Casa de Máquinas	18.50
Casa de Máquinas-Pozo de Oscilación	8.00

2.1.3 Camino Zimapán-Boquilla.

Al Suroeste de la ciudad de Zimapán, con una longitud aproximada de 27 km, con origen en el km 2+000 de la carretera **Zimapán-Ixmiquilpan**, este camino se divide en tres subtramos; el primero desde su origen hasta el km 24+000 (punto de bifurcación), a partir de este punto parte un camino que llega a nivel de la corona de la cortina, de 1.5 km de longitud, y el tercer subtramo parte del punto de bifurcación para llegar a nivel de la atagüía de aguas arriba (2 km de longitud).

2.1.4 Características de los Puentes.

Los caminos de acceso cuentan con cuatro puentes en total, y sus principales características son:

1.- Puente Arroyo Blanco: Ubicado en el camino Puerto-Salitre-Boquilla, con un claro aproximado de 12 mts, superestructura a base de losa aligerada con estribos de mampostería, y localización aproximada de los apoyos en el km 0+955 : 0+969.

2.-Puente Peña blanca: Ubicado en el camino Puerto Salitre-Boquilla, con claro aproximado de 10 mts, superestructura a base de losa maciza con estribos de mampostería y localización aproximada de los apoyos en el km 7+628 : 7+638.

3.-Puente los Martínez: Ubicado en el camino San Joaquín-Casa de Máquinas, claro aproximado de 23 mts., superestructura basada en vigas tipo "T" y losa, y estribos de mampostería.

4.-Puente Moctezuma: Ubicado en el camino San Joaquín-Casa de Máquinas, claro aproximado de 54 mts., superestructura a base de tres claros: Uno a base de losa maciza y los otros dos a base de traves prefabricadas y postensadas, todas apoyadas en pilas de

concreto. Los estribos son de concreto en el centro principal y los extremos de mampostería con corona de concreto.

2.1.5 Caminos de acceso a los frentes de la obra.

Los caminos de acceso a las obras en general se desarrollan sobre una topografía de lomerío fuerte montañoso y están basados en los caminos definitivos.

Camino de acceso	Longitud (km)
1.- Acceso a Ventana 1 desde camino a Zimapán	3.5
2.- Acceso a Ventana 3 desde camino a Zimapán	8.0
3.- Acceso a Ventana 4 desde camino a Ventana 3	6.5
4.- Acceso a Ventana 6 desde acceso a Pozo de Oscilación	3.0
5.- Camino de acceso a la obra, oficinas, campamentos, etc.	5.0

Las distancias que se indican son para llegar al sitio en donde se ubica un frente de trabajo.

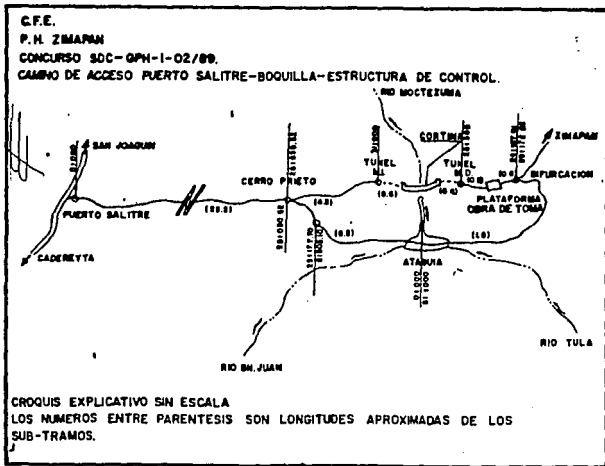


Fig. 2.1

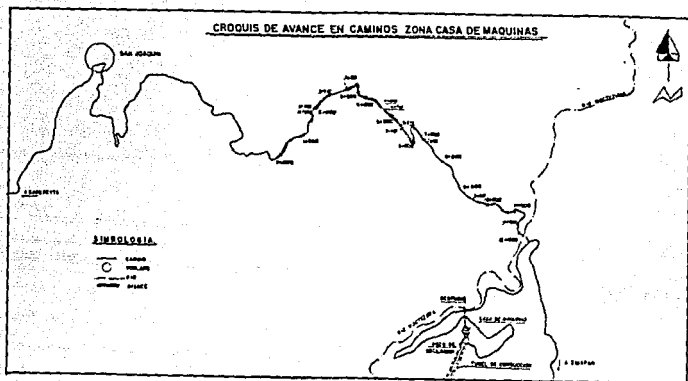


Fig. 2.2

2.2 Obra de Desvío y Atagüa.

Esta obra se compone de:

2.2.1 Túnel de Desvío.

1.- Túnel localizado en la margen izquierda del cañón, el que de acuerdo a las condiciones topográficas, tendrá un buen emportalamiento, mejores condiciones estructurales y una mejor longitud.

Se hará en sección portal de 9.4 metros de altura por 9.4 metros de ancho y una longitud de 544 metros, después de un tajo de 78 metros de longitud. El umbral de entrada estará a la elevación 1383.00 msnm, y el umbral de salida a la elevación 1376.45 msnm teniendo una pendiente de 0.012.

El túnel no será revestido excepto en portales de entrada y salida en una longitud de 37 metros y 15 metros respectivamente y en tramos aislados que lo requieran, colocándose además marcos metálicos como ademe.

Se colocarán anclas de fricción y/o tensión y concreto lanzado con malla metálica donde se requiera.

Otras informaciones del túnel son:

Avenida de diseño	632 m3/s
Gasto máximo de descarga	609 m3/s
Período de retorno de la avenida de diseño.	10 años.
Velocidad máxima del agua	8 m/s
Volumen de excavación a cielo abierto	32,840 m3
Volumen de excavación en túnel	46,020 m3.

2.2.2 Ataguías de materiales graduados.

Estas ataguías se construirán una aguas arriba y otra aguas abajo con coronas a elevaciones 1405 y 1384 msnm respectivamente y taludes 1.8:1 en ambas.

De la corona de la ataguía aguas arriba localizada en la confluencia de los Ríos San Juan y Tula que tendrá un ancho de 20 metros se construirá una rampa de acceso al sitio de la Boquilla con pendiente aproximada del 10%.

Para obtener el material para la construcción de las ataguías se cuenta con los siguientes bancos de materiales:

"El Vado" localizado en la margen izquierda del Río San Juan a 2 km de la boquilla, con 26,000 m3 de limo con algo de arena fina.

"La Vega", "Vista Hermosa" y "El Campamento" localizados los dos primeros en la margen izquierda del Río San Juan y el tercero en la margen derecha del mismo Río a 6.4 y 1.5 km respectivamente de la boquilla. Con un volumen total de 190,000 m3 de arcilla limosa con apreciable cantidad de grava de arena.

"El Arenal" localizado en la margen izquierda del Río Tula a 2 km de la boquilla, con 97,000 m3 de arena fina producto de depósitos del Río.

Los materiales grava-arena se podrán obtener de pequeños bancos junto a los Ríos San Juan y Tula, cercanos a la boquilla.

El material para enrocamiento se podrá obtener explotando la roca ubicada en las márgenes del Río Moctezuma que es caliza de buena calidad.

2.3 Obra de Contención.

En el Proyecto Zimapán, la Obra de Contención la constituye una cortina de concreto reforzado del tipo Arco-Bóveda de 200 m de altura, localizada en el cañón "DEL INFIERNILLO" en las inmediaciones de la confluencia de los Ríos San Juan y Tula formadores del Río Moctezuma, Fig. 2.3.

El lugar donde se proyectó el eje de esta estructura se encuentra a una distancia aproximada de 500 m aguas abajo de la confluencia.

Desde la entrada del cañón del Infiernillo hasta el sitio de desplante de la cortina, las paredes del cañón están en acantilado, y desde el lecho del río hasta un nivel superior al de la corona de esta estructura las paredes se conservan prácticamente verticales, además el ancho en las partes bajas del cañón es de alrededor de 25 m y varía muy poco conforme se eleva hacia la corona llegando a unos 60 m de ancho en las proximidades de la misma y 80 ó 90 m en la zona de dicha corona, esta disposición de paredes del cantil se presenta desde el inicio del cañón cerca de la confluencia hasta la zona del eje de la cortina y se prolonga aguas abajo de éste. Fig. 2.4.

El resto de sus características son:

Elevación de desplante	1,365.00 msnm
Elevación de Corona	1,565.00 msnm
Espesor mínimo	4.00 mts.
Espesor máximo	23.00 mts.

2.4 Obra de Generación, Fig. 2.5.

Compuesta por:

2.4.1 Obra de Toma.

Localizada en la margen derecha del Río Moctezuma, aproximadamente a 1 km de la Boquilla, formada por Túnel, con bocatoma de sección rectangular de 3.5 X 4.5 m, abocinada y revestida de concreto reforzado, con tres transiciones: de rectangular a circular de 4.5 m de diámetro, de circular a rectangular de 3.5 X 4.5 m y de rectangular a circular de 5.0 m de diámetro.

El eje de la bocatoma estará a la elevación 1502.25 y con pendiente de 0.0002.

Las rejillas estarán distribuidas en un semiduodecágono inscrito en una semicircunferencia de 12 m de diámetro, colocadas en planos inclinados hasta la elevación 1509.50 en donde continuarán en forma horizontal.

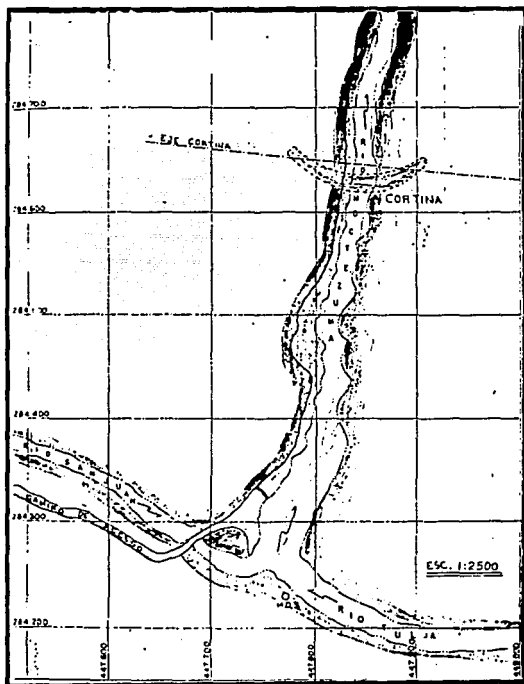


Fig. 2.3

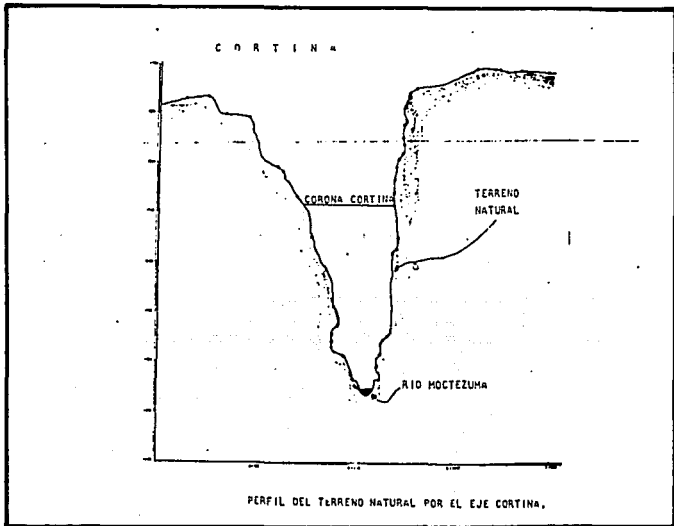


Fig. 2.4

El área libre de las rejillas es para permitir el paso de un gasto de 59 m³/s.

La estructura de control estará formada por dos compuertas: una auxiliar y una de servicio, para vanos de 3.55 m X 4.5 m, deslizantes a lo largo de una lumbrera vertical de sección transversal indicada en planos, por 60 m de altura, revestida de concreto reforzado y tratada con inyecciones de contacto y de consolidación.

Las compuertas serán operadas desde una plataforma a la elevación 1565 m.s.n.m..

2.4.2 Túnel de Conducción.

Es de sección circular de diámetro de 5.0 m con una longitud de 20.300 km y una pendiente de 0.0002.

Llevará un revestimiento de concreto reforzado y de concreto lanzado.

Se colocarán anclas de fricción y de tensión en donde se requiera, así como ademe temporal metálico. El tratamiento de la roca será a base de inyecciones de consolidación y de contacto.

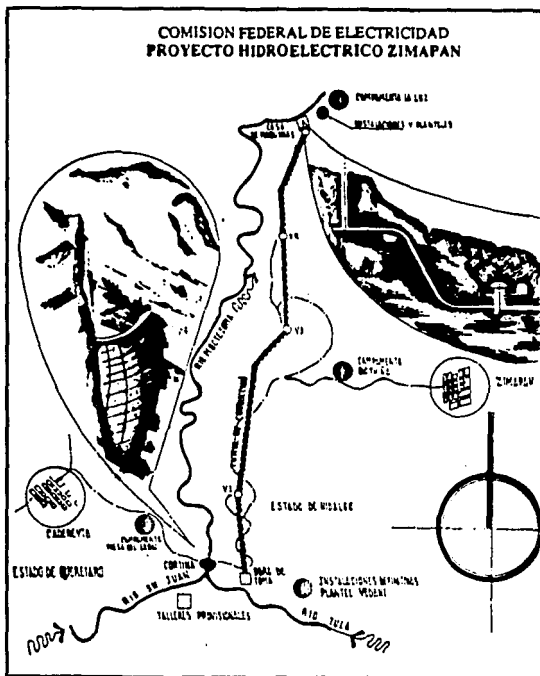


Fig. 2.5.

A través de la trayectoria del Túnel se cruzarán diferentes estructuras geológicas, como son: Portales, Diques, Contactos y zonas de Baja Capacidad Mecánica.

La tabla 1 muestra estos cruzamientos.

TABLA 1

No	ESTRUCTURA	CADENAMIEN TO KM	ATRAS M	ADELAN TE M	TOTAL M	ACUMULA DO M
1	PORT.ENTRAD	0+000		50	50	50
2	FALLA	0+220	10	10	20	70
3	FALLA	0+300	10	10	20	90
4	FALLA	0+350	10	10	20	110
5	FALLA	0+640	10	10	20	130
6	FALLA	1+650	10	10	20	150
7	FALLA	2+650	10	10	20	170
8	FALLA	2+500	10	10	20	190
9	DIQUE 30M ESPESOR	5+500	20	20	70	260
10	FALLA	6+050	10	10	20	280
11	CONTACTO	7+500	10	10	20	300
12	DIQUE 20 M ESPESOR	7+800	20	20	60	360
13	CONTACTO	8+300	10	10	20	380
14	CONTACTO	8+600- 8+800	10	10	220	600
15	DIQUE 10 M ESPESOR	10+200	10	10	30	630

No	ESTRUCTURA	CADENAMIEN TO KM	ATRAS M	ADELAN TE M	TOTAL M	ACUMULA DO M
1	PORT. ENTRAD	0+000		50	50	50
16	CONTACTO	10+700	20	20	40	670
17	DIQUE 10 M ESPESOR	11+230	10	10	30	700
18	DIQUE 10 M ESPESOR	11+400	10	10	30	730
19	DIQUE 10 M ESPESOR	11+600	10	10	30	760
20	CONTACTO	12+400	10	10	20	780
21	CONTACTO	12+550	10	10	20	800
22	CONTACTO	13+100	50	50	100	900
23	CONTACTO	13+200	25	25	50	950
24	FALLA	14+150	10	10	20	970
25	FALLA	14+250	10	10	20	990
26	DIQUE 10 M ESPESOR	14+300	10	10	30	1020
27	CONTACTO	14+450	10	10	20	1040
28	CONTACTO	14+530	10	10	20	1060
29	CONTACTO	14+700	20	20	40	1100
30	CONTACTO	15+450	30	30	60	1160
31	CONTACTO	15+650	10	10	20	1180
32	CONTACTO - DIQUE	16+350	50	50	100	1280

No	ESTRUCTURA	CADENAMIENTO KM	ATRAS M	ADELANTE M	TOTAL M	ACUMULADO M
1	PORT. ENTRAD	0+000		50	50	50
33	DIQUE	16+450	10	10	20	1300
34	CONTACTO	16+800	10	10	20	1320
35	CONTACTO	17+550	10	10	20	1340
36	CONTACTO	18+250	10	10	20	1360
37	PORTAL DE SALIDA	20+300	10	40	40	1400
					TOTAL =	1400 M.

En estos cruzamientos el rendimiento en la perforación baja al 10 % del rendimiento en relación a una masa de roca promedio.

También se cruzarán diferentes formaciones geológicas, a saber:

FORMACIÓN EL DOCTOR PLATAFORMA

FORMACIÓN EL DOCTOR CUENCA

FORMACIÓN SOYATAL SUPERFICIAL

FORMACIÓN SOYATAL INFERIOR

FORMACIÓN LAS TRANCAS SUPERIOR

FORMACIÓN LAS TRANCAS INFERIOR

La Tabla 2 muestra esos cruzamientos.

Además la siguiente tabla nos muestra algunos índices Relativos y resistencias mecánicas, estos datos fueron estimados en una consulta técnica que se realizó con los ingenieros de Geología.

TABLA 2

FORMACION	TRAMO	LONGITUD KM	TOTAL KM	% TOTAL
DOCTOR - PLATAFORMA.	0+000- 6+000	6.0	6.0	30
DOCTOR - CUENCA.	6+000-16+300	2.3		
	15+500-16+800	1.3		
	17+600-18+300	0.7	4.3	21
SOYATAL - SUPERFICIAL.	10+300-11+100	0.8		
	12+100-12+200	0.1		
	12+700-13+700	1.0		
	14+900-15+500	0.6	4.5	12
SOYATAL - INFERIOR.	8+300-10+300	2.0		
	11+100-12+100	1.0		
	12+200-12+700	0.5		
	13+700-14+900	1.2	4.7	23
TRANCAS - INFERIOR.	16+800-17+600	0.8		
	18+300-20+300	2.0	2.8	14
	TOTAL	=	20.3	100

TABLA 3

FORMACION	INDICE DE DUREZA RELATIVA EN FUNCION DE LA NATURALEZA DE LA ROCA.	PORCENTAJE DE MINERAL ABRASIVO. %	RESISTENCIA A LA COMPRESION KG/CM2.
DOCTOR PLATAFORMA	1.5	5	859 - 1279
DOCTOR CUENCA	1.0	50	-

SOYATAL SUPERFICIAL	2.0	0	455 - 828
SOYATAL INFERIOR	1.5	6	-
LAS TRANCAS INFERIOR	0.5	60	725 - 1875

2.4.3 Pozo de Oscilación.

Será de sección circular de 17 m de diámetro y una altura de 85.25 m.. El revestimiento será de concreto reforzado, y se aplicarán inyecciones de consolidación y de contacto.

2.4.4 Túnel a Presión.

Continuando con el túnel a Presión, y a una distancia de 240 m aguas abajo del Pozo de Oscilación, inicia la rama inclinada a 55° respecto a la horizontal de la Tubería a Presión, la cual tendrá un diámetro ya revestido por un blindaje metálico de 3.50 m, su desarrollo hasta la parte inferior de la Tubería llega a los 605 m, obteniéndose con ello una caída neta de 496 m de altura.

La Tubería metálica se iniciará unos metros arriba del Pozo de Oscilación.

El Túnel llevará un revestimiento de concreto reforzado, incluyendo inyecciones de consolidación y de contacto previas al montaje de la Tubería.

Entre la Tubería y el revestimiento se colocará un empaque debidamente tratado a base de inyecciones.

La longitud de este Túnel es aproximadamente de 947 m del eje del Pozo de Oscilación a la línea centro de Casa de Máquinas.

2.4.5 Casa de Máquinas.

Es del tipo Caverna, alojará dos Turbinas Peltor para una carga bruta de 589.80 m, girando a una velocidad de 360 r.p.m. y acoplada a Rotores-Generadores de 140 MW de potencia cada uno.

Sus dimensiones generales son: 22 m de ancho por 86 m de longitud y por 36.55 m de altura.

Se contempla que contenga niveles para: Válvulas, Turbinas, Generadores y Excitadores.

El acceso a Casa de Máquinas será a la elevación 968.95 que corresponde a la zona de Montaje y nivel de excitadores.

Esta misma elevación será para la Galería, para Transformadores y Subestación.

2.4.6 Galería para Transformadores.

Será en caverna aguas abajo de Casa de Máquinas, sus dimensiones generales son: 150 m de ancho, 59,60 m de largo y 12 m de altura.

La alimentación de aire a Casa de Máquinas, Galería para Transformadores y Subestación será inyectado del exterior por medio de ventiladores, localizados en la plataforma a la elevación 965.00 y conducido y distribuido a través de galerías, pequeñas lumbreras y ductos.

La distancia aproximada de conducción será de 200 m .

La extracción del aire será por medio de ductos y Túnel de acceso.

2.4.7 Acceso a Casa de Máquinas.

Será por medio de un Túnel de sección Portal de 8.0 m de ancho y 7.0 m de altura, con una longitud de 210 m. El umbral de entrada estará a la elevación 965.0 msnm.

Se usarán anclas de fricción y de tensión así como concreto lanzado con malla metálica en donde se requiera.

2.4.8 Desfogues.

Será por medio de dos Túneles de sección Portal de 6.1 m de altura y ancho variable en una longitud de 15 m del eje de unidades, a partir de la cual, tendrán un ancho constante de 3.25 m..

Estos Túneles convergen a un sólo Túnel de sección portal de 6.50 m de ancho por 6.10 m de altura.

La longitud de los primeros Túneles es de 70.75 m y del

Último es de 85 m..

Los Túneles serán revestidos de concreto reforzado y su pendiente será de 0.00043.

Se usarán anclas de fricción y de tensión donde sea necesario así como inyecciones de consolidación y de contacto.

El nivel de salida del desfogue estará a la elevación 948.49 msnm.

2.4.9 Obturadores de Desfogues.

Se hará por medio de dos compuertas rodantes sobre lumbreras de 14.35 m de altura. Las compuertas serán operadas desde una galería de 4 m de ancho por 45 m de largo y por 10 m de altura a la elevación 968.95 msnm..

Las lumbreras serán revestidas de concreto reforzado con inyecciones de contacto y de consolidación.

Agua abajo de la localización de estas compuertas estará el desfogue de la turbina auxiliar.

2.5 Subestación.

se hará también en caverna, localizada aguas abajo de la Casa de Máquinas, al lado de la Galería para Transformadores, separada de ésta únicamente por el Túnel de acceso a Casa de Máquinas.

Sus dimensiones generales son: 12.50 m de ancho, 22 m de largo y 12 m de altura.

Esta subestación será blindada a base de Hexafloruro de azufre.

2.6 Obra de Excedencias.

El vertedor será por medio de un Túnel con una transición de sección portal a circular en zona rápida, entre los cadenamientos 0+023.600 y 0+181.875 y elevaciones 1541.58 y 1504.75 msnm..

La sección circular será de 10.70 m de diámetro.

La cresta vertedora estará en el cadenamiento 0+00 0 y a la elevación 1547.46 msnm..

El puentes estará a la elevación 1565.00 msnm..

Se colocarán 3 compuertas radiales de 7 m por 14.60 m para

descarga de un gasto de diseño de 2960 m³/s.

Estas compuertas serán operadas desde la plataforma a la elevación 1565.00 msnm..

Aguas arriba de las compuertas y junto a ellas se colocarán las ranuras para el sistema de obturación por agujas metálicas para emergencia.

El tajó de entrada estará a la elevación 1545.35 msnm.

La salida del vertedor estará al cadenamiento 0+446 y a la elevación 1492.12 msnm. Todo el Túnel estará totalmente revestido de concreto reforzado.

Antes del revestimiento se usarán anclas de fricción y/o tensión en donde se requiera así como concreto lanzado con malla metálica.

Se podrá usar ademe metálico en zonas aisladas.

A lo largo del Túnel se aplicarán inyecciones de consolidación y de contacto.

2.7 Infraestructura.

2.7.1 Instalaciones de Obra.

Las instalaciones principales se han ubicado en dos Zonas: en proximidades de la Boquilla y cerca de la zona de Casa de Máquinas.

Sin embargo se dispondrá de instalaciones menores en cada uno de los frentes de trabajo.

En total se ha previsto:

2150 m² de Talleres.

752 m² de Almacenes cubiertos.

450 m² de Depósitos cubiertos.

600 m² de Oficinas principales.

150 m² de oficinas de frentes.

Además se dispondrá de las instalaciones para primeros auxilios en la obra, laboratorios de pruebas, casetas de vigilancia y depósitos para los explosivos "Polvorines".

Los talleres cuentan con los equipos necesarios para el mantenimiento mayor y menor de la maquinaria. Se almacenaran los repuestos y los materiales necesarios a fin de minimizar

suspensiones en los trabajos.

2.7.2 Campamentos.

Se tienen tres campamentos fijos y dos provisionales.

1.- **Mesa de León:** En este campamento se hospedará el personal directivo, de supervisión y obreros para los trabajos en la zona de la boquilla y ventana 1, Fig. 2.6.

2.- **Bothiña:** Localizado en el cruce entre el camino a Zimapán y el acceso a ventana 3, este campamento hospedará al personal de supervisión y obreros para los trabajos de las ventanas 3 y 4. El personal directivo para esta zona estará hospedado en el campamento Mesa de León.

3.- **La Luz:** Localizado a la orilla del Río, hospedará al personal directivo, de supervisión y obreros para los trabajos en la zona de Casa de Máquinas, Pozo de Oscilación y Ventana 6, Fig. 2.7.

2.7.3. Servicios de Obra.

2.7.3.1 **Energía Eléctrica:** Se utilizará la energía eléctrica suministrada por C.F.E. desde la línea ubicada en el km 25+00 del camino Puerto Salitre - Boquilla, a la subestación en Mesa de León.

Desde esta línea se distribuirá con redes de media tensión a los diferentes sitios de utilización en donde se instalarán subestaciones de transformación. De las subestaciones de transformación la energía se distribuirá con líneas de baja tensión (440 V) con excepción de las líneas de los frentes para alimentar las excavaciones subterráneas del Túnel de conducción que serán de 6.6 KV y cuya transformación final a 440 V se efectuará en el interior del Túnel en proximidad del frente.

Se tiene previsto las siguientes subestaciones de transformación:

En Zona de Casa de Máquinas.

Zona Pozo de Oscilación	1 X 300	KVA
Zona Ventana 6 (cota 1485)	1 X 800	KVA
Zona Ventana 6 (cota 1452)	1 x 1550	KVA
Zona Casa de Máquinas	1 X 1500	KVA

Zona Instalaciones y Plantas	1 X 1500	KVA
Zona Campamento	1 X 500	KVA
En zona de la Boquilla.		
Zona Plantas y Campamentos	2 X 1250	KVA
Zona Cortina	1 X 1000	KVA
Zona Túnel de Conducción y Servicios	2 X 800	KVA
Bombeo, Túneles de acceso a la cortina		
y Túnel de Desvío	4 X 630	KVA
En Ventanas 1, 3 y 4	3 X 630	KVA

Se han previsto además plantas diesel de emergencia por una potencia de 1500 KVA, para suplir en caso de necesidad las exigencias principales de la obra, tales como Desagüe, Ventilación e Iluminación en Túneles y otros servicios de emergencia.

2.7.3.2 Agua Industrial.

a).- **Zona de la Boquilla:** El suministro de agua industrial esta asegurada por una estación de bombeo situada en el Río San Juan cerca de la confluencia de la entrada del Túnel de Desvío. La estación esta compuesta de 3 bombas de 200 KW cada una, con una capacidad de bombeo de 110 lts/s. El agua será bombeada a los diferentes puntos o tanques de utilización, mediante adecuadas tuberías de conducción.

El campamento Mesa de León se abastece del agua proveniente de la estación de bombeo localizada en la margen izquierda del Río San Juan (cota 1412), mediante una línea de conducción por bombeo, y un tanque de rebombeo localizado en la cota 1640 se alimenta al tanque de almacenamiento y distribución localizado en la parte más alta del campamento. Por medio de una red de distribución por gravedad se alimenta a las oficinas y al campamento.

b).- **Zona Casa de Máquinas:** El suministro de agua industrial esta asegurado por dos estaciones de bombeo de distinta capacidad, según las necesidades de los diferentes puntos de utilización. La toma del agua se efectuará en la confluencia de los Ríos Toliman y Moctezuma, con Pozos profundos.

Estación de Bombeo No.1 de 80 m³/h.: Instalada en la zona de las instalaciones de obra, planta de producción de agregados y

campamentos. El agua es conducida a un tanque y de este mediante caídas por tubos de dimensiones adecuadas, se lleva a los distintos sitios de utilización.

En el campamento la Luz se instalará una planta de tratamiento de agua potable, y de esta una red de distribución llevara el agua a las distintas instalaciones del campamento y oficinas.

Estación de Bombeo No.2 de 60 m³/h de capacidad: Instalada en las cercanías de Casa de Máquinas.

El agua es bombeada a un tanque colocado en las cercanías de ingreso del Túnel de acceso a casa de Máquinas.

Una serie de bombas, bombeará el agua a la cota 1587 depositandola en un tanque de suficiente capacidad, de éste mediante tuberías será llevada a tanques secundarios localizados en la entrada de la ventana 6, en las cotas 1452 y 1485, desde éstos por caída o por absorción mediante bombas es enviada a los distintos sitios de utilización.

Cerca del tanque colocado en la entrada del Túnel de acceso a casa de Máquinas se instalará un autoclave para la distribución del agua en el interior de la Casa de Máquinas o en otros puntos donde se haga necesario.

2.7.3.4 Aire Comprimido.

Las necesidades de aire comprimido serán garantizadas mediante plantas de suficiente capacidad, instaladas en distintos sitios de las obras.

Se instalarán centrales para la producción de aire comprimido con Electrocompresores o Motocompresores, según los casos y las necesidades. Las centrales dispondrán de tanques adecuados para atender las necesidades de los trabajos, de estas el aire será llevado a los distintos sitios de utilización mediante tubos metálicos de dimensiones adecuadas.

Zona Casa de Máquinas: Instalación de tres Electrocompresores de 34 m³/minuto.

Zona Ventana 6 (cota 1452): Instalación de 2 Electrocompresores de 34 m³/minuto.

Zona Ventana 6 (cota 1485): Instalación de 1 Electrocompresores de 34 m³/minuto.

Zona Pozo de Oscilación (cota 1587): Instalación de 2 Motocompresores de 21 m³/minuto.

Ventanas 1, 3 y 4 : Instalación de 3 Motocompresores de 21 m³/minuto cada uno.

Además para las excavaciones exteriores y los Túneles de la zona de la Boquilla se han previsto Motocompresores de 21 m³/minuto, uno por cada frente de trabajo.

2.7.3.5 Sistema de Telecomunicaciones.

Se ha previsto un sistema de transferencia de línea telefónica desde la ciudad de Cadereyta a la zona de las obras, por medio de un sistema de puentes telefónicos capaces de transferir 6 canales, que también pueden ser empleados para la transmisión de Facsímiles y Telex.

El sistema VHF está compuesto por dos repetidoras y varias estaciones fijas y portátiles, que deberán funcionar en la zona de la obra.

2.7.3.6 Plantas de Producción de Agregados y Concretos.

Las plantas principales se ubicarán en la zona de la Boquilla y en la zona de Casa de Máquinas.

Cada una de estas plantas recibirá y tratará el material proveniente de la cantera EL YEDHAI para la zona de la Boquilla, y del banco EL CARRIZAL para la zona de Casa de Máquinas.

a) Zona de la Boquilla.

Planta Procesadora de Agregados.

Esta planta constará de dos secciones bien definidas y separadas: Trituración Primaria y Secundaria, Trituración Terciaria, Crivado y lavado.

La sección de Trituración Primaria y Secundaria estará instalada en proximidades de la pedrera YEDHAI y será alimentada con roca proveniente de dicha cantera.

La Planta estará compuesta por:

1 tolva de alimentación

1 Machacadora de Mandíbula de 1100 X 900 mm.

1 Trituradora de Cono.

1 Criba Vibratoria

1 Conjunto de Bandas Transportadoras para el manejo y transporte del material producido.

Esta planta esta dimensionada para una producción aproximada de 200 ton/hra. de roca triturada de un tamaño máximo de 3'', y potencia instalada de 250 KW.

La sección de trituración Terciaria, Cribado y Lavado estará instalada en la margen derecha en las proximidades del cruce entre el camino a la corona de la cortina y el camino a la atagüía.

Dicha Planta, alimentada con la roca triturada producida por la planta primaria, estará conformada para producir las siguientes clases de Granulométricas:

Arena	No. 200	-	3/16''
Grava	3/16''	-	3/4 ''
Grava	3/4 ''	-	1/2 ''
Grava	1/2 ''	-	3 ''

La planta estará constituida principalmente por las siguientes máquinas:

1 Tolva de alimentación

1 Criba Vibratoria

1 Trituradora de Cono

1 Molino de Barras para arena

1 conjunto de bandas transportadoras para el manejo y transporte de los agregados ya clasificados.

Todos los agregados clasificados serán almacenados en Silos Metálicos con capacidad de 800 m3 cada uno. Esta planta estará en condiciones de suministrar una producción de 180 ton/hra. de agregados seleccionados y lavados.

Planta de Producción de Concreto y Enfriamiento.

Esta planta estará instalada en las cercanías de la planta de procesamiento de los agregados y será de tipo horizontal automática. La Dosificación será efectuada mediante equipo de pesaje separados, es decir: 4 para los agregados, 1 para el Cemento, 1 para el agua y 1 para los demás componentes (aditivos).

El mezclado será realizado por dos Turbomezcladoras de doble eje horizontal, de 2.5 m³ de capacidad de concreto vibrado cada una.

Todas las operaciones serán realizadas automáticamente por una cabina de controles, donde se instalará un registrador de todos los datos requeridos por las Especificaciones Técnicas.

La planta tendrá una capacidad teórica de 120 m³/hra..

Además se prevé: Una planta para el almacenamiento del cemento constituida por 4 Silos Herméticos de 1000 ton. cada uno.

Un sistema de cribado de todos los agregados gruesos previamente a la alimentación de la planta de dosificación. La criba estará instalada directamente sobre los silos de la planta.

Una planta de enfriamiento de las gravas, constituida por una banda transportadora en la cual las gravas serán sumergidas en agua fría y luego escurridas con una criba horizontal, para ser después enviadas a la planta de Dosificación.

Una planta para la producción de agua fría a ser utilizada para la mezcla, la producción de Hielo y el enfriamiento de las gravas. La capacidad de esta planta es de aproximadamente 700,000 Kcal/hra..

Una planta para la producción de hielo en escamas, constituida por dos máquinas, un depósito aislado y equipos de pesaje independientes. El hielo pesado será enviado a las mezcladoras por medio de una banda transportadora.

La planta estará capacitada para una producción diaria de 40000 kg..

b) Zona de Casa de Máquinas.

El banco de grava y arena **EL CARRIZAL** esta situado aproximadamente a 6 km de la Casa de Máquinas.

Planta de Trituración y Cribado: Se instalará una planta de 60 ton/hra. de capacidad para la clasificación de gravas y arenas según las Especificaciones Técnicas.

La planta estará formada por:

Tolva de alimentación.

Banda Transportadora de 800 mm de ancho.

Criba Vibratoria de un piso.

Banda Transportadora de 600 mm de ancho

Granulador BS 120.

Banda Transportadora/Repetidora.

Bandas Transportadoras 650/30 m..

Criba Vibratoria de tres pisos.

Banda Transportadora 400/15, para cúmulos 5/12-12/19-19/38.

Planta de selección y lavado de arena 0/5.

Planta para la Producción de Concreto.

las plantas están diseñadas para una producción de 30 m³/hra. de concreto, cada una.

Son automáticas, tienen sistemas de Dosificación y Mezcladora de eje horizontal montado sobre pórticos para cargar camiones con olla revolvedora.

El depósito de cemento esta constituido por dos silos metálicos de 300 ton cada uno, para cada planta. Se prevé además, la instalación de una bodega para el depósito del cemento en bultos.

Está prevista la instalación de una planta para el tratamiento de agua fría y la producción de hielo. La utilización de estas plantas está prevista para los vaciados durante los periodos en que la temperatura supere los 23°C al momento de la colocación.

El transporte del concreto en las carreteras se hará por medio de camiones con olla revolvedora de 4 y 6 m³ de capacidad. La selección de una u otra de las máquinas depende en cada caso del tiempo a disposición para descargar, de tal manera que el mismo no sea superior a 45 minutos.

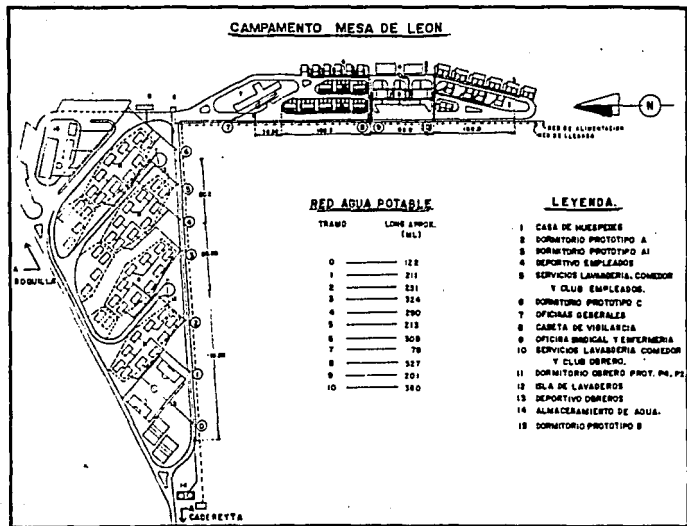


Fig. 2.6.

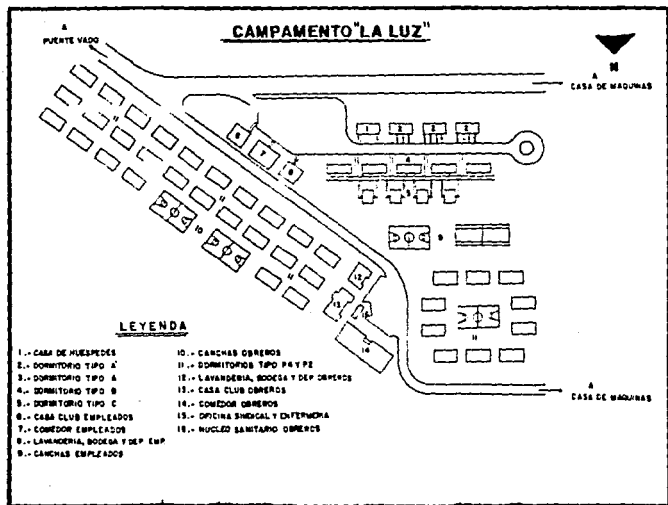


Fig. 2.7.

C A P I T U L O I I I

Proceso Constructivo

3.1 Caminos de acceso.

3.2 Obra de Desvío y Ataguías.

3.3 Obra de Contención.

3.4 Obras de Generación y Subestación.

3.5 Obra de Excedencias.

3.1 Caminos de Acceso.

3.1.1 Terracerías y Capas Subrasantes.

Los procedimientos constructivos para las terracerías y capa subrasante se enfocan a dos diferentes casos que se presentan a lo largo del desarrollo de los caminos, según indique el proyecto geométrico: Secciones en Corte y Secciones en Terraplen, Fig. 3.1 y 3.2.

3.1.2 Secciones en Corte.

a1) se llevarán a cabo los trabajos de Tala, Roza y Desentrañe de la vegetación existente dentro del trazo del camino.

La operación de desentrañar se efectuará en las superficies limitadas por líneas trazadas a un metro fuera de los cercos para cortes.

Este trabajo deberá efectuarse de tal manera que se asegure la eliminación completa de materia vegetal y deberá cuidarse de que el producto no se revuelva con los materiales destinados a la construcción.

a2) Efectuar un corte en el terreno natural hasta el nivel de la Subrasante de proyecto. Si el material descubierto por el corte es apto para integrar la capa subrasante, se escarificará para perfilar y compactar la superficie descubierta por el corte, hasta lograr como mínimo el 95% del Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) en 30 cm de profundidad; con esta operación quedará constituida la capa subrasante.

Si el material descubierto por el corte no es adecuado para formar la capa subrasante, la excavación se hará hasta una profundidad de 30 cm abajo del nivel subrasante de proyecto. Para construir la capa subrasante, en estos casos, se deberán emplear materiales de los bancos de préstamo para este uso o bancos de compensación longitudinal; esta capa deberá tener un espesor de 30 cm y se compactará como mínimo al 95% P.V.S.M..

Las excavaciones en los cortes se ejecutan siguiendo un sistema de ataque que facilita el drenaje del corte:

Fase 1: Corte inicial tipo brecha para acceso de 1.50 m de ancho.

Se trabajará con pistolas perforadoras y compresores de 250 PCM, en la barrenación inicial, para abrir paso a una sección de 1.50 m; se pretende tener un avance promedio de 12.50 ml por jornada realizando 17 barrenos cortos que se cargarán y tronarán en la misma jornada. Se espera que el 75% del material en esta fase caiga por gravedad y el 25% restante se desalojará con equipo mecánico, al terminar esta fase se tendrá acceso para los Track Drill.

Fase II: Corte por medio de banqueo, con barrenación vertical inclinada para una sección de 4.20 m de ancho.

Los trabajos se basan en continuar con el precorte, con esto no fracturamos el terreno que no se va a cortar. Continuamos con la barrenación de banqueo con cuadrículas de 2.50 X 2.50 m y profundidad promedio de 7 a 8 m. con el objeto de localizar una sección de rodamiento de 4.20 m.. Se realizará una carga de barreno y tronada por jornada, para no suspender el avance. Se pretende tener un avance de 12.50 ml por jornada y se espera que el 70% del material caiga por gravedad y el 30% restante se mueva con equipo mecánico.

Fase III: Corte por medio de banqueo, con barrenación vertical inclinada para una sección de 7.50 m de ancho.

Los trabajos de esta fase son similares a la fase II, unicamente que estamos en otro nivel. En esta fase se pretende localizar una sección de rodamiento de 7.50 m que será definitiva.

a3) Los terraplenes de los cortes en balcón se construirán usando el material de los cortes efectuados, siempre que esté libre de restos de vegetación.

Cuando estos terraplenes se construyan sobre laderas cuya pendiente transversal sea igual o mayor del 25% ó cuando los terraplenes tengan una altura igual o mayor de 2 m, para obtener una buena liga con el terreno natural y evitar así posibles deslizamientos, se formarán escalones de liga dentro del área donde se apoyen los terraplenes siguiendo lo que se indica a continuación: Formar al pie del talud natural una plantilla de trabajo de 2.50 m de ancho mínimo más la proyección del talud del

terraplen con altura de escalón que será de 60 cm para poder alojar dos capas del terraplen. El material recortado se tenderá en capas de 30 cm de espesor y se compactará al 90% P.V.S.M. como mínimo.

A continuación se excavará el siguiente escalón de 60 cm de altura y con un ancho de plantilla de 2.50 m, el material recortado se tenderá y se compactará al 90% en 30 cm de espesor.

Se proseguirá con esta secuencia la construcción del terraplen; el material que haga falta se deberá traer del banco de préstamo o del corte más cercano. En seguida se construirá la capa subrasante de 30 cm de espesor como mínimo, la que se compactará hasta lograr como mínimo el 95% de su P.V.S.M..

3.1.3 Secciones en Terraplen.

a1.- Se efectuarán los trabajos de Tala, Roza y Desenraice de la vegetación existente dentro del área en donde se apoyarán los terraplenes.

a2.- Antes de iniciar la construcción de los terraplenes, se rellenarán los huecos motivados por el desenraice, se escarificará y se compactará la superficie despalmada, hasta lograr como mínimo el 90% en 15 cm de profundidad.

a3.- A continuación se construirá el cuerpo del terraplén empleando el material proveniente de los bancos de préstamo o del corte más cercano, este material se tenderá en capas de un espesor no mayor de 30 cm, debiéndose compactar cada una al 90% P.V.S.M. como mínimo.

a4.- Terminada la operación anterior se procederá a la construcción de la capa subrasante de 30 cm de espesor, la que se deberá compactar hasta lograr como mínimo el 95% P.V.S.M..

3.1.4 Sub-base y Base Hidráulica.

Se construirá usando materiales procedentes de los bancos propuestos para este uso en un espesor de 15 cm y se deberá compactar hasta alcanzar como mínimo el 100% de su P.V.S.M..

3.1.5 Riegos Asfálticos.

a).-Riego de Impregnación: Sobre la superficie de la capa de base, seca y barrida se aplicará, en todo su ancho, un riego de

impregnación usando un producto asfáltico del tipo FM-1 a razón de 1.5 lts/m², aproximadamente. El riego del material asfáltico deberá hacerse de preferencia en las horas más calurosas del día.

La superficie impregnada deberá presentar un aspecto uniforme y el material asfáltico deberá estar superficialmente bien adherido al material de la base; la penetración del riego no deberá ser menor de 4 mm y la absorción total deberá presentarse en no más de 24 horas. La base impregnada deberá ser cerrada al tránsito por un lapso mínimo de 48 horas.

b).-Riego de Liga: Previo al tendido de la carpeta y 48 horas después del riego de impregnación, se deberá aplicar un riego de liga con producto asfáltico FR-3 a razón de 0.5 lts/m².. Antes de aplicar el riego de liga sobre la base impregnada, está deberá ser barrida para dejarla exenta de materias extrañas y polvo.

Antes del tendido de la carpeta se deberá dejar transcurrir un tiempo no menor de 30 minutos para que el material asfáltico del riego de liga adquiriera la viscosidad adecuada.

3.1.6 Carpeta de Concreto Asfáltico.

Se construirá la carpeta de concreto asfáltico, elaborada en planta, de 7 cm de espesor, empleando material pétreo triturado y cribado a tamaños máximo de 3/4" y cemento asfáltico No.6. Esta capa deberá compactarse al 95% de su peso volumétrico determinado por el procedimiento Marshall.

El concreto asfáltico deberá tenderse con Finisher a una temperatura no menor de 110° C con un espesor uniforme; inmediatamente después del tendido se deberá planchar uniforme y cuidadosamente utilizando una aplanadora tipo TÁNDEM de 6 a 8 ton de peso para dar acomodo inicial a la mezcla; este planchado deberá efectuarse longitudinalmente a "media rueda"; a continuación se compactará la carpeta en formación utilizando compactadores de llantas neumáticas de 8 ton.; inmediatamente después se empleará una plancha de rodillo liso de 10 ton para borrar las huellas de los compactadores de llantas neumáticas.

La compactación de la carpeta deberá terminarse a una temperatura no menor de 70° C. No deberá tenderse concreto

asfáltico sobre una base húmeda, encharcada o cuando este lloviendo.

3.1.7 Riego de Sello.

Se dará un riego de sello a todo lo ancho de la corona, utilizando producto asfáltico FR-3 y material pétreo 3-E a razón de 1.2 y 10 lts/m², respectivamente. Antes de aplicar el riego de sello, la superficie por tratar deberá estar seca y ser barrida para dejarla exenta de materias extrañas y polvo.

Se cubrirá el riego de material asfáltico con la capa de material pétreo, se removerá por medio de un barrido el excedente que no se hubiera adherido al material asfáltico, depositándolo en las orillas del camino.

El camino contará con las obras de drenaje necesarias; Zampeado de cunetas con concreto hidráulico, Lavaderos y Bordillos, se instalarán señales, fantasmas y defensas metálicas.

Maquinaria y/o equipo necesario:

Tractor de orugas (ANGLE).

Tractor de orugas (BULDOZER) en bancos.

Cargador Frontal.

Motoconformadora.

Vibrocompactador.

Pata de cabra.

Camión de Volteo.

Camión Pipa.

Barredora.

Petrolizadora.

Finisher.

Compresor.

Vibrador de Concreto.

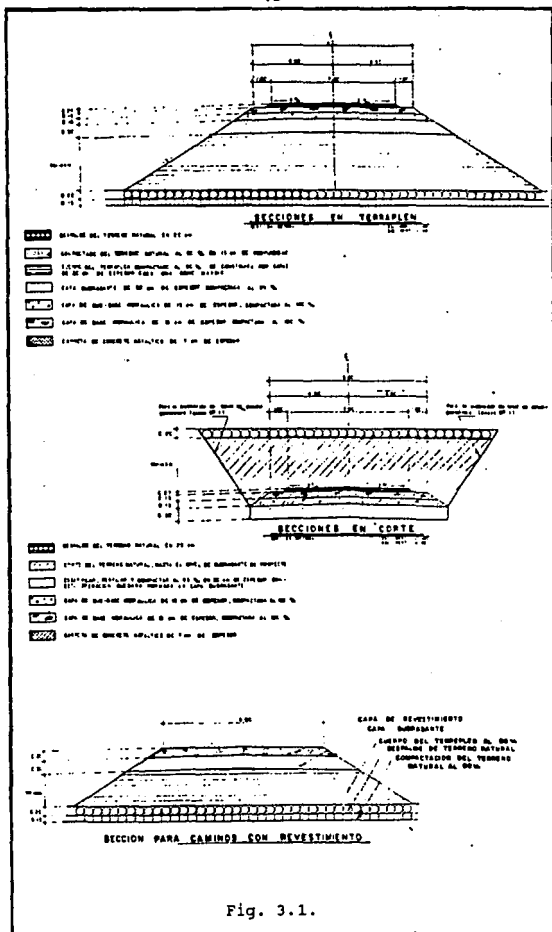


Fig. 3.1.

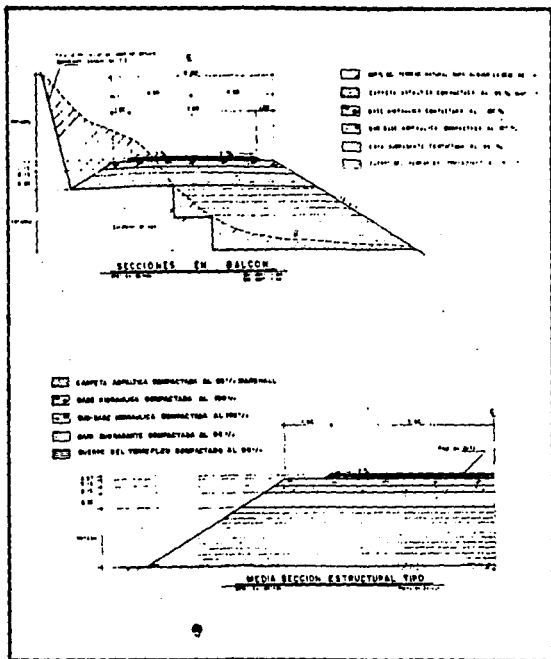


Fig. 3.2.

3.2 Obra de Desvío y Ataguía.

3.2.1 Actividades que la integran:

- a) Excavaciones a cielo abierto en canales de acceso y plataforma de la lumbrera de obturación.
- b) Construcción de obras provisionales como vados o puentes, brechas de acceso a los bancos de almacenamiento y/o desperdicios.
- c) Excavaciones en Túnel, incluyendo portales de entrada y de salida, y las excavaciones necesarias para el tapón de cierre final.
- d) Excavaciones en lumbreras de obturación provisional.
- e) Protección y tratamiento de taludes a base de anclajes y concreto lanzado con malla metálica en donde se requiera.
- f) Tratamiento de la roca en Túnel y en lumbrera de obturación provisional.
- g) Suministro y colocación de ademes.
- h) Construcción de todas las estructuras de concreto, en portales del Túnel y en lumbrera, estructura de obturación provisional, tapón para cierre provisional, tapón para cierre final y revestimiento en donde sea necesario.
- i) Suministro y colocación de los componentes del concreto: cemento, arena, grava, agua, aditivos o cualquier otro elemento necesario para garantizar la resistencia de diseño así como la protección y curado de los colados.
- j) Suministro y colocación de acero de refuerzo y partes fijas de acero estructural necesarias para la instalación y operación del obturador provisional.
- k) Suministro, colocación y retiro de cimbras.
- l) Suministro y colocación de anclas de tensión y fricción.
- m) Inyecciones en galería y tapón de cierre final.
- n) Construcción de ataguías de materiales graduados, incluyendo desmonte y despalle del sitio de despalme.
- o) Limpieza general durante y al termino de la obra.

3.2.2 Túnel de Desvío.

Las obras de desvío tienen por objeto dejar seco el sitio de construcción de una cortina y las obras auxiliares durante el período de construcción, para la cual es necesario desviar temporalmente el escurrimiento del Río.

En la construcción del Desvío lo primero que se ataca es el Túnel, empezando simultáneamente por los dos extremos del Túnel.

3.2.3 Excavación Exterior del Portal de Entrada y de Salida.

Las excavaciones en roca del talud del portal de entrada y de salida, se ejecuta con barrenación vertical y de precorte para los barrenos de contorno, utilizando para la perforación Track Drill de neumáticos, con barrenos de 2" a 3" de diámetro y altura de los bancos de hasta 6 m.. La cuadrícula de perforación y la carga de explosivos se establecen dependiendo de las características de la roca, sin embargo se ha considerado realizar normalmente cuadrículas de 2 X 2 m..

El acabado de la excavación se realiza con perforadoras y demoledoras manuales. A medida que va bajando la excavación de los taludes, se colocan las anclas de fricción necesarias y se ejecutan los trabajos de protección de los taludes.

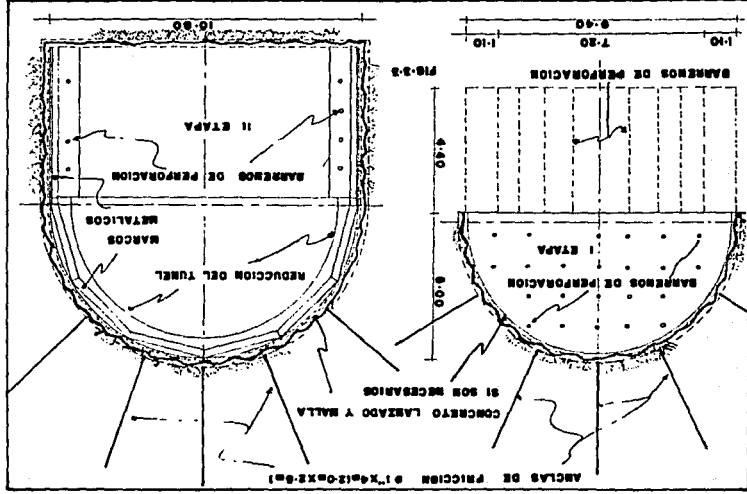
3.2.4 Excavaciones Subterráneas.

Primeramente se ataca la parte superior de la sección semicircular con barrenación horizontal y de precorte perimetral y cuñas de barrenos paralelos, teniéndose un avance promedio de 6.5 ml diarios por frente; la perforación se efectúa con un Jumbo hidráulico de tres brazos montado sobre un camión (velocidad de perforación: 70 cm/min. por brazo), la rezaga se efectúa con cargador tipo GHH LF12 con balde de 6 m³ y potencia de 270 H.P., que carga a camiones de volteo de 20 ton. de capacidad.

La excavación vertical del Túnel en la sección rectangular se ejecuta con barrenación vertical utilizando 2 Track Drill hidráulicos, teniéndose un avance promedio de 14 ml diarios por frente, Fig. 3.3.

Inmediatamente después de la voladura se colocan los refuerzos provisionales (barras de anclaje, cimbras, el concreto

Fig. 3.3.



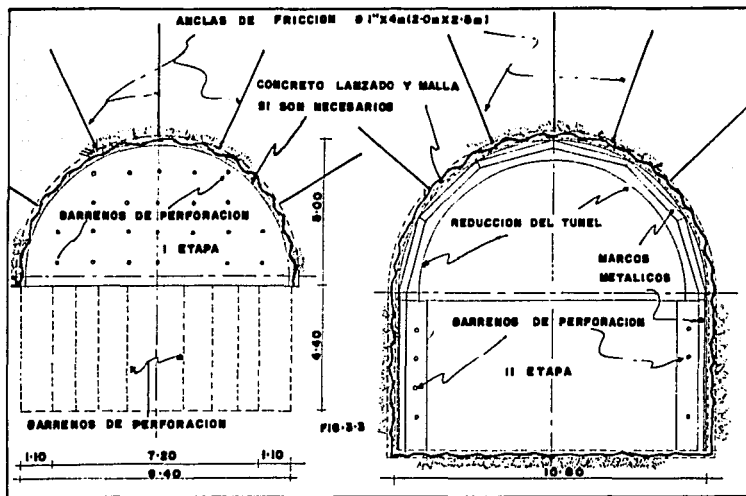


Fig. 3.3.

lanzado y la malla electrosoldada) donde sea necesario; el sistema de corte Smoth Blasting reduce al mínimo los posibles sobreespesores.

Terminadas las excavaciones del Túnel se procede a la excavación de la lumbrera para alojar las compuertas del cierre provisional. Esta estructura de concreto reforzado se localiza en el tajo de entrada del túnel de desvío entre las estaciones 0+078 y 0+100, y tendrá una losa de cimentación de 1.0 m de espesor, muros laterales de 1.30 m de ancho, con pila intermedia de 2.50 m de ancho y 22 m de longitud para formar dos vanos de 3.45 m cada uno, los cuales se cerrarán con dos juegos de obturadores de 8 piezas cada uno.

Los obturadores metálicos serán operados por equipo de izaje montado sobre la plataforma a la elevación 1414 msnm. Esta obturación provisional dará tiempo para el colado del tapón de cierre definitivo que se ubica en la intersección con el eje de la cortina y que esta dimensionado para resistir cargas de 185 metros que corresponde al N.A.M.E..

3.2.5 Construcción de Ataguías.

Para lograr que el agua se desvíe por el túnel que se ha preparado para tal efecto, es indispensable obstruir el Río y se logra con la construcción de la ataguía de aguas arriba.

Una vez terminado el túnel, se trata de obstruir el paso del agua por su cauce normal, haciendo acopio de rocas de grandes dimensiones en el borde de las zonas de enrocamiento de ambas márgenes; cada que se estrecha el paso del agua, el nivel de ella sube, de este modo se logra que todo el gasto que en esos momentos pasaba por el Río se meta por el túnel, efectuándose el cambio definitivo del cauce, Fig. 3.4.

Se va depositando material de filtros y transiciones a fondo perdido, así como el limo de las zonas arrojadas por las rocas hasta lograr que los materiales queden por encima del nivel del agua, a partir de este momento, el deposito de materiales se hará por capas, dándole el acomodo y la compactación ordenada por el diseño.

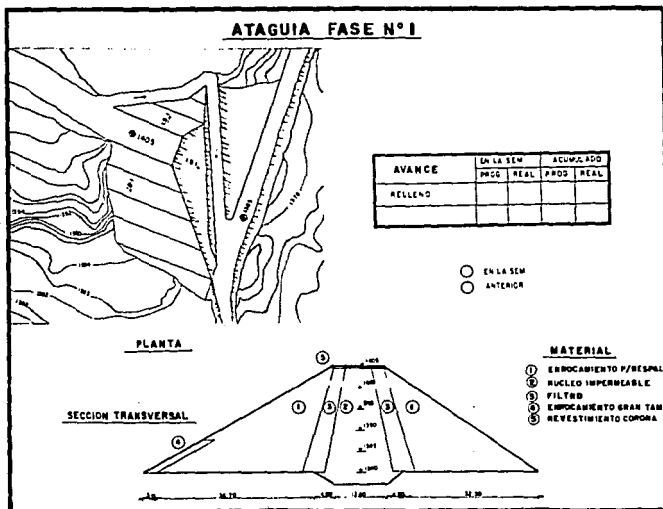


Fig. 3.4.

Material Impermeable: Material procedente de bancos de préstamo, excavado con Tractor Bulldozer tipo CAT D8 equipado con desgarrador, cargado con cargador tipo CAT 966 y transportado a la zona de utilización en camiones de volteo de 20 ton.. El material es colocado con tractor Bulldozer y/o Motoconformadora, y compactado con Rodillo Vibratorio de 10 ton..

Si es necesario el material será escarificado para quitarle humedad o bien humedecido en el caso de que la humedad natural no sea suficiente, para lograr una densidad de compactación óptima.

En esta actividad se emplea Motoconformadora y un camión pipa de 10000 lts. de capacidad.

Rellenos Permeables (Filtros y Drenes): Material procedente de

la planta de tratamiento, colocado en capas especificadas por diseño con tractor Bulldozer tipo CAT D7, perfilado con Motoconformadora y compactado con Rodillo Vibratorio de 10 ton..

Rellenos de Roca: El material de enrocamiento para el respaldo procede de las excavaciones en ejecución, canteras y depósitos provisionales; será colocado con el siguiente equipo:

Actividad	Equipo
Carga	Cargador tipo CAT 966.
Transporte	Camión de Volteo de 20 ton..
Colocación en capas horizontales	Tractor Bulldozer tipo CAT D7.
Colocación en Taludes	Retroexcavadora de 1.5 m3.
Compactación	Rodillo Vibratorio de 10 ton..

Una vez cerrada la ataguía de aguas arriba, se construye la ataguía de aguas abajo siguiendo los pasos anteriores, pero con la ventaja de que ya no hay corriente de agua.

3.3 Obra de Contención.

3.3.1 Actividades.

- a) Desmote y despalde del sitio de la Boquilla y sitio en donde se construirán los Pulvinos.
- b) Excavación a cielo abierto para desplante de cortina y zona de Pulvinos.
- c) Excavación de Galerías para inyección en ambas márgenes.
- d) Excavación dental para tratamiento de fallas, cavidades y fracturas.
- e) Inyección de sutura y consolidación en zona de pulvinos.
- f) Inyección de impermeabilización a través de galerías.
- g) Tratamiento de taludes a base de anclas de fricción y/o tensión donde se requiera, así como concreto lanzado con malla metálica.
- h) Suministro y colocación de soportes definitivos y temporales de la cimentación en zona de pulvinos a base de marcos, barreras, mallas metálicas, etc..
- i) Construcción de todas las estructuras de concreto como

son: pulvinos, base de la cortina, placa o cuerpo de la cortina, revestimiento y portales de entrada de galerías de inyección, etc..

j) Suministro y colocación de las cimbras y acero de refuerzo.

k) Suministro y colocación de concreto, garantizando resistencia de diseño.

l) Suministro, colocación y postensado de tirantes, llevando un control de tensado.

m) Control y desvío de los escurrimientos debidos a filtraciones de las ataguías.

n) Suministro y colocación de barras y pernos de anclaje.

o) Control de la temperatura de los colados por medio de hielo y/o serpentines para la circulación del agua.

p) Colocación de los elementos necesarios para las juntas de construcción y de contracción.

q) Relleno de cavidades a base de mortero de cemento.

r) Colocación de tubos para drenaje e inyecciones.

s) Explotación, extracción y procesamiento de agregados naturales para ser empleados en la obra.

t) Limpieza general durante y al termino de la obra.

3.3.2 Procedimiento de Construcción.

La zona comprendida entre la ataguía aguas abajo y la ataguía aguas arriba forma un recinto cerrado, es ahí precisamente en donde se hace el desplante de la cortina.

3.3.2.1 Túneles de Acceso a la Cortina.

La excavación del túnel de acceso a la cortina sobre la margen izquierda (L=600 m) y sobre la margen derecha (L=400 m) se realiza en sección completa; el sistema de corte Smooth Blasting reducirá al mínimo los posibles sobreespesores.

La perforación se realiza con un Jumbo hidráulico de 2 brazos + brazo con canasta, uno en cada ladera; la rezaga se efectúa con cargador CAT 966 de descarga lateral y camiones de volteo de 20 ton, teniéndose un avance de 7.3 ml por jornada y por frente.

3.3.2.4 Excavación de las laderas de la Cortina.

La excavación en las laderas de la cortina se ejecutará perforando huecos de 2 1/2" a 3" de diámetro en bancos de 6 m de altura y cuadrícula de perforación en general de 2m X 2m, utilizando el método del Pre-Corte para los barrenos de contorno de los taludes.

Las anclas en los taludes se colocarán a la medida en que baje la excavación y para la perforación se utilizarán Track Drill de neumáticos del tipo INGERSOLL RAND ECM 350.

El material producto de la excavación que se vaya acumulando en el fondo de la boquilla no se comenzará a retirar hasta tanto la altura del depósito alcance el frente de la excavación que viene bajando. De esta forma la parte final de la excavación será accesible desde el fondo de la boquilla, a través de la atagüa y de la rampa de acceso.

Hasta ese momento el equipo necesario para la excavación de las laderas será posicionado y retirado, cuando se requiera, empleando los dos brazos grúa localizados en los estribos a una cota ligeramente superior a la cota de la corona de la cortina.

Para la barrenación se utilizará un Track Drill Tipo ATLAS COPCO ROC722H (uno en cada ladera), la rezaga se efectuara con un cargador tipo CAT 966 y camiones de volteo de 20 ton..

3.3.2.3 Galerías de Inyección y de Drenaje.

Para la excavación de las galerías es necesario instalar en primer lugar una plataforma de servicio en voladizo, frente a la salida del túnel, de 5m X 10m.. En la perforación de estos túneles se ha previsto utilizar 4 martillos perforadores con soporte neumático que estarán montados sobre una plataforma especial sobre llantas para facilitar la perforación superior de la sección, dicha plataforma se usará también para facilitar la colocación de los pernos y de los ademes.

Los pozos serán excavados desde arriba utilizando una plataforma de dimensiones variables, equipada con 4 perforadoras.

Los escombros serán evacuados a través de los pozos con baldes de capacidad apropiada movilizadas por malacates, y transportados al

exterior con un cargador GHH LF4 con cuchara de 2 m³ o similar.

Se prevé un avance promedio de 5ml por día en las galerías y 2.5 ml por día en los pozos.

3.3.2.4 Tratamiento de la Roca.

Para impermeabilizar las inyecciones se ejecutarán en tramos ascendentes y descendentes según que la perforación se ejecute hacia arriba o hacia abajo respectivamente. Las presiones de inyección variarán de 0 hasta 50 kg/cm² de acuerdo a la profundidad de los barrenos y su ubicación, considerandose 1 kg/cm² por metro lineal de perforación.

La separación de barrenos será:

I Etapa	12.00 m.
II Etapa	6.00 m.
III Etapa	3.00 m.
IV Etapa	1.50 m.

Se inyectarán como mínimo barrenos de I etapa y la inyección de barrenos de II, III, IV etapa, se ejecutarán en lugares de alto consumo o bien donde la impermeabilidad en barrenos de prueba resulte mayor a 2 unidades Lugeon*, a juicio del Residente de Inyecciones y Control de Calidad, Fig. 3.5 y 3.6.

*Unidad Lugeon: Corresponde a una absorción de 1 litro de agua por minuto, por metro de sondeo, con una presión de inyección de 10 kg/cm².

El diámetro de los barrenos de drenaje será de 3" (76 mm) y el de Impermeabilización será de 2 1/4" (57 mm).

3.3.2.5 Colocación del Concreto.

Características Generales, Fig. 3.7:

Concreto	300,000 m ³ .
Acero de Refuerzo	3,223 ton.
Excavación	275,000 m ³ .

El concreto producido en la planta será transportado por medio de camiones con olla revolvedora de 7 m³ de capacidad hasta la base de la cortina, Fig. 3.8.

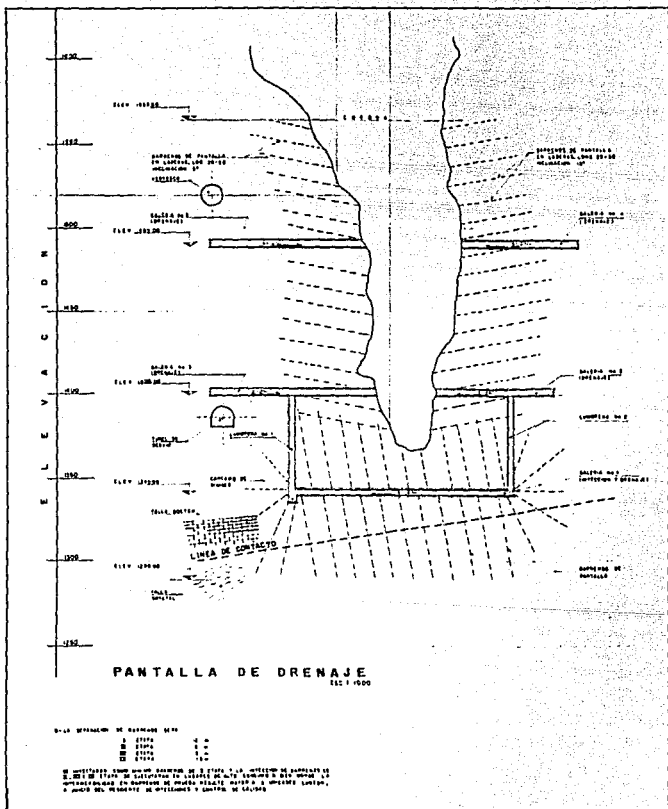


Fig. 3.6.

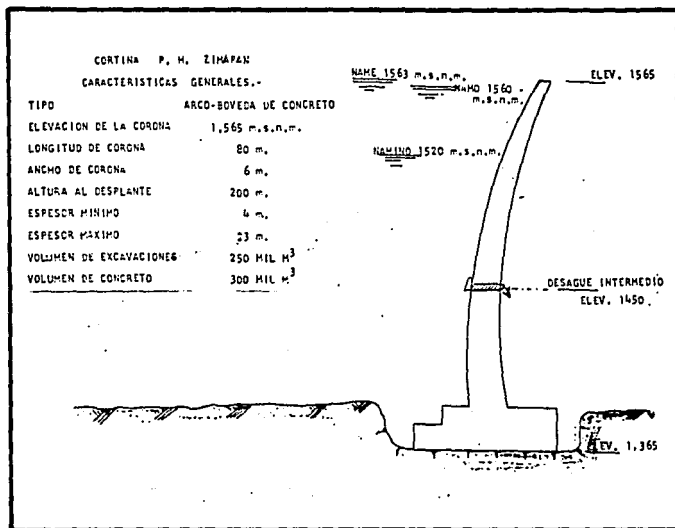


Fig. 3.7.

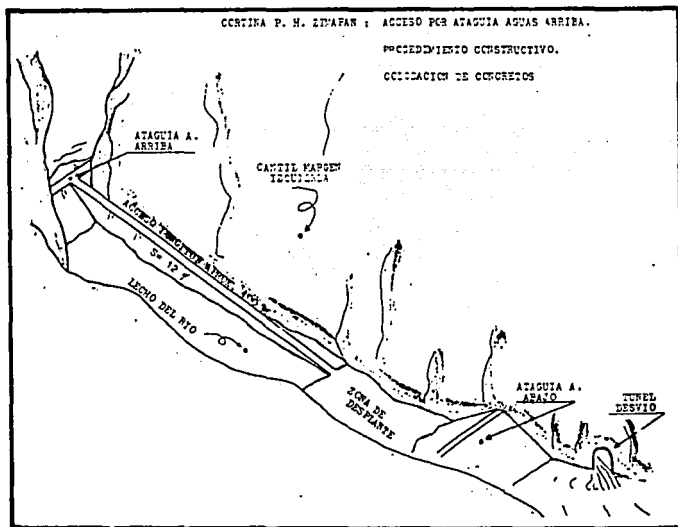


Fig. 3.8.

Para la carga y distribución del concreto en los distintos bloques de la cortina, dada la conformación natural del terreno, se prevé el uso de brazos giratorios horizontales (Grúa-Torre) de 80 m de longitud con carro deslizante.

El Modelo MD 1400 del fabricante POTAIN tiene un alcance de vía de 80 m y una capacidad de carga de 54 ton a una distancia de 40 m sobre la vía. Estas características de grúa hacen factible la posibilidad de utilizar tres o más grúas las cuales se deslizarán sobre rieles paralelos al eje de la cortina situados a cierta distancia de la misma, y combinando dichas grúas con una estructura de apoyo ubicada aguas abajo de la cortina se obtienen verdaderos marcos de carga, de esta forma el bote opera con carga máxima. El llenado del bote se realiza en la parte inferior, únicamente se iza, se traslada sobre la vía y desciende para vaciarlo en el lugar del colado, todo con una sola posición del sistema marco-grúa para determinada zona de colado.

a).- Fase de Colado del Nivel 1365 a 1500 m.s.n.m..

La posición, apoyo y alimentación de las grúas-marco será prácticamente a nivel del lecho del Río y el acceso a esta zona se realiza desde la atagüa por medio de una rampa de acceso. En esta fase se colara aproximadamente 250,000 m³ de concreto para la cortina que representan el 83% del volumen total, el cual se considera de 300,000 m³ de concreto incluyendo tapón, placa y pulvinos, Fig. 3.9 y 3.10.

b).- Fase de Colado del Nivel 1500 a 1565 m.s.n.m..

En esta fase la posición, apoyo y alimentación de las grúas estará a la elevación 1565 en ambas márgenes y la posición del sistema en relación a la primer fase estará a 90°.

En esta fase se colaran alrededor de 50,000 m³ de concreto representando el 17% del total, Fig. 3.11 y 3.12.

A partir del momento en que se ejecute el cierre del túnel de desvío, el concreto será transportado al brazo giratorio de la margen derecha a través del túnel de acceso a la corona de la cortina. Para el vaciado en la margen izquierda, el balde será trasladado de un brazo a otro apoyándolo provisionalmente en la

cortina.

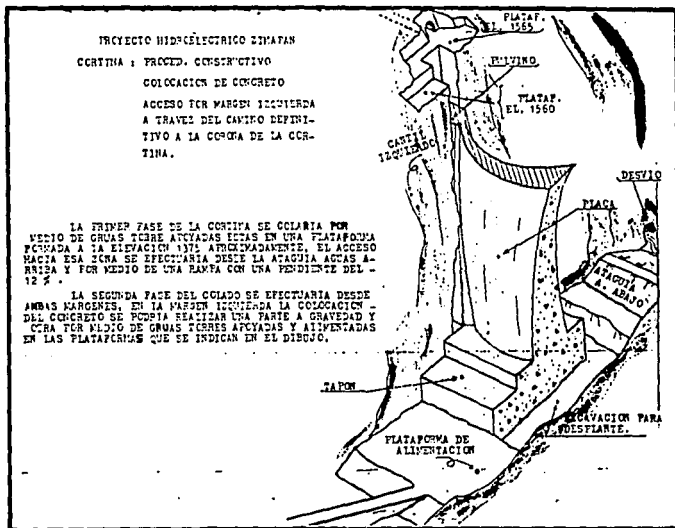


Fig. 3.9.

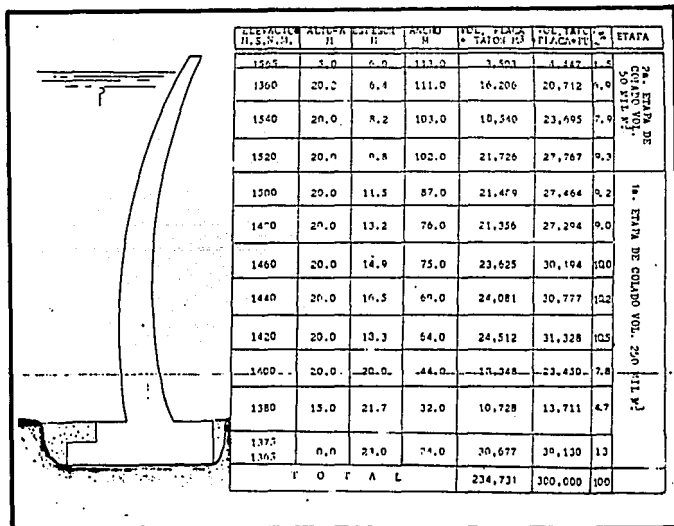


Fig. 3.10.

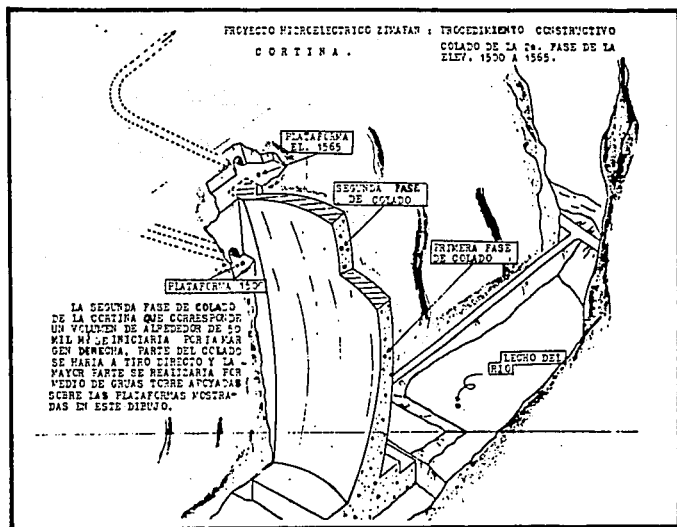


Fig. 3.11.

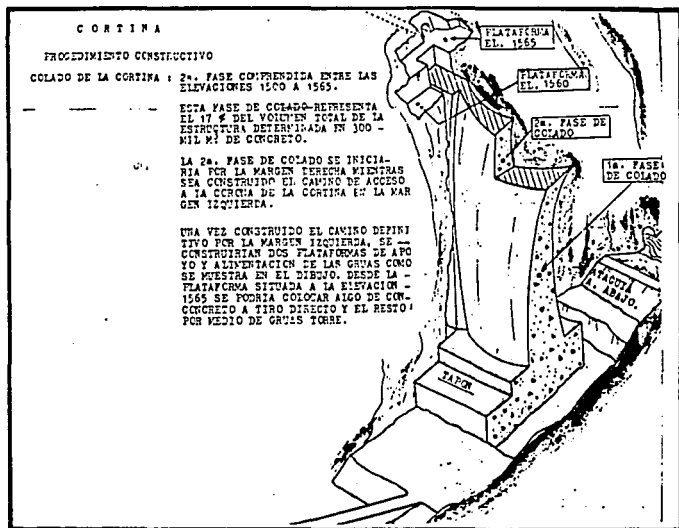


Fig. 3.12.

Antes de iniciar el vaciado se procederá a realizar la limpieza de la superficie por medio de bombas especiales de alta presión del tipo "Water Blaster".

Para evitar Juntas Frías, el concreto se colará en capas horizontales escalonadas de tal forma que al colar una nueva capa sea todavía posible alcanzar con la vibración la capa inmediatamente inferior. Para la vibración se utilizarán vibradores de inmersión de 150 mm de diámetro.

3.3.2.6 Post Enfriamiento del Concreto.

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas, para enfriar el concreto hasta una temperatura de 17° C, se ha dimensionado la capacidad de la planta de manera de cumplir con la producción requerida, obteniéndose los resultados siguientes:

Total de Kcal teóricas	500,000
Total de Flujo de agua Teórico	80 m3/hra.

Teniendo en cuenta el programa de construcción de la cortina y los volúmenes de concreto por enfriar, se ha concebido la planta para la producción y el flujo de agua enfriada de la forma siguiente:

2 WATER CHILLER en contenedores, con una capacidad de 250,000 kcal/hra.

2 WATER CHILLER con las mismas características de los anteriores, pero a una cota más elevada, serán conectados al sistema de distribución y considerados como unidades en espera (stand-by unit). Estarán en condiciones de funcionar en casos de Picos Térmicos inesperados y durante la fase de transferencia del Water Chiller precedente a una cota superior.

Prácticamente se puede considerar que la capacidad máxima de la planta es del doble de la requerida teóricamente.

Cada Water Chiller tendrá las siguientes características:

Estará en un contenedor montado sobre un armazón de acero rígido, que permita la carga y el transporte a distintas cotas por medio de un brazo horizontal.

Tendrá una capacidad de 250,000 kcal/h..

Flujo de Agua: 1 Bomba de agua de 40 m³/h.

Como resultado se tiene:

Capacidad total de enfriamiento 1,000,000 kcal/h.

Capacidad total del flujo de agua 160 m³/h.

Los Water Chiller serán intercambiables y podrán producir agua enfriada a la temperatura requerida por las Especificaciones Técnicas, es decir a 60°C. Estarán conectados a una tubería de distribución instalada en las pasarelas ubicadas abajo de la cortina y tendrán la posibilidad de revertir periódicamente la dirección del flujo. Dichas pasarelas garantizarán el acceso a los bloques de la cortina a distintos niveles.

3.3.2.7 Inyecciones de las Juntas de la Cortina.

Las inyecciones serán efectuadas por medio de un sistema de tuberías y válvulas a ser empotradas durante el vaciado; el sistema esta diseñado para poder ejecutar inyecciones múltiples.

Todas las facilidades necesarias: como pasarelas, escaleras, plataformas, etc. estarán proporcionadas en el área de inyección, para la ejecución de los trabajos y para permitir la inspección a C.F.E..

La lechada estará constituida por agua, cemento y aditivo fluidificante de acuerdo a las especificaciones técnicas. Las Juntas, preparadas (limpiadas por medio de aire y agua a presión serán inyectadas empezando por la parte más baja de la cimentación de la cortina y procediendo hacia la corona en flujos horizontales.

Según lo establecido en las Especificaciones Técnicas en cuanto a presión y tiempo de inyección de cada celda y en base a todos los requerimientos necesarios se ha previsto utilizar una bomba para inyección tipo ZBE de la ATLAS COPCO completa de equipamiento (Mezcladora-Agitador y accesorios).

TABLA 3.1 INTEGRACIÓN DEL TIEMPO

ACTIVIDAD	DETALLES	DÍAS
PREPARATIVOS	APOYO TOPOGRÁFICO, REFERENCIAS, ACCESO PRELIMINAR, LIMPIEZA GENERAL	60
EXCAVACIONES	DE REGULACION DE CANTIL Y FONDO DE ELEVACIÓN 1375-1500, 200,000 M3 DE EXCAVACIÓN, FORMACIÓN DEL CAMINO DE ACCESO.	125
TRATAMIENTOS:	DE LA ROCA DE DESPLANTE Y ROCA DE CANTIL, LIMPIEZA GENERAL.	50
MONTAJE:	DE GRÚAS-TORRES Y ESTRUCTURAS AUXILIARES, EQUIPO Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN, AGUA, AIRE, ENERGÍA ELÉCTRICA.	50
COLADO:	DE LA 1er. FASE, VOLUMEN DE CONCRETO = 250 000 M3.	500
MOVIMIENTO DE GRÚAS.	DESMONTAJE Y MONTAJE DE GRÚAS-TORRES PARA CAMBIO DE ELEVACIÓN 1370 A LA ELEVACIÓN 1565 EN AMBAS MÁRGENES, EXCAVACIONES DE CANTILES 1500-1565, 100,000 M3.	75
COLADO:	DE LA 2da. FASE, VOLUMEN DE CONCRETO = 50,000 M3.	100
TRATAMIENTO:	DE INYECCIÓN DE CONTACTO CONCRETO-ROCA, LIMPIEZA EN GENERAL.	50
	T O T A L =	1010

3.4 Obras de Generación y Subestación, fig. 3.13, 3.14.

3.4.1 Actividades.

- a) Excavaciones a cielo abierto en tajos de entrada y salida en Obra de Toma, Desfogues y Túnel de Acceso, en Plataformas de operación, de estructuras metálicas de apoyo de líneas de Subestación a torres de Transmisión, en Plataformas de pozo de Oscilación y de Inyección de aire.
- b) Excavaciones en portales de entrada y salida de Túneles.
- c) Excavaciones en Túneles de conducción, Desfogues, de Acceso, en Galerías, en Lumbreras de control, de Obturación de Desfogues y de Salida de cables de Subestación.
- d) Excavaciones en cavernas para: Casa de Máquinas incluyendo Bifurcación, Galería para Transformadores, Subestación y Galería de Compuertas en Desfogues.
- e) Excavaciones en Trincheras, Ductos y pequeñas lumbreras para distribución de aire, en ductos y cunetas para drenaje.
- f) Protección y tratamiento de taludes, incluyendo drenes y bermas.
- g) Suministro y colocación de soportes, ademes, así como anclas de fricción y/o de tensión.
- h) Construcción de todas las estructuras de concreto en: revestimiento de túneles, lumbreras y portales de entrada y salida, estructuras de obturación, pozo de oscilación, zapatas, trabes, losas, columnas y bóvedas, ductos, trincheras, pisos, puentes, galerías, casetas de operación, empaques, superficies de rodamiento y concretos masivos, etc..
- i) Suministro y colocación de cimbras y acero refuerzo para la totalidad de las obras.
- j) Suministro y colocación del concreto garantizando la resistencia de diseño y la protección de colados.
- k) Suministro y colocación de rejillas en obra de toma.
- l) Suministro y colocación de partes fijas de acero estructural necesarias para la colocación y operación

- de compuertas de servicio, emergencia y de desfogue.
- m) Suministro y colocación de la camisa metálica que constituye la tubería a presión y bifurcación.
 - n) Tratamiento anticorrosivo de la camisa metálica.
 - o) Empaque de tubería a presión, incluyendo bifurcación.
 - p) Colocación de concreto lanzado con malla metálica donde sea necesario.
 - q) Tratamiento de la roca a base de inyecciones de contacto y de consolidación, en conducción, lumbreras de operación, pozo de oscilación, etc..
 - r) Tratamiento a base de inyecciones en tubería a presión.
 - s) Extracción y procesamiento de agregados naturales para ser empleados en la obra.
 - t) Limpieza general durante y al termino de las obras.

3.4.2 Obra de Toma.

La obra de toma es un conducto a través del cual se extrae agua, de acuerdo con una ley determinada. Formada por un conjunto de estructuras que permiten condiciones satisfactorias de flujo, eficiente control y regulación de extracciones.

La lumbrera de compuertas se excavará perforando primero un pozo piloto desde la base hasta la plataforma de maniobras mediante un "Raice Climber" tipo ALIMAK equipado con todos los accesorios necesarios para el transporte del personal, plataforma de trabajo, teléfonos, ventilación, etc.. La perforación se realizará con martillos perforadores, y se prevé ejecutar voladuras de 1.2 m de profundidad, con un avance promedio diario de 3 ml..

El ensanche se efectuará desde arriba, un malacate situado en la extremidad superior permitirá el movimiento de una plataforma de servicio equipada con un brazo hidráulico para la limpieza final del material de escombros. La perforación se hará por medio de perforadoras con soporte neumático, las voladuras tendrán un forma apta para garantizar la caída por gravedad de los escombros hacia el pozo piloto. Se prevé ejecutar voladuras de 2.1 m de profundidad, con un avance promedio diario de 3 ml..

Los escombros caerán al pie del pozo piloto y serán removidos por medio de un cargador minero con balde de 6 m³ y camiones de volteo de 20 ton..

El tramo del túnel hasta alcanzar la base de la lumbrera de compuertas se excavará con el equipo utilizado en la excavación de las galerías de acceso a la cortina.

En la obra de toma se protegerá todo el muro de roca que quede expuesto en el corte con malla de alambre electrosoldada, fijada con anclas cortas y recubrimiento de concreto lanzado. Se colarán las guías de la compuerta auxiliar que estarán ligadas en su parte superior con la estructura de soporte del marco de maniobras, así como la zona de reparación y mantenimiento de las compuertas, y desde luego con la estructura de las compuertas de control para operación.

En la parte inferior y de la cota 1509.25 a la 1509.50 está ligada a la rejilla y zona de bocina para guiar la entrada del agua en sección rectangular, se colará la lumbrera, guías y marco para la lumbrera de operación; se continuará con la zona de transición y posteriormente se colará la sección circular con revestimiento de concreto reforzado en una zona de 500 m de largo de la lumbrera de compuertas hacia la ventana 1. El revestimiento se ejecutará en dos etapas: Primero la Solera y después el concreto de revestimiento.

El concreto será transportado de la planta hasta la entrada del túnel en camiones con olla revolvedora y el transporte en el túnel se realizará con vagones especiales de 6 m³ de capacidad.

El vaciado se ejecutará con bombas eléctricas para concreto de 30 m³/hra..

3.4.3 Túnel de Conducción.

Incluye el tramo desde la lumbrera de compuertas hasta el Pozo de Oscilación, pasando por los puntos de intersección llamados: Obra de Toma, V1, V3, V4 y Pozo de Oscilación(V6). El trazo de los caminos de acceso se han diseñado tratando de limitar en lo posible las excavaciones exteriores.

La longitud aproximada de los túneles auxiliares de

construcción es:

Ventana 1 = 260 m.

Ventana 3 = 200 m.

Ventana 4 = 190 m.

Ventana 6 = 250 m. Esta ventana tiene su conexión con

el Túnel de conducción a nivel del Pozo de Oscilación.

a).- Frentes de Excavación.

Se han previsto los siguientes frentes de trabajo para la excavación:

a) De la V1 hasta la lumbrera de Compuertas (L=2900 m, rendimiento promedio de 6.8 ml por jornada).

b) De la V1 hacia la V3 sobre una longitud de 4600 m, con rendimiento promedio de 7.1 ml por día.

c) De la V3 hacia la V1 sobre una longitud de 3850 m, con rendimiento promedio de 6.8 ml por día.

d) De la V3 hasta la V4 sobre una longitud de 3880 m, con rendimiento promedio de 6.9 ml por día.

e) De la V4 hacia la V6 sobre una longitud de 3780 m, con rendimiento promedio de 7.0 ml por día.

f) De la V6 hacia la V4 sobre una longitud de 2090 m, con rendimiento promedio de 7.9 ml por día.

b).- frentes de Revestimiento.

Se han previsto los siguientes frentes de trabajo para el revestimiento:

Revestimiento de Concreto Reforzado: Los 500 m de la sección 1 serán ejecutados desde la ventana 1.

Revestimiento de Concreto Lanzado:

a) De el límite con el concreto reforzado hasta la V1 (alimentación desde la V1).

b) De la mitad del tramo V1-V3 regresando hasta la V1 (alimentación desde la V1).

c) De la mitad del tramo V1-V3 hasta la V3 (alimentación desde V3).

d) De la V4 a la V3 (alimentación desde la V3).

e) De la mitad del tramo V4-V6 hasta la V4 (alimentación

desde la V4).

f) De la mitad del tramo V4-V6 hasta la V6 (alimentación desde la V6).

Los rendimientos previstos para el revestimiento son:

Concreto lanzado. 25 ml. por día.

Solera. 40 ml. por día.

La ejecución de la solera será hecha con los mismos frentes del revestimiento de concreto lanzado y sucesivamente a este.

3.4.4 Excavación.

El método general es un método tradicional con explosivos.

Preparación, Carga, explosión y retiro del material.

Cada frente estará equipado con un Jumbo de 3 brazos de tipo compacto sobre rieles, y martillos de tipo hidráulico.

El esquema de voladura se compone de 61 huecos cargados mas 1 no cargado (diámetro de 45 o 48 mm y 102 mm para el hueco no cargado), y se han previsto 30 huecos de Post-corte.

En terreno normal, que no necesita la colocación de ademes, se ha previsto un avance de 3.70 ml por cada voladura esta longitud puede bajar dependiendo de las condiciones del terreno hasta 1.50 ml..

La carga total de explosivos para una voladura normal es de más o menos 150 kg,. La carga de los escombros se realizará con un cargador sobre rieles eléctrico, cargando trenes de 6 vagones de 6 m³ de capacidad cada uno. Cada tren se mueve con una locomotora de 150 H.P..

3.4.5 Instalaciones del túnel.

Cada frente estará equipado con una vía de ferrocarril de 1 m de ancho, con rieles de 30 kg/ml sobre durmientes de madera. A lo largo del túnel se instalarán tubos para aire comprimido, agua a presión y el cable eléctrico de alta tensión con transformadores en túneles.

Los conductos de ventilación serán de tubos de 1.20 m de diámetro, los ventiladores serán de 75 KW de potencia; su número depende de la longitud del tramo considerado. Normalmente, para un tramo de 4000 m tendremos un ventilador a la entrada y uno

después de 2000 m.

Para la excavación del túnel de conducción se han previsto 4 instalaciones exteriores ubicadas en: V1, V3, V4 y V6. Las instalaciones de la V1 y de la V2 cubren las necesidades de 2 frentes de trabajo. Estas instalaciones incluyen: compresores de aire, bombas de agua, tanques para aire, agua y combustibles, talleres, etc..

Los trenes para el retiro de los escombros serán descargados directamente cerca de las ventanas.

Para la totalidad de la excavación se han previsto:

5 Jumbos de tres brazos sobre rieles.

5 Cargadores sobre rieles (eléctricos de 120 KW).

15 Locomotoras Diesel de 150 H.P..

70 Vagones de 6 m³ de capacidad.

5 Plataformas para mantenimiento y servicios.

Después de la voladura, de ser necesario, se hará el soporte provisional del terreno. Están previstos tres tipos de soportes:

- a) Anclajes con pernos de 2.5 m.
- b) Primera capa de concreto lanzado.
- c) Ademes de sostenimiento.

El soporte provisional será colocado en función del terreno, utilizando uno o más de los tipos indicados.

3.4.6 Colocación de Concreto Lanzado.

Esta sección tendrá un espesor de 15 cm que será alcanzado aplicando dos capas (o solamente una en los extremos donde ya se ha aplicado una capa inmediatamente después de la excavación).

Se ha previsto el uso de una bomba para concreto lanzado de 7 m³ de capacidad. El transporte del concreto al interior del túnel será realizado con vagones especiales.

La capa de concreto lanzado seguirá el perfil del terreno excavado, garantizando en cada punto un espesor de 15 cm el cual quedará por fuera de la línea interna de revestimiento indicada en los planos, asegurando así la sección hidráulica de diseño. La malla electrosoldada se colocará antes de aplicar la última capa de concreto lanzado.

a).- Suministro del Concreto Lanzado.

Se instalaran 4 plantas para la fabricación del concreto lanzado:

a) Una en la V1; el abastecimiento de las gravas y arenas será hecho desde las instalaciones de la cortina.

b) Una en la V3 y otra en la V4; el suministro de arenas y gravas de estas plantas procederá de una planta de cribado que se ha previsto instalar sobre el área del banco Toliman.

c) Una en la V6; el abastecimiento de las arenas y gravas procede de las instalaciones de la Casa de Máquinas.

La solera de concreto reforzado se realizará para cada frente después de la colocación del concreto lanzado. Al mismo tiempo se ejecutarán las operaciones de:

Desmante de los tubos, rieles, ventilación, etc..

Limpieza de la solera.

Colocación de la malla de alambre.

Vaciado.

El transporte del concreto se realizará con vagones especiales de 6 m³ de capacidad y se colocará con una bomba para concreto de 30 m³/hra. de capacidad. La planta de mezclado del concreto estará ubicada en la ventana 3. Se prevé suministrar el concreto de Solera para la ventana 4 con camiones provistos de olla revolvedora.

Maquinaria y/o equipo utilizado en los revestimientos:

4 Plantas para concreto lanzado (unicamente).

1 Planta para concreto tipo móvil (Solera).

5 Bombas para concreto de 30 m³/hra de capacidad.

5 Bombas para concreto lanzado.

2 Cimbras de 8 ml cada una.

15 Locomotoras Diesel.

15 Vagones para concreto de 6 m³ de capacidad cada uno.

20 Vagones para escombros.

4 Cargadores para limpieza de 2.1 m³ de capacidad.

1 Planta de cribado (arenas y gravas) de 100 m³/hra..

1

Cargador de 3.5 m³ de capacidad.

3.4.7 Construcción de la Central Hidroeléctrica.

Para llevar a cabo la construcción de la central, toda ella subterránea fue necesario la planeación integral para hacer más fácil y práctica la excavación.

Una vez construida la carretera de ingreso a la zona de Casa de Máquinas, se iniciarán las excavaciones en superficie para permitir el acceso a las excavaciones de los respectivos túneles.

a).- Túnel de Acceso.

La ejecución de este Túnel nos permite el acceso a la bóveda de la caverna de Casa de Máquinas a través de una rampa con pendiente del 15%. El soporte de la roca (pernos de anclaje y concreto lanzado eventualmente) se realizará en la medida que sea necesario.

Equipo de Perforación:	Jumbo hidráulico de 3 brazos con canasta.
Profundidad de Perforación:	3.50 m. (promedio).
Tipo de encendido de la voladura:	NONEL.
Número de Huecos:	115.
Cantidad de Explosivos:	1.32 Kg/m ³ .
Equipo de Carga de la rezaga:	Cargador tipo CAT 966 de descarga lateral.
Equipo de Transporte:	Camión de Volteo de 20 Ton..

b).- Túnel de Cables e Inyección de aire.

La ejecución de este Túnel nos permitirá acceder tanto a la caverna de los transformadores como al tramo inclinado de la tubería a presión, a través de una ramificación. Esta ramificación se construirá desde el inicio del tramo inclinado de la galería a presión.

Equipo de perforación:	Jumbo hidráulico de 2 brazos con canasta.
Profundidad de perforación:	2.40/2.80/3.50 m. (promedio).
Tipo de encendido de la voladura:	NONEL.
Número de Huecos:	60/95/130, según la sección.

Cantidad de Explosivos:	1.90/1.45/1.25 Kg/m ³ .
Equipo de Carga del material de rezaga:	Cargador tipo CAT 966 y CAT 926 con descarga lateral.
Equipo de Transporte:	Camiones de volteo de 20 y 10 ton.

c).- Caverna de Casa de Máquinas.

Una vez construida la rampa de acceso a la cota 377.00 se iniciará la excavación de la bóveda.

Esta excavación se realizará en 3 secciones: Núcleo Central y dos Núcleos laterales, desplazando el avance de los tres frentes de 12 a 15 metros. Los trabajos de perforación, rezaga y soporte de la roca se alternarán en los tres frentes.

El retiro de rezaga será hecho a través de la rampa y la galería de acceso. Una vez terminada esta etapa se suspenderán los trabajos de excavación en esta zona para poder realizar el revestimiento de concreto de la bóveda. En este trabajo se emplearán cimbras especiales que permitirán un avance completo de 6 m por semana.

La colocación del concreto se realizará mediante bomba alimentada por un camión con olla revolvedora.

Equipo de Perforación:	Jumbo hidráulico de 3 brazos con canasta.
------------------------	---

Tipo de encendido de la Voladura:

NONEL.

Número de Huecos:	105 (promedio).
-------------------	-----------------

Cantidad de Explosivos:	1.30 Kg/m ³ .
-------------------------	--------------------------

Equipo de Carga del material de rezaga:	Cargador tipo CAT 966 de descarga lateral.
---	--

Equipo de Transporte:	4 Camiones de volteo de 20 ton.
-----------------------	---------------------------------

Una vez realizada la colocación del concreto en la bóveda y en las vías del puente-grúa, se iniciará la remoción del material en banco de la caverna procediendo por etapas con profundidades de 4 m por etapa. El retiro del material de rezaga durante las diferentes etapas de excavación en banco será efectuado a través de un pozo construido en uno de los brazos

de la galería de desfogue hasta la cota final.

Durante las distintas fases de nivelación se colocarán en las paredes los pernos de anclaje necesarios y eventualmente el concreto lanzado, alternando estos trabajos en la medida en que el desarrollo de los mismos lo requiera.

Equipo de perforación: 2 Track drill de neumáticos.

Equipo de carga del material de rezaga. 1 Cargador tipo CAT 966.

Equipo de transporte: 4 Camiones de volteo de 20 ton..

Consumo de explosivos: 0.90 kg/m3.

d).- **Caverna de Transformadores y Subestación.**

Una vez construída la rampa de acceso a la cota 977.50 se iniciará la excavación de la bóveda. esta excavación se realizará en dos secciones, desplazando el avance a 15 metros. Las perforaciones y la carga se alternarán en los dos frentes, y el retiro del material de rezaga se efectuará a través de la rampa y de la galería en la medida que sea necesario.

Una vez terminada esta etapa, se suspenderán los trabajos de excavación en esta zona para poder realizar el revestimiento de la bóveda. Para ello se utilizarán las mismas cimbras empleadas en la bóveda de la caverna de casa de máquinas, debidamente modificada. El avance semanal será de 6 metros en toda la sección.

Equipo de Perforación: Jumbo Hidráulico de 3 brazos con canasta.

Profundidad de perforación: 3.50 m (promedio).

Tipo de Encendido: NONEL.

Número de Huecos: 60 por sección.

Cantidad de explosivos: 1.90 Kg/m3.

Equipo de Carga: Cargador tipo CAT 966 de descarga lateral.

Equipo de transporte

del material de rezaga: 3 camiones de volteo de 20 ton..

Las excavación en banco se realizará con la misma técnica

descrita para la caverna de máquinas. El retiro del material de rezaga se efectuará a través de la galería de acceso.

e).- Galería de Compuertas.

La excavación de la bóveda se realizará simultáneamente con la excavación de la bóveda de la caverna de transformadores. El acceso a la cota 975.50 se hará a través de una rampa que comienza de la sala de transformadores a la cota 977.50, que se utilizará también para el retiro del material producto de la voladura. Terminada la excavación de la bóveda se efectuará el revestimiento de la misma, simultáneamente con el revestimiento de la bóveda de los transformadores.

La excavación en banco se realizará empleando la misma técnica utilizada en la caverna de Casa de Máquinas. El retiro del material de rezaga se efectuará a través del acceso y de un pozo construido hasta la cota de la galería de desfogue.

En la excavación se empleará el siguiente equipo:

Perforación: 6 Martillos con soporte neumático.
 1 Plataforma de Operación.

Carga del material

de rezaga: Cargador tipo CAT 926.

Transporte del

material: 3 Camiones de volteo de 10 ton.

Profundidad de perforación. 2.10 m.

Número de huecos: 62.

Cantidad de Explosivos: 2.20 Kg/m3.

Tipo de encendido: NONEL.

f).- Túnel a Presión.

1.- Tramo Inclinado.

La excavación del túnel inclinado se realizará en dos etapas: Excavación del pozo piloto con ALIMAK iniciando desde abajo y Excavación de ensanche con JUMBO, desde arriba.

En primer lugar se hará el ensanche del tramo horizontal inferior para facilitar la carga del material de rezaga, la instalación del ALIMAK y luego el montaje del codo de la tubería a

presión. Después de esto se efectuará con el sistema ALIMAK la excavación del pozo piloto de 3.0 m X 2.50 m de sección con un avance promedio de 2.50 ml/día. Cuando sea necesario, el soporte de la roca será efectuado con pernos de anclaje mecánico tipo SWELLEX de 2.0 m.

Equipo utilizado en esta actividad.

Perforación: 3 martillos con soporte neumático.
Equipo auxiliar 1 ALIMAK Diesel y carril de servicios de 600 m.
de trabajo. 1 sistema interfonico.
1 ALITROY diesel.
1 ALICAB diesel.

Profundidad de

barrenación: 1.60 m.

Número de huecos: 36.

Cantidad de explosivos: 2.40 kg/m³.

Equipo de carga: Cargador CAT 926 (descarga lateral).

Equipo de transporte: 3 Camiones de volteo de 10 ton.

Terminada la excavación del pozo piloto se podrá iniciar la excavación de ensanche desde arriba, evacuando el material de rezaga a través del pozo piloto.

Esta excavación se realizará con el siguiente equipo:

1 Jumbo hidráulico sobre rieles, con dos brazos.

1 Malacate de 30 ton.

1 Malacate de 13 ton.

1 Vagoneta de servicio.

1 Cargador tipo CAT 926.

3 Camiones de Volteo.

1 Carrilera para Jumbo y el transporte de la tubería a presión.

1 Carrilera de servicio.

Otros datos:

Profundidad de perforación: 3.00 M.

Número de huecos: 32.

Tipo de encendido: NONEL.

Cantidad de Explosivos: 1.60 Kg/m³.

g).- Pozo de Oscilación.

Esta excavación será realizada en dos etapas:

Excavación desde abajo del pozo con ALIMAK y excavación de ensanche desde arriba.

La excavación del pozo piloto con ALIMAK se realizará con la misma técnica empleada en la excavación del tramo inclinado de la tubería a presión. La excavación de ensanche se realizará con el siguiente equipo.

Perforación: 1 Track drill hidráulico 722-H-01.
 1 Track drill neumático ECM 350.
 Rezaga: 1 Cargador tipo CAT 953 (en el ensanche).
 1 Cargador tipo CAT 966 en la parte baja.
 2 Camiones de volteo de 20 ton.

Equipo de levante:

1 Malacate eléctrico de 20 ton.
 1 Elevador para el personal.
 1 Malacate de servicio de 3 ton.

Otros datos:

Profundidad de perforación: 2 ml.
 Tipo de encendido: NONEL.
 Cuadrícula de perforación: 1.20 X 1.20 m.
 Cantidad de explosivos: 1.00 kg/m³.

3.4.7.1 Vaciados del Concreto.

3.4.7.1.1 Caverna de Máquinas, Transformadores y Subestación.

a) Bóvedas.

El revestimiento de las bóvedas de las dos cavernas se hará a la finalización de las excavaciones respectivas.

Se utilizará una cimbra especial con soporte de armazón metálico sobre carrilera. La misma cimbra, oportunamente modificada, será utilizada para el vaciado del concreto en las dos bóvedas.

El concreto será transportado al lugar por medio de camiones

con olla revolvedora de 6 m³ y se colocará con bomba.

La vibración del concreto se realizará por medio de vibradores de contacto fijados a la cimbra o con vibradores de inmersión, pasando a través de "ventanas" previamente hechas en la cimbra.

b) Muros y Losas.

El vaciado será realizado con un puente grúa provisional de 5 ton., colocado en las vías del puente grúa definitivo.

El vaciado se iniciará en la parte de abajo, comenzando desde el tubo de aspiración de la unidad 1, y subiendo con muros y losas hasta la cota 968.95; después de esto se completarán los muros faltantes entre esta cota y la bóveda.

Los muros de la caverna de transformadores, subestación y compuertas serán realizados simultáneamente con los trabajos de la caverna de generadores; las áreas de los transformadores y las de compuertas son fácilmente accesibles desde el túnel de acceso en cualquier momento.

Las cimbras para paredes y losas serán hechas con paneles metálicos con superficie en óptimas condiciones, y cuando se requieran formas especiales se utilizarán paneles especiales de madera previamente revestidos de triplay.

El vaciado será efectuado por medio de bombas.

La vibración del concreto se hará por medio de vibradores de inmersión, pasando por "ventanas" oportunamente hechas en la cimbra.

c) Túneles varios.

Se realizarán con cimbras metálicas moduladas y accionadas con sistemas hidráulicos.

El concreto se llevará al sitio de utilización por medio de camiones con olla revolvedora de 6 m³ y se colocará con bomba.

La vibración del concreto se hará por medio de vibradores de inmersión pasando a través de "ventanas" previamente hechas en la cimbra o por medio de vibradores de contacto fijados a la cimbra.

d) Pozo de oscilación.

Para el vaciado del concreto en el pozo se empleará el mismo

complejo de malacates y portales utilizados en la excavación de ensanche del pozo. El vaciado se efectuará comenzando desde la cota de fondo del túnel de conducción.

El concreto para la primera mitad del pozo, de abajo hacia arriba, será suministrado por medio de un camión con olla revolvente de 4 m³ de capacidad, descargando en un balde desde abajo y después desde arriba para aprovechar al máximo la velocidad de los malacates.

Por esta razón la parte inferior de la tubería metálica especial "T" de unión Pozo/Tubería será montada cuando el trabajo del concreto del pozo se esté adelantando en la parte superior.

Está previsto el uso de una cimbra deslizante en cables suspendidos en la parte externa de la estructura, que consta de un plano de trabajo para el vaciado equipado con un agitador y dos poleas para la distribución del concreto. Se ha previsto que la cimbra suba con una velocidad mínima de 12 y máxima de 18 cm/hra.

Cuando termina el vaciado, el plano de trabajo se baja para ser utilizado en la ejecución de las distintas fases de inyección.

La vibración se efectúa mediante vibradores de inmersión accionados manualmente.

e) Tubería a Presión.

Dada la discontinuidad de trabajo de los distintos equipos en este tipo de obras, se realizan simultáneamente tanto el tramo inclinado, como los dos tramos horizontales.

En los patios de la obra se procederá al armado de los tubos de 9 m de longitud mediante punteado primero y luego la aplicación del procedimiento completo de soldadura aprobado. se procederá a realizar las soldaduras longitudinales y circunferenciales completas.

Esta actividad se realizará en una zona protegida con techos móviles para trabajar con comodidad aunque hubiese lluvias o vientos.

En caso de detectarse fallas en la soldadura se retirará la misma mediante amolado hasta el metal base y su posterior llenado de acuerdo a los procedimientos aprobados para cada caso. El

transporte de los tubos a los accesos superior e inferior, se realizarán mediante una carro de transporte especialmente diseñado para tal actividad. El trabajo de montaje y vaciado se realizará de la forma siguiente:

I.- Tramo inclinado.

La operación se inicia desde abajo; lo primero que se hace es la instalación y vaciado del tubo curvo (codo) que une el tramo inclinado con el horizontal inferior.

Los tubos, en tramos de 9 m de largo, entrarán a través de una abertura provisional echa en la parte superior del tramo inclinado, a través de la cual entrara también el concreto. El tubo es ubicado en su posición definitiva mediante apoyos y varios refuerzos. Se verificará su posición topográficamente y se procederá al soldado de la junta de montaje y a su control ultrasónico.

El concreto será transportado al sitio de carga por medio de un camión con olla revolvedora de 3 m³ de capacidad y vaciado sobre un NACHXIMER sobre rieles que baja hasta el sitio de vaciado donde el concreto se coloca en un agitador tipo BRAIMA.

El equipo de vaciado consta de una bomba para concreto con una tubería de longitud suficiente para alcanzar casi el fondo del tramo por vaciar, esto es con el objeto de limitar al máximo el tramo de caída libre del concreto.

Cada vez que, ocasionalmente, el nivel del concreto que se está utilizando llegue hasta la boca de la tubería se retira el equipo de vaciado hacia arriba, de tal manera que se restablezca la distancia optima de vaciado.

La vibración se efectuará por medio de vibradores de inmersión operados manualmente hasta donde el acceso de personal sea posible o de lo contrario colocando el vibrador a lo largo de eventuales guías oportunamente instaladas.

En secuencia con el vaciado, con un desfase óptimo, seguirán las operaciones de tratamiento, de pintura y limpieza.

II.- Tramo Horizontal Superior.

Se realizará entrando por la ventana No.6 del túnel de

conducción y procediendo hacia atrás desde el punto de conexión con el tramo inclinado hacia el pozo de oscilación.

El tramo curvo de unión entre éste y el tramo inclinado será instalado a través del acceso temporal al tramo inclinado. El concreto será suministrado con camiones con olla revoladora de 4 m³ de capacidad y vaciado con bomba.

III.- Tramo Horizontal Inferior.

Será realizado entrando por el túnel de unión temporal entre el túnel de cables y la bifurcación del tramo inclinado.

Los trabajos serán ejecutados siempre hacia atrás, partiendo primero desde la unión con el tramo vertical hacia la ventana temporal y luego desde la casa de máquinas, nuevamente hacia atrás, hacia la misma ventana. Por último se instalará la porción de tubería de la bifurcación.

El concreto será suministrado por medio de camiones con olla revoladora de 4 m³ de capacidad y colocado con bomba.

3.4.8 Ventilación.

La ventilación fue estudiada de acuerdo a las Especificaciones Técnicas para cubrir las necesidades de cada sitio de trabajo en las distintas fases de la excavación y vaciado del concreto.

El volumen de aire necesario para cada avance es de 2700 m³/min y será obtenido mediante la instalación de un ventilador de 75 KW y tubos de PVC de diámetro de 1600 mm.. Para la excavación de la caverna de Casa de Máquinas y las correspondientes obras anexas serán instalados dos ventiladores que serán trasladados a los tres ingresos según las exigencias del programa.

Para las excavaciones de la tubería inclinada el volumen de aire necesario se ha estimado en 750 m³/min., se instalará entonces un ventilador de 22 KW y tubos de PVC de diámetro de 1000 mm.. Este ventilador será instalado en el ingreso del túnel de cables y permanecerá en funcionamiento hasta la finalización de las excavaciones y del blindado del túnel a presión.

Para la excavación del Pozo de oscilación, y galería a presión serán instalados en el ingreso de la ventana a cota 1452, 3 ventiladores de 22 KW y tubos de PVC de 1200 mm de diámetro.

3.4.9 Inyecciones y Drenajes.

A continuación se describen los procedimientos que se utilizarán en general para los trabajos de inyección y drenaje.

Perforaciones: Las perforaciones se realizarán con perforadoras de rotopercusión y/o rotación adecuadas para trabajar en los sitios en que se necesite.

Las perforadoras pueden ser ligeras o pesadas, según la necesidad de desplazamiento y profundidad de barrenación.

Equipo de Inyección: Se usarán mezcladoras de alta turbulencia para obtener una mezcla homogénea; de este mezclador se pasará a un agitador de bajas revoluciones con el fin de mantener la mezcla en suspensión. Del agitador se pasará al inyector de doble pistón y alta presión (hasta 100 kg/cm²) enviando la mezcla al barreno en proceso, usando la tubería de diámetro adecuado a la distancia que tenga que recorrer.

Las estaciones para la fabricación de lechado o mortero, se fijarán en donde haya fácil acceso para los insumos y la distancia permita a la mezcla llegar a la boca del barreno sin decantarse.

Se usarán manómetros de glicerina colocados en Porta-Manómetros de paso integral, protegidos con membranas elásticas. Los manómetros se colocarán lo más cerca posible de la boca del barreno.

Se usará tubería cédula 40, capaz de resistir altas presiones y el diámetro será el adecuado para evitar la decantación de las mezclas.

Se usarán obturadores inflables, por medio de agua. Estos se colocarán a la profundidad requerida.

en el caso de perforaciones poco profundas se emplearán obturadores mecánicos ó de copas de cuero o de neopreno.

a).- Operaciones para la Inyección.

La perforación se hará en toda su longitud ó hasta donde la calidad del terreno lo permita. En el caso de que no se pueda llegar al fondo del barreno por pérdida de agua de la barrenación ó caídos dentro del barreno, se procederá a lavar enérgicamente el barreno hasta que el agua salga limpia, entonces se colocará el

obturador cuando menos a 1.00 m arriba de la anomalía presentada y se inyectará hasta alcanzar la presión de rechazo.

Una vez efectuada la inyección se continua con la perforación hasta el fondo del barreno.

Después de terminada la barrenación y antes de la inyección se procederá al lavado del barreno. El lavado del barreno se efectuará con el mismo varillaje usado en la perforación. El lavado continuará hasta que el agua del barreno salga limpia.

Una vez lavado el barreno se colocará el obturador en el tramo por inyectar.

Para la inyección se usarán las mezclas indicadas por C.F.E., aplicando los criterios indicados en las especificaciones. Estos podrán ser modificados según la naturaleza del problema presentado.

Se dará por terminada la inyección de un barreno cuando a la presión de rechazo la absorción sea nula.

Drenajes: Para la perforación de los huecos de drenaje se utilizará básicamente el mismo equipo previsto para la barrenación de Inyección.

3.5 Obra de Excedencias.

3.5.1 Actividades.

- a) Excavación a cielo abierto en tajo de entrada y canal de llamada, en cimentación de pilas y apoyos del puente, en taludes que configuran la entrada incluyendo bermas, en talud de salida y en plataforma de operación.
- b) Excavación en túnel incluyendo portal de salida.
- c) Protección y tratamiento de taludes , incluye: drenes, cunetas, contracunetas y alcantarillas.
- d) Suministro y colocación de anclas de tensión y fricción.
- e) Suministro y colocación de ademes.
- f) Construcción de todas las estructuras de concreto, como son: pilas, muros, cimacio, losas, puente sobre canal de llamada, estructura de obturación, portales de entrada y salida, revestimiento de túnel, canal de salida y caseta de operación.
- g) Suministro y colocación de cimbras y acero de refuerzo.

- h) Suministro y colocación de concreto.
- i) Suministro y colocación de partes fijas de acero estructural necesarias para la instalación y operación del sistema de obturación.
- j) Tratamiento de la roca a base de inyecciones.
- k) Extracción y procesamiento de agregados naturales para ser empleados en la obra.
- l) Limpieza general durante y al término de la obra.

3.5.2 Excavación.

La excavación se realizará desde el portal de entrada. Se ha previsto la ejecución de las excavaciones del túnel de excedencias en diferentes etapas.

Etapas: Bóveda.

Se excavará en primer lugar la parte central, luego se completará la excavación de la bóveda, trabajando alternativamente en el ensanche derecho e izquierdo, siempre con los mismos equipos e instalaciones.

Equipo para la perforación y rezaga:

- 1 Jumbo hidráulico de 2 brazos + brazo con canasta (velocidad de perforación de 80 cm/min. por brazo).
- 1 Cargador minero GHH LF12 con cuchara de 6 m³.
- 1 Equipo para la evacuación del material de rezaga.

La pala cargadora descargará los escombros en un balde sobre rieles de aproximadamente 15 m³ de capacidad, que por medio de un malacate de 10 ton de capacidad será deslizado a lo largo del tramo inclinado del túnel de excedencias.

El balde descargará el material en una tolva de aproximadamente 40 m³ de capacidad, ubicada en el portal de entrada, desde la cual serán cargados los camiones para la descarga definitiva del material.

Dicho sistema tiene la posibilidad de evacuar alrededor de 80 ton/hora de escombros.

Se prevé un avance promedio de 3 ml por día.

Etapas: Banco.

Se utilizará el mismo método de trabajo y la misma maquinaria empleados en la primera parte.

Se prevé un avance promedio de 4.4 ml por día.

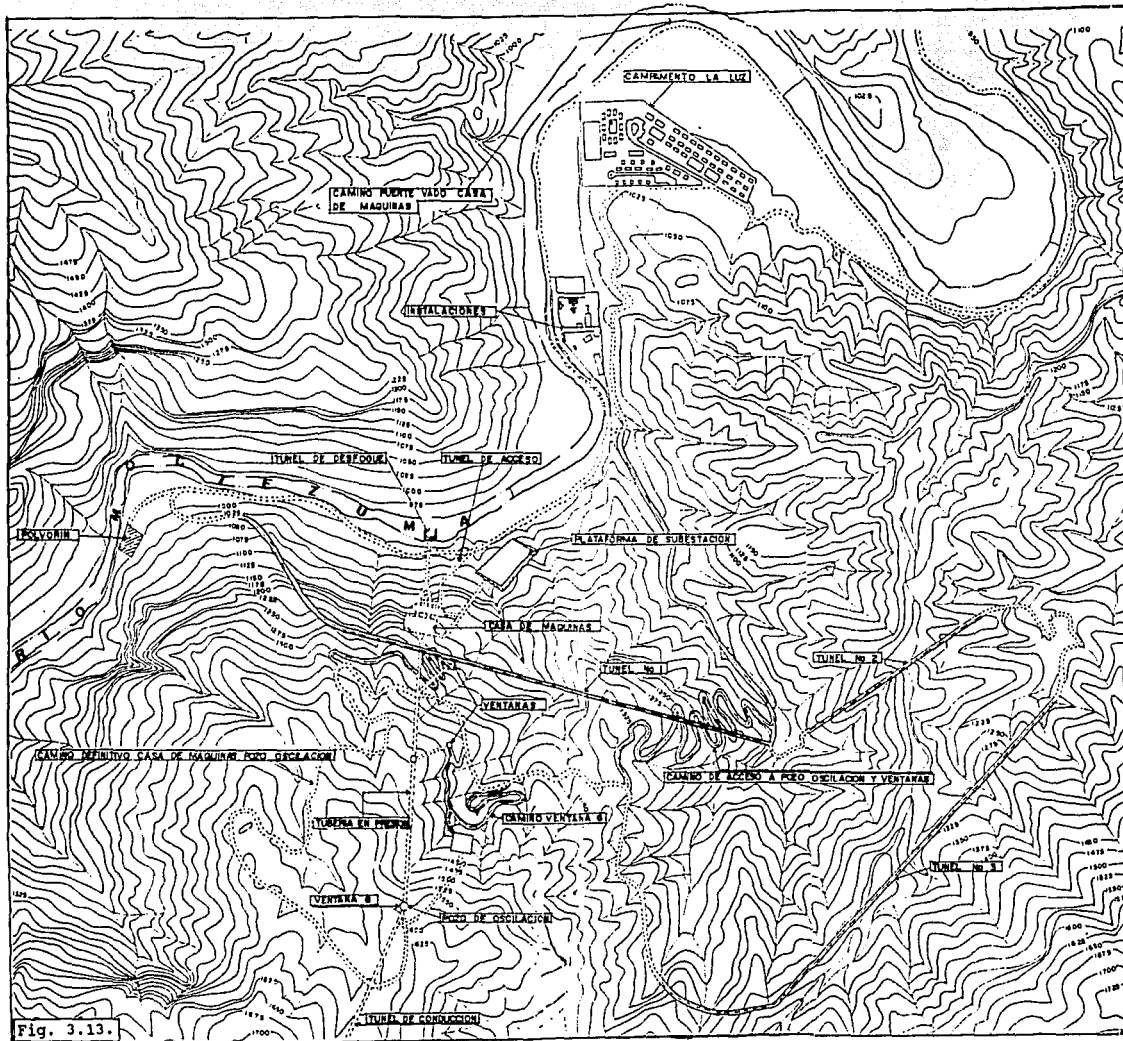


Fig. 3.13.

IV. Conclusiones.

1.- Para poder satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica, C.F.E. ha tenido que estudiar el aprovechamiento de todos los recursos posibles de generación, con el objeto de canalizar sus esfuerzos en la utilización racional de nuestros recursos, de esta manera se han venido construyendo plantas Térmicas convencionales de vapor, Nucleares, e Hidroeléctricas.

La finalidad principal del **Proyecto Hidroeléctrico Zimapán** es la generación de energía eléctrica y el control de escurrimientos que favorecerán la construcción de los futuros proyectos localizados a lo largo del Río Moctezuma, que en operación conjunta atenderán las demandas de electricidad de la región central del país.

2.- Los caminos de acceso al Proyecto Hidroeléctrico Zimapán tienen como finalidad garantizar una adecuada seguridad y rapidez de movimiento de vehículos que transportan: equipo pesado, personal en general y demás implementos indispensables para la construcción de la planta hidroeléctrica.

3.- La **cortina en Arco-Bóveda** es una estructura de concreto con convexidad hacia aguas arriba, la cual adquiere la mayor parte de su estabilidad al transmitir la presión hidráulica y las cargas adicionales por acción de arco, a las superficies de la cimentación.

Considerando la topografía de la zona, la construcción de la cortina presenta características especiales en relación a la formación de una vialidad eficiente para contar con accesos a varios puntos y a diferentes niveles a través de las etapas de construcción. Por lo que la construcción de la cortina utilizando **Torres-Grúas móviles** (con traslación apoyadas en un extremo) es lo más adecuado y práctico que permitirá realizar el colado de la cortina en dos fases.

4.- El proceso de **Excavación de la Tubería a Presión** en forma de lumbrera no tendría mayor complicación si su magnitud no alcanzará a la que tiene en el Proyecto Zimapán, por tal razón, la ejecución de la excavación de esta lumbrera utilizando únicamente

explosivos ya sea en contrapozo o desde la parte superior dificultara bastante el proceso, resultando su avance y control lentos y con probabilidad de error.

Tomando en consideración lo anterior, la utilización de una Máquina contrapocera con la finalidad de dividir el procedimiento de excavación en dos fases, una excavación piloto y una ampliación es lo mas conveniente.

También, debido a la gran longitud de la rama y por la inclinación de la misma, la perforación con máquina contrapocera podría tener una desviación con un valor considerable, lo que dificultaría el control de la dirección del túnel piloto, es por ello que se recomienda la construcción de una caverna intermedia auxiliar para corregir alguna desviación y controlar mejor la dirección de la perforación de dicho piloto.

5.- Para poder llevar a cabo la construcción de la central, toda ella subterránea es necesario la planeación integral para hacer más fácil y práctica la excavación, apoyandonos en excavaciones de túneles auxiliares de construcción.

Espero con lo anterior haber dado una idea de los pasos y problemas que en el plano de la Ingeniería Civil se encontrarán en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico "Zimapán".

Bibliografía.

- 1.- Uso de Explosivos en México.
Atlas de México S.A. de C.V.
Una Empresa del Grupo ICI.
- 2.- Métodos, Planeamiento y Equipo de Construcción.
R.L. Peuryfoy. Editorial DIANA México.
- 3.- Obras Hidráulicas.
F. Torres Herrera. Editorial LIMUSA 1980.
- 4.- Presas de Tierra y Enrocamiento.
Raul J. Marshall.
Daniel Resendiz Núñez.
Editorial LIMUSA 1983.
- 5.- Proyecto Hidroeléctrico Ing. Carlos Ramírez Ulloa Río
Balsas "El Caracol".
Ing. Salvador del Pozzo Mastachi.
Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C.
- 6.- Comisión Federal de Electricidad.
Subdirección de Construcción Sureste.
Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos.
Coordinadora Ejecutiva de Construcción.
Procedimientos Constructivos.
- 7.- Estudios Geotecnico y Diseño de Pavimentos de los Caminos
de Acceso al Proyecto Hidroeléctrico Zimapan, en los Edos.
de Hidalgo y Querétaro.
Elaborado por: SOLUM S.A. de C.V.
- 8.- Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1981).
Normas de Construcción. Tomos XIII y IX, México D.F.