

56  
291



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS Y PANTALLAS  
IMFERMEABLE Y DE DRENAJE EN EL PROYECTO  
HIDROELECTRICO AGUAMILPA, NAYARIT."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

MIGUEL HIDALGO GUTIERREZ



TESIS CON 1987  
FALTA DE ORIGEN

MEXICO, D.F.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-089/95

Señor  
**MIGUEL HIDALGO GUTIERREZ**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS Y PANTALLAS IMPERMEABLE Y DE DRENAJE  
EN EL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA, NAYARIT"**

- INTRODUCCION
- I. GALERIAS Y PANTALLAS
- II. CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS
- III. CONSTRUCCION DE LA PANTALLA IMPERMEABLE DE INYECCIONES
- IV. CONSTRUCCION DE LA PANTALLA DE DRENAJE
- V. INGENIERIA LEGAL
- VI. ASPECTO FINANCIERO
- VII. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 19 de junio de 1995.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS:GMP\*nlj

*A mi padre :*

*Quizá con su generoso ejemplo,  
bondad y comprensión ha sabido  
guiar a nuestra familia por el  
camino de la vida.*

*... Para tí, papá, con admiración  
y respeto.*

*A mi madre :*

*Quizá nos brinda todo el amor y  
carino que una madre puede  
brindar a sus hijos, nos ha sabido  
comprender y ha tenido siempre  
palabras de aliento en lo que  
nosotros emprendemos.*

*... Para tí, mamá, con amor  
y cariño*

*A mis hermanos :*

*Con quienes he compartido lo bueno  
y malo que nos ha sucedido, gracias  
por su comprensión.*

*Con cariño para mis hermanas :  
Natalia, Esteban, José Luis, Ricardo,  
Enrique ; Guadalupe ; Alejandra y  
M<sup>o</sup> Luisa.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México :*

*El presente trabajo representa la terminación de una etapa más de mi vida. Una etapa en la cual la Universidad Nacional Autónoma de México me brinda la oportunidad de cursar estudios profesionales, y poder servir a la sociedad.*

*¡ Gracias querida Universidad !  
¡ Por tan noble Función gracias !*

*A la facultad de Ingeniería :*

*Es motivo de orgullo, haber podido estudiar en esta Facultad de Ingeniería, y formar parte de una generación más que egresa, no sin antes tener en mente que, queda el compromiso de poder aportar algo de lo recibido.*

*Por tan esmerada labor doy gracias.*

*A mis amigos y compañeros de estudios :*

*Con los que compartí, alegrías, tristezas, de momentos placenteros y desveladas, momentos en los que compartimos bellos recuerdos que sirvieron para unir más nuestra amistad : la que perdurará en nuestras vidas profesionales.*

*A mis Profesores :*

*Los que sin desmedido interés han compartido sus conocimientos, y nos transmitieron sus experiencias, con el único deseo de formar gente profesionalista.*

*¡ Gracias Maestros !*

*Al Ing. Miguel Morayta Martínez*

*Quien tubo a su cargo la dirección de esta tesis, brindándome su apoyo y sugerencias para la corrección de este trabajo, durante la realización del mismo.*

*Al Ing. Jorge Rodríguez Colunga*

*Quien con su valiosa cooperación desinteresada, me asesoró en la realización de esta tesis, al enseñarme con disciplina y amistad, la práctica profesional en esta rama de la construcción*

*A mis compañeros y amigos en la práctica profesional*

*A los Ings. Apolinar de los Santos M., Armando González M., Roberto Doras, Fausto Jagues, con quienes compartí momentos alegres durante mi estancia en Apuamilpa, Nayarié.  
(C.F.E - 1994)*

**" CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS Y PANTALLAS IMPERMEABLE  
Y DE DRENAJE EN EL P.H. AGUAMILPA. NAYARIT "**

**INDICE**

	Pág.
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1.- Generalidades</b> .....	3
<b>2.- Descripción de las obras</b> .....	6
2.1 Infraestructura .....	7
2.2 Desvío .....	7
2.3 Contención .....	7
2.4 Excedencias .....	9
2.5 Generación .....	10
<b>3.- Aspecto social</b> .....	13
<b>4.- Impacto ambiental</b> .....	14
<b>CAPITULO I GALERIAS Y PANTALLAS</b> .....	15
1-1 Galerías .....	15
1-2 Pantalla impermeable y de inyecciones .....	21
1-3 Pantalla de drenaje .....	24
<b>CAPITULO II CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS</b> .....	27
II-1 Proyecto .....	27
II-2 Planeación .....	37
II-3 Procedimiento de construcción .....	42
3.1 Excavación en las galerías .....	42
3.2 Revestimiento .....	69
<b>CAPITULO III CONSTRUCCION DE LA PANTALLA IMPERMEABLE DE INYECCIONES</b> .....	89
III-1 Proyecto .....	89
III-2 Planeación .....	90
III-3 Construcción .....	92
3.1 Instalaciones .....	92
3.2 Pruebas de permeabilidad .....	94
3.3 Pruebas de inyectabilidad .....	100
3.4 procedimiento de inyección .....	105
<b>CAPITULO IV CONSTRUCCION DE LA PANTALLA DE DRENAJE</b> ..	122
IV-1 Pantalla de drenaje .....	122
IV-2 Construcción .....	122
2.1 Trazo topográfico .....	122
2.2 Perforación .....	122
2.3 Limpieza y lavado del barreno .....	122

<b>CAPITULO V INGENIERIA LEGAL .....</b>	<b>131</b>
V-1 Licitación pública .....	131
V-2 Estimación .....	132
V-3 Obra extraordinaria .....	133
V-4 Reclamaciones .....	139
V-5 Finiquito de obra .....	141
<b>CAPITULO VI ASPECTO FINANCIERO .....</b>	<b>144</b>
VI-1 Importe original .....	144
VI-2 Importe obra adicional .....	144
VI-3 Importe obra extraordinaria .....	144
VI-4 Importe total de las obras .....	145
<b>CAPITULO VII CONCLUSIONES .....</b>	<b>148</b>
<b>CAPITULO VIII REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>150</b>

## INTRODUCCION

El desarrollo de nuestro país, se apoya en la capacidad de respuesta que muestra la población en general, es por ello, que debemos cambiar nuestra actitud para mejorar la calidad de los bienes y servicios, ya que éstos nunca serán suficientes para la población y por consecuencia lógica superar los bienes y servicios producidos.

La industria como parte fundamental de desarrollo de nuestro país, últimamente tiene un gran rezago, es por ello que se debe apoyar de manera importante este sector, creando condiciones económicas favorables para su crecimiento. Para cumplir este objetivo, es importante crear la infraestructura necesaria para mantenerla en un nivel competitivo.

Toca al sector eléctrico crear la infraestructura necesaria, ya que tiene la responsabilidad de generar la electricidad suficiente para satisfacer las elevadas demandas de energía de la creciente industria, así como de la población en general.

Para satisfacer la demanda de energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad requiere iniciar la construcción de proyectos hidroeléctricos, termoeléctricos y otras fuentes de energía.

La crisis económica de los 80's en México afectó la capacidad crediticia del país, reduciendo la inserción de proyectos de infraestructura; además, los programas de ajuste económico disminuyeron la asignación de recursos presupuestales en dichos proyectos. Por otro lado, como ya se mencionó, el crecimiento acelerado de la población, el desarrollo de la economía durante los últimos años y el incremento de la demanda por servicios, han acentuado los requerimientos de más obras de infraestructura.

Este trabajo está enfocado al proyecto hidroeléctrico Aguamilpa y en particular a la construcción de las galerías y pantalla impermeable y de drenaje, las cuales son de vital importancia para el correcto funcionamiento de esta presa.

En primer lugar se presenta una descripción de las principales obras que conforman este proyecto, así como su ubicación y funcionalidad.

En el capítulo I se describen los objetivos que se persiguen con la creación de las galerías, también se describe la funcionalidad de la pantalla de inyecciones y la pantalla de drenaje.

En el capítulo II se da un panorama de como se proyectó y se planeó la construcción de las galerías, procedimiento de excavación, sustentación de paredes y techo en zonas inestables a base de anclas de fricción, tensión y revestimiento a sección completa con concreto lanzado o concreto armado donde así lo requería el proyecto

**En el capítulo III** se toca el tema de la construcción de la pantalla impermeable de inyecciones, iniciando con el proyecto, la planeación, las instalaciones que se requieren para la realización de la pantalla profunda y la de consolidación, así como las diferentes pruebas de permeabilidad " prueba Lugeon " que se le realizaron al macizo rocoso para determinar el tipo de inyección a emplear, así como las respectivas etapas que se siguieron para la formación de la pantalla.

**En el capítulo IV** se describe la construcción de la pantalla de drenaje, que se inició al haber concluido los trabajos de inyección y revestimiento para poder drenar eficientemente el macizo rocoso y las posibles filtraciones que se tengan durante su funcionamiento.

**En el capítulo V** se describen todos y cada uno de los aspectos que intervienen en una licitación pública, adjudicación, proceso de elaboración de estimaciones y cobros de las mismas, elaboración de precios unitarios para obra extraordinaria, proceso de reclamaciones y por último la elaboración del finiquito de obra.

**En el capítulo VI** se describe el aspecto financiero, la importancia que tiene para una obra de esta magnitud, así como las causas de los importes de obra extraordinarios y el importe total de la obra " galerías y sus tratamientos "

**En el capítulo VII** se muestran las conclusiones a las que se llegó.

**En el capítulo VIII** se muestran las referencias y bibliografía

## 1.-GENERALIDADES

**Antecedentes:** En el año de 1972 La Secretaría de Recursos Hidráulicos (S R H) estudió Aguamilpa como, parte del plan hidráulico del noroeste, denominado (Plhino) el cual consistía en una serie de almacenamientos y conducciones que permitirían intercambiar y transferir agua desde el estado de Nayarit hasta el de Sonora a fin de abrir nuevas tierras de cultivo de riego.

A principios de la década de los 80s se modificó el Plhino, quedando Aguamilpa fuera de él. Fue entonces que el sitio adquirió interés desde el punto de vista hidroeléctrico.

La principal finalidad del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa es la generación de energía eléctrica, en operación conjunta con las otras plantas previstas a lo largo del río Santiago y con factores de planta bajos para cubrir los picos de demanda ( Fig. 1 ).

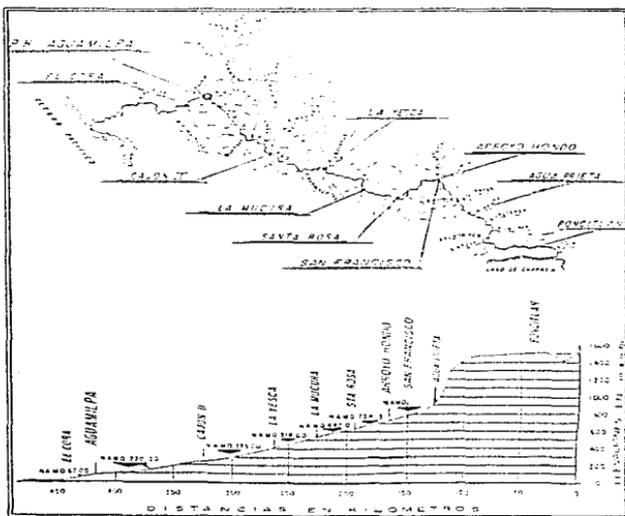


Figura 1 Proyectos hidroeléctricos sobre el río Santiago



Las coordenadas geográficas del sitio son: 104° 46'29" de longitud oeste y 21° 50'32" de latitud norte.

En el contexto nacional, entre las hidroeléctricas, Aguamilpa se ubica de acuerdo a las siguientes características :

NOMBRE DE LA PRESA	POTENCIA INSTAL. EN MW	GENERACION MEDIA ANUAL	ALMACENAMIENTO EN HM3	ALTURA (M)
CHICOASEN	1500	2500	1705	251
MALPASO	1050	2800	12960	138
INFIERNILLO	1000	3160	12000	149
AGUAMILPA	960	2131	6950	187
ANGOSTURA	900	2200	18500	147
CARACOL	594	1480	1860	126
PENITAS	420	1910	1628	53
VILLITA	300	1180	710	60
ZINAPAN	290	1292	1426	200
MAZATEPEC	208	790	62	92
TEMASCAL	154	830	13790	76

En la tabla anterior se aprecia que Aguamilpa ocupa el cuarto lugar en potencia instalada, el cuarto en generación media anual, el quinto en almacenamiento y el tercero en altura de cortina.

## 2.- DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

Para lograr el propósito de generar electricidad a partir de la utilización del agua que corre a través del río Santiago, en el P. H. Aguamilpa se contempló la construcción de un conjunto de obras de las cuales se señalan las más importantes: ( Fig. 3 ).

- Infraestructura
- Obras de desvío
- Obras de contención
- Obras de excedencias
- Obras de generación

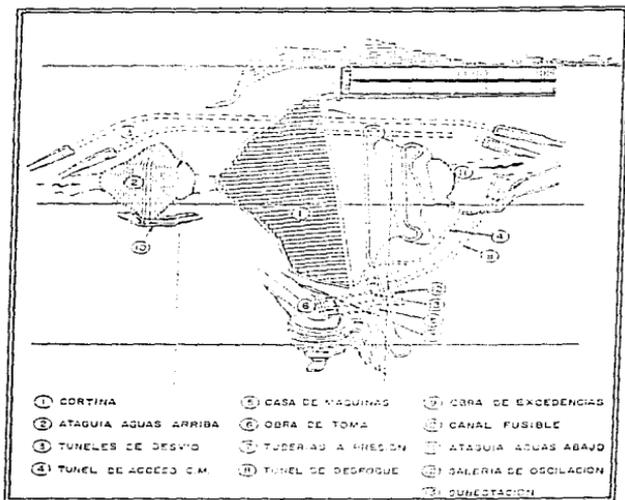


Figura 3 Localización de obras principales del P. H. Aguamilpa

**2.1 Infraestructura:** Para la construcción del proyecto se requirió de una infraestructura que proporcionara en primera instancia el acceso rápido al lugar donde se ubica la cortina; esto se logró con la pavimentación de 40 km. de camino que va desde la población de Francisco I. Madero a la altura del km. 12 hasta el P.H. Aguamilpa km. 42.

Conjuntamente con la construcción del camino, se realizaba la infraestructura de servicios básicos para el personal, de las cuales destaca la construcción de campamentos para 3 000 trabajadores, oficinas, almacenes, talleres, comedores, clínicas del IMSS, instalaciones deportivas, resguardo militar, además de la construcción de 30 km. de caminos interiores incluyendo el puente Santiago de 218 m de longitud que comunica ambas márgenes del Río.

El acceso a las obras de generación que se encuentran en la margen derecha es por el puente que atraviesa el río Santiago a unos 3 km. aguas abajo de la cortina.

Este camino liga los principales frentes de obra en margen derecha como son: Entrada a casa de máquinas, túnel de destoque, galerías de transformadores, plataforma para el equipo de ventilación, obra de toma y cortina.

**2.2 Obras de desvío:** La obra de desvío se localiza en la margen izquierda de la cortina, consta de dos túneles de sección portal sin revestir, de 16 X 16 m, cada túnel consta de una estructura de cierre provisional adicionalmente; siendo el túnel No. 2 la estructura de cierre final. (Fig. 4).

Los túneles de desvío se construyeron dentro de un macizo rocoso formado por bloques de roca de tipo tubular delimitados por los sistemas de fracturas con intemperismo moderado. Debido a las características de la roca, en general de buena calidad, la sección de los túneles se realizó sin revestimiento y el tratamiento que se le dio consistió en anclas de fricción y de tensión, esto con el fin de estabilizar los bloques o cuñas que resultaron del fracturamiento al ir efectuando las voladuras. Al canal de descarga de cada túnel se le dio un tratamiento, el cual consistió en revestir los últimos 25 m de la salida a partir del portal.

**2.3 Obras de contención:** Se estudiaron diferentes opciones del tipo de cortina, incluyendo las de arco gravedad, materiales graduados con cara de concreto (P.C.C) Después de una evaluación técnica - económica, se seleccionó la del tipo P.C.C; además del costo, los aspectos importantes que llevaron a esta decisión fueron los de disponibilidad de materiales y tiempo requerido para la construcción.

La experiencia mundial en el diseño y construcción de P.C.C muestra que puede ser bastante confiable en su comportamiento y seguridad, como puede verse en los casos de las Presas más altas de este tipo construidas, como son Foz do areia en Brasil y Salvajina en Colombia, con 160 m y 148 m de altura respectivamente.

La estructura principal es una cortina de enrocamiento - grabas con cara de concreto, actualmente la mas alta del Mundo en su tipo, por sus 187 m de altura y un volumen de 13.2 millones de m<sup>3</sup> de los cuales la mitad es producto de las excavaciones exteriores y subterráneas del proyecto y la otra mitad es de aluvión extraído de los bancos localizados aguas abajo del proyecto.

Consta también de dos ataguías de materiales graduados con corazón de arcilla ubicadas aguas arriba y aguas abajo de la cortina. La ataguía de aguas arriba tiene un volumen de 900.000 m<sup>3</sup> y aloja en su empotramiento derecho un canal fusible de 10 X 15 m con capacidad de un gasto máximo de descarga de 813 m<sup>3</sup> s . ( Fig. 5 ).

Se construyeron también 8 Galerías; 4 en margen derecha y 4 en margen izquierda, con el fin de poder ampliar la pantalla impermeable a través de ellas y poder drenar el macizo rocoso para liberar la presión de poro que se genera principalmente en épocas de lluvia. .

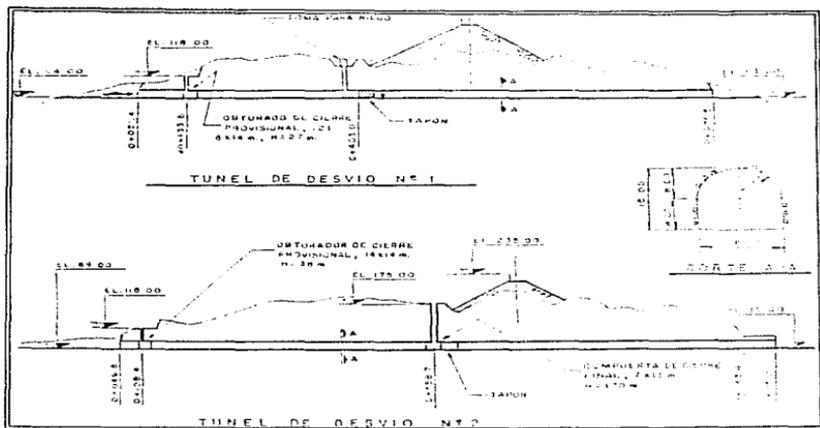


Figura 4 Obras de desvío corte longitudinal túneles No 1 y 2

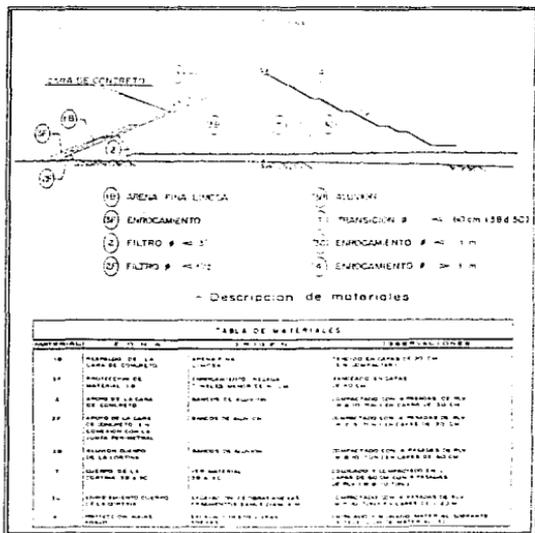


Figura 5 Obras de contención

2.4 Obras de excedencias: Durante la vida útil de la presa existe la posibilidad de que se presenten avenidas extraordinarias que pudieran ocasionar un sobrealmacenamiento en el embalse, con el consecuente peligro de que se provoque un desbordamiento de la cortina, para evitar tales efectos es necesario construir una obra que permita desalojar estos volúmenes excedentes cuando se presenten.

El Vertedor es un canal a cielo abierto de 800 m de longitud y excavado en roca sobre la margen izquierda del río, con cortes de hasta 110 m de altura. Consta de un canal de llamadas, una estructura de control que aloja 6 compuertas radiales de 12.0 X 19.5 m que permiten descargar un gasto de 14,900 m<sup>3</sup>/s, dichas compuertas serán operadas desde el puente de maniobras. El vertedor consta de dos canales de descarga de casi 600 m de longitud y 42.5 m de ancho, revestidos de concreto hidráulico. ( Fig. 6 )

El canal de descarga estará dividido longitudinalmente por un muro separador de tal manera que la obra funcione con un Vertedor de servicio y otro auxiliar. La Estructura final será una cubeta de lanzamiento.

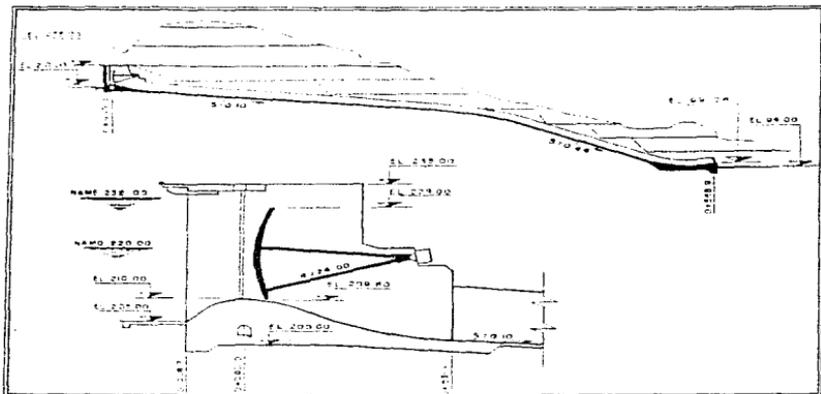


Figura 6 Obra de excedencias

**2.5 Obra de generación:** Se consideran como obras de generación aquellas estructuras cuya función es captar, conducir y aprovechar la energía del agua para generar energía eléctrica.

Conjunto de estructuras en las cuales se instalaron los equipos de generación de energía eléctrica, situados por margen derecha.

La planta hidroeléctrica cuenta con 3 unidades generadoras de 320 MW cada una y generará en promedio 2,131 GWH anuales. Las estructuras principales que conforman las obras de generación son: Canal de llamada a ciclo abierto, obra de toma, tres conductos a presión en túnel: casa de máquinas, galería de oscilación, lumbrera de buses y ventilación y túnel de Desfoque. ( Fig. 7 ).

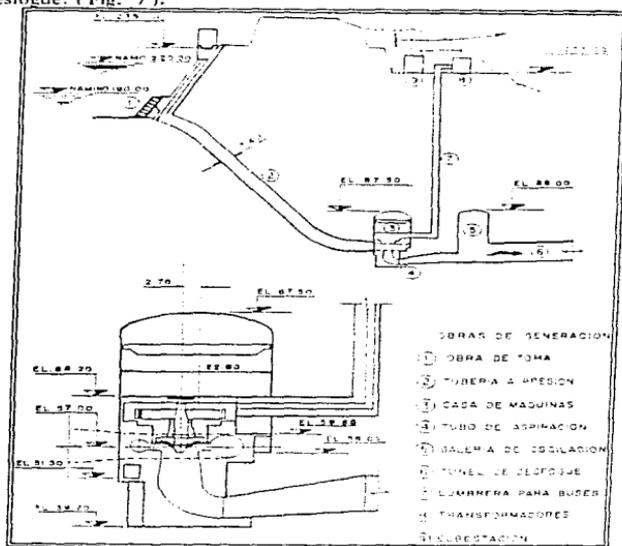


Figura 7 Obras de generación

A continuación se describen las más importantes .

**Conductos a presión:** Los conductos se inician a partir de las compuertas de servicio, con sección rectangular de 5.8 X 7.4 m y mediante una transición en curva vertical, cambian a sección circular de 7.40 m Ø con revestimiento de concreto reforzado y la zona con sección circular de 7.40 m Ø con revestimiento metálico y empacado con concreto simple.

**Casa de máquinas:** La casa de máquinas, en caverna, alberga los equipos electromecánicos como son turbinas, generadores, excitadores uno por túnel, también se encuentran las galerías de drenaje, de Inyección y careamo de bombeo. ( Fig. 8 ).

Las dos grúas de casa de máquinas acopladas podrán levantar el rotor con un peso de 735 Ton.

**Galería de oscilación:** La galería de oscilación amortiguará los efectos de variación de presión ocasionados por los rechazos y toma de carga. Se localiza aguas abajo de los tubos de aspiración.

En esta galería se tienen las compuertas de desfogue, que aíslan el tubo de aspiración cuando se requiera desaguarlo. La separación entre la casa de máquinas (50 m) obedece a condiciones geotécnicas del macizo rocoso y esto hizo necesario proyectar un túnel de aspiración que conecte a este con la galería. En un extremo de la Galería se inicia el Túnel de Desfogue.

**Desfogue:** Conecta la galería de oscilación con el río, su diseño es tal que considerando la longitud (391 m), la geología, el aspecto constructivo y la evaluación económica nos de las condiciones óptimas de trabajo, ya que el comportamiento hidráulico y las pérdidas hidráulicas en este caso son importantes. La geometría de 16 X 16 m. en sección portal y revestidos de concreto, cumplen con lo mencionado anteriormente.

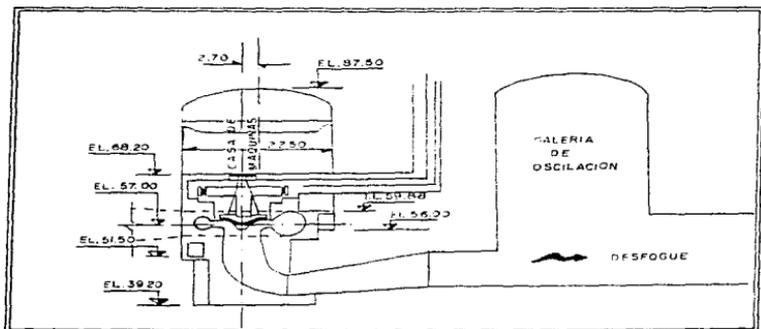


Figura 8 Casa de máquinas, galería de oscilación y desfogue

### 3.- ASPECTO SOCIAL

La C.F.E ha dedicado un esfuerzo y cuidado especial en los estudios y acciones tendientes a prevenir, disminuir o compensar los impactos negativos de carácter social y ambiental que se produjeran en la zona de influencia de las obras, de tal manera que el proyecto se convirtiera, en una oportunidad de progreso, desarrollo social, preservación y mejoramiento de las condiciones ambientales en la zona de las obras y su vecindad.

El área del embalse del proyecto es de 12,800 hectáreas que obligaron a reubicar 17 asentamientos afectados con una población total de 871 habitantes, de los cuales el 61% pertenece al grupo étnico huichol y el 39% restante son mestizos. La reubicación de estos poblados se llevó a cabo con suficiente oportunidad y anticipación a la terminación del proyecto, disfrutando los habitantes de indemnizaciones de las tierras y bienes afectados; parte de dicha indemnización consistía en dinero y el resto en obras de infraestructura, equipamiento, maquinaria e insumos agrícolas, así como programas productivos asistenciales. La indemnización fue cubierta en el primer año de construcción del proyecto.

Hoy el embalse también ha acortado las distancias y ampliado dos posibilidades de comunicación con las comunidades, antes caracterizado por el aislamiento. El área del embalse abarca parte de los municipios de el Nayar, Ruiz, Santa María del Oro y Tepic.

Los principales aspectos cubiertos por los estudios realizados por C.F.E son los siguientes:

- a) Abasto a tiendas rurales
- b) Apoyo para la atención médica en el área del embalse
- c) Apoyo para programas educativos y culturales
- d) Fomento de actividades recreativas
- e) Capacitación en las áreas de salud, abasto y actividades productivas
- f) Restitución de actividades productivas en los sitios de reacomodo para mejor aprovechamiento de los recursos de su hábitat

#### **4.- IMPACTO AMBIENTAL**

Se puso en marcha el programa general de protección ambiental que se conformó de tal manera que cumpliera con los requerimientos de la normatividad vigente establecida básicamente por la ley de equilibrio ecológico y la protección del ambiente, y las condiciones que para el caso estableció el "Banco mundial", organismo financiador de una gran parte del proyecto.

El programa contempló tres fases fundamentales.

- a) Caracterización y diagnóstico de los ambientes terrestres y acuáticos del área de influencia del proyecto.
- b) Identificación y evaluación de los impactos ejercidos al ambiente por la construcción del proyecto.
- c) Implantación de medidas de mitigación o compensación a fin de reducir los impactos ejercidos al ambiente.

Así, fue como se diseñó una estrategia para la realización de estudios específicos que permitió la participación de instituciones de investigación como la UNAM, IPN, SSA, INAH, entre otros, en coordinación con un grupo local de especialistas en protección ambiental.

Como resultado de dichos estudios, en general, en la zona no existen especies de flora y fauna que representarían una restricción para la ejecución del proyecto, es decir que no se encontraron especies endémicas, y que de las detectadas como amenazadas, se efectuó un manejo de tal manera que se salvaran las restricciones legales que sobre el particular marca la ley.

La vegetación que predomina en el área corresponde al tipo selva baja caducifolia y de caetáceas representadas por pitayas, órganos, acacias, guacima y nopales entre otras especies. Esta vegetación se observa entre los 100 y 1750 m.s.n.m y se sostiene de una capa de suelo muy delgada pobre en nutrientes. En zonas muy locales existen árboles de madera fina como huacacastle y primavera.

La fauna está compuesta por: venado, jabalí, conejo, liebre, codorniz, faisán, paloma, huilotla, pato, coyote, zorra, arácnidos y abundantes serpientes.

## I GALERIAS Y PANTALLAS

### 1.1 GALERIAS

La definición de galería es " Camino subterráneo en un macizo rocoso "

En un complejo hidroeléctrico, una galería se define como un túnel de acceso subterráneo que permita la propia intercomunicación entre las obras de manera directa o indirecta, así como inspeccionar el macizo rocoso durante la construcción y efectuar los tratamientos de la roca por diferentes medios entre ellos las inyecciones y drenajes.

También permite la inspección periódica, durante la vida útil del proyecto, del macizo rocoso que subyace las principales estructuras.

Una de las obras más sobresalientes al ejecutarse un proyecto hidroeléctrico es la cortina, cuyo objetivo primordial es contener el agua almacenada en el embalse de la presa, por tal motivo no sólo es importante asegurar el óptimo funcionamiento estructural de la Cortina, sino también que el macizo rocoso donde se desplantará resista los esfuerzos a los que será sometida.

Vale la pena destacar que un macizo de roca es un medio no homogéneo cuya característica principal es la discontinuidad ya que siempre se ve afectada por diversos factores como son fallas, fracturas, carsticidad, etc. Estos factores podrán provocar un determinado grado de permeabilidad en el macizo, lo cual es indeseable en el área aledaña a la cortina por que un posible flujo de agua en esa zona acarrearía problemas diversos, por ejemplo, la acumulación de agua en la región inmediata aguas abajo de la cortina, surgiendo con ello presiones intersticiales que pondrían en riesgo la estabilidad de la cortina.

La ejecución de estas galerías en el P.H. Aguamilpa, permitieron prolongar desde ellas hacia ambas márgenes la pantalla impermeable de inyecciones que en conjunto con la cara de concreto y su pantalla de inyecciones desde el plinto forman el plano de estanqueidad de la obra; también desde ellas se ejecutarán la pantalla de drenaje y la instrumentación piezométrica del macizo y durante su construcción permitirán inspeccionar y estudiar las diferentes estructuras rocosas que subyace las obras del proyecto. ( Fig. 1.1 ).

#### Galerías en margen derecha

**Galería No 2 :** Desarrollada por debajo del plinto desde la ladera de la cortina en la elev. 82.00 m.s.n.m en laderas de cortina hasta la elev. 64.00 m.s.n.m por túnel auxiliar de construcción en casa de máquinas. El objeto de este fue para drenaje y la red de instrumentación piezométrica del macizo. ( Fig. 1.2 ).

**Galería No 4 :** Desarrollada por debajo del tramo 10 y 11 del plinto a la elev. 150.00 m.s.n.m prolongándose en esa misma elevación para cruzar perpendicularmente las 3 tuberías a presión. El objeto de esta galería fue para integrar las pantallas de inyección al plinto y tuberías a presión, drenaje y red de instrumentación piezométrica. En un momento fue utilizada como acceso mediante un ramal expreso para la construcción de las ramas inclinadas de las Tuberías a Presión. ( Fig. 1.3 ).

**Galería No 6 :** Desarrollada por debajo de la plataforma de la obra de toma a la elev. 199.00 m.s.n.m, el ramal principal 2'- 6" - 5' atraviesa parcialmente las 3 tuberías a presión por encima de la Galería No 4 y se prolonga hacia el plinto con el ramal 5' - 3" - 2 a la elev. 68.80 m.s.n.m. El objeto de esta galería fue la de integrar las pantallas de inyección al plinto y tuberías a presión, la pantalla de drenaje y la red de instrumentación piezométrica. ( Fig. 1.4 ).

**Galería No 7 :** Su desarrollo cruza perpendicularmente por debajo de las tres tuberías a la elev. 53.00 m.s.n.m desde el timpano norte hasta el acceso principal de la casa de máquinas, oscilación y túnel de desfogue y la de integrar una pantalla de drenaje ascendente, por debajo de las tuberías a presión. ( Fig. 1.2 ).

#### Galerías en margen izquierda

**Galería No 3 :** Desarrollada por debajo del tramo 3-4 del plinto a la elev. 172.00 m.s.n.m prolongándose a esa misma elevación hasta cruzar perpendicularmente el vertedor. El objeto de esta galería fue para integrar las pantallas de inyección al plinto y a la zona de estructuras del vertedor, la pantalla de drenaje y la red de instrumentación piezométrica. ( Fig. 1.3 ).

**Galería No 5 :** Desarrollada a partir del macizo rocoso en la ladera de la cortina a la elev. 203.80 m.s.n.m prolongándose hasta cruzar el vertedor por el eje del macizo a la elev. 203.00 m.s.n.m . El objeto de esta galería fue la de integrar la pantalla de inyecciones y el drenaje del macizo rocoso de ambas laderas de la zona de estructuras del vertedor. ( Fig. 1.4 )

**Galería No 8 :** Desarrollada dentro del macizo rocoso a la elev. 220.00 m.s.n.m. y paralela al vertedor desde el canal de llamadas hasta el canal de descarga del mismo. El objeto de esta galería fue la de integrar la pantalla de drenaje del macizo rocoso y la de observar las filtraciones y comportamiento de la roca.

**Galería No 9 :** Desarrollado dentro del macizo rocoso de la ladera izquierda del vertedor a la elev. 135.00 m.s.n.m prolongándose al interior del macizo hasta la elev. 152.00 m.s.n.m. El objeto de esta galería fue la de integrar la pantalla de drenaje de la ladera, estabilizar la zona de la cubeta deflectora y la de observar las filtraciones del macizo rocoso.





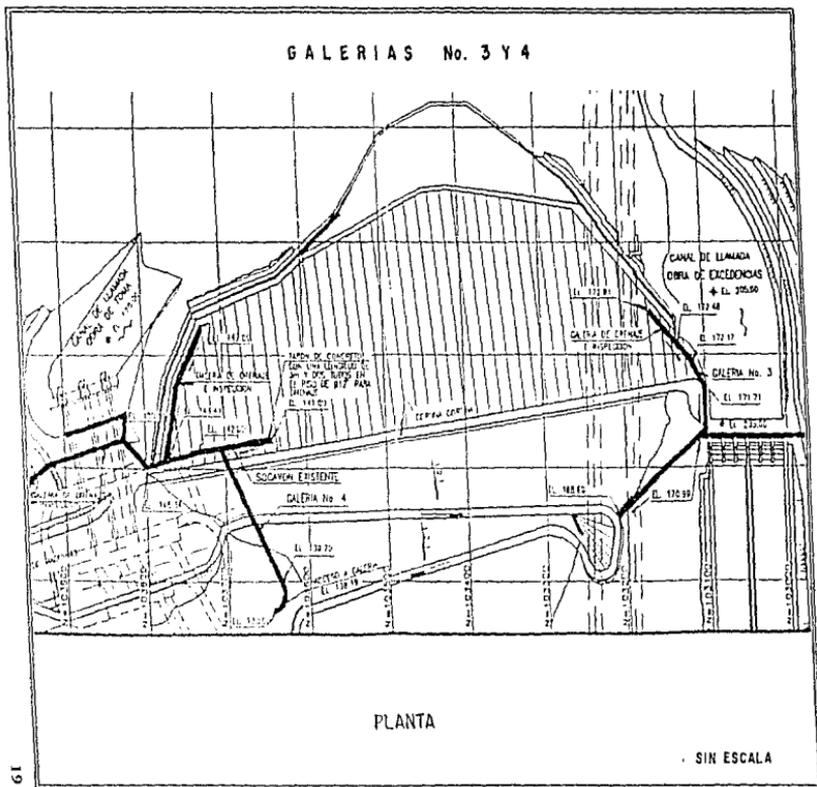


Figura 1.3 Localización de las galerías No 3 y 4

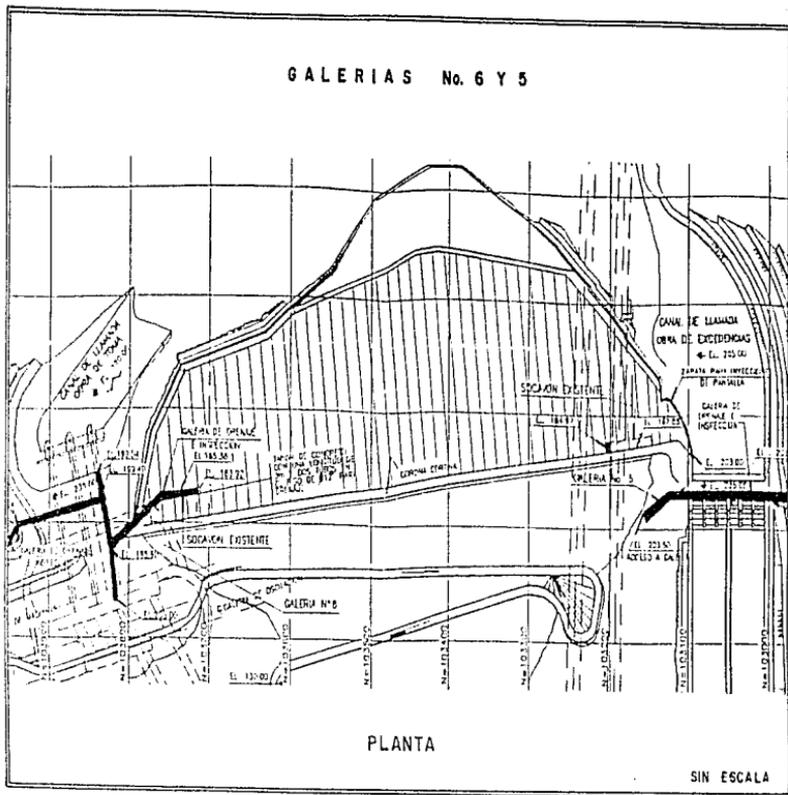


Figura 1.4 Localización de las galerías No 6 y 5

## 1.2 PANTALLA IMPERMEABLE Y DE INYECCIONES

Para generar la pantalla impermeable se propuso un tratamiento al macizo rocoso que consiste en rellenar los huecos existentes en el medio, a base de inyección de mezclas cementantes que se conducen a través de una barrenación previa, este tratamiento además de disminuir la permeabilidad y la deformabilidad del terreno también aumenta, su resistencia. Para llevar a cabo la ejecución de este tratamiento fue necesaria la ubicación estratégica de algunas galerías, que permitirían alcanzar el mayor número de discontinuidades y disminuir la longitud de los barrenos de inyección, evitando así desviaciones en su dirección y en consecuencia una pantalla de mala calidad.

La pantalla general de inyecciones constituye una barrera impermeable para garantizar la estanqueidad de la boquilla: es la continuación de la cara de concreto de la cortina a través del plinto y de las galerías de ambos márgenes del cauce.

La pantalla impermeable se forma mediante una o varias líneas de barrenos contenidas en un plano cuya separación entre sí es la adecuada para que la influencia de la presión de inyección haga penetrar la mezcla formando así la barrera impermeable.

La pantalla impermeable se desarrolló desde la elev. 235.00 m.s.n.m en ambos márgenes, por la izquierda a través de las galerías No 5 y 3 uniéndose al plinto en la elev. 205.00 m.s.n.m y por el cauce a través del plinto hasta unirse en la margen derecha con la plataforma de obra de toma y las galerías No 6 y 4. ( Figs. 1.5 y 1.6 ).

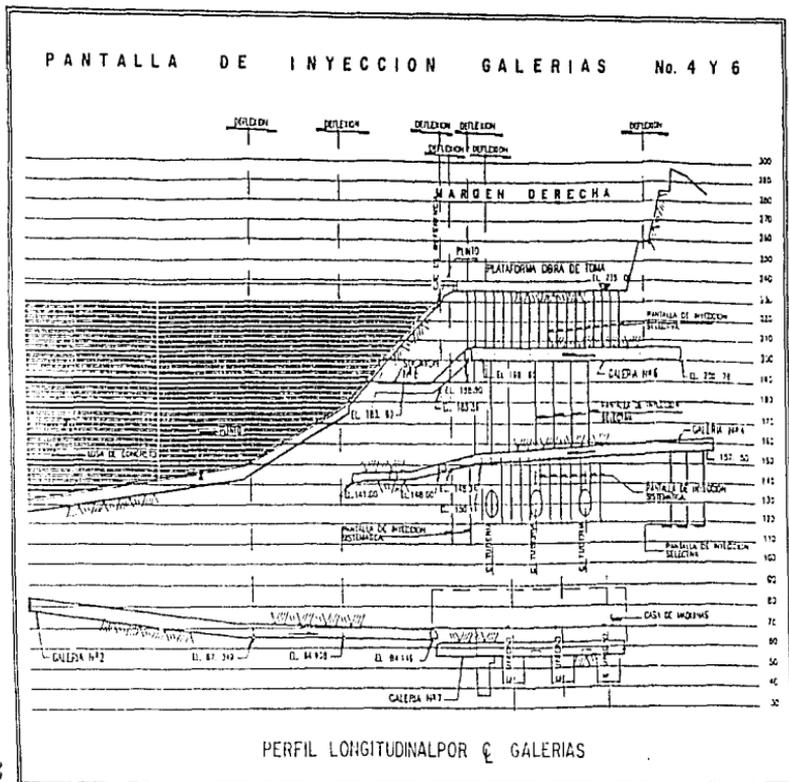
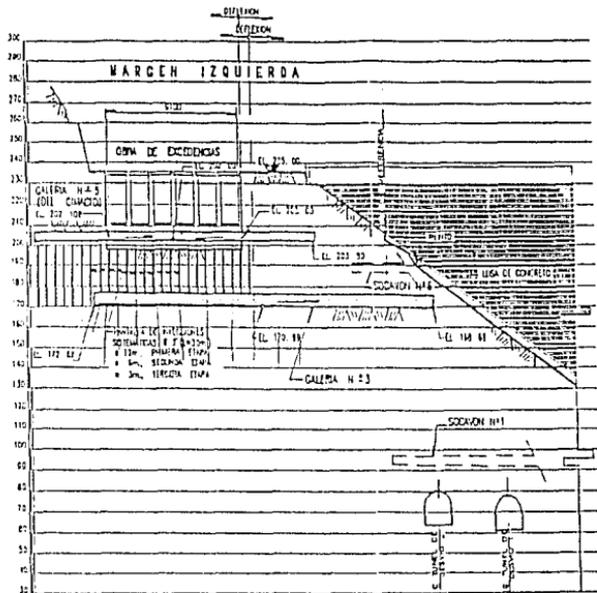


Figura 1.5 Localización pantalla de inyección galerías No 4 y 6

PANTALLA DE INYECCION GALERIAS No. 3 Y 5



PERFIL LONGITUDINAL POR 3 GALERIAS

Figura 1.6 Localización pantalla de inyección galerías No 3 y 5

### 1.3 PANTALLA DE DRENAJE

Debido a la imposibilidad de asegurar que la pantalla de impermeabilización haya logrado sellar todas las grietas y huecos existentes en una zona de influencia, es necesario conceder una vía de desaloo que permita dar salida al agua que haya logrado infiltrarse a través de la pantalla de inyección, esto se logra mediante la excavación de las Galerías de drenaje e inspección, a partir de las cuales se perforan los barrenos que fungirán como drenes. Estos tendrán el objetivo de captar la mayor cantidad de agua posible y conducirla hasta las galerías en donde se incorpora a una canaleta cuya pendiente esta dirigida hacia aguas abajo de la cortina.

Como complemento a la estabilidad del macizo rocoso dentro de la cual se alojarán las estructuras principales de las obras de contención y excedencias, se construyó una pantalla general de drenaje para aliviar la subpresión o presión de poro del macizo rocoso así como cortar el flujo de las filtraciones que ocurren a través de la pantalla.

La pantalla de drenaje se localizó paralelamente aguas abajo de la pantalla de inyecciones lo cual permitirá observar y cuantificar las filtraciones a través de la pantalla. En general esta pantalla esta constituida por barrenos de 3" de diámetro espaciados a cada 12 m y cuya orientación esta en función de los principales sistemas de fracturamiento, esta pantalla se efectuó desde las galerías No 2, 4, 6 y 7 de la margen derecha y la No 3, 5, 8 y 9 de la margen izquierda. ( Figs. 1.7 y 1.8 ).

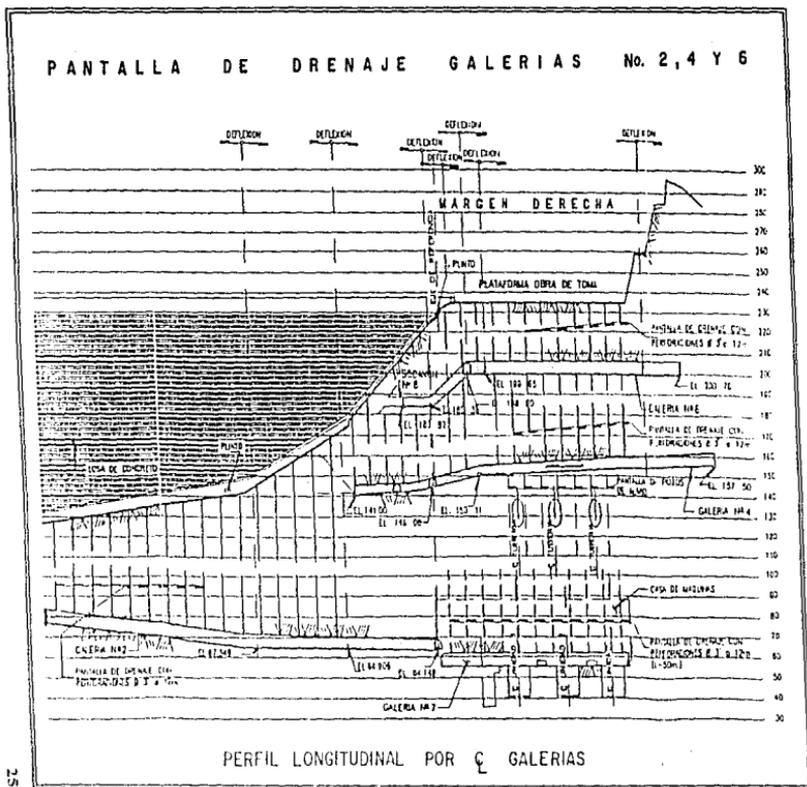


Figura 1.7 Localización pantalla de drenaje en galerías No. 2, 4 y 6



## II CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS

### II.1.- PROYECTO

Una vez que se han planteado los principales objetivos que se persiguen con la excavación del sistema de galerías en la zona de la cortina del P. H. Aguamilpa, se presenta a continuación una descripción del proyecto de excavación.

El proyecto considera la excavación de galerías en ambas márgenes con la distribución y longitudes mencionadas en el capítulo anterior.

Para este tipo de galerías el proyecto marca una sección transversal única de 3.20 m de base, 3.60 m de altura y un radio de 1.60 m, siendo estas las dimensiones mínimas de excavación, es decir hasta la línea " A " de proyecto, contando con una tolerancia de 20 cm hasta la línea " B " que representa el límite superior de excavación. Estos límites representan una de las restricciones más importantes al momento de ejecutar la excavación de las galerías ya que puede considerarse como un índice de la calidad del trabajo y además el descuidar su observación se incurre en la necesidad de ejecutar trabajos de detalle muy costosos como son " petines " ( rebajes para alcanzar el límite mínimo ) y reposición de concreto en las sobre - excavaciones. ( Fig. 2.0 ).

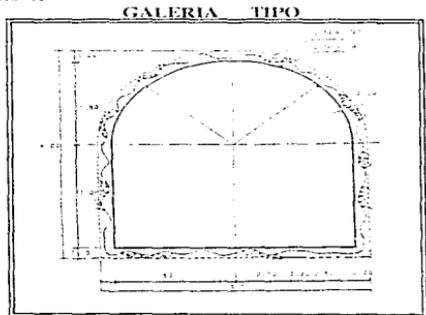


Figura 2.0 sección tipo para galerías

Para ejecutar los trabajos de excavación de las galerías fue indispensable atacar por ambas márgenes y así no retrasar otros trabajos que se realizaban al mismo tiempo en otras estructuras.

Una vez concluida la excavación de las galerías se contempló la colocación del revestimiento de concreto en las galerías, quedando exentos de este requerimiento las galerías de drenaje ya que al dejarse sin revestimiento se pueden utilizar como drenes adicionales.

Para que el contacto entre el concreto y la roca sea efectivo se proyectó antes del colado una limpieza de las paredes eliminando totalmente los residuos de roca fracturada que resultan de la excavación, principalmente en el piso ya que en esta parte no se lleva a cabo el proceso de amacize.

Posterior al revestimiento de las galerías se contempló la perforación e inyección de los barrenos para la formación de la pantalla de inyección, y por último se ejecuta la barrenación de los drenes que conforman la pantalla de drenaje.

Es importante que el orden de las dos actividades anteriormente descritas sea el citado, ya que si se diera el caso de que se realizara en primera instancia la barrenación de los drenes se correría el riesgo de que se taparan en el momento de la inyección de la lechada, haciendo necesaria una nueva barrenación. En el proyecto se consideró la excavación de las galerías de inyección y de drenaje en ambas márgenes y para ello el diseño original de las galerías se basó en la posición definitiva de las obras de generación y de excedencias, por lo que se requirió ubicarlas de la siguiente manera.

#### **Galerías en margen derecha**

**Galería No 2 .** El ramal principal se proyectó debajo de la traza del plinto, comunicando con el socavón existente 2C por medio de una galería de 120 m, además el socavón se utilizará como acceso definitivo por la bóveda de la casa de máquinas a la elev. 86.50 m.s.n.m. ( Fig. 2.1 ).

**Galería No 4 .** Se proyectó de tal manera que el ramal principal atravesara por encima de las tuberías a presión y un ramal debajo de la traza del plinto, se aprovecharía el socavón existente 4C como acceso para la construcción y se construiría un ramal con trayectoria fuera del cuerpo de la cortina aguas abajo como acceso definitivo. ( Fig. 2.2 ).

**Galería No 6 .** Se proyectó para cruzar por encima de la galería No 4 y las tuberías a presión, se ligaría el socavón existente 6C, el cual sería tomado como acceso para construcción y se diseñaría un ramal de acceso definitivo con el portal de entrada fuera del cuerpo de la cortina. ( Fig. 2.3 ).

**Galería No 7 .** Se proyectó de tal manera que atravesara por debajo de la tuberías a presión a la elev. 55.00 m.s.n.m y serviría de acceso para la construcción de las ramas inclinadas. Se realizaría desde ella la pantalla de drenaje ascendente del macizo rocoso superior. ( Fig. 2.4 ).

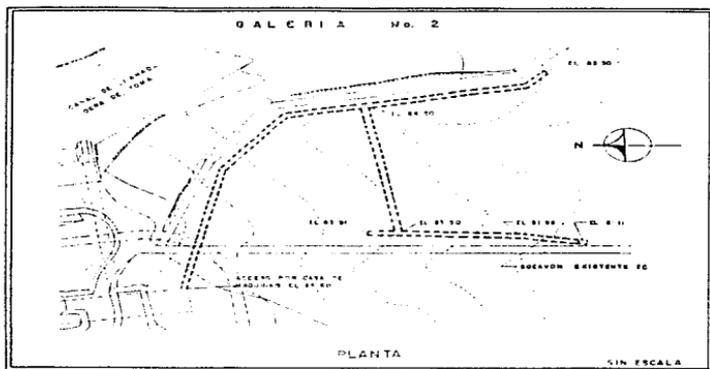


Figura 2.1 Diseño original galería No 2

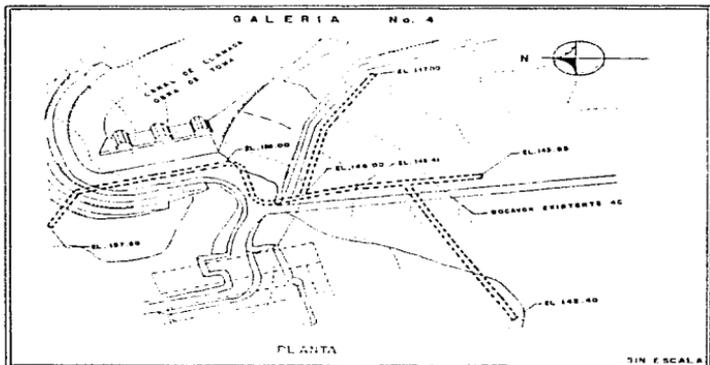


Figura 2.2 Diseño original galería No 4

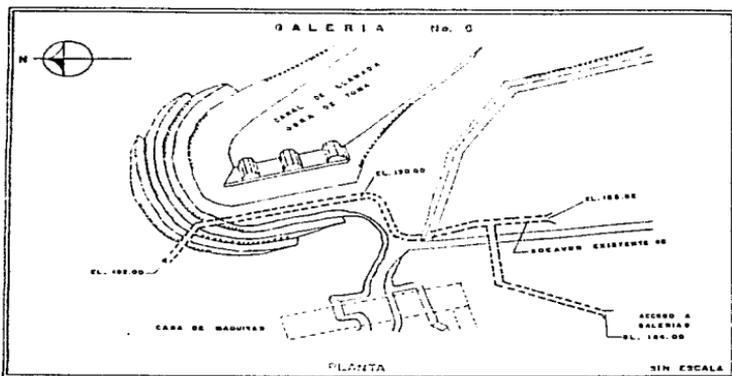


Figura 2.3 Diseño original de la galería No 6

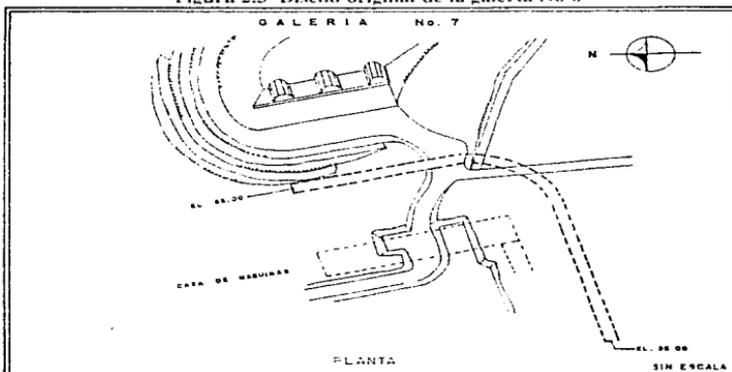


Figura 2.4 Diseño original de la galería 7

### Galerías en margen izquierda

**Galería No 3** . Se proyectó por debajo de la traza del plinto hasta la zona de estructuras del vertedor, se utilizaría el socavón existente 3C como acceso para la construcción y el acceso definitivo sería por medio de una lumbrera en la zona de estructuras. ( Fig. 2.5 ).

**Galería No 5** . Esta galería se proyectó en la ladera izquierda de la cortina a la Elev. 202.00 m.s.n.m, estaría ligada con la galería del cimacio y atravesaría el vertedor hasta empotrarse en la roca de la pared izquierda del mismo. ( Fig. 2.6 ).

El diseño original de las galerías fue conservado, teniéndose pequeños ajustes en algunas de ellas.

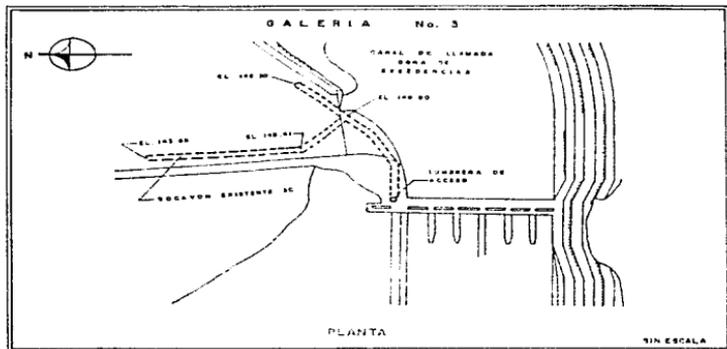


Figura 2.5 Diseño original de la galería No 3



**Galería No 3.** Originalmente se consideró utilizar el socavón existente 3C como acceso para la construcción de la galería, pero debido a la interferencia con la colocación de los materiales de la cortina se canceló ubicándolo en la margen izquierda en el paramento aguas abajo de la cortina a partir de la Elev: 169.00 m.s.n.m. también fue eliminada la lumbrera de acceso.

También se requirió sobreelevar la galería No 3 bajo el plinto del orden de 23 m con respecto al trazo del proyecto, fue necesario construir un ramal adicional bajo el vertedor que atravesaría la zona de estructuras por el eje del cimacio, esto se hizo con la finalidad de hacer más eficiente el sistema de drenaje bajo la zona de estructuras del vertedor . ( Fig. 2.10 ).

**Galería No 5.** En esta galería no hubo cambios de proyecto, ya que la construcción cumplía ampliamente con el fin para lo cual fue proyectada.

**Galería No 8.** En el proyecto original no estuvo contemplada la construcción de esta galería, sin embargo durante la construcción de la obra se determinó su ejecución en base a estudios efectuados por la residencia de geología de construcción, como una medida de seguridad en la estabilidad de los cortes de la margen izquierda del vertedor, fue necesario reubicar el portal de acceso modificando sus coordenadas por ser inaccesible para la construcción . ( Fig. 2.11 ).

**Galería No 9,** no fue considerada en el proyecto original, sin embargo durante la etapa de construcción se determinó en base a estudios geológicos que detectaron problemas de inestabilidad en la ladera izquierda aguas abajo en la zona de la cubeta deflectora del vertedor, por la mala calidad de la roca localizada en dicha zona, para emboquillar la excavación se recorrió el portal hacia aguas arriba. ( Fig. 2.12 ).

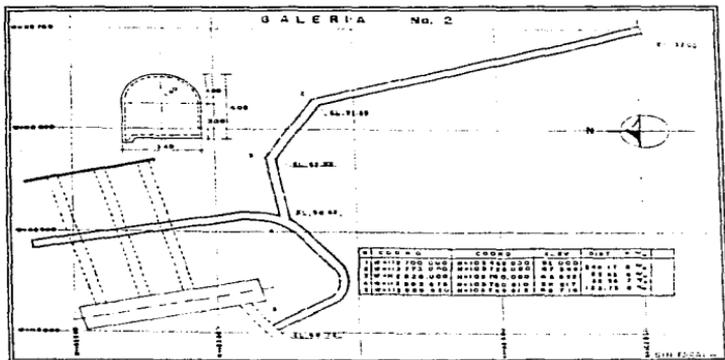


Figura 2.7 Cambio de diseño galería No 2

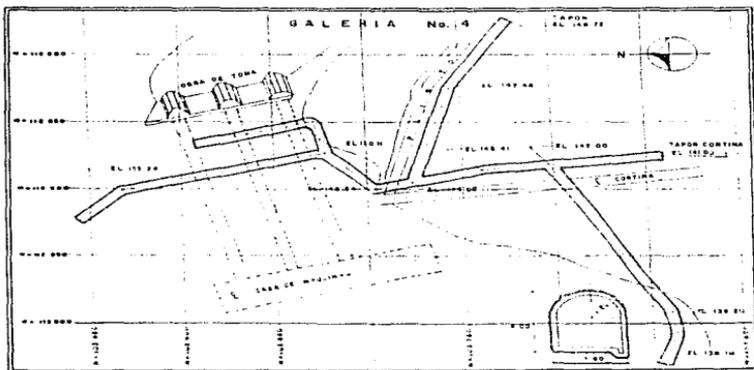


Figura 2.8 Cambio de diseño galería No 4





## II.2 PLANEACION

Para establecer el plan de trabajo que se seguiría para la excavación de las galerías fue necesario determinar, en primera instancia, las condiciones de trabajo que se presentaban en la zona de la obra, ya que el programa general del proyecto proponía la ejecución de otras actividades en el mismo lapso de tiempo, como son la colocación de los materiales que conforman la cortina, modificando el programa de obra de las galerías de tal manera que las interferencias de los mismos se redujeran substancialmente.

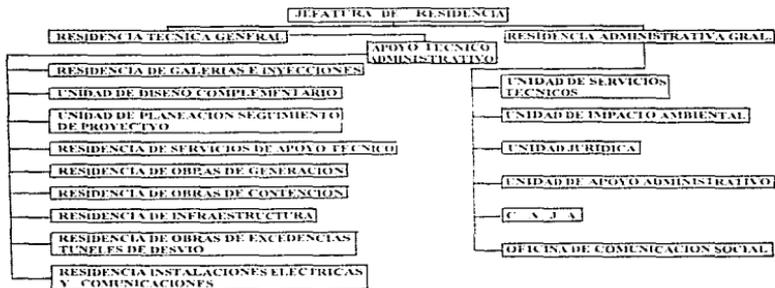
Los trabajos de excavación se iniciaron por margen derecha con la galería No 2 en abril del 90 y en julio de ese mismo año se inicio con la galería No 4 ya que eran las de más fácil acceso por haberse iniciado el acomodo de los materiales que conforman la cortina.

Por otra parte, había que considerar en la propuesta de ataque los conceptos normales por optimizar, como son: rendimientos, costos, mano de obra, etc.

Conforme a la estructura orgánica de C.F.E. la residencia de galerías e inyecciones fue integrada con el siguiente esquema y cargas de trabajo:

- Residencia galerías e inyecciones**
- Apoyo técnico
  - Topografía
  - Supervisión de obra

P. H. AGUASHILPA  
ORGANIGRAMA BASICO 1990



Organigrama básico de personal 1990

**Residencia Jefatura.** En esta jefatura se llevaron a cabo las funciones mediante las cuales se normaron los procedimientos de construcción y se giraron instrucciones hacia el contratista a efecto de llevar a buen término la obra objeto del contrato, dentro del marco de ley de obras públicas y fue responsabilidad de la jefatura el coordinar la supervisión en todas y cada una de las etapas constructivas.

**Apoyo técnico.** Este grupo de apoyo técnico se encargó de la conciliación de la obra ejecutada para elaborar los números generadores y su consecuente trámite, de la planeación y control de obra; de la programación y presupuestación, de tener oportunamente el diseño y planos constructivos, así como de la emisión de la información que se elaboraba en la residencia.

**Topografía.** Esta brigada tuvo la responsabilidad de efectuar la colocación de apoyos topográficos, de verificar los trazos, seccionamientos, nivelaciones, así como la medición y cuantificación de los avances de obra.

**Supervisión de obra.** La jefatura de supervisión de obra fue la responsable directa de verificar que el trabajo se realizara conforme a los requerimientos de los planos y especificaciones. Basado en la distribución y ubicación de las obras que requirieron tratamiento de la roca, se consideraron 3 grupos de supervisores, dos subterráneos y uno de superficie.

La responsabilidad de estos grupos fue la de verificar que las actividades en su frente se efectuarán dentro de lo establecido en las especificaciones, supervisando los procedimientos constructivos, la calidad y la producción.

La supervisión como miembro del equipo de construcción, desempeñó sus obligaciones de tal manera, que se convirtió en el promotor del avance de la obra.

Desde el inicio fue necesario familiarizarse con el programa de fechas clave y saber si el trabajo supervisado, encajaba dentro del programa completo.

Estos grupos de supervisores tuvieron la responsabilidad de estar disponibles en toda ocasión y bajo cualquier circunstancia para una revisión rápida y para dar el visto bueno si así se requería. En forma correspondiente, por supuesto, el contratista cumplía con la obligación de avisar con oportunidad que parte de la obra estaba lista para su inspección.

En julio de 1990 la dirección general, a través de la coordinación de proyectos hidroeléctricos reestructuró su esquema organizacional en un afán de optimizar recursos de manera que para el P.H. Aguamilpa, la residencia general agrupó su organización en tres residencias.

#### RESIDENCIA GENERAL

- RESIDENCIA DE OBRA CIVIL
- RESIDENCIA DE OBRA ELECTROMECANICA
- RESIDENCIA ADMINISTRATIVA

Conforme a esta estructura organizacional la residencia de galerías e inyecciones se fusionó a la jefatura de obras de contención integrada a la residencia de obra civil, por lo que la planeación de este frente para la supervisión se estableció conforme a dicha jefatura, quedando como supervisión del plinto, losa y galerías.

La planeación del grupo supervisor fue tomado en cuenta que la obra se ejecutaría bajo un programa acelerado, de manera que se cumplieran todas las actividades de supervisión en forma sistemática, modalidad que permitió generar toda la información suficiente en todas las actividades: ejecución estricta del proyecto basada en las especificaciones técnicas de construcción. ( Figs. 2.13 y 2.14 ).



Figura 2.13 Organigramma de personal 1991 - 1992



Figura 2.14 Organigramma de personal 1993

El periodo de ejecución para la construcción de galerías y sus tratamientos, contemplado en el programa original no fue ejecutado conforme al programa original; esto se debió a que algunos trabajos tenían que ejecutarse secuencialmente.

El plazo de ejecución de acuerdo a las bases de la convocatoria fue de 1882 días, el contratista en su oferta presentó una reducción de 180 días calendario sin alterar el monto de la proposición, este ofrecimiento fue revisado, evaluado y aceptado por C.F.E.

**Programa acelerado.** Este programa modificó los plazos de ejecución de los trabajos, los cuales estaban enfocados a realizar el cierre definitivo de los túneles de desvío en el mes de junio de 1993 y concluir los trabajos restantes después del cierre hasta el 31 de diciembre de 1993.

Los plazos de ejecución para las galerías y sus tratamientos quedó como sigue:

Galerías No 2,3,4,6 y 7 de abril de 1990 a febrero de 1993

Galerías No 5,8 y 9 de abril de 1990 a junio de 1993. ( Figs. 2.15 y 2.16 ).

Durante la construcción de la obra se implementaron controles de obra enfocados a mejorar el seguimiento de avances tales como: Control de obra

**Mecanismos de control.** Se establecieron formatos para reportar tres aspectos fundamentales:

- Las actividades
- Las ordenes de ejecución y
- La utilización de los recursos

En estos formatos se asentaron los sucesos ocurridos durante la ejecución y al final del trabajo; estos volúmenes se conciliaron y se firmaron de conformidad con el ejecutor, este procedimiento fue elemental ya que se respaldaron las estimaciones correspondientes.

**Avance de obra.** Este reporte se incluyó en el formato de actividades, se elaboró por turno y se emitió un concentrado semanal y otro mensual en los informes correspondientes.

**Revisión del programa.** Se efectuó semanalmente una revisión al programa, al cumplimiento de los compromisos y programación de actividades próximas; se levantaba una minuta en donde quedaban asentados los acuerdos.

**Bitácora de obra.** Este mecanismo de control interno de la obra fue utilizado como un medio de comunicación oficial entre el supervisor y el contratista, en ella se asentó todo lo que afectó el desarrollo de la obra y fue el elemento disipador de dudas y controversias que se presentaron durante la ejecución de la obra.

Además se contó con el apoyo en la supervisión de los siguientes departamentos en obra:

Geología de construcción

Mecánica de rocas

Mecánica de suelos

Laboratorio de concretos

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD GALERIAS Y TRATAMIENTOS P N AQUAMILPA, NAYARIT		PROGRAMA GENERAL		CLAVE DE PROGRAMA	
				13 Diciembre 1989	
PLANTEL					
SECCION					
ESTACION					
TRATAMIENTO					
FECHA DE INICIO					
FECHA DE TERMINACION					
ACTIVACION					
REVISION					

Figura 2.15 Programa original de galerías y tratamientos 13 diciembre de 1989

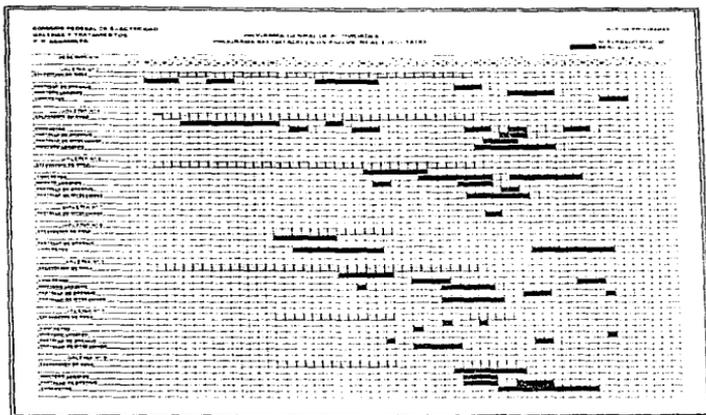


Figura 2.16 Programa acelerado VS real ejecutado.

### II.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

3.1 Excavación en las galerías. El procedimiento constructivo de las galerías fue el convencional utilizado en excavación de obras subterráneas, particularmente en túneles, cuyo ciclo de actividades básicos fueron:

- Instalaciones
- Trazo topográfico
- Barrenacion
- Carga y voladura
- Ventilación
- Amacize
- Rezagado

**Instalaciones.** Dentro de los preparativos para excavación se realizaron las instalaciones necesarias para la ejecución de los trabajos, tales como

- a) Subestación
- b) Aire comprimido
- c) Agua para barrenación
- d) Agua de infiltración
- e) Ventilación
- f) Oficina de campo
- g) Bodega y polvorín

a) **Subestación:** Se instaló una subestación de corriente alterna que proporcionó los voltajes de trabajo de los equipos y la iluminación del frente a base de cableado eléctrico de uso rudo y lámparas de cuarzo de 1,500 Wats a fin de asegurar la iluminación para todas la operaciones realizadas.

b) **Aire comprimido:** Se instaló un banco de compresores compuesto de dos compresores eléctricos estacionarios de 750 PCMI cada uno: A la salida de cada compresor se colocó un recipiente cilíndrico de alta presión con el fin de absorber las pulsaciones de la línea de descarga y almacenar el aire de manera que fuera suficiente a la demanda y sin variaciones a la presión de descarga.

La línea de conducción hacia el interior de la galería fue con tubería de acero de 4"  $\phi$ , con tomas a base de válvulas macho de bronce de 2"  $\phi$  equidistantes para los tratamientos posteriores.

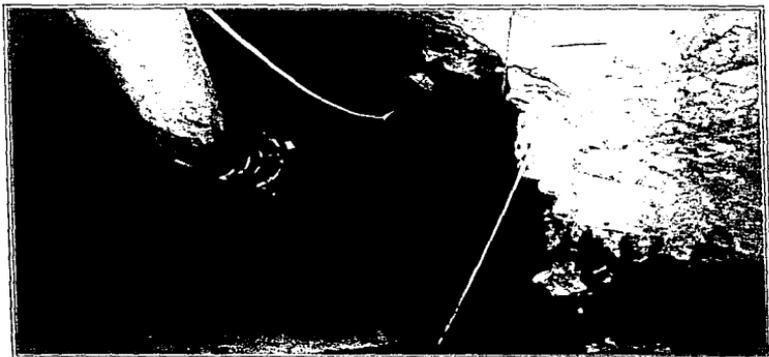
c) **Agua para barrenación:** Se instaló un deposito en la parte superior de cada portal a una altura tal que se tuviera la suficiente carga hidráulica para suministrar agua por gravedad a los equipos de barrenación para voladura y tratamiento de soporte: la línea de conducción hacia el interior fue de 2"  $\phi$  con tubería galvanizada.

d) **Agua de infiltración:** El manejo del agua de infiltración se realizó de la siguiente manera: En los frentes con pendiente favorable a la excavación, se manejó el agua por medio de cunetas donde el escurrimiento fue a gravedad mientras que con pendiente desfavorable se manejó mediante bombeo, por medio de bombas neumáticas " becerros " con descarga de 2"  $\phi$  conectados a una línea de tubería de 2"  $\phi$  y descargando al exterior del túnel.

e) **Ventilación:** La ventilación de la galería fue por medio de ventiladores de 36"  $\Phi$  equipados con dos motores eléctricos de 20 H.P cada uno, instalados en el portal y que llevaron el aire al interior mediante tubos flexibles de 36"  $\Phi$ . ( Fig. 2.17 a y b ).



Figura 2.17 a) Equipo de ventilación empleado en las galerías, también se aprecia el rezagador minero "TORO 400 D"; el cual transporta el concreto al sitio de colado para su respectiva colocación.



**Figura 2.17 b)** Equipo de ventilación empleado en las galerías, este ventilador colocado en el interior de la galería es empleado para introducir aire fresco y limpio, así como para desalojar los gases durante las voladuras.

**f) Oficina de campo:** Con el propósito de tener al día la documentación de todos los trabajos ejecutados y en vía de ejecución, se requirió por parte del contratista instalar una oficina de campo cerca del lugar donde se ejecutarían los trabajos.

**g) Bodega:** Fue necesario instalar una pequeña bodega de campo con el fin de almacenar los materiales, herramienta y equipo de uso diario tales como: mangueras de alta presión, conexiones para mangueras, válvulas, nipples, palas, picos, carretillas, barretas, fíneros, barras de perforación, perforadoras de pierna, piernas neumáticas, explosores, etc.

**Polvorín:** Por las grandes cantidades de explosivos a utilizar no solo en la excavación de las galerías, sino en la excavación de toda la obra, se requirió contar con instalaciones adecuadas para el almacenamiento y manejo de todos los explosivos: se construyó un " Polvorín " alejado del sitio de la obra, fuera de toda línea de energía eléctrica o de cualquier, otra vía de energía, se llevó un estricto control para el retiro de materiales explosivos, ya que se pedía el diagrama de carga de los barrenos mediante una orden de voladura para retirar solamente lo de la voladura.

**Trazo topográfico.** El control topográfico para la excavación fue por cada voladura realizada, teniéndose que marcar antes de barrenar el eje, la sección a la pendiente de acuerdo al proyecto, además de los barrenos de la cuña, costureo, tabla y piso de acuerdo al procedimiento constructivo autorizado.

Para el control diario de avance de la excavación siempre se marcó el cadenamamiento anterior en la pared del túnel, al efectuar la siguiente voladura se cadeneaba para sacar el cadenamamiento de avance y con ello resultaba la longitud excavada.

Para fines de pago se exigía a la contratista realizar las secciones de la excavación a cada 2 m de distancia, las cuales tenían que librar la sección de proyecto para el pago correspondiente, además de evaluarse geológicamente y determinarse las causas de la sobreexcavación del túnel, que resultaban tanto imputables a la contratista como a problemas geológicos del terreno (Fig. 2.18).



Figura 2.18 Trazo topográfico en el interior de las galerías para cuidar el alineamiento, la dirección y poder calcular el volumen de esa voladura, así como llevar un buen control de avance de obra.

**Barrenación.** La barrenación se realizó con dos perforadoras de pierna, neumáticas del tipo BBC - 35 y 283 F marca atlas copeco ( Fig. 2.19 ), utilizando acero integral de 35 mm de las siguientes medidas. ( tabla 1 ).

ACERO INTEGRAL EN (M)	S E R I E
0,80	11
0,80	12
1,60	31
1,60	12
2,40	11
2,40	12

Tabla 1 Acero integral de 35 mm para barrenación



Figura 2.19 En la gráfica se aprecian los barrenos de acuerdo a la plantilla de barrenación seleccionada. Generalmente en el frente de barrenación se contó con más de dos máquinas perforadoras, esto es con la finalidad de cubrir alguna posible descompostura y no perder tiempo al ir por otro equipo al almacén.

En la siguiente tabla ( Tabla 2 ) .y la ( fig. 2.20 ) se dan los datos generales de una galería tipo

DATOS GENERALES DE GALERIA	LINEA "A"	LINEA "B"
ANCHO DE LA SECCION	3.20 M	3.60 M
ALTURA DE LA SECCION	3.60 M	4.00 M
AREA PROMEDIO (A + B)/2	11.71 M <sup>2</sup>	13.01 M <sup>2</sup>
LONGITUD DE BARRENACION	2.40 M	
DIAMETRO DE BARRENACION	35.0 mm	
No TOTAL DE BARRENOS	46 PZAS	
LONG. TOTAL DE BARRENACION	110.40 M	

Tabla 2 Datos generales de una galería tipo

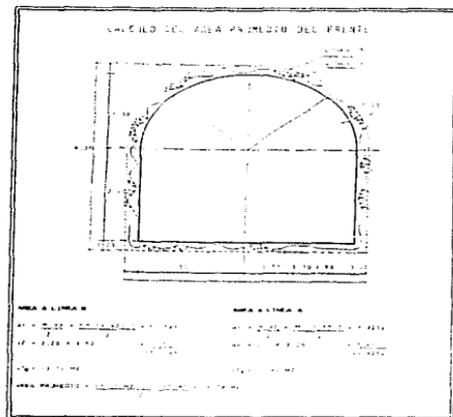


Figura 2.20 En esta figura se aprecian los datos generales de una galería tipo

La plantilla de barrenación en una obra subterránea como es el caso de los túneles y en particular en una galería es muy importante tener en cuenta que el frente tiene únicamente una cara de salida, por lo que el diseño de la cuña debe cubrir el requerimiento de una salida perfecta, así como una buena fragmentación.

La selección de la cuña para la plantilla depende principalmente del tipo y grado de alteración de la roca, dimensiones de la sección, diámetro de barrenación y equipo de rezagado, entre otras.

Tomando en cuenta todos estos parámetros se hicieron varias pruebas para la cuña mas apropiada, y con la que se obtuvieron mejores resultados, esta fue la cuña quemada y en la cual todos los barrenos son paralelos entre si perpendiculares a la cara de la sección, se utilizo una cuña quemada cuadrada con dos barrenos de 3"  $\varnothing$  vacíos y 4 de 1 3/8"  $\varnothing$  cargados. En general la plantilla de barrenación fue ajustandose de acuerdo a las condiciones de la roca y a los resultados obtenidos durante la excavación, utilizándose por lo general la plantilla de la ( Fig. 2.21 ).

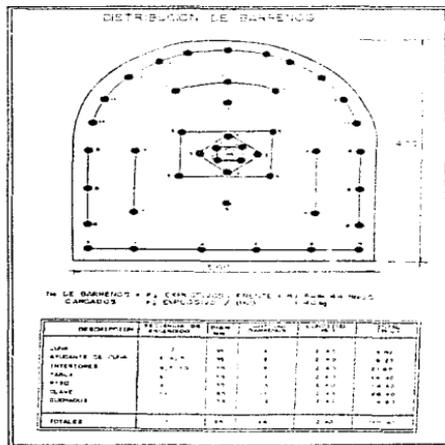


Figura 2.21 Distribución de barrenos de la frente.

Por las dimensiones de la galería el procedimiento para la barrenación fue no utilizar más de 2 perforadoras ya que una más causaba interferencias en las maniobras de las demás; en la barrenación por lo general, no se utilizó andamiaje para realizar la media sección superior barrenando los de la clave y los interiores superiores, después se continuaba con los quemados, cuña, ayudantes de cuña, tabla y al final los barrenos de piso. ( Fig. 2.19 ).

Para realizar un barreno de 2.40 m ya sea de tabla, cuña o piso, etc. fue muy importante tomar en cuenta la pendiente de proyecto ya que cada barreno aportaría la misma inclinación de la pendiente cuidando el alineamiento de la galería, y para ello fue necesario recurrir a 3 pasos:

Se iniciaba la barrenación utilizando el acero integral de 0.80 m para emboquillar el barreno y avanzar 0.80 m.

Se reiniciaba la perforación con el acero integral de 1.60 m introduciéndolo en el barreno de 0.80 m, hasta concluir 1.60 m.

Finalmente se continuaba la barrenación con el acero integral de 2.40 m hasta concluir el barreno.

Al concluir la barrenación se realizaba la limpieza de cada barreno a base de sopleteo con chiflón de aire y agua hasta desalojar los detritos producto del recorte de la barrenación.

Esto con el único fin de facilitar la colocación de la carga explosiva. ( Fig. 2.22 ).

MANO DE OBRA	CANTIDAD
SOBRESTANTE	12
CABO DE OFICIOS	12
PERFORISTA	2
AYUDANTE DE PERFORISTA	2
COMPRESORISTA	1

Plantilla de personal utilizado para la barrenación.

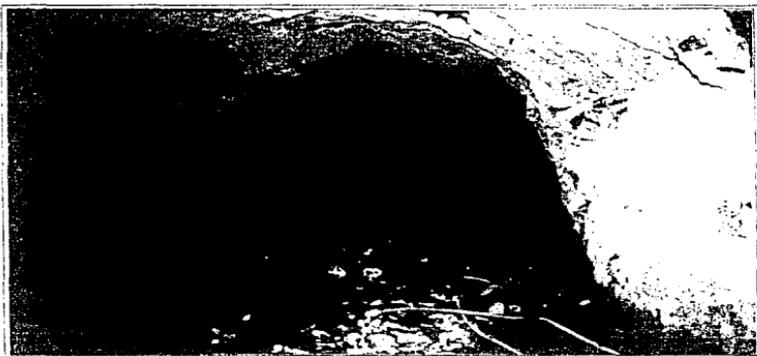


Figura 2.22 Sopleteo del barreno con chiflón de aire y agua.

Carga y voladura. Posterior a la barrenación y el lavado de los barrenos se realiza la carga explosiva a cada barreno a excepción de los de alivio quemado o vacíos. (Fig. 2.23).



Figura 2.23 en la grafica se aprecia como se realiza el carga de los barrenos de piso

Fue necesario disponer de los materiales principales para realizar la carga explosiva del frente tales como:

Fainero ( madera circular de 3 m X 1 1/4"  $\phi$ )  
Alambre del circuito TW - 20 y TW - 14  
Cartuchos de Hidrogel de 1"  $\phi$  y 8" de longitud

Agente explosivo Anfo (explosivo de baja densidad)

Iniciadores o detonadores eléctricos

Cordón detonante primacord

Además se requirió de algunos equipos básicos para la voladura como son los siguientes:

Máquina explosora

Ohmetro

Multímetro

#### **Características de los materiales principales**

**Fainero.** El fainero consiste en una barra de madera de sección circular de 3.0 m X 1 1/4"  $\phi$ , generalmente se utiliza en la carga explosiva de cada barreno para introducir los cartuchos hacia el fondo del barreno y compactarlo sin que el cartucho se rompa, además por seguridad para no crear chispa que ocasione el inicio de la voladura.

La selección del explosivo adecuado se determina en base a las condiciones de trabajo, ya que existen explosivos con diferentes propiedades para cubrir varios propósitos.

Los explosivos comúnmente utilizados en ingeniería civil se clasifican en dos tipos:

**Altos explosivos**

**Agentes explosivos.**

**Los altos explosivos:** Se caracterizan por tener una alta velocidad de detonación, una alta presión de detonación y por ser muy densos. A lo largo de su evolución se pueden distinguir tres generaciones. la primera estuvo regida por la utilización de las dinamitas cuyo agente sensibilizador es la nitroglicerina, posteriormente aparecieron los hidrogel.

sensitivizados por TNT, y la última generación de los altos explosivos se rige por las emulsiones explosivas cuyo agente sensitivizador son unas microesteras de plástico o vidrio.

La sensibilidad de un explosivo se refiere a su facilidad para ser iniciado, las emulsiones tienen una baja sensibilidad y en el aspecto de seguridad esto es muy importante, considerando que la manipulación de estos materiales se realiza cotidianamente en el proceso de excavación, lo anterior es una de las principales razones por lo que la emulsión ha desplazado con facilidad a sus predecesores, además de su gran capacidad para resistir el contacto con el agua.

La emulsión está compuesta por una solución de hidrato de amonio y otros oxidantes, su consistencia es muy similar a la plastilina y se encartuchan mediante una delgada película plástica. ( Fig. 2.24 ).

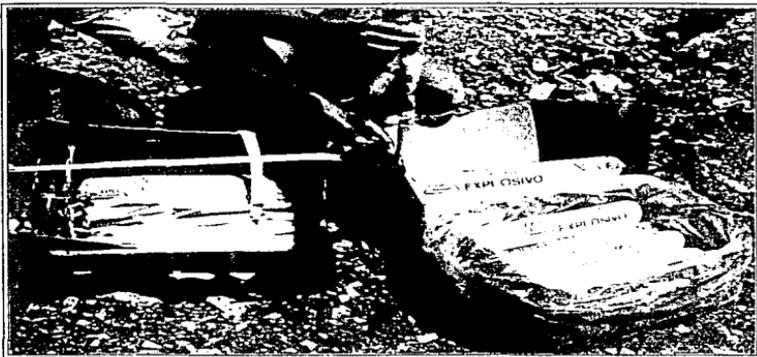


Figura 2.24 Emulsión, alto explosivo empleado en voladuras.

Los agentes explosivos, son combinaciones de combustibles y oxidadores, que no son explosivos. Su principal característica es su baja sensibilidad, por lo cual es necesario emplear un iniciador de alta potencia para su detonación.

**Hidrogel:** Es un explosivo de consistencia de una gelatina compuesto por sales de amonio y sodio, se identifica por su apariencia plateada debido a su contenido de grado fino de aluminio.

**Anfo ( ammonium nitrate - fuel oil )** : Es el agente explosivo típico, está constituido por una mezcla de nitrato de amonio granulado y combustóleo, su velocidad de detonación es de 2.000 m/s aproximadamente, debido a su insensibilidad es posible manejarlo a granel y así depositarlo en el barreno aprovechando mejor el espacio de barrenación.

Los barrenos que contienen humedad no deben ser cargados con Anfo sin empacar, por que el agua rápidamente disuelve y desensibiliza debido a la poca resistencia al agua, este producto es empacado en sacos de 25 kg., en papel " smkraft " con una cubierta interna de hule para protegerlo contra el agua.

**El Hidrogel y el Godyne S. D** (diámetro pequeño) consistió en cartuchos de tubo de plástico de 1"  $\phi$  y 8" de longitud, empacados en cajas de carton de 25 kg. netos.

DIAMETRO	LONGITUD	PESO POR CARTUCHO	OBSERVACIONES	
25 mm	203 mm	120 gr.	DENSIDAD VELOCIDAD RESISTENCIA AL AGUA	1.10 GRS/CC 4,800 M/SEG EXCELENTE

**El Anfo mex** (baja densidad) es un agente explosivo de baja densidad, que proporciona una excelente fragmentación en rocas de mediana dureza, ya que reunió todas las características principales de los agentes explosivos, fluyó perfectamente por cargadores neumáticos y se compactó perfectamente dentro del barreno.

Densidad = 0.79 a 0.83 grs./cc cargado neumáticamente

Velocidad = 1.800 m/seg.

Iniciadores o detonadores utilizados, en lo referente al sistema de detonación, cabe destacar que la utilización del nonel ha desplazado al estopin eléctrico, ya que su conexión es más rápida y confiable, y en el aspecto de seguridad supera totalmente al iniciador eléctrico.

El nonel es completamente inmune a las descargas eléctricas, su funcionamiento es muy similar al estopin eléctrico, pero en el nonel se sustituyen los alambres por un tubo de plástico que contiene un material reactivo, a través del cual es transmitida una onda de choque hasta el elemento detonador.

Los utilizados en los frentes de las galerías fueron iniciadores eléctricos que bien puede ser alterna o directa, que va desde la fuente de poder a través de los alambres del circuito hasta el estopin eléctrico.

Los estopines utilizados son los siguientes (Tabla 3).

Tabla 3 Iniciadores o detonadores eléctricos

TIEMPO CORTO MILISEGUNDOS (ms)	No	TIEMPO LARGO RETARDO (ms)
<b>INSTANTÁNEO</b>		
25	0	250
50	1	500
75	2	1000
100	3	1500
125	4	2200
150	5	3000
175	6	3800
200	7	4600
250	8	5500
300	9	6400
350	10	7800

ms = Estopines de milisegundos acudet mark. v

**Cordón detonante.** Es un dispositivo no eléctrico cuyo objeto principal es el de iniciar los explosivos comerciales, se puede describir como una cuerda flexible muy resistente con un núcleo de explosivo llamado pentrita, proporcionó una gran seguridad al personal de voladuras. Este producto fue relativamente insensible y requirió de un detonador No 6 en su iniciación. Su velocidad fue de 6400 Mm/seg.

En resumen los materiales usados para la excavación de las galerías fueron: Como alto explosivo, emulsión; el año se uso como agente explosivo y el sistema de noneles con cordón detonante como iniciador del alto explosivo; También se utilizó el estopin eléctrico.

**Máquina explosora . Ohmetro y Multímetro.**

La máquina explosora fue utilizada para realizar el disparo de los estopines en una sola serie o más.

El Ohmetro se utilizó para medir la resistencia en ohms del circuito de voladuras, determinando:

Si los alambres del puente de un estopin en posibilidades de funcionar y conocer la continuidad del circuito.



A continuación se colocó el agente explosivo supermexamon en cantidades de acuerdo al diseño. Finalmente se colocó un " Taco " de tierra arcillosa, compactada hasta el brocal del barreno.

Esta operación fue repetitiva en los barrenos de piso, clave, tabla, interiores, cuña y ayudantes con la excepción de los barrenos de cuña no se les colocó mexamon.

Cabe señalar que en todos los barrenos se colocó cuando menos un estopin a excepción de los barrenos vacíos o quemados, una vez concluidas las operaciones se revisaba el diagrama de encendido, chequeando las líneas con el Ohmetro y el Multímetro y si no había problemas se colocaba la línea de voladura con alambre TW - 14 del frente hasta la máquina explosora y se realizaba el disparo o detonación. El personal empleado para esta operación es el mostrado en la tabla siguiente ( tabla 4 ).

MANO DE OBRA	CANTIDAD
SOBRESTANTE	1/2
CABO DE OFICIOS	1/2
POBLADOR	2
AYUDANTE DE POBLADOR	2
TOTAL PERSONAL	6

Tabla 4 Personal empleado para la revisión de voladura

**Ventilación :** En el portal de cada galería se instaló un ventilador de 36"  $\phi$  con motor recíprocante de 25 H.P. a medida que avanzaba la excavación, era necesario prolongar el ducto de ventilación, en algunos casos se requirió instalar ventiladores intermedios dependiendo de las longitudes excavadas, con el objeto de mantener en circulación un volumen de aire suficiente en el frente de la excavación. Durante la excavación la ventilación jugó un factor muy importante integrada al ciclo de trabajo, ya que de ella dependía la reanudación de los trabajos. Una vez realizada la voladura se generan gases tóxicos como el monóxido de carbono, C O, y óxido de nitrógeno, N O producto de la descomposición del agente explosivo, por tal motivo es necesario esperar a que desalojen estos gases, para ayudar a que estos se retiren rápidamente es necesario contar con un buen sistema de ventilación. Logrando así disminuir el tiempo muerto provocado por los tiempos de espera.

**Amacize :** Después de cada tronada, es muy común encontrarse en el frente de excavación lascas o fragmentos de roca, adheridos a las paredes y la bóveda de la galería, manteniendo un estado de equilibrio inestable, el desprendimiento de estos fragmentos, constituye un gran riesgo para los trabajadores, si no son retirados oportunamente; para lograr lo anterior es necesaria una labor de amacize del frente de trabajo, que consiste en desprender deliberadamente estos fragmentos de roca mediante el uso de barretas

**Soporte del macizo rocoso :** El soporte del macizo rocoso es una medida de seguridad tanto para la etapa constructiva, como para una forma definitiva según sea el fin del frente a excavar, ésta operación se realiza inmediatamente después de cada voladura, o bien cuando se realizaron más de dos voladuras dependiendo de las condiciones geológicas y propiedades mecánicas de la roca.

Para el soporte de la bóveda de las galerías se consideraron anclas de fricción y de tensión, en ambos casos la distancia entre el frente de excavación y de anclas efectivo, se fijó a una distancia que no sobrepasará los 20 m, considerando como frente de anclaje efectivo aquel en el que ya estaban inyectadas las anclas.

Las anclas de tensión fueron para proporcionar soporte inmediato en zonas que lo requerían y consisten en varillas corrugadas de 6 m de longitud y de 1"  $\phi$ .

Las de fricción consisten en varillas corrugadas de la misma longitud y calidad de acero que las de tensión.

Para la perforación se emplearon perforadoras de pierna neumática del tipo BBC - 35 marca atlas copco. Para la perforación se utilizó el diámetro compatible como se muestra en la siguiente tabla. (Tabla 5).

O VARILLA EN PULGADAS	TIPO DE RELLENO	$\phi$ BARRENO EN PULGADAS
3/4 "	MEZCLA DE CEMENTO	1 1/2 "
3/4 "	RESINA EPONICA	1 1/8 "
1 "	MEZCLA DE CEMENTO	2 1/4 "
1 "	RESINA EPONICA	DE 1 3/8 A 1 1/2 "
1 1/4 "	MEZCLA DE CEMENTO	2 1/4 "
1 1/4 "	RESINA EPONICA	DE 1 3/4 A 1 7/8 "
1 1/2 "	MEZCLA DE CEMENTO	3 "

Tabla 5 Diámetro de varilla y tipo de barreno

El procedimiento normal de un anclaje consta de lo siguiente

- Perforación y limpieza del barreno
- Preparación y colocación del ancla
- Preparación de la mezcla e inyección
- Tensado del ancla ( para anclaje de tensión )

**Limpieza del barreno:** Al terminar de perforar el barreno, este es lavado con agua para desalojar los detritos producto de la perforación hasta que el agua retorna limpia por el carril.

Una vez terminada la limpieza se coloca el ancla, cuando se realizaban varias perforaciones al mismo tiempo era necesario lavar bien con agua y sopletear para garantizar una buena adherencia entre el barreno y la mezcla o resina epoxica, según el caso.

**Preparación del ancla:** La preparación del ancla depende esencialmente del tipo es decir de fricción o de tensión y también esta en función del tipo de material empleado para su fijación, así como de su diámetro y longitud del ancla.

Como ya se dijo las anclas son de varilla corrugada de  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  y el diámetro se ajusta a los requerimientos de diseño indicados en la. ( Tabla 5 ).

**Limpieza del ancla:** Las varillas utilizadas para el anclaje debían estar exentas de escamas de óxido, materia orgánica, aceite, etc. Para evitar estas contaminaciones se hizo necesario contar en el tramo con bancos o bases para colocar la varilla e impedir que estuviera en contacto directo con el piso.

**Centradores:** Son de alambren de 3/8"  $\phi$  y 10 cm de longitud y se colocaron en secciones de 3 pzas a cada 120" con separación entre secciones de 2 m, la primera sección se colocó a 1 m de la parte de la varilla que va al fondo del barreno. ( Fig. 2.26 ).

En el anclaje fijado con resina epoxica se eliminaron dichos centradores debido a las maniobras para introducir la varilla.

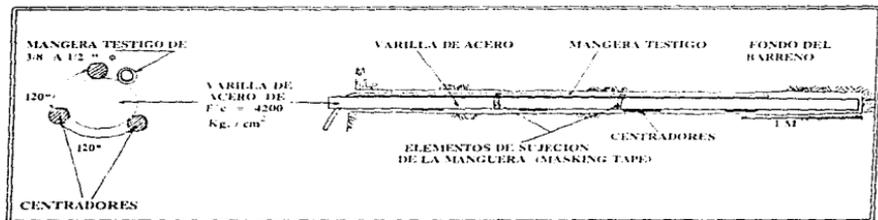


Figura 2.26 Centradores de alambren para las anclas y manguera testigo

**Anclaje fijado con mezcla de cemento :** La varillas a demás de contar con las características descritas anteriormente, también requería de los siguientes aditamentos:

**Manguera testigo :** Es una manguera flexible de 3/8 " a 1/2 "  $\phi$  como máximo, esta se coloca a todo lo largo del ancla a partir de 1.0 m antes de llegar a la punta que va al fondo del barreno. La función de esta manguera es la de desalojar el aire del barreno al ir penetrando la mezcla hasta que fluya por la manguera al exterior, garantizando de este modo el llenado del barreno. ( Fig. 2.27 ).



Figura 2.27 En la gráfica se observa como penden del techo la manguera testigo y la manguera de inyección

**Anclas de tensión :** A las anclas de tensión, se les añadió un birlo de 20 cm y  $F_y = 6.000 \text{ kg/cm}^2$  soldada al ancla mediante soldadura E7018, con puntas biseladas a  $45^\circ$  y con una raíz de 3 mm ( Fig. 2.28 ).

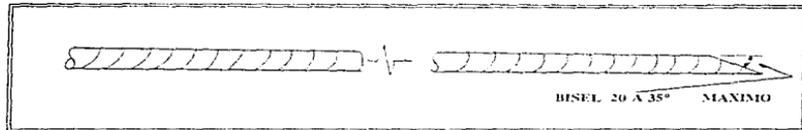


**Figura 2.28** Anclas de tensión, birlo roscado ( preparación de anclas )

Como complemento del anclaje de tensión, se contaba con placas de asiento de  $20 \times 20$  cm  $1/2$  " de espesor de acero, que se colocaron al efectuar la operación de tensado.

**Anclaje fijado con resina epoxica :** Cuando se ejecutaba el anclaje con resina epóxica para la fijación de anclas de fricción o anclas de tensión, se ejecutaban trabajos adicionales a la varilla.

**Punta biselada :** En la parte que va al fondo del barrenado se bisela la punta de la varilla, esto es con la finalidad de facilitar la introducción de la misma en el barrenado con los cartuchos de resina epóxica, los cuales se van rompiendo. El bisel es de  $30$  a  $35^\circ$  máximo. ( Fig. 2.29 ).



**Figura 2.29** Ancla con punta biselada

**Cruceta de varilla o placa de acero :** Estos aditamentos se soldaron en el extremo de una varilla, que quedaba fuera del barreno y tubo la finalidad de permitir la rotación de la varilla, y así mezclar la resina epóxica para que iniciara el endurecimiento. ( Fig. 2.30 ).

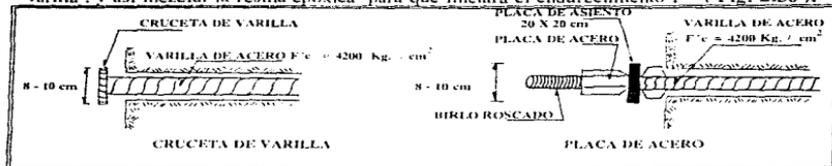


Figura 2.30 Preparación de anclas a fijar con resina epóxica

**Colocación del ancla :** Las anclas de fricción, como de tensión, quedaban con 10 y 15 cm fuera del barreno con los fines siguientes.

**Fricción :** Calafatear la boca del barreno con el ancla para efectuar la inyección .

**Tensión :** Tensar el ancla y tener una distancia apropiada para contar con una base de mortero seco donde apoyara la placa de asiento. ( Fig. 2.31 ).

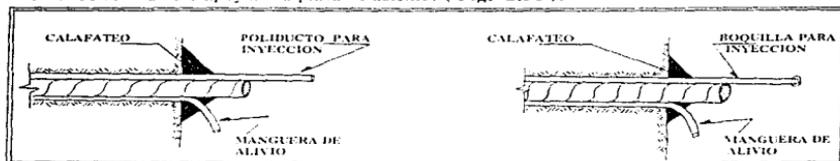


Figura 2.31 Calafateo e inyección de anclas de fricción y de tensión

**Preparación de mezclas de inyección :** El procedimiento de preparación de mezclas de cemento para inyección, tuvo gran relevancia para el proceso de anclaje, dado que la buena preparación y dosificación de la mezcla depende que el anclaje trabaje con eficiencia.

Para las mezclas de cemento utilizadas en la inyección de anclas, se utilizaron básicamente 4 elementos: agua, cemento, arena y aditivos.

**Agua :** el agua debía estar limpia, libre de polvo, aceite o materia orgánica, el contenido de sales era como máximo, de .01 % de sulfatos y 0.5 de cloro. Para almacenar el agua se utilizaron recipientes libres de óxido, para lo cual se pintaron los recipientes interiormente con pintura vinílica.

**Cemento:** El cemento empleado fue del tipo I puzolánico, libre de humedad o parcialmente fraguado, sin grumos, con temperatura máxima de 35° C y con una edad no mayor de 30 días, para garantizar lo anterior fue necesario contar con almacenes especiales.

**Arena:** La arena empleada en la mezcla es aquella que pasaba la malla No 16 y una humedad de 3 a 5 % y que estuviera libre de impurezas.

**Aditivos:** Los aditivos fueron empleados para disminuir los tiempos de excavación-anclaje.

La resistencia a compresión simple alcanzada sin aditivos lleva un tiempo de 28 días, mientras que con aditivo, este tiempo se reduce a 7 días.

Al emplear aditivos se garantiza una buena fluidez de la mezcla, reducción de agua, agrietamiento excesivo y tiempo de fraguado inicial. Los aditivos empleados en la preparación de mezcla se ven en la. ( Tabla 6 ).

MARCA	PRODUCTO	PRESENTACION	DOSEIFICACION	USO
SIKA	SIKACRETE	LIQUIDO LIGERAMENTE AMARILLO	1 A 5 % DEL PESO DEL CEMENTO	MORTERO
FESTER	FESTERMIN	LIQUIDO		MORTERO
IMPERQUIMIA	QUIMICRETE	LIQUIDO CAJÉ CLARO	1 A 5 % DEL PESO DEL CEMENTO	MORTERO
SIKA	INTRAPLAST	POLVO BLANCO	1 % DEL PESO DEL CEMENTO	LECHADA Y MORTERO

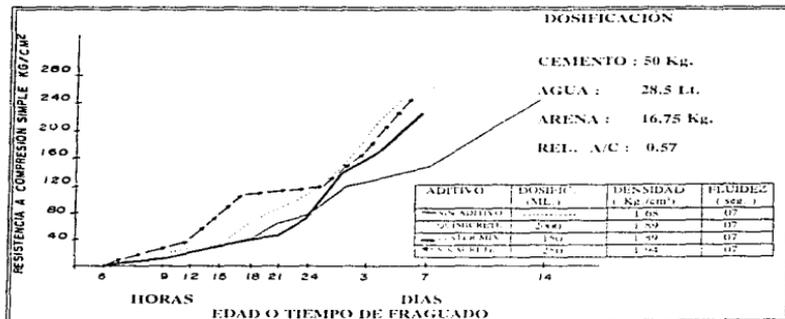
Tabla 6 Aditivos utilizados en las mezclas para anclaje

El modo de empleo es agregar el aditivo al agua, posteriormente el cemento y el agua

**Mezclas de inyección:** Se estudiaron en el laboratorio dos mezclas base para la inyección de anclas, los resultados se muestran a continuación. ( tabla 7 y 8 ).

CEMENTO TIPO I MARCA APASCO	
DOSIFICACION BASE	PARAMETROS FISICO
AGUA 28.5 Lt.	FLUIDEZ PREPAKT 0.7 seg.
CEMENTO 50.0 Kg.	DENSIDAD 1.89 - 1.94 Kg. / cm <sup>3</sup>
ARENA 16.75 Kg.	R. C. S EN FUNCION DEL ADITIVO
ADITIVO SEGUN EL PRODUCTO DEL QUE SE TRATASE	VER GRAFICA I

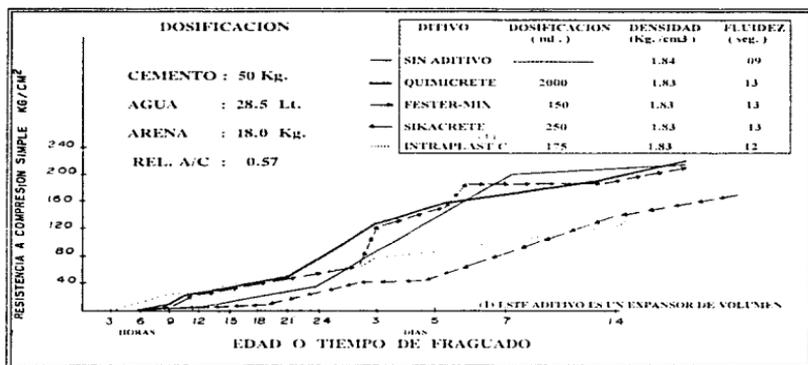
Tabla 7 Resultado de mezclas ensayadas en laboratorio con cemento Apasco.



Gráfica I Resistencia a compresión simple de morteros para anclaje, utilizando cemento Apasco tipo I y diferentes aditivos ( acelerantes )

CEMENTO PUZOLANICO MARCA GUADALAJARA	
DOSIFICACION	PARAMETROS FISICOS
AGUA : 28.5 Lt.	FLUIDEZ PREPAKT : 11 - 13 Seg.
CEMENTO : 50.0 Kg.	DENSIDAD : 1.8 A 1.9 gr./cm <sup>3</sup>
ARENA : 18.0 Kg.	R.C.S : VER GRAFICA II

Tabla 8 Resultado de mezclas ensayadas en laboratorio con cemento Guadalajara



**Grafica II Resistencia a compresión simple de morteros para anclaje utilizando cemento Guadalupe puzolánico, tipo I y diferentes aditivos**

**Inyección de la ancla:** Una vez preparada y aceptada la mezcla de inyección se procede a inyectar o rellenar el carril propiamente dicho. Para lo cual previamente se habilitó el barreno para ser inyectado.

La habilitación del barreno consiste en la colocación de la boquilla de inyección o en su defecto el uso de poliducto de 3/4"  $\phi$ , con una longitud de 35 cm, de los cuales 10 cm estaban conectados al barreno y fijados mediante una mezcla de cemento, yeso y agua que se utilizó para el calafateo en la boca del barreno. ( Fig. 2.31 ).

Una vez calafateado el barreno y colocada la boquilla o poliducto para inyección, se enviaba la mezcla de cemento a presión, para lo cual se contaba con un recipiente presurizado o inyector y líneas de inyección (mangueras) conectadas a la boquilla, dejando fluir la mezcla hasta ser llenado por completo el carril.

Para evitar problemas al realizar la inyección por obstrucción en la conducción de la mezcla del recipiente, se tomaban las siguientes medidas de seguridad.

- 1.- Se limitó la distancia del recipiente al barreno a 40 m máximo
- 2.- Mojar las líneas de conducción al inicio de los trabajos y lavar cuando no haya continuidad en la inyección.
- 3.- Evitar ondulaciones en la manguera y en el caso de existir diferencias en elevaciones, tratar de mantener una sola pendiente.

**Equipo de inyección:** Para esta operación se requirió de los equipos de inyección fabricados expresos, el cual consistía en un recipiente presurizado o satélite en donde se introduce la mezcla y se aplicaba aire comprimido conduciéndolo hasta el barreno mediante mangueras de alta presión. ( Fig. 2.32 ).

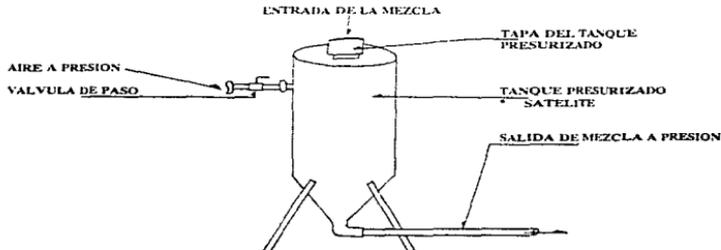
Los consumos de inyección de mezclas de cemento es el que a continuación se presenta, en zonas donde la roca estaba alterada se presentaban consumos de hasta un 15 %

	ANCLAS		BARRENOS	
DIAMETRO	1 1/2 "	2 1/4 "	2 1/2 "	3,0 "
ANCLAS	3,81 cm	5,71 cm	6,35 cm	7,62 cm
3/4 "	1,9 cm	0,9 Lt/m	2,3 Lt/m	2,9 Lt/m
1,0 "	2,54 cm	_____	2,1 Lt/m	2,71 Lt/m
1 1/4 "	3,17 cm	_____	1,8 Lt/m	2,41 Lt/m
2 1/2 "	3,81 cm	_____	_____	_____

Tabla 9 Volumen de inyección de mezcla de cemento para anclaje

**ANCLAJE FIJADO CON RESINA EPOXICA:** Para alcanzar la resistencia a compresión simple de 180 kg/cm<sup>2</sup>, en mezclas se requiere de 28 días sin usar aditivos, y con resina epóxica se requiere de 9 a 26 minutos y de 12 minutos en promedio, permitiendo con esto disminuir en tiempo los ciclos de excavación y evitar la espera de 9 a 12 horas para el fraguado de la mezcla y el reinicio de la excavación.

Para el proceso de fijación de anclaje con resina epóxica, se contó con equipo de perforación de roto-percusión (Track - Drill ) marca ingersoll rand.





**Figura 2.32** Equipo de inyección utilizado para la inyección de anclas

Para la colocación de las anclas se siguieron básicamente tres pasos:

1.- Se introducen los cartuchos de resina epóxica, los cuales deben ser compatibles en el diámetro con el barreno y la varilla (ancla) Ver Tabla 5. Se deben introducir los cartuchos en grupos de 2 a 3 piezas, seguidas de una arandela que impida el regreso de los mismos (este procedimiento sólo se aplica en barrenos de inclinación ascendente o vertical), dicha arandela era de plástico y diámetro de  $1/8$  " mayor al diámetro del barreno.

La cantidad de cartuchos por barreno para asegurar un llenado completo del carril dependía de las dimensiones de cartuchos y barreno. En obra se manejó resina epóxica de  $1\ 9/16$  "  $\phi$  x  $12$  " de longitud, barrenos de  $1\ 3/4$  " hasta  $2\ 1/4$  "  $\phi$  requiriéndose de 3.3 salchichas por metro en promedio.

Para hacer llegar la resina epóxica al fondo del barreno se usó un fainero al igual que en la carga de explosivos, pero cuidando de no romper los cartuchos, ya que esto representaría un alto riesgo de perder el barreno si ocurría a una profundidad intermedia.

2.- Una vez lleno el barreno con la resina, se introdujo la varilla hasta el fondo, empujando y rotando la ancla, acelerando con esto el mezclado de la resina epóxica y su activador de endurecimiento; esta operación se realizó en forma continua hasta llegar al fondo del barreno, una vez que el ancla llegaba al fondo se continuaba rotándola por un período mínimo de 20 segundos, y máximo de 50 segundos.

3.- Terminado el proceso de rotación se procedió a retener el ancla (en barrenos verticales o ascendentes) por un lapso mínimo de 2 minutos, siempre y cuando se haya colocado resina de fraguado rápido al fondo, y en el caso de haber utilizado resina de fraguado lento era necesario permanecer de 10 a 12 minutos sosteniendo el ancla, pero generalmente se emplearon cuñas de madera para asegurar que el ancla no deslizara hacia afuera del barreno; esta maniobra se realizaba en un tiempo de 3 a 8 minutos.

En la colocación de anclas horizontales o descendentes no se colocaron arandelas, pero si se requería que el barreno estuviera libre de agua para poder introducir la resina epóxica.

**Anclaje de tensión :** La preparación de las anclas de tensión, ya sea de inyección de mezclas de cemento o resina epóxica, ya se explicó con anterioridad. Posterior a su colocación y fijación del barreno, se preparó la parte superficial del terreno con una base cuadrada de mortero seco como se mostró. ( Fig. 2.33 ).

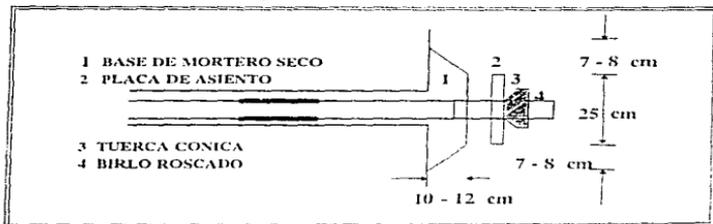


Figura 2.33 Preparación de mortero en salida del barreno

Una vez hecha la base de mortero, se procedía a colocar una placa de acero de 1/2 " de espesor de 20 x 20 cm, que se apoya contra la base mediante una tuerca cónica, compatible con el birlo roscado del ancla.

El tensado se ejecutó con torquímetro y pistola neumática. las anclas se tensaron a 16 toneladas después de una hora

El anclaje se realizó de 4 X 4 en tres bolillo y a diferentes profundidades dependiendo de lo alterado de la roca.

**Rezagado :** Esta actividad se realizó inicialmente con un cargador neumático de 1 yd<sup>3</sup>, pero posteriormente se cambió por un rezagador tipo minero " TORO 400 - D " ya que una vez que se profundizó la excavación de las galerías, se requería que el equipo de rezagado hiciera maniobras en el interior para hacer más rápido el rezagado, para tal fin se construyeron nichos a cada 100 m. con dimensiones de 4 X 4 m.

La rezaga producto de las excavaciones fue utilizada en la formación de la cortina.

RECURSOS UTILIZADOS EN LA EXCAVACION DE GALERIAS			
PLANTILLA DE PERSONAL POR TURNO		EQUIPO UTILIZADO	
SOBRESTANTE	1	REZAGADOR TIPO MINERO	1
CABO DE OFICIOS	1	COMPRESOR ELÉCTRICO 750 PCM	1
PERFORISTA	3	PERFORADORA DE PIERNA	2
AYUDANTE DE PERFORISTA	3	PIERNA NEUMÁTICA	2
POBLADOR	2	VENTILADOR DE 36 " Ø	1
AYUDANTE DE POBLADOR	2	BOMBA PARA LODOS BECERRO	1
OPERADOR DE CARGADOR	1		
COMPRESORISTA	1		
AYUDANTE GENERAL	1		
BODEGUERO	1		
CHECADOR DE ACTIVIDADES	1		
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>		

### 3.2 Revestimiento :

a) **Concreto en plantilla o piso:** para los colados del piso fueron aprovechadas las instalaciones de la excavación de la galería, banco de compresores, subestación, aire comprimido, ventilación y, agua.

Durante los preparativos para el colado del piso se incluyó el control topográfico, que consistió en el marcaje de la rasante y el nivel del concreto.

La superficie se limpió de rezaga y arcilla, la rezaga se retiró manualmente y la arcilla con chiflón de agua y aire hasta dejar expuesta la roca; para así tener una mejor adherencia entre la roca y el concreto.

El acero en el piso de la galería consistió en colocar acero longitudinal y transversal con varillas de  $3/4 \text{ " } \phi$  a cada 30 cm en ambos sentidos con alambre recocido. Para sostener la parrilla fue necesario un anclaje corto con varillas de  $3/4 \text{ " } \phi$ . Todo el acero fue habilitado en taller.

**Cimbrado:** La cimbra fue diseñada por el contratista, consistió en una formaleta de triplay y con la geometría y dimensiones apropiadas la línea "A" de la cuneta.

Se colocaron manualmente y se troquelaron con alambre recocido y puntales para que no se moviera durante el desarrollo del colado. La formaleta fue tratada con aceite quemado para evitar la adherencia con el concreto.

Los recubrimientos se dieron con separadores cilíndricos de concreto llamados en obra "POLLOS".

**Fabricación y transporte del concreto:** El concreto se fabricó en planta dosificadora automatizada, cumpliendo con una resistencia de proyecto de  $200 \text{ kg/cm}^2$  y llevado al sitio de la colocación en ollas revolventoras sobre camión con capacidad de  $5 \text{ m}^3$ .

Para dar inicio al colado de la plantilla en piso de la galería fue necesario realizar una serie de actividades que a continuación se describen:

Colocación y troquelado de la tubería de conducción del concreto, colocación de la bomba estacionaria, iluminación suficiente para las operaciones del colado, andadores de madera para extender el concreto y darle el acabado definitivo. La bomba siempre se colocó cerca del tramo por colar y se le adaptaba una batea de madera con rampa hacia la tolva receptora de la bomba para recibir el concreto y posteriormente ser enviado por la bomba al sitio del colado, aproximadamente entre 50 y 100 m lineales. Para la conducción del concreto se usó tubería de  $4 \text{ 1/2 " } \phi$ . ( Fig. 2.34 ).

Debido a las dimensiones propias de la galería, no fue posible que la olla descargara el concreto hasta la bomba; esta maniobra fue realizada por un cargador tipo minero " TORO 400 - D " , el cual recibió el concreto en la entrada de la galería y lo transportaba hasta la bomba. ( Fig. 2.35 a y b ).

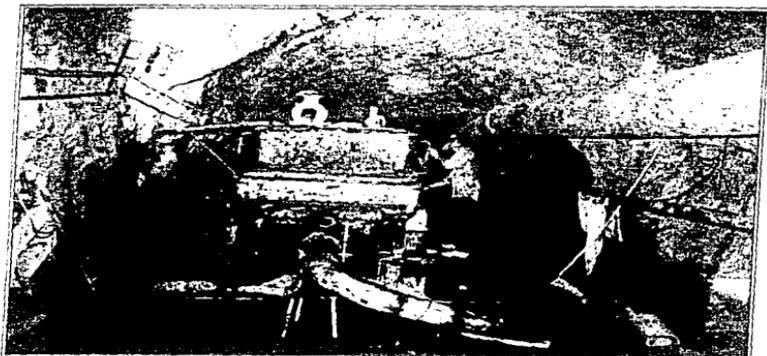


Figura 2.34 Colados en piso de galería, el concreto se vaciaba directamente de la olla al TORO 400 D el cual la transportaba al interior en donde era recibido por esta bomba para su colocación en el sitio.

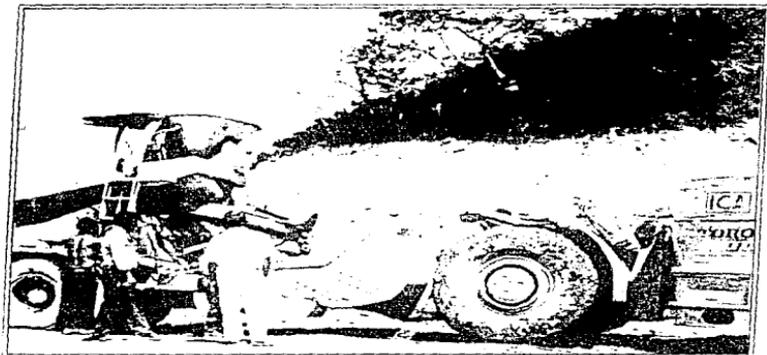


Figura 2.35 a) Vaciado del concreto en el cucharón del equipo neumático.

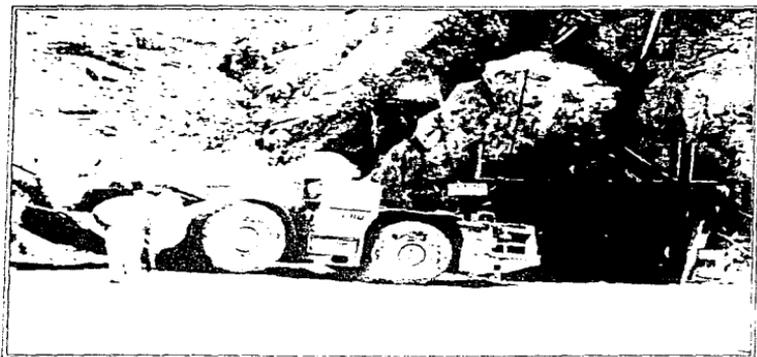


Figura 2.35 b) Equipo neumático TORO 400 - D para transportar el concreto al interior de la galería.

La compactación del concreto se realizaba con vibradores de inmersión de 2.1.2 "  $\phi$  accionados neumáticamente y en ocasiones se utilizaban vibradores eléctricos. ( Fig. 2.36 ).

Para realizar el vibrado y el acabado final del concreto fue necesario colocar andamios para no pisar el concreto y realizar las maniobras, el andamiaje consistió en soldar una tuercas roscada en las anelas de sujeción de acero y se le instalaba una media caña de fierro para ser utilizada en el siguiente colado a excepción de las tuercas que se quedaban ahogadas en el concreto. ( Fig. 2.37 ).

**Descimbrado:** Concluido el colado y transcurrido el tiempo necesario para el endurecimiento del concreto, se procedía al descimbrado de la canaleta tomando todas las precauciones para evitar despostillamientos o cualquier otro daño en el concreto.

**Curado:** Transcurridas más de 3 horas se procedía al curado del concreto, utilizando el método de aplicación de agua en forma continua por un periodo de 7 días y colocando una capa de arena para mantener húmeda la superficie del concreto además de poder pisar la superficie para los preparativos del siguiente colado.

Este procedimiento se realizó en galerías No 2, 4, 6 y 3 a excepción de las galerías 5, 8 y 9 ya que por su difícil acceso no fue posible hacer llegar las ollas a la entrada de la galería y el colado se realizó exclusivamente con motobomba.

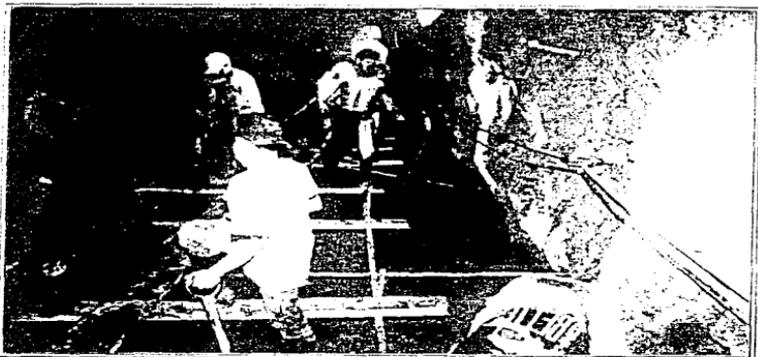


Figura 2.36 Vibradores neumáticos empleados en los colados de piso en galerías.

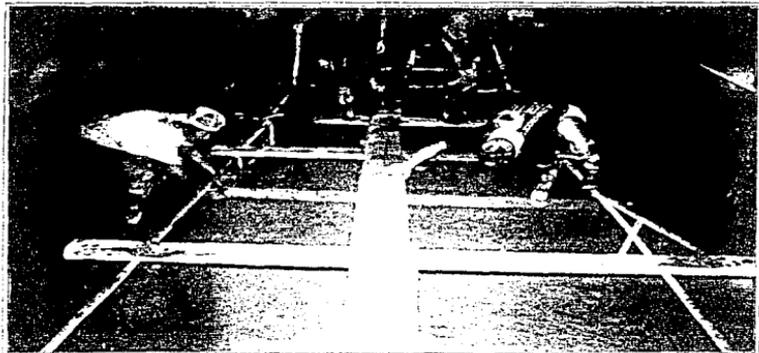


Figura 2.37 Colado de piso en galerías. Obsérvese el andamiaje empleado para darle un mejor acabado al piso.

**b) Concreto en muros y bóveda de galerías :** Como ya se mencionó anteriormente fueron aprovechadas todas las instalaciones existentes en la galería, pero además se aumentó el alumbrado, ya que era insuficiente para las operaciones del colado.

**Preparación y limpieza del sitio :** Se realizó el mareaje de la rasante y el nivel del concreto mediante topografía, colocación de la línea de tubería para colado, instalación de la bomba de concreto, instalación de vibradores y limpieza de los muros y bóveda mediante chifón de aire y agua hasta dejar completamente limpia la superficie y así garantizar una mejor adherencia entre la roca y el concreto.

**Acero de refuerzo :** El acero de refuerzo consistió en varillas de 3/4 "  $\phi$  a cada 30 cm en ambas direcciones amarradas firmemente con alambre recoecido.

**Cimbra :** La cimbra fue diseñada por el contratista y consistió en un modulo tipo de madera de 3 m de longitud, desplegable y colapsable en el medio punto y clave hasta la línea teórica del concreto y movable por un carro con 2 ruedas metálicas para ponerlas en posición de trabajo. El material empleado para la construcción de la cimbra fue de triplay de 3/4 " de espesor forrado con lamina galvanizada. ( Fig. 2.38 ).



Figura 2.38 Cimbra autosoportable diseñada especialmente para revestimiento en muros y bóveda

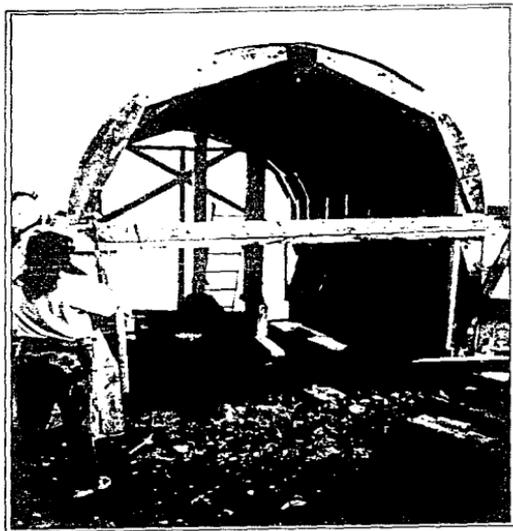


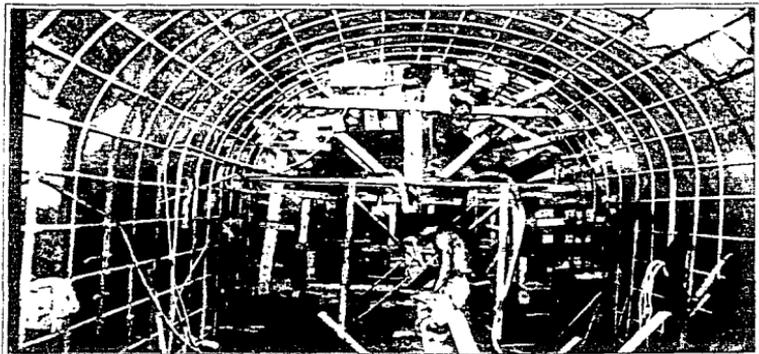
Figura 2.38 Otra vista de la cimbra autoportable

La colocación de la cimbra en el sitio del colado consistió en empujarla hasta quedar en el cadenamiento exacto, posteriormente se levantaba la cimbra por medio de un gato mecánico hasta quedar en la línea teórica del concreto, finalmente se fijaba firmemente con anclas en el piso para evitar que se moviera durante el desarrollo del colado. ( Fig. 2.39 )

La parte lateral de la cimbra ( muros ) se desplegaba hasta la línea teórica del concreto separándola del acero con " POLLOS " de concreto, por el interior la rigidez de la cimbra se garantizaba con puntales de madera colocados en forma radial.

**Fabricación y transporte del concreto:** La fabricación del concreto, como ya se mencionó, se realizó en planta dosificadora , con una resistencia de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  y el suministro al sitio por medio de ollas revoledoras sobre camión de  $5 \text{ m}^3$  de capacidad.

**Colado:** Todos los tramos de colado a seccion completa fueron por el metodo de bombeo, el concreto se recibia en la entrada de la galeria descargandose directamente en la olla revoladora a la tolva de la bomba.



**Figura 2.39** Colocación y fijación de la cimbra para el colado.

En la galeria 6 fue necesario colocar dos bombas una en el portal y otra en el interior, esto debido a que la distancia era mayor que la requerida por la bomba.

Durante el colado se requirio primero llenar los muros, y posteriormente la boveda, utilizando el canonero con aire para empujar perfectamente la parte superior de la boveda. La compactacion del concreto se realizo con vibradores de inmersion practicamente de 2' 1 2"  $\phi$ ; cabe destacar que la cimbra contaba con vibradores de contacto adheridos como apoyo al vibrador de inmersion. ( Fig. 2.40 ).

**Descimbrado:** Una vez transcurrido el tiempo necesario para el endurecimiento del concreto se procedia a descimbrar, quitando los puntales, alforjando los gatos para bajar el modulo de la cimbra completa y correr el carro hasta el siguiente tramo por colar. ( Fig. 2.41 )

**Curado:** Despues del retiro de la cimbra se procedia al curado del concreto utilizando productos quimicos tales como " CURACRETO ". Este procedimiento de construccion fue repetitivo en todas las galerias coladas a seccion completa.

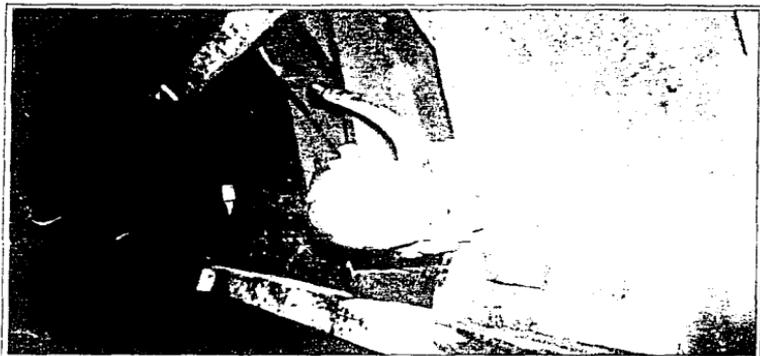


Figura 2.40 En la gráfica se aprecian los vibradores de contacto adherido a la cimbra para garantizar un buen colado.

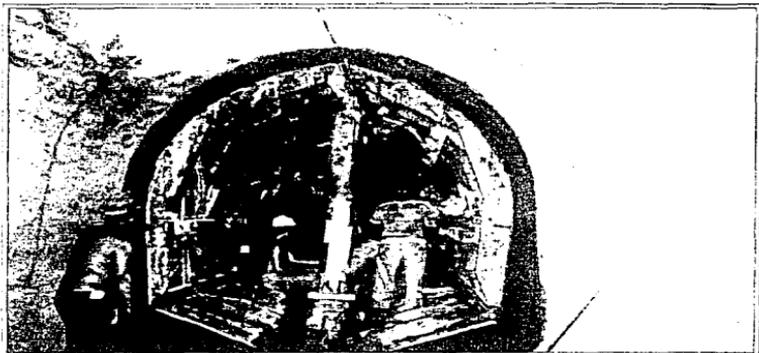


Figura 2.41 Descimbrado y corrimiento del carro de la cimbra para el siguiente tramo por colar.

c) **Mortero lanzado en galerías:** Se aprovecharon las instalaciones generales de la excavación, banco de compresores, subestación eléctrica, ventilación, línea de aire comprimido y línea de agua, únicamente se mejoró el alumbrado general.

**Limpieza y amacize de la zona de lanzado:** La superficie de lanzamiento se limpió energícamente, esto se realizó con chiflón de agua y aire además de una barreta metálica para el amacize de la roca.

**Elaboración de la mezcla y transporte:** La mezcla fue elaborada en planta dosificadora, mezclando únicamente la mezcla del cemento y la arena con la dosificación especificada y con una resistencia de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ .

El transporte al sitio de lanzado se realizó en camión volteo cola de pato, llevando un volumen máximo de  $2 \text{ m}^3$  por viaje ya que la vida útil de la mezcla era de 1.5 horas.

MATERIALES	CANTIDAD	OBSERVACIONES
CEMENTO	480.00 Kg/m <sup>3</sup>	MANEJO EN SACOS
ARENA	1688.00 Kg/m <sup>3</sup>	NO MAYOR DE 1/4 " $\phi$
AGUA	0.162 Kg/m <sup>3</sup>	ADICIONADA EN CAMPOS
ADITIVO EN POLVO	13.50 Kg/m <sup>3</sup>	

#### Características de la preparación del mortero lanzado

**Mortero lanzado 1<sup>a</sup> capa:** La colocación de mortero lanzado se realizó con una máquina lanzadora, una manguera de alta presión de  $2 \frac{1}{2}$  "  $\phi$ , (por esta manguera se conducía la mezcla seca), una boquilla con válvula integrada para agua, (la manguera de suministro de agua es de  $\frac{3}{4}$  "  $\phi$ ).

Al llegar al portal de acceso el camión volteo descargaba directamente al cucharón del rezaador tipo minero " TORO 400 - D " que lo transportaba hasta vaciarlo en una artesa ubicada junto a la máquina lanzadora.

Se suministraba el mortero seco a la máquina lanzadora con palas, integrándole de la misma forma el aditivo acelerante en polvo, la máquina lanzadora era accionada eléctrica y neumáticamente; constaba principalmente de un rotor para depositar uniformemente el material en la válvula de admisión y escape que lo conducía neumáticamente y que mediante la fuerza controlada del aire a presión proyectaba la mezcla a través de una boquilla hacia la superficie de aplicación previamente humedecida. ( Fig. 2-42 ).

El agua se integraba a la mezcla mediante una válvula anexa a la boquilla de lanzado, la cantidad de agua era suministrada de acuerdo al criterio del operador a fin de obtener un recibimiento uniforme, compactado y resistente.



Figura 2.42. Suministro de la mezcla seca a la aliva lanzadora para su colocación en el interior de la galería.

La vida útil de la mezcla era de 45 minutos después de mezclada con el aditivo. El lanzado se iniciaba de abajo hacia arriba para evitar acumulación de material de rebote. La primera capa se colocaba de 7 cm de espesor sobre la cual se colocaría la malla electrosoldada de  $1/8" \phi$  y 15 cm de cuadrícula.

**Colocación de malla electrosoldada:** Para fijar la malla a la superficie se realizó un anclaje corto con las siguientes características:

- Cuadrícula de 1.5 m x 1.5 m
- Profundidad del barreno 0.50 m
- Longitud y diámetro del barreno 0.60 m x  $3/4" \phi$

Estas anclas fueron inyectadas con mortero de  $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ . El habilitado de la malla se realizó en el sitio de la colocación, la malla se fijaba al anclaje de la bóveda y los muros, amarrada firmemente con alambre recoído.

Por la irregularidad de la excavación fue necesario utilizar clavos fijadores con pistola de impacto para configurar la malla a la superficie ( Fig. 2.43 ).



**Figura 2.43** Después de aplicar la primera capa de lanzado se colocaba la malla para aplicar la segunda capa de lanzado

Para simplificar el procedimiento constructivo, la C.F.E autorizó se colocara malla doble enema de la primera capa de lanzado, traslapandola de tal forma que se tuviera una cuadrícula de 7.5 x 7.5 cm y de esta manera evitar la 3ª capa de mortero enema de la 2ª malla. ( Fig. 2.44).

**Mortero lanzado 2ª capa y retiro del rebote:** Al concluir la colocacion de la malla eléctrosoldada se colocaba la 2ª capa de mortero lanzado de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente.

Una vez que se realizó esta maniobra se procedía a la remoción del material producido del rebote y al retiro en carretillas fuera de la galería. Un aspecto de la galería concluida se presenta en la ( Fig. 2.45 ).



Figura 2.44 Colocación de malla doble para simplificar el proceso constructivo y así lograr un avance mayor



Figura 2.45 Aspecto general de una galería después de aplicar el mortero lanzado en sus paredes

EQUIPO	CANTIDAD
LANZADORA DE MORTERO ALIVA 250	1
COMPRESOR ESTACIONARIO 750 RCM	1
VENTILADOR DE 36 " $\phi$ Y DUCTO	1
REZAGADOR MINERO "TORO 400 - D "	1
CAMION VOLTEO COLA DE PATO	1

Equipo empleado en la 1ª y 2ª capa de mortero lanzado

MANO DE OBRA	CANTIDAD	OBSERVACIONES
SOBRESTANTE	1/2	EN TODO EL PROCESO DE LANZADO
CABO DE OFICIOS	1/2	LANZADO Y MALLA
OPERADOR DE LANZADORA	1	LANZ. Y COL. DE MALLA
LANZADOR DE MORTERO	1	
COMPRESORISTA	1	CONSIDERADO EN LA PERFORACION PARA ANCLAJE DE MALLA
AYUDANTE DE LANZADOR	1	
OPERADOR DE CARGADOR	1	
AYUDANTE GENERAL	5	

Mano de obra empleada en la aplicación de mortero lanzado.

**Curado:** después de transcurrido el tiempo necesario para el endurecimiento del mortero lanzado, se procedía al curado de la superficie aplicando membrana de curado por aspersion o manteniendo húmeda la superficie durante 72 horas.

#### d) Concreto en socavones de galerías.

**Antecedentes:** Los socavones existentes en la zona de la cortina fueron producto de las exploraciones geológicas en el interior del macizo rocoso con el objeto de conocer las condiciones geotécnicas de las formaciones del terreno en donde se desplantaría la cortina . (Fig. 2.46) . Por margen izquierda los socavones 3C y 5C, los cuales requerirían un tapón de concreto con una resistencia de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  .

A medida que la elevación de la cortina llegaba a los socavones era necesario colocar un tapón de concreto, y para ello fue necesario colocar todas las instalaciones necesarias ya que se carecía de ellas.

Compresor portátil con línea de conducción de manguera de alta presión de 2 "  $\phi$  con un repartidor de 3/4 " de  $\phi$  .

Bomba de concreto estacionaria con línea de conducción de tubería de 4 "  $\phi$  y un cuello de ganso en el tapón de cimbra inicial.



Figura 2.46. Aspecto de un socavón abierto por margen derecha

**Preparativos y limpieza del sitio:** Se inició con la limpieza a hueso, la cual consistió en retirar la rezaga y los materiales sueltos del piso, así como los de la bóveda y muros. El seccionamiento topográfico se realizaba con el fin de determinar el volumen exacto del colado, dicho seccionamiento se realizó a cada 2 m.

**Colocación de la cimbra:** La cimbra consistía en dos taponos de madera, uno en el cadenamamiento inicial y el otro en el final, troquelados fuertemente mediante tirantes de varillas de 1/2 "  $\phi$  , además de apuntalar por el exterior del tapón de madera. ( Fig. 2.47 ).

**Colocación del concreto:** El concreto fue recibido a la entrada del socavón descargando directamente la olla revolvedora en la tolva receptora de la bomba de concreto. El vibrado se realizó con vibradores neumáticos de 2 1/2 "  $\phi$  y para ello fue necesario colocar andamios de tablonés de madera.

Para lograr un buen llenado en la parte superior se cañoneo con aire para empaquetar perfectamente la bóveda.

**Descimbrado:** Posterior al colado y transcurrido el tiempo necesario para el endurecimiento del concreto, se retiró la cimbra y las instalaciones para que continuara la colocación de los materiales en la cortina. ( Fig. 2.48 ). El curado fue similar al ya descrito anteriormente.

Para tener una idea mas clara de los trabajos que se realizaron en las galerías, en las figuras siguientes se detallan cada uno de ellos, trabajos realizados por margen derecha ( Figs. 2.49, 2.50 y 2.51 ) ; y trabajos realizados por margen izquierda ( Figs. 2.52, 2.53, 2.54 y 2.55 )



Figura 2.47 Al fondo se puede apreciar la colocación de la cimbra para realizar el colado del tapón y pode seguir colocando el enrocamiento en la cortina



Figura 2.48 Aspecto general del tapón de concreto para continuar la colocación del enrocamiento en la cortina.

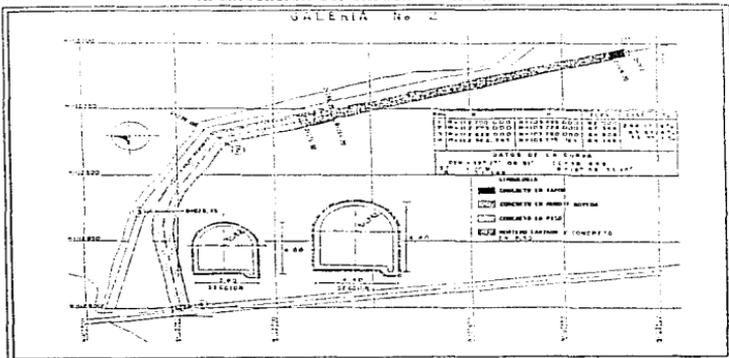
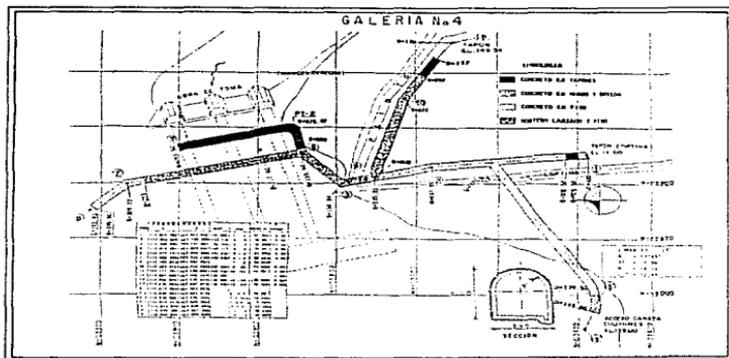


Figura 2.49 En esta figura se muestran los revestimientos de concreto en tapón de la galería No. 2.



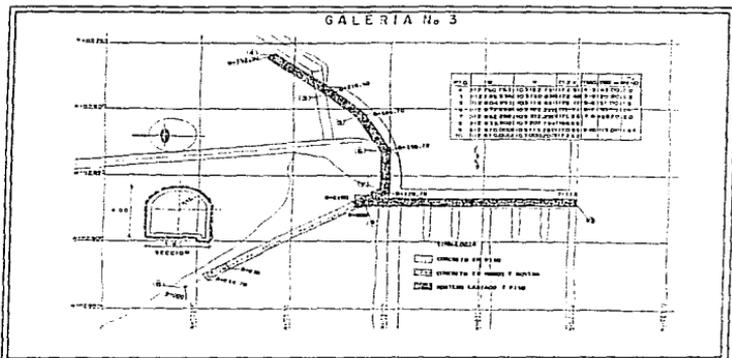


Figura 2.52 En la galería No 3 el revestimiento en su mayoría consistió en mortero lanzado, y sólo el acceso requirió revestimiento a sección completa.

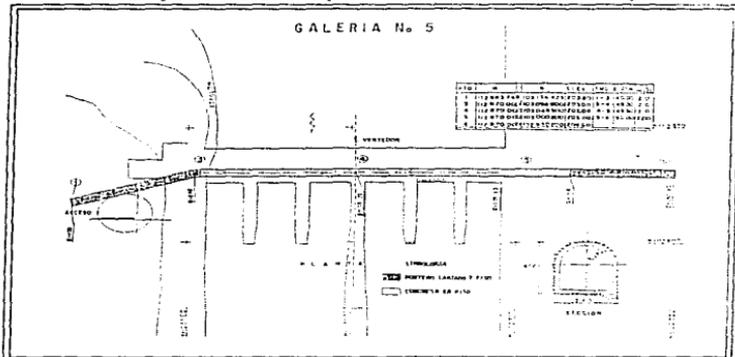


Figura 2.53 Galería No 5 también denominada galería falsa ya que pasa por debajo del vertedor y la mayor parte de su recorrido forma parte del piso del vertedor.

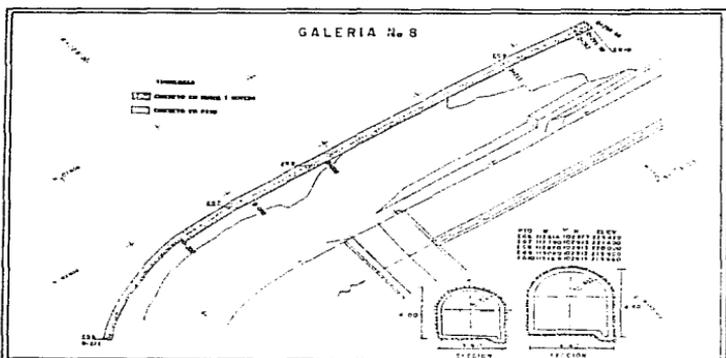


Figura 2.54 Revestimiento en galería No 8, esta galería corre paralelamente a y esta diseñada con el propósito de observar el macizo rocoso que se filtre a través de la pantalla impermeable, así como para coleccionar el agua en época de lluvias, por tal motivo la mayor parte de su longitud no tiene revestimiento en sus paredes y bóveda

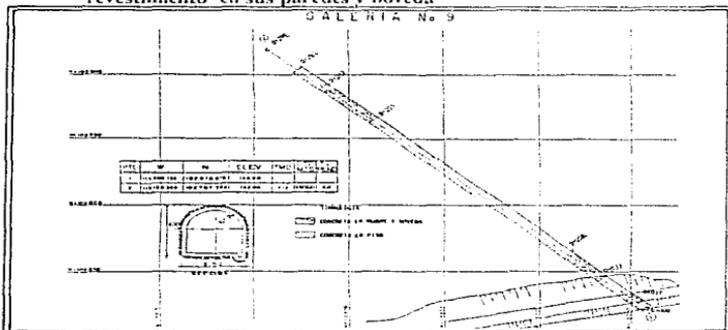


Figura 2.55 Revestimientos en galería No 9, esta galería se prolonga al interior del macizo rocoso para integrar la pantalla de drenaje de la ladera y observar las filtraciones.

### III CONSTRUCCION DE LA PANTALLA IMPERMEABLE DE INYECCIONES

**III.1 PROYECTO :** Con el objeto de formar un plano de estanqueidad aguas arriba de la cortina, se proyectó realizar una serie de tratamientos desde las galerías 4 y 6 por margen derecha y las galerías 3 y 5 por margen izquierda.

**Pantalla profunda.** La pantalla profunda es la impermeabilización del macizo rocoso hasta profundidades de 80 m. Estuvo constituida por una y dos líneas de barrenos dispuestos en un plano vertical cuya profundidad sistemática comprendía de 45 a 50 m, a cada 24 m, y en barrenos de primera etapa se profundizará hasta 80 m con el objeto de detectar zonas de permeabilidad media y añas puntuales.

Para realizar la barrenación de esta pantalla, se contemplaron 4 etapas, en la perforación de barrenos primera etapa, separados a cada 12 m. Se saturarán e inyectarán antes de perforar las etapas subsiguientes.

Perforaciones de barrenos de segunda etapa, intermedios a los de la primera etapa (6 m.) saturarlos e inyectarlos antes de iniciar con la perforación de la tercera etapa.

Perforación de los barrenos de la tercera etapa, intermedios a los de la segunda etapa (3 m.) se saturan e inyectan. En esta última etapa se hará la revisión de consumos y en caso de existir tramos de que consuman más de 20 kg. / m, se deberán perforar e inyectar los barrenos de la cuarta etapa (considerada como opcional), hasta una profundidad de 10 m por debajo de la zona de alto consumo.

El diámetro de perforación es de 2 1/2" hasta una longitud de 50 m. Para longitudes mayores a 50 m el diámetro de barrenación es de 3 5/8" .

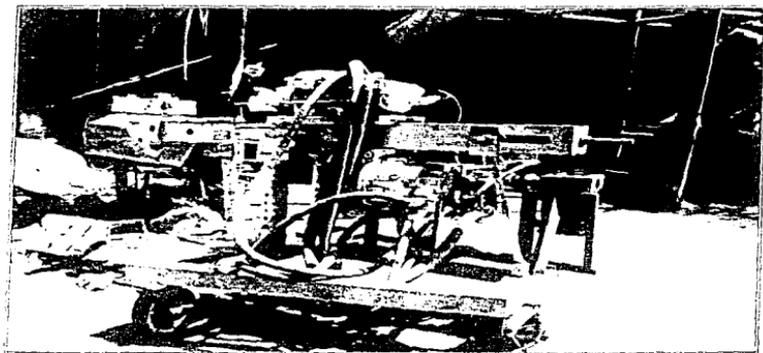
**Conexión de liga con pantalla.** Esta tiene la finalidad de dar continuidad a la pantalla impermeable entre galerías, de la galería 6 a la galería 4 por margen derecha y de la galería 5 a la 3 por margen izquierda.

Para garantizar un buen sellado entre la roca y el concreto armado en las galerías de revestimiento a sección completa, se proyectó una inyección de contacto concreto - roca con una profundidad de los barrenos de 50 cm en roca, este tratamiento se ejecuta en la bóveda con barrenos alternados en dos y hasta tres líneas.

También se contempló realizar pruebas de permeabilidad, las cuales se hacen en zonas estratégicas, ya sea para conocer la permeabilidad inicial de la masa rocosa, o bien para verificar la eficiencia del tratamiento de la roca.

**III.2 PLANEACION :** Para establecer el plan de trabajo que se seguiría para la construcción de la pantalla impermeable, era necesario ubicar en puntos estratégicos las plantas de inyección y que se tuvieran en el sitio los materiales suficientes para abastecer de mezcla de inyección que se requirieran en las galerías, para lograr este propósito fue necesario ubicar una planta de inyección en la plataforma de obra de toma en la elev. 235 y realizar las perforaciones necesarias desde la superficie para la conducción de la mezcla, agua y aire, la misma maniobra se realizó desde la plataforma de la obra de excedencias elev. 205 ; esta medida es con el fin de que la lechada tenga un recorrido menor y con ello evitar un fraguado dentro de la tubería de conducción, si se colocaran las plantas fuera de las galerías, en algunas de ellas se tendrían recorridos mayores de 100 m.

Para la perforación de los barrenos se planteo utilizar maquinaria de rotopercusion tales como el track drill, tunnel track, super mine, así como todas las instalaciones necesarias para la ejecución de los barrenos. ( Figs. 3.1, 3.2 y 3.3 )



**Figura 3.1** Equipo de perforación empleado en el interior de las galerías, obsérvese que no esta montado sobre orugas y que la pluma la tiene recortada, ya que no cambia en el interior de la galería.

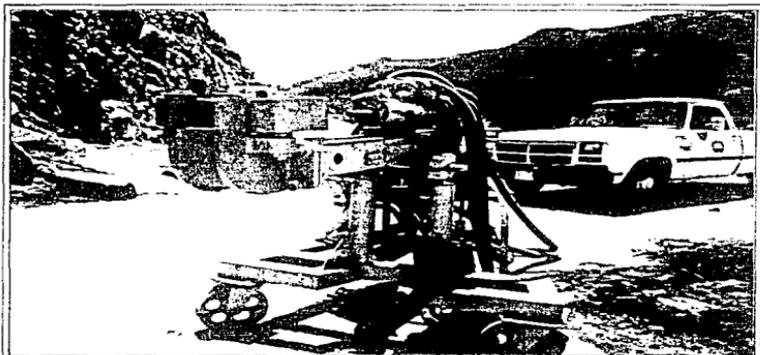


Figura 3.2 Otra vista del equipo empleado en la perforación, tanto para inyección como para la pantalla de drenaje, túnel track con martillo de fondo.

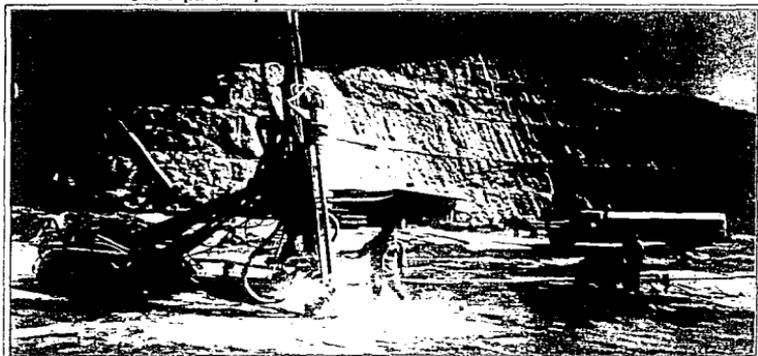


Figura 3.3 Equipo de perforación empleado en el exterior de las galerías, track drill, en la parte inferior derecha se aprecia la operación de inyectado de un barreno de pantalla profunda.

**III.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION :** Para realizar los tratamientos de inyección desde las galerías se requirieron con todas las instalaciones necesarias para la inyección de la pantalla impermeable.

**3.1 Instalaciones :** Para la construcción de la pantalla impermeable se requiere de las siguientes instalaciones.

- Aire comprimido y agua para la perforación
- Planta dosificadora de mezclas
- Tubería y conexiones
- Planta de inyección móvil
- Energía eléctrica y ventilación

**Aire comprimido y agua para la perforación:** Fueron instalados en la obra de toma dos compresores de alta presión de 750 PCMI para suministrar aire comprimido para la perforación en el interior de las galerías, para ello se requirió ejecutar 3 barrenos desde la superficie hacia las galerías y por medio de ellos bajar las líneas de tuberías para la conducción de aire, agua y lechada para las galerías. ( Fig. 3.4 )



Figura 3.4 En la foto se aprecian las líneas de conducción de aire, agua y lechada.

Los barrenos ejecutados fueron de 3 5/8 "  $\phi$  desde la plataforma 235 por margen derecha y la plataforma 205 por margen izquierda, se empleó tubería de 1 1/2 "  $\phi$  galvanizada.

**Planta dosificadora para mezclas:** Para la fabricación de la mezcla de inyección se requirió construir una planta de preparación capaz de abastecer las inyecciones en las galerías 4 y 6, plataforma 235 y parte superior del plinto.

La planta se ubicó estratégicamente en la plataforma de obra de toma Elev. 235.00 m.s.n.m sin causar interferencias con los demás trabajos que se ejecutaban en esa zona.

Estuvo constituida por una plataforma de almacenamiento y manejo de cemento en sacos, una zona de preparación y control de la mezcla, además de los equipos instalados para la preparación de la mezcla, que a continuación se mencionan:

- Turbo mezclador de altas revoluciones
- Agitador de bajas revoluciones
- Tanque cúbico aforado de 250 Lt
- Tanque de almacenamiento de 20 m<sup>3</sup>
- Radio - teléfono

**Tuberías y conexiones:** Se hizo necesario realizar varias instalaciones de líneas de tuberías de acuerdo al requerimiento de los frentes de inyección. Desde la planta de preparación de mezclas ubicada en la plataforma de obra de toma Elev: 235 m.s.n.m, se instalaron dos líneas de tubería galvanizada cédula 80 de 1 1/2 "  $\phi$  para la conducción de lechada, una para la galería No 4 y la otra para galería No 6.

Una línea de tubería negra de 3 "  $\phi$  para la conducción de aire comprimido

**Planta de inyección en el sitio:** Se instaló una planta de inyección en el interior de cada galería, cumpliendo con las especificaciones, las cuales recomiendan una distancia máxima de conducción entre bomba de inyección y barreno por inyectar de 150 m dentro de la galería.

El equipo de inyección que se instaló en el interior de las galerías esta constituido por:

- Bomba de inyección de pistones
- Agitador vertical de bajas revoluciones
- Bomba Moyno 3L - 10
- Tanque cúbico aforado
- Radio teléfono tipo minero

**Energía eléctrica y ventilación :** Se requirió de la energía eléctrica para la instalación de los equipos de la planta de inyección. Ver ( Tabla 1 )

EQUIPO	POTENCIA
BOMBA DE INYECCION	15 H. P
BOMBA MOYNO 3L - 10	15 H. P
AGITADOR VERTICAL	5 H. P
VENTILADOR 36 " $\phi$	20 H. P

**Tabla 1 Potencia requerida para garantizar un buen inyectado en los barrenos.**

**3.2 Pruebas de permeabilidad :** Para realizar la selección del método de inyección apropiado y tipo de lechada por inyectar en un macizo rocoso, es necesario realizar pruebas que permitan determinar la porosidad, el estado de fisuración y la permeabilidad del macizo.

La mayor parte de las rocas tienen permeabilidades muy bajas, pero los macizos rocosos pueden ser altamente permeables, debido a la presencia de discontinuidades tales como fracturas abiertas, suelos permeables ( capas trituradas ) y canales o huecos de disolución.

Estas discontinuidades raramente ocurren en forma regular como para considerar a la roca homogénea e isotrópica con respecto a la permeabilidad, por lo tanto, no es realista en la mayoría de los casos expresar la permeabilidad de la roca en términos del parámetro de conductividad hidráulica K, por esto se expresa comúnmente en unidades lugeón ( U.L ).

Se recomienda que un macizo rocoso con una permeabilidad inferior a 3 U.L no requiere tratamiento de inyección, aunque para cortinas de más de 30 m de altura se establece como límite de permeabilidad para tratamiento una unidad lugeón ; en zonas de consumo bajo se obtuvo 0.4 U.L y en zonas de consumo alto hasta 20 U.L.

Posterior a la realización de la pantalla profunda y analizados los resultados de la inyección, se llevan a cabo pruebas de permeabilidad con el fin de estimar la permeabilidad residual del terreno después de la inyección.

**Para realizar los ensayos lugeón se contó con las siguientes instalaciones:**

Un tanque cúbico aforado en buenas condiciones

Un tanque regulador de presiones, unido por una manguera al medidor del agua, y conectada a la bomba de inyección, por medio de válvulas de compuerta, una para la alimentación del barreno y la otra de descarga con la que se controlarán las presiones de prueba.

Una bomba de inyección de vacío progresivo ( Moyno 3L -10 )  
 Un medidor de agua que se instaló enseguida del manómetro  
 Un manómetro en el brocal del barreno inmediatamente después del extremo superior de la tubería de inyección. ( Fig. 3.5 )

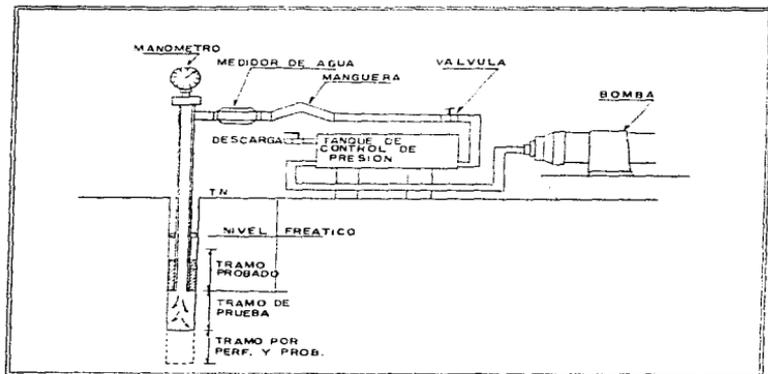


Figura 3.5 Equipo empleado para realizar una prueba lugeón.

**Procedimiento de ensaye Lugeón:** Se perforó el barreno a una profundidad de 5 m y se suspendió la barrenación, posteriormente se lavo cuidadosamente el tramo perforado introduciendo tubería de inyección, aplicando por medio de esta, agua y aire a presión.

Se inició el ensaye lugeón con una prueba tentativa de 1 minuto de inyección de agua a presión, con el fin de calcular la presión manométrica de prueba aproximada  $H_1$ .

Con los valores conocidos de  $H_P$  y  $H_2$  y considerando que  $H_1$  pérdida por fricción en el tubo alimentador desde el manómetro hasta el " Obturador " es de cero por iniciarse la prueba, tenemos que:

$$H_1 = H_D - H_2$$

Con este valor H1, que se anotará en la columna "Manómetro" se inicia la prueba del minuto, lapso de tiempo que registró un gasto, cuando el gasto es de 62 litros / min. / m o mayor, se tomó en cuenta para un nuevo cálculo de H1, ya corregido por pérdida de fricción.

Con el gasto obtenido se calcula de las No 1 y 2 o se saca de la gráfica No 1, esta carga a la profundidad que se esta haciendo la prueba, cuyo valor H1 se aplica a la fórmula:

$$H1 = HP + HF - H2 \quad \text{Donde:}$$

HP = Carga que corresponde a la presión de prueba  
HR = Carga que corresponde a la presión manométrica  
H2 = Distancia vertical del manómetro al obturador  
HF Pérdida de fricción del tubo alimentador

Presión manométrica con la que se ejecutará la prueba durante 10 minutos. Mientras se hace la corrección no se inyecta agua al barreno, si no que al terminar, al minuto se pone a trabajar la descarga o la válvula de retorno.

Después de 10 minutos de la prueba, se anotará en la columna Q el gasto obtenido y con él se calculará una nueva pérdida de carga por fricción, con la que se obtiene el verdadero valor de H.

$$H = H1 + H2 - Hf$$

Cuando H2 está afectada por el nivel freático, es necesario reportar HN que es la profundidad igual a la longitud entre el nivel freático y el " Obturador ", con el fin de que al calcular H1 y H se utilice la distancia H2 - HN en Kg/cm<sup>2</sup> en lugar de la carga H2.  
Ver ( Fig. 3.6 )

Las operaciones antes descritas se repitieron para pruebas con presiones ascendentes de 5.0, 7.5 y 10.0 Kg/cm<sup>2</sup> y en las descendentes de 7.5 , 5.0 y 2.5 Kg./cm<sup>2</sup>.

Para profundidades mayores de 20 m se suprime la de 2,5 Kg/cm<sup>2</sup> ; para profundidades mayores de 45 m no deben hacerse las de 2,5 y 5,0 kg/cm<sup>2</sup>. El haber tomado 63 litros/min./m como gasto mínimo para el cálculo de la pérdida de carga por fricción, es que en volúmenes menores los valores resultan despreciables.

Como ya se mencionó, las pruebas de permeabilidad son de suma importancia ya que detectan la calidad del macizo rocoso para realizar una buena inyección, y posteriormente a la inyección se realizan otras pruebas para verificar el " sellado " de la pantalla profunda de inyecciones. ( Figs. 3.7, 3.8 y 3.9 )

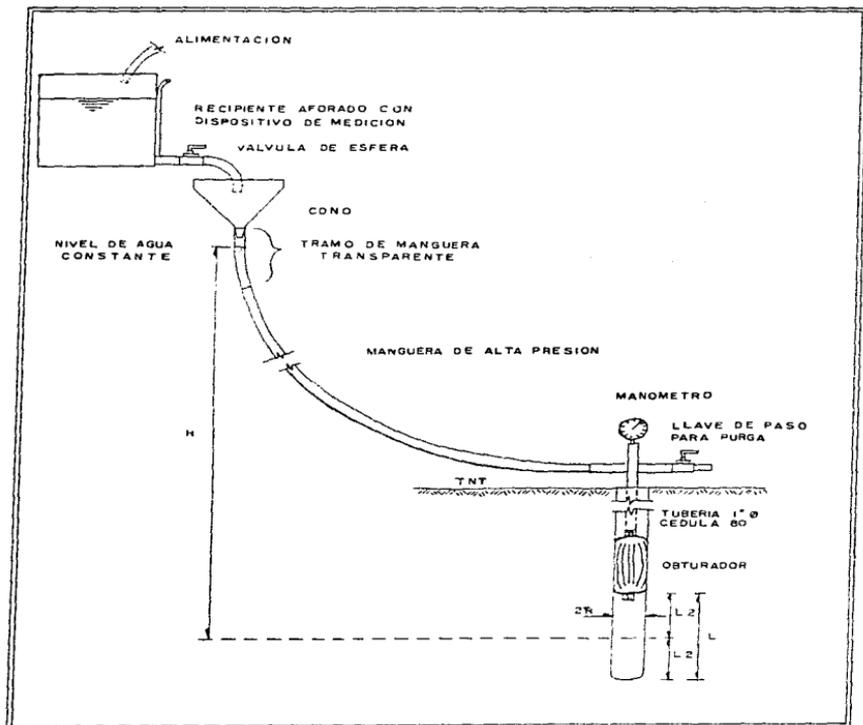


Figura 3.6 Equipamiento del barreno y equipo de inyección para la prueba Lugeón.

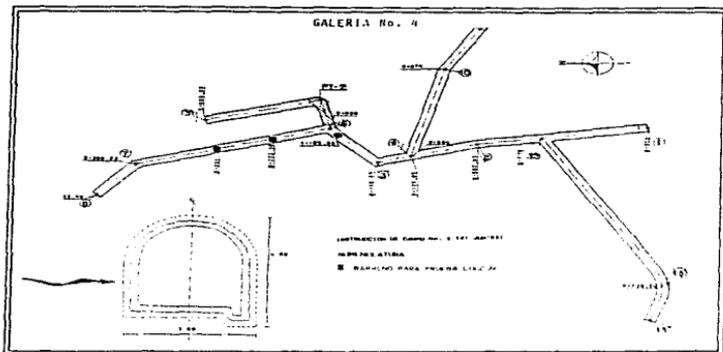


Figura 3.7 Ensayes lugeón realizados en la galería No 4 margen derecha

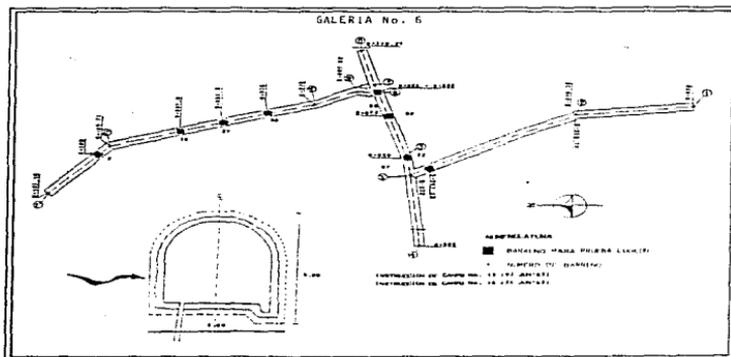


Figura 3.8 En esta figura se observan los numerosos ensayos lugeón que se realizaron, ya que en esta zona cruza la falla denominada caminera y colorines galería No 6 margen derecha.

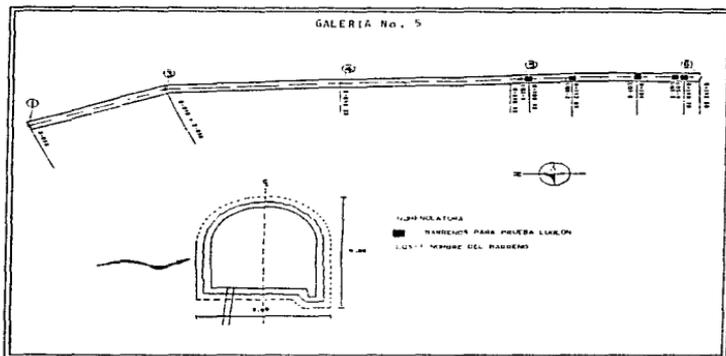


Figura 3.9 Obsérvese que en esta galería se realizaron los ensayos lugeón a lo largo de la galería en el macizo rocoso galería No 5 margen izquierda.

DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
EQUIPO DE PERFORACION PARA PRUEBA LUGEON		
TUNEL TRACK	1	PERFORACION
COMPRESOR PORTATIL 750 PCM	1	DESCENDENTE DE ALTA PRESION.
PRUEBAS LUGEON		
OBTURADOR DE 3" DE DIAMETRO		NEUMATICO
MANOMETRO DE PRESION		RANGO DE 0 A 14 kg/cm <sup>2</sup>
MEDIDOR DE AGUA		GRADUADO EN LITROS
TANQUE CUBICO AFORADO		CON ESCALA PINTADA
TANQUE REGULADOR DE PRESION		CON CONEXIONES
BOMBA MOYNO 3L - 10		
TABLERO ELECTRICO		

Equipo empleado en la prueba lugeón.

DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
<b>MANO DE OBRA</b>		
PERFORACION PARA PRUEBAS LUGEON	1	CON LA PERFORADORA TUNEL TRACK
PERFORISTA	2	
AYUDANTE DE PERFORISTA	1	
COMPRESORISTA		
<b>PRUEBAS LUGEON</b>		
CABO DE INYECCION	1	DE LA CUADRILLA DE INYECCION DE LA GALERIA
INYECTISTA	2	
AYUDANTE DE INYECTISTA	3	
CHECADOR DE ACTIVIDADES	1	

**Personal empleado en la realización de la prueba lugeón.**

**3.3 Pruebas de inyectabilidad :** teniendo como antecedente las pruebas de permeabilidad, se realizaron pruebas de inyectabilidad en ambas márgenes para saber cuales eran los consumos de mezcla .

Para la investigación de las características de inyectabilidad del macizo rocoso, se realizaron pruebas de inyección en las cuales se trató de asemejar el proceso completo para la construcción de un tramo de pantalla y tratamiento de consolidación, con sus etapas características.

Los barrenos en todas sus etapas fueron llevados a una profundidad mínima de 60 m. y dirigidos a cruzar las discontinuidades geológicas significativas ( caminar y colorines ).

En zonas de bajo consumo, se registraron consumos de inyección de mezcla del orden de 6 Kg. / cm<sup>2</sup> y en zonas de alto consumo, como es el caso de las discontinuidades, se registraron consumos del orden de hasta 100 Kg. / cm<sup>2</sup>.

Para realizar la inyección se requirió del siguiente equipo :

Compresor A. P 225 PCM.

A.P = Alta presión

Bomba moino 3L - 10

Manguera A.P 1/2 " φ

Tubería p / inyección de 1/2 " φ

Conexiones p / manguera y bomba

Obturadores tipo neumático de 1 1/4 " φ y un metro de longitud

Bomba de agua de inflado manual para inflar los obturadores  
Manómetro

Como ya se menciono, para la inyección se empleó un equipo tipo moyno 3L - 10 el que cumple con las normas relacionadas con el gasto y presión. Debido a que se trata de una bomba de flujo continuo, la presión de inyección requerida se controla por medio de una válvula con retorno.

#### **Barrenación : Perforación de pantalla y conexión de liga**

**Perforación de pantalla :** La pantalla estuvo compuesta por una y dos líneas de barrenos denominados " línea P " y " Línea A " formando un plano ligeramente inclinado hacia aguas arriba, prolongándose a profundidad el plano de estanqueidad en ambas márgenes, el procedimiento constructivo consistió básicamente en las siguientes actividades :

Las perforaciones de pantalla profunda se realizaron en cuatro etapas con el siguiente procedimiento :

- 1ª etapa : barreno con separación variable entre 8 y 12 m , se perforó, se saturó e inyectó antes de perforar la etapa subsecuente.
- 2ª etapa : Con separación variable, intermedios a los de la 1ª etapa, se perforó, se saturó e inyectó antes de perforar la 3ª etapa.
- 3ª etapa : Con separación variable, intermedios a los de la 2ª etapa, se perforó, se saturó e inyectó antes de perforar e inyectar la 4ª etapa.
- 4ª etapa : Con separación variable, intermedia a los de la 3ª etapa, esta perforación es opcional dependiendo del comportamiento obtenido en las etapas anteriores.

**Perforación de conexión de liga con pantalla :** Esta perforación se realizo en tres etapas de acuerdo al siguiente procedimiento :

- 1ª etapa : Abanico de dos barrenos, " barreno A " y " barreno B " con separación a cada 12 m , se perforó primero el " B " , se saturó y se inyectó antes de perforar el " A " .
- 2ª etapa : Abanico de barrenos con separación a cada 6 m , intermedio a los de la 1ª etapa, se perforó primero el " B " , se saturó e inyectó antes de perforar el " A " .

3ª etapa: Abanico de dos barrenos con separación a cada 3 m, intermedio a los de la 2ª etapa, se perforó primero el "D", se saturó y se inyectó antes de perforar el "C".

Por las dimensiones de la sección de la galería y la profundidad que se requirió para la pantalla hasta 80 m, hubo la necesidad de adaptar el equipo existente para que cupiera en las dimensiones de 3.40 m de ancho por 4.00 m de altura. La solución fue recortar el mastil o pluma guía del track drill convencional y detasar el revestimiento de las galerías hasta concluir con las perforaciones. Ver (Fig. 3.10).

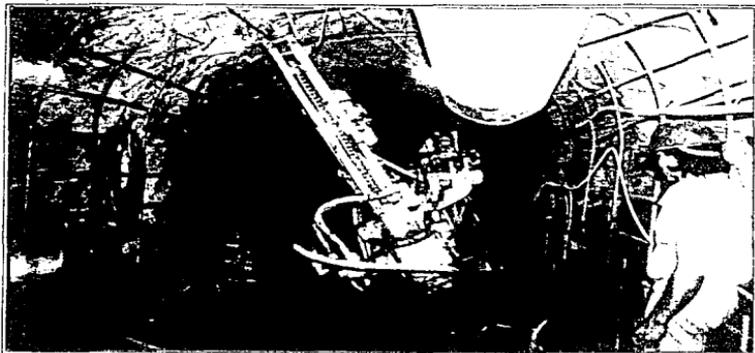


Figura 3.10 Track drill de pluma recortada barrenando en el interior de la galería, obsérvese que el revestimiento no se ha realizado.

Para la perforación se utilizaron brocas de 3.5-5" o, se instaló un compresor portátil de alta presión de 750 PCM en el exterior de cada galería para suministrar el aire a la máquina por medio de una tubería de conducción de 7" o. El agua utilizada para el barrido fue llevada hasta la máquina a gravedad desde un tanque elevado que se ubicaba en lo alto del portal.

Para llevar a cabo la perforación se posicionó la perforadora en el brocal con el rumbo e inclinación especificados, el rumbo se midió con cinta en el piso las distancias marcadas en el proyecto. La inclinación de los barrenos o ángulo vertical se fijó por medio de un transportador metálico con graduaciones de 0° a 360°.

Para realizar la inyección del barreno, ya sea de pantalla o de conexión de liga, previamente se realizaban trabajos de preparación que consisten en la limpieza, lavado y sopleteado del barreno hasta quedar limpio de detritos, saturación del mismo y por último el equipado del barreno, que consiste en la colocación del obturador, y lo necesario para realizar la inyección.

**Limpieza del barreno :** Limpieza, lavado y sopleteado del barreno, una vez concluida la perforación, se procedía a la limpieza del área, retirando el detrito producto de la barrenación y de los materiales sueltos del área de trabajo.

**Lavado del barreno :** Posterior a la limpieza, se realizó el lavado del barreno, esta actividad consiste en introducir una boquilla de hierro galvanizado de 1" Ø hasta el fondo del barreno, se introduce agua y aire a presión para desalojar los residuos de la barrenación o material extraño, hasta que el agua salga limpia por el brocal, la tubería de lavado se introdujo en el brocal en tramos de 3 m y acoplados hasta completar la profundidad total, ya que en ocasiones la perforación se cierra por caídos e inestabilidad del terreno.

**Saturación del barreno :** La saturación del terreno se realizaba a través del barreno en tramos de 20 m, iniciando con el tramo más profundo, en tramos ascendentes hasta llegar al brocal del barreno. La saturación consistía en inyectar agua limpia en forma continua a presión durante una hora.

Se requería colocar el obturador en el límite superior de cada tramo de 20 m e inyectar agua a una presión de 10 kg./cm<sup>2</sup> durante una hora y en los casos donde no se levantó presión, se inyectó un volumen máximo de 12 m<sup>3</sup> por cada tramo de 20 m. Para la pantalla de consolidación, se inyectó agua a una presión de 2 kg./cm<sup>2</sup> o de 2 m por cada tramo.

La condición de saturar el terreno se regía por la posición del N.A.F., debiendo saturarse únicamente el terreno localizado por encima de este nivel, para el cual se contaba con equipo de detección del nivel del agua subterránea, (sonda eléctrica).

El equipamiento del barreno consistió en lo siguiente: inmediatamente después del lavado, se introdujo la tubería de inyección, esta tubería es de hierro (cédula 80) de 1" Ø, se obtura en la parte superior inmediata al tramo que se va a inyectar; el "obturado" consiste en inflar el obturador con agua, los obturadores utilizados fueron del tipo neumáticos e hidráulicos de 1" Ø y 1.0 m de longitud, los cuales al ser inflados alcanzan diámetros mayores de 4" Ø, la presión de inflado fue del orden de 1 - 3 Kg./cm<sup>2</sup> los neumáticos y de 5 - 15 Kg./cm<sup>2</sup> los hidráulicos. El inflado se realizó con bomba manual.

Para los barrenos de contacto concreto - roca (CCR) se emplearon presiones de 0.5 kg./cm<sup>2</sup>.

Posteriormente se inició con la instalación de las líneas de conducción de agua y lechada, para esto se instalaron mangueras de alta presión de 1"  $\phi$  que corrian desde la planta de inyección hasta el barreno.

Una vez que se terminaba de inflar el obturador, se le colocaban los aditamentos especiales al tramo que sobresalía del brocal, en esta boquilla se colocaba una tubería " T " llamada " garza " por la gente de campo, la cual en su parte superior tenía ensamblado un manómetro para chequear las presiones de inyección. En uno de sus extremos se enroscaba la manguera que conduciría la mezcla de inyección y en el lado contrario se tiene una llave de paso que sirve para purgar y detectar posibles grumos en la mezcla. ( Figs. 3.11 a y b )

Cabe destacar que para los contactos concreto - roca, se habilitaron todas las boquillas dejándolas abiertas que en el momento de la inyección, si se presentaba comunicación con otro barreno se cerraba la llave de la o las boquillas que se comunicaran con el barreno que se estaba inyectando.



Figura 3.11 a) Obsérvese en la foto el equipamiento del barreno, el cual consta de un manómetro en la parte superior, en uno de sus extremos está conectada la manguera de alta presión que conduce la mezcla de inyección y en el otro extremo conectada la llave de paso para verificar que la mezcla no salga con grumos



b) En la foto se observa al personal de inyección, encargado de llevar el control de la inyección y para ello se auxiliaban de un radio para comunicarse con la planta, para disminuir o aumentar la presión de inyección.

3.4 Procedimiento de inyección : En relación con la pantalla de inyección destacan :

La mezcla de inyecciones.  
Presiones de inyección.

**Mezcla de inyección.** Para definir el tipo de mezcla adecuado, como ya se mencionó anteriormente, se hizo referencia a la prueba de permeabilidad, ya que en la pantalla de inyección se consideró la utilización de mezcla a base de cemento, con la posibilidad de usar algún aditivo químico para mejorar sus características cuando así se requiriera.

La mezcla de inyección una vez traguada, debía cumplir la condición de convertirse en un material mecánicamente resistente, con un grado de contracción muy bajo y tener capacidad para soportar el deslave ocasionado por el agua de infiltración.

Es evidente que para la mezcla de inyección se requiere una cantidad de agua adicional con respecto al mínimo teórico necesario para la hidratación del cemento, ya que para lubricar la mezcla y hacerla inyectable se requiere que se forme una fina película de agua alrededor de cada grano de cemento.

Se utilizaron mezclas estables que presentaron menos del 3% de decantación en 2 horas. Cabe señalar que no se consideró recomendable agregar bentonita a la mezcla, ya que de acuerdo a estudios realizados, con esta adición se reduce sensiblemente su resistencia mecánica sin aumentar la viscosidad, contrariamente a lo que se pensaba anteriormente.

La diferencia es de 14 Kg. /cm<sup>3</sup> para mezclas con bentonita y de 100 Kg. /cm<sup>3</sup> para mezclas con aditivo sikament ( N ).

Es evidente que una mezcla estable con una relación agua - cemento baja, es decir con una menor cantidad de agua por parte de cemento, presenta una cohesión y una viscosidad elevada, que a su vez requiere presiones de inyección mayores, sin embargo estas características pueden ser deseables dependiendo del tipo de hueco por rellenar.

Para la inyección de fisuras finas y medianas se requiere disminuir la cohesión y la viscosidad de la mezcla, sin aumentar la relación agua - cemento, para lograr lo anterior existen aditivos que permiten disminuir estas propiedades actuando como fluidizante del cemento; con algunos aditivos se llegan a tener reducciones de hasta 10 veces la cohesión de la mezcla.

Por el contrario, para inyección de oquedades o ductos cársticos, no se requieren mezclas con cohesión y viscosidad bajas, por lo tanto, además de no usar aditivos fluidizantes es importante reducir la relación agua - cemento, para ello, se le adiciona arena a la mezcla, obteniéndose así un mortero.

**Proporcionamiento y propiedades de la mezcla :** El proporcionamiento de la mezcla es con una relación agua - cemento en peso ( A : C ) = 0.8 a 1.0 con aditivo sikament ( N ), variando de 1.0 a 1.4 % en peso de cemento de acuerdo a lo indicado por el laboratorio de mezclas.

CEMENTO	=	50 Kg.	=	16.5 Lt
AGUA	=	40 Kg.	=	40 Lt
SIKAMENT " N "	=	0.50 Kg.	=	0.446 Lt
		VOLUMEN	=	56.946 LT /SACO

57 Lt / SACO = LO QUE EQUIVALE A UNA BACHA

**Las propiedades que debe cumplir la mezcla son :**

- Viscosidad al cono marsh entre 29 y 31 segundos ( constante durante una hora )
- Densidad = 1.55 gr. / cm<sup>3</sup>
- Decantación (sedimentación ) = 3% en dos horas
- Cohesión ( con placa ) = 0.20 mm
- Coeficiente de filtración 0.60
- Cake en el ensaye de filtración con 200 cc = 15 mm
- Resistencia a la compresión simple, a la edad de 28 días  $Re = 100 \text{ Kg. /cm}^2$

**Fluidez :** La medición de esta propiedad se hace mediante el cono apropiado para el tipo de mezcla, para los morteros se utiliza el cono prepaqt y para las lechadas el cono marsh, el mecanismo de medición es el mismo en ambos casos y es el siguiente.

1.- Se toma la muestra recién preparada y se lleva el cono hasta donde lo indique la marca, manteniendo tapado el orificio en la parte inferior.

2.- Se procede a dejar fluir la mezcla que se verterá en un recipiente graduado de 1.0 lt. de capacidad, al tiempo de dejar fluir la mezcla se inicia el conteo del tiempo mediante un cronómetro con precisión de décimas de segundo, y se terminará esto cuando la mezcla en el recipiente alcance un volumen de 946 ml.

3.- El resultado del tiempo transcurrido para alcanzar los 946 ml. es el valor de la fluidez de la mezcla.

**Densidad :** Es la relación del peso de una muestra entre un volumen similar de agua a 4° C , y se mide en gramos por centímetro cúbico.

1.- Se coloca la base o el estuche en una superficie aproximadamente nivelada.

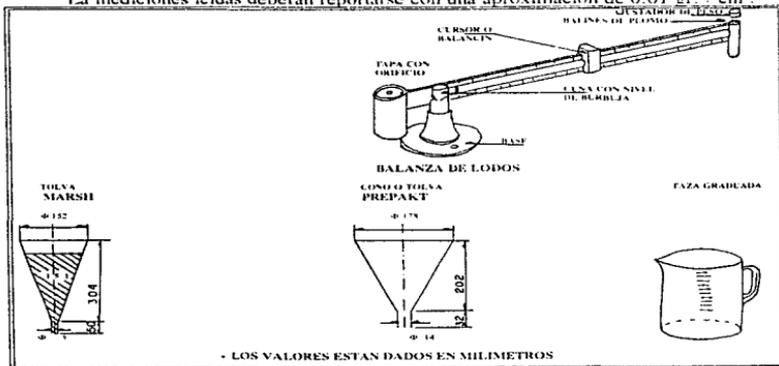
2.- Se recolecta una muestra de la mezcla con el recipiente de la balanza y se golpea levemente el recipiente varias ocasiones para liberar la mezcla de aire ó gas entrampado, luego se coloca la tapa en la copa y presiona hacia abajo con un movimiento giratorio lento hasta que esté firmemente asentada, se asegura que algo de la mezcla sea forzada a salir por el agujero de la tapa.

3.- Se limpie la mezcla de la superficie de la copa o recipiente, y de la tapa se elimina cualquier exceso de agua.

4.- Se coloca la cuña en la base de la balanza y se mueve el cursor o balancín a lo largo del brazo hasta que esta quede nivelada, la balanza esta horizontal cuando el nivel de burbuja fluctúa en una distancia igual a uno y otro lado del centro de línea.

5.- Se toma la lectura del lado del cursor o balancín más cercana a la copa ( la flecha en el cursor apunta hacia ese lado ).

La mediciones leídas deberán reportarse con una aproximación de  $0.01 \text{ gr} \cdot \text{cm}^3$



### Equipo para medición de parámetros de mezclas de cemento

**Decantación ( sedimentación )** . Consiste en colocar 300 ml de lechada en probetas de 500 ml de capacidad y medir durante dos horas la cantidad de agua libre en la superficie, con la cual se obtiene el porcentaje de sedimentación debiendo ser éste menor al 3 % .

**Cohesión** . Se obtiene por medio de una placa de acero inoxidable cuadrada de 10 X 10 y espesor de .4 mm rayada en ambas caras ( el rayado se recomienda en cuadrícula a cada 0.5 cm ) . Se pesa la placa y posteriormente se introduce en la lechada hasta impregnarla, se retira de la lechada, se deja escurrir y se pesa nuevamente, la diferencia de peso se divide entre el área de la placa obteniéndose así la cohesión en  $\text{gr} \cdot \text{cm}^2$  . El valor de la cohesión debe ser  $\approx 0.20 \text{ mm}$  .

**Coefficiente de filtración o Cake** . Se obtiene a partir de la prueba de filtrado, que consiste en determinar la cantidad de líquido que se extrae de una muestra de lechada de 200  $\text{cm}^3$  por medio de un filtro - prensa de área filtrante especificada y a una presión de 7  $\text{Kg} / \text{cm}^2$  durante un intervalo de 30 minutos.

El espesor de los sólidos que quedan retenidos en un papel filtro especial para la prueba de filtrado, se denomina Cake de lodo y se reporta en mm. el valor de Cake es = 15mm

$$\text{COEFICIENTE DE FILTRACIÓN} = \frac{\text{VOLUMEN DE AGUA FILTRADA} \times (\text{TIEMPO EN MINUTOS})^{-0.5}}{\text{VOLUMEN TOTAL INICIAL}}$$

**Resistencia a la compresión simple.** Consiste en aplicar un esfuerzo normal a una probeta no confinada con una velocidad de 10 Kg./cm<sup>2</sup>/min. La probeta debe de ser de forma cilíndrica con una relación altura - diámetro (relación de esbeltez) de 2.0. La probetas son ensayadas a los 7 y 28 días, siendo la resistencia mínima de 100 Kg./cm<sup>2</sup>

**Preparación de la mezcla:** La preparación de la mezcla será en turbomezclador de altas revoluciones, colocando los materiales en el siguiente orden: Agua, cemento y por último el aditivo. Una vez que se ha adiconado el aditivo, se mantiene agitando la mezcla en el turbomezclador durante 3 minutos, despues se pasa al agitador de bajas revoluciones en el cual se mantiene durante su inyección al terreno. Las mezclas con mas de 60 minutos de haber sido preparadas se desechan o cuando alcanzan una temperatura de 45° en estado de agitación. El equipo empleado para la preparación de mezclas lo podemos observar en la ( Fig. 3.12 ).

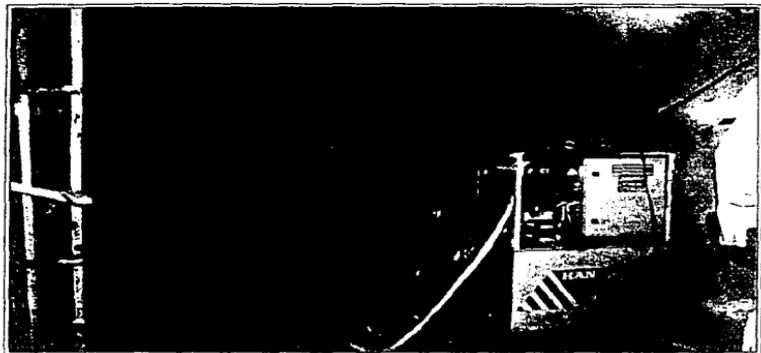


Figura 3.12 Inyección de pantalla y conexión de liga. La mezcla se preparaba en la superficie, se recibía en el interior de la galería en un agitador vertical y se inyectaba al terreno por medio de un inyector HANY ZMP - 725.

**Procedimiento de inyección (presión y volumen máximo) :** Es importante señalar que la inyección debe realizarse durante las primeras 24 horas de haber sido saturado el barreno.

La inyección de un barreno se iniciaba a partir del tramo más profundo y se ejecutaba en subtramos de 5.0 m en 5.0 m, en forma ascendente, hasta los 10 m de profundidad, estos últimos serán inyectados como tratamiento de consolidación. Una vez iniciada la inyección esta no podrá detenerse por ninguna causa, siendo un proceso continuo de principio a fin, pero si esto ocurriese ( taponamiento del equipo o cualquier interrupción ), se bombearán 200 litros de agua para limpiar todo el carril y reiniciar la inyección del tramo.

Desde el inicio de la inyección y hasta el final se lleva un registro continuo de la evolución de los parámetros de cada tramo inyectado tales como : Presión de inyección medido en el brocal del barreno, volumen de lechada inyectada y tiempos, con estos parámetros se elaboran las gráficas de inyección, como se aprecia en la ( Figs. 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 ).

**A :** gráfica de presión ( Kg. / cm<sup>2</sup> ) VS volumen ( Lt. / m )

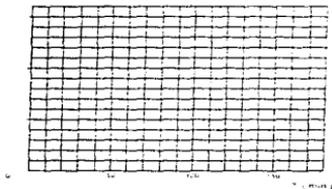
**B :** gráfica de presión ( Kg. / cm<sup>2</sup> ) VS tiempo ( min. )

**C :** gráfica de gasto ( Lt / min. ) VS tiempo ( min. )

**D :** gráfica de gasto / presión ( Lt / min. ) VS volumen inyectado ( Lt. / m )  
( Kg. / cm<sup>2</sup> )

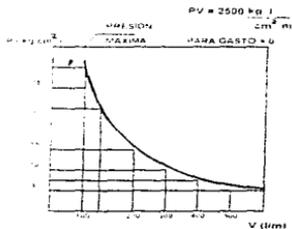
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
 P. H. AGUAMILPA, NAYARIT.  
 GRAFICAS DE CONTROL DE INYECCION

Q (l/min)  
 P (kg/cm<sup>2</sup>)



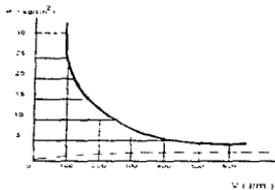
GRAFICAS

GASTO - TIEMPO  
 INYECCION - TIEMPO



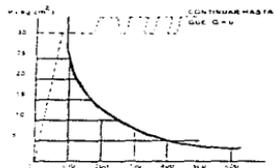
GRAFICA P - V

V (litros)  
 VOLUMEN LIMITE



PV = 2500 kg l / cm<sup>2</sup> m

--- COMPORTAMIENTO DE LA INYECCION

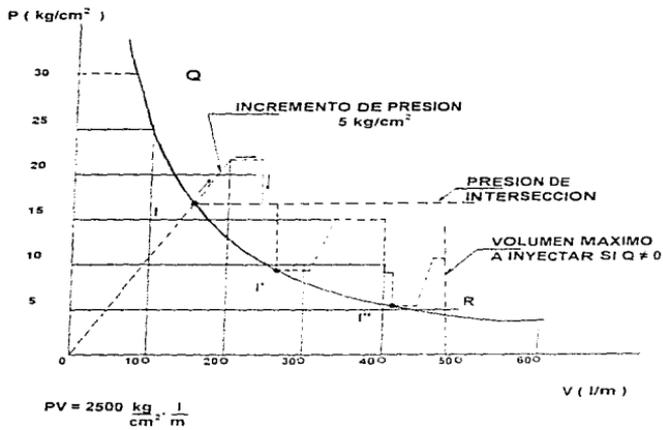


PV = 2500 kg l / cm<sup>2</sup> m

--- COMPORTAMIENTO DE LA INYECCION

Figuras 2.13, 2.14 y 2.15

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
 P. H. AGUAMILPA, NAYARIT.  
 GRAFICA DE CONTROL DE INYECCION



COMPORTAMIENTO DE LA INYECCION

figuras 2.16

La gráfica de control de inyección para la pantalla profunda fue de la curva  
P.V. = 2500 Kg. / cm<sup>2</sup> x Lt. / m.

La presión de inyección medida en el brocal del barreno se aplicó en incrementos de 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> cada dos o cinco minutos hasta alcanzar la presión máxima del tramo.

El comportamiento de la inyección se siguió a través de la gráfica

P.V. = 2500 Kg. / cm<sup>2</sup> x Lt. / m. en la cual se presentaban casos como los descritos a continuación :

Si durante la inyección no se levantaba presión a 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> y se llegaba al volumen máximo inyectado de 500 Lt. / m se procedía de la siguiente manera :

Al llegar al volumen máximo se paraba la inyección

Pasado 6 horas de haberse suspendido la inyección se iniciaba como un tramo nuevo.

Las operaciones anteriores se repetían 2 veces como máximo, después de esto si se continuaba con el alto consumo sin levantar presión se hacían barrenos adicionales.

Se modificaba lo anterior solamente cuando ocurría alguno de los casos siguientes :

Cuando la inyección levantaba presión rápidamente alcanzando la presión máxima, ésta se mantenía constante durante 10 minutos y se medía el gasto en la forma siguiente :

Si el gasto medido es menor a 5.0 Lt. / min. Se daba por terminada la inyección.

Si el gasto medido era mayor a 5.0 Lt. / min. Se bajaba la presión a 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> se mantenía durante 10 minutos y se medía el gasto.

Si el gasto medido era menor a 5.0 Lt. / min. Se daba por terminada la inyección

Si el gasto medido era mayor a 5.0 Lt. / min. Se subía la presión 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> y se mantenía durante 10 minutos y se medía el gasto

Si el gasto medido era menor a 5.0 Lt. / min. Se daba por terminada la inyección

Si el gasto medido era mayor a 5.0 Lt. / min. Se repetían los pasos anteriores

Cuando la inyección levantaba presión y en su trayectoria interceptaba la curva.

P.V. = 2500 ( Kg. / cm<sup>2</sup> ) x ( Lt. / m ) entre los puntos Q y R ( Ver gráfica ) se aumentaba 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> a la presión de inyección.

Partiendo del punto de intersección I de la trayectoria de la inyección y la curva

P.V. = 2500 ( Kg. / cm<sup>2</sup> ) x ( Lt. / m ) se aumentaba la presión 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup>.

Una vez aumentada la presión, se dejaba que el tramo tomara la mezcla por 10 minutos y se medía el gasto.

Si el gasto era menor a 5 Lt. / min. La inyección se daba por terminada

Si el gasto era menor a 5 Lt. / min. La presión se disminuía al interceptar la curva P.V. en el punto I.

Con este valor de presión, se permitía que el terreno tomara la mezcla y se medía el gasto.

Se aplicaba la regla de los 5.0 Lt. / min. y en caso de que el gasto siguiera siendo mayor de dicho valor se procedía a :

A partir del punto en que se encuentra la inyección en la gráfica, se traza una línea vertical descendente a interceptar la curva  $P.V = 2500 ( Kg. / cm^2 ) \times ( Lt. / m )$  punto I'.

Con la nueva presión del punto I' se dejaba que el terreno tomara la mezcla durante 10 minutos y se medía el gasto.

Se aplicaba la regla de lo 5.0 Lt. / min. Y si el gasto era mayor :

Se incrementaba 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> de presión se dejaba que el terreno tomara la mezcla durante 10 minutos y se medía el gasto.

Si el gasto era menor a 5.0 Lt. / min. La inyección se daba por terminada.

Si el gasto era menor a 5.0 Lt. / min. Se disminuía la presión al valor que tenía al interceptar la curva P.V en el punto I.

Con este valor de presión se permitía que el barrenado tomara la mezcla y se medía el gasto.

Se aplicaba nuevamente la regla de los 5.0 Lt. / min. Y si el gasto era mayor se trazaba una línea vertical descendente a interceptar la curva

$P.V = 2500 ( Kg. / cm^2 ) \times ( Lt. / m )$  punto I'', el ciclo se repetía si no finalizaba la inyección hasta llegar al volumen máximo de 500 Lt. / min. La inyección se suspendía, se lavaba el carril y se dejaban transcurrir 6 horas y se reiniciaba la misma como un tramo nuevo.

Terminada la inyección se mantenía la válvula cerrada por un tiempo mínimo de 2 horas

TRAMO ( M )	PRESION ( Kg. / cm <sup>2</sup> )
0 - 5	10
5 - 10	15
10 - 15	30
TRAMOS RESTANTES	40

**Relación de Presión de inyección con respecto a la profundidad de inyección.**

**Inyección de conexión de liga :** Para los barrenos con longitudes mayores de 10 m se utiliza el mismo procedimiento de la inyección de pantalla profunda a excepción de los tramos de 5 a 10 m que se inyectaron bajo el siguiente procedimiento :

La presión de inyección medida en el brocal. Del barrenado se aplicaban en incrementos de 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> cada 2 ó 5 minutos hasta alcanzar la presión máxima de acuerdo al procedimiento anterior descrito, al alcanzar 20 Kg. / cm<sup>2</sup> se medía el volumen inyectado.

Si el volumen inyectado era mayor de 40 Lt. / m se continuaba hasta terminar la inyección con esta presión.

Si el volumen inyectado era menor a 40 Lt. / m se incrementaba la presión a 25 Kg. / cm<sup>2</sup> y se mantenía constante por 10 minutos y se medía el gasto.

Si el gasto no aumentaba considerablemente a la presión de 20 Kg. / cm<sup>2</sup> se incrementaba a 30 Kg. / cm<sup>2</sup> y a esta presión se terminaba la inyección.

Si en cualquier incremento en la presión se aumentaba considerablemente el gasto, se procedía en observar la trayectoria de la inyección en la curva de intensidad de inyección constante.

El comportamiento de la inyección se seguía a través de la gráfica P.V. = 2500 Kg. / cm<sup>2</sup> Lt. / m de acuerdo a lo descrito en la inyección de pantalla profunda.

El tramo de 0 a 5 de pantalla o de conexión se inyectaba con el siguiente procedimiento :

Se aplicaba la presión en incrementos de 5.0 Kg. / cm<sup>2</sup> , en 10 Kg. / cm<sup>2</sup> y se medía el volumen inyectado.

Si el volumen inyectado era menor de 40 Lt. / m se aumentaba la presión a 15 Kg. / cm<sup>2</sup>.

Si en cualquier incremento en la presión el gasto aumentaba considerablemente, se procedía a observar la trayectoria de la inyección en la curva P.V. de acuerdo al procedimiento de inyección de pantalla.

Una vez concluida la inyección se mantenía cerrada la válvula por un tiempo de 2 horas como mínimo.

En los contactos concreto - roca (de 0.5 a 2 m) ya no fue necesario aplicar la curva de control P.V., únicamente se aplicó el criterio de " Sellar " el barrenos a la presión de rechazo de 1 - 2 Kg. / cm<sup>2</sup> y con el volumen total de consumo lechada.

Como garantía de una inyección eficiente, al finalizar la inyección total de un barrenos con el " sellado " en el brocal, se mantenan cerradas las válvulas de paso de la lechada durante un tiempo mínimo de 2 horas con el fin de mantener la presión de inyección dentro del barrenos, evitando con esto la liberación de presión, dando al mismo tiempo el fraguado inicial de la mezcla. Para las inyecciones de contacto concreto - roca se emplearon presiones de 1 a 2 Kg. / cm<sup>2</sup>.

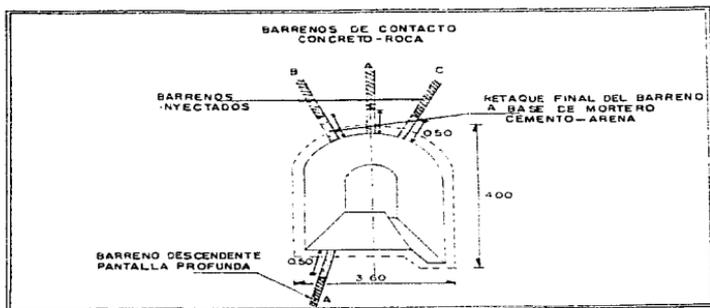
En caso de resurgir lechada a superficie ( No por el brocal ). En el proceso inyectado, se calafateaba la resurgencia con una pasta de yeso - cemento.

**Retaque final de barrenos inyectados :** Después de 24 horas de haber terminado la inyección de un barrenos, es decir el último tramo que llega al brocal, se sopletó el tramo por retaque con aire a presión ; posteriormente se relleno con mortero agua - cemento arena en las siguientes proporciones.

AGUA 27 Lt.  
CEMENTO 50 Kg.  
ARENA 26 Kg.

CONSUMOS

CONSUMOS DE HASTA 300 Lt. / seg. x m  
0.0 A 5.0 m EN ROCA 60 Lt. / m



Retaque final de un barreno inyectado.

Como ya se menciono anteriormente se realizaron inyecciones de pantalla profunda, conexión de liga con pantalla e inyecciones de consolidación de contacto concreto - roca ( C C R ) en las galerías, esto lo podemos apreciar mejor en las ( Figs. 3.17, 3.18, 3.19, 2.20, 3.21 y 3.22 ).

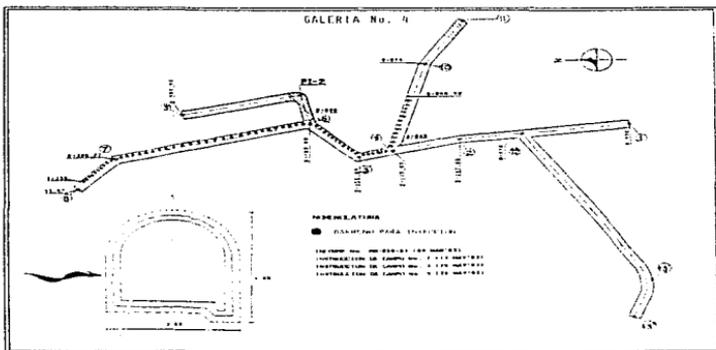


Figura 3.17 Pantalla profunda de inyecciones galería No 4

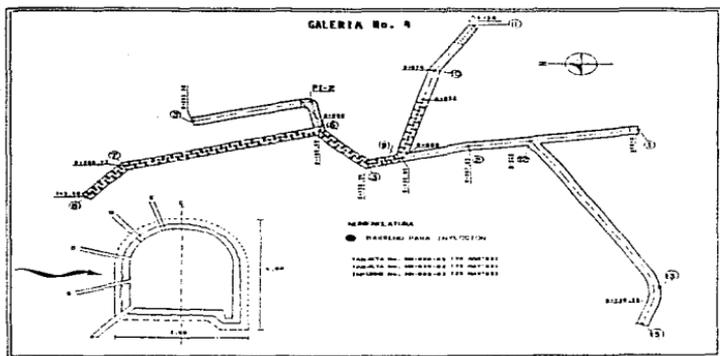


Figura 3.18 Inyección de conexión de liga galería No 4

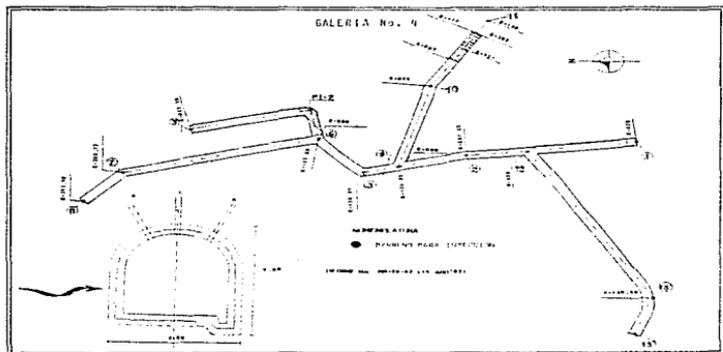


Figura 3.19 inyección de contacto concreto - roca en tapón galería No 4



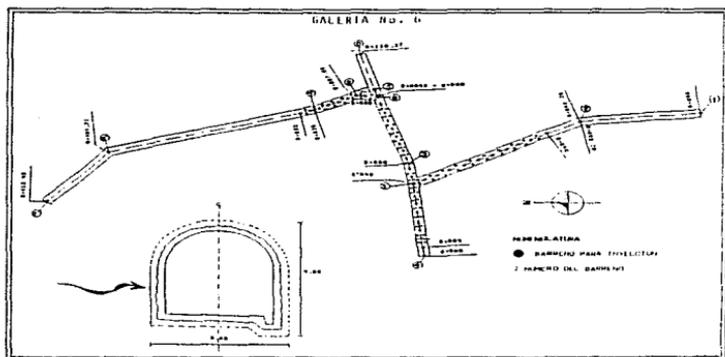


Figura 3.22 Inyección de contacto concreto - roca galería No 6

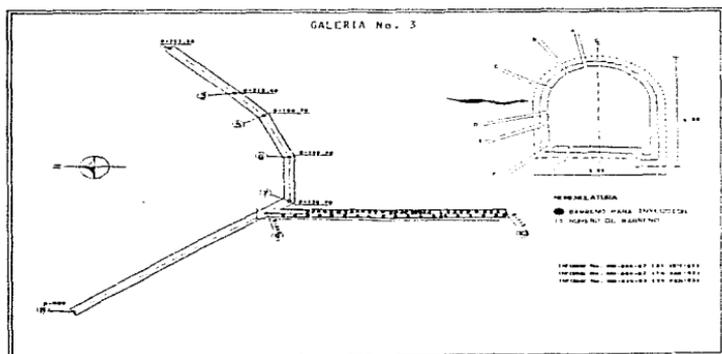


Figura 3.23 Pantalla profunda de inyecciones galería No 3



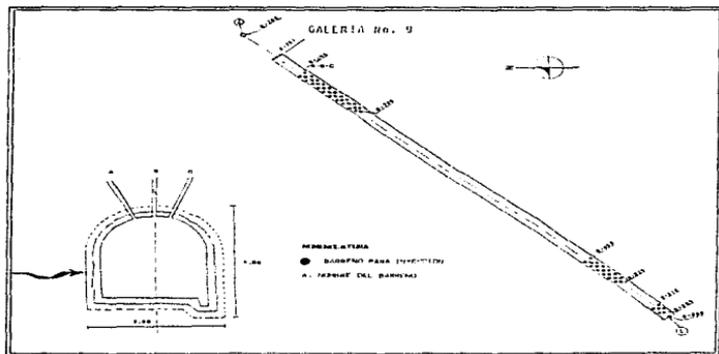


Figura 3.26 Inyección de contacto concreto - roca galería No 9

#### IV CONSTRUCCION DE LA PANTALLA DE DRENAJE

**IV.1 PANTALLA DE DRENAJE :** La pantalla de drenaje tiene por objeto eliminar la presión del agua en el macizo rocoso, así como la presión hidrostática sobre las principales estructuras y para lo cual se efectuó desde las galerías No 2, 4, 6 y 7 de la margen derecha y por margen izquierda por las galerías No 3, 5, 8 y 9.

Una vez que finalizaron los trabajos de inyección, se procedió a la perforación de los barrenos de drenaje, para evitar el riesgo de que estos se taponaran o que sirvieran como vías para la fuga de la lechada. En la pantalla de drenaje se perforaron los drenes en forma de abanico, con el fin de captar el mayor volumen de agua, cubriendo la mayor parte de la pantalla de inyección.

Otra vías de drenaje importante, la representan las propias galerías de drenaje, las cuales al no contar con el revestimiento son apropiadas para trabajar como drenes de gran diámetro.

**IV.2 CONSTRUCCION :** La pantalla de drenaje estuvo constituida por una y hasta tres líneas de barrenos ascendentes y descendentes localizados paralelamente aguas abajo de la pantalla de inyecciones, cuya orientación estuvo en función de los principales sistemas de fracturamiento, esta pantalla se efectuó desde las galerías con un procedimiento constructivo que consistió básicamente en las siguientes actividades.

**2.1 Trazo topográfico:** Los barrenos de pantalla de drenaje fueron ejecutados de Cadenamiento, elevación, ángulo vertical y rumbo del barreno, para ello fue necesario marcar topográficamente cada brocal en el sitio y la dirección del barreno. Ver ( Fig. 4.1 )

**2.2 Perforación :** Las perforaciones se llevaron a cabo desde el interior de las galerías, utilizando para ello una perforadora de túnel con martillo de fondo y broca de 5 8 de  $\phi$ , se instaló un compresor portátil de alta presión de 750 PCMI en el interior de cada galería, el cual suministró el aire comprimido para la máquina por medio de una tubería de conducción de 2 7 de  $\phi$ . El agua utilizada para el barrido, fue llevada hasta la máquina a gravedad desde un tanque elevado en la zona del portal.

**2.3 Limpieza y lavado del barreno:** Generalmente el lavado del barreno se realizó mediante la tubería de perforación al concluir el barreno mediante la aplicación de agua limpia y aire, hasta dejarla totalmente libre de partículas. Después de sacar la herramienta de perforación se limpiaba el área de trabajo, que consistía en retirar todo el desecho con la ayuda de carretillas.

BARRENACION	CANTIDAD
DESCRIPCION	
TUNEL TRACK O SIMILAR	1
COMPRESOR PORTATIL 750 PCM	1
DESCRIPCION	CANTIDAD
CABO DE OFICIOS	0,5
PERFORISTA	1
AYUDANTE DE PERFORISTA	2
COMPRESORISTA	1

#### Equipo y mano de obra empleado para la pantalla de drenaje

Los trabajos para realizar la pantalla de drenaje profundo fueron diferentes en las galerías, ya que al detectarse fallas geológicas, que estas atravesaban, se realizaron trabajos de revestimiento tales como mortero lanzado, revestimiento de concreto a sección completa y anclajes para amacizar la roca y poder trabajar de una forma más segura. Ver (Figs. 4.2, 4.3).

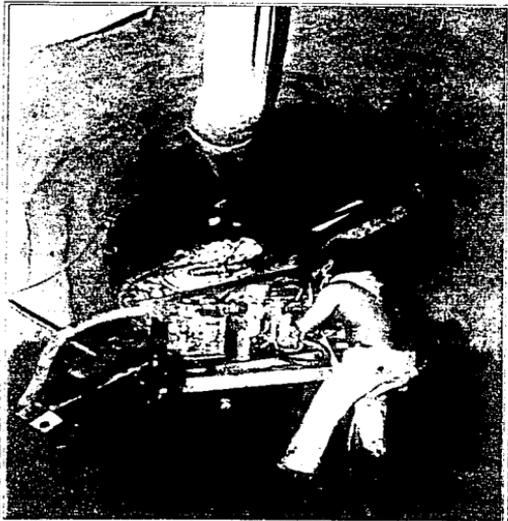


Figura 4.1  
 Posicionamiento del track drill con pluma recortada para la perforación de los barrenos de drenaje : En la foto se puede apreciar el marcaje de los barrenos, como es el cadenamiento rumbo y posición exacta.  
 Barreno ascendente de galería 3 a galería No 5 margen izquierda

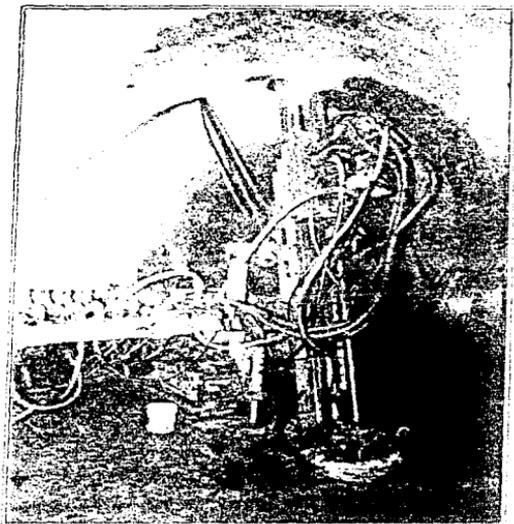
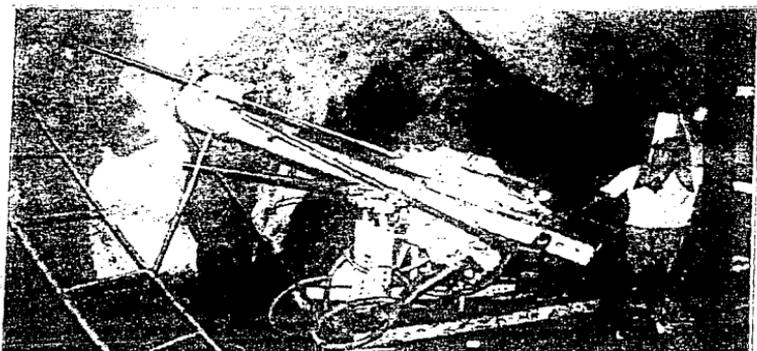


Figura 4.2  
En la foto superior se observa el recorte del piso para poder posicionar el túnel track y así realizar el barrero de drenaje.

Figura 4.3  
En la foto inferior se observa el túnel track con martillo de fondo listo para iniciar el barrero ascendente y hacia aguas arriba para drenar las filtraciones de la pantalla de estanqueidad y el agua de lluvia que se filtre en el macizo rocoso.



Los tratamientos de la pantalla de drenaje profundo, así como la ubicación de piezómetros es para llevar un control bien organizado de las filtraciones a través de la pantalla de estanqueidad que con el tiempo ocurren. Estos mecanismos forman parte de la instrumentación de la cortina. Ver ( figs. 4.4 a la 4.13 ).

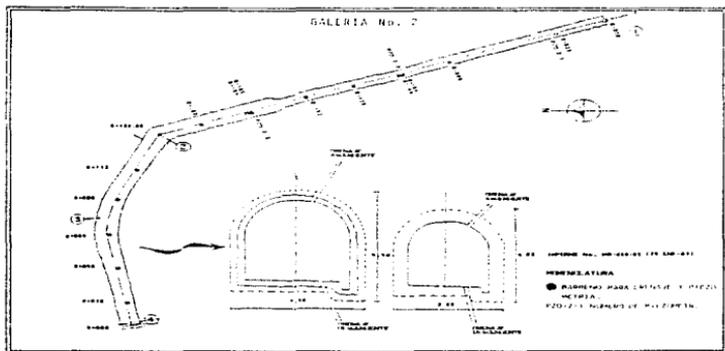


Figura 4.4 Pantalla de drenaje profundo y piezometría galería No 2

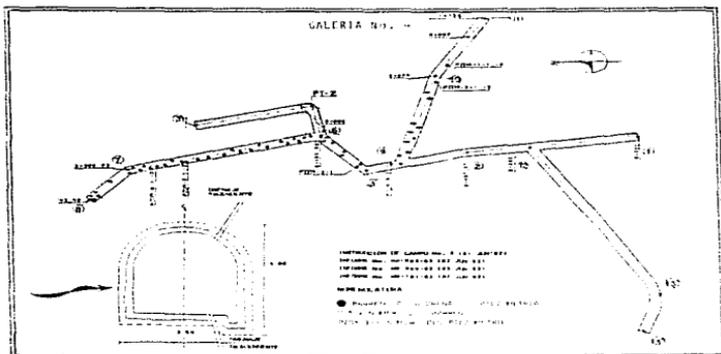


Figura 4.5 Pantalla de drenaje profundo y piezometría galería No 4

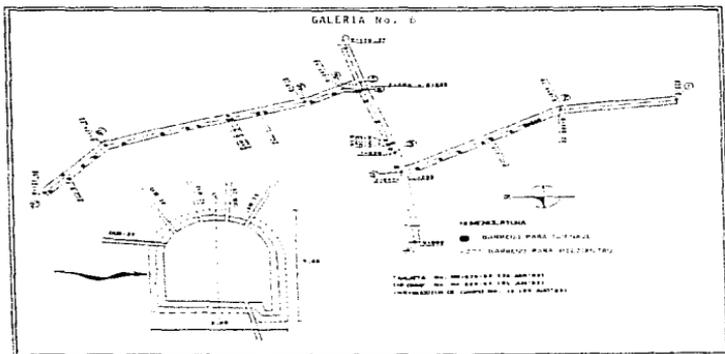


Figura 4.6 Pantalla de drenaje profundo y piezometría galería No 6

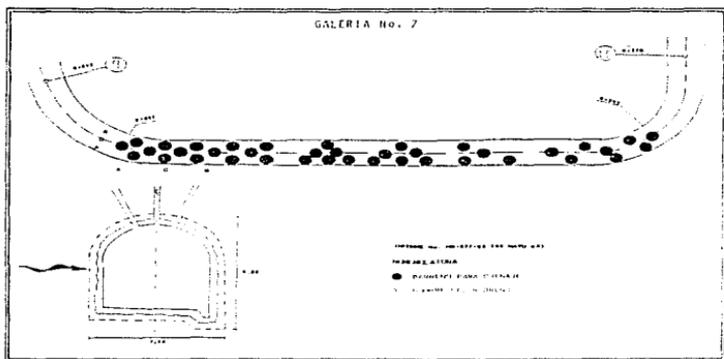


Figura 4.7 Pantalla de drenaje profundo galería No 7

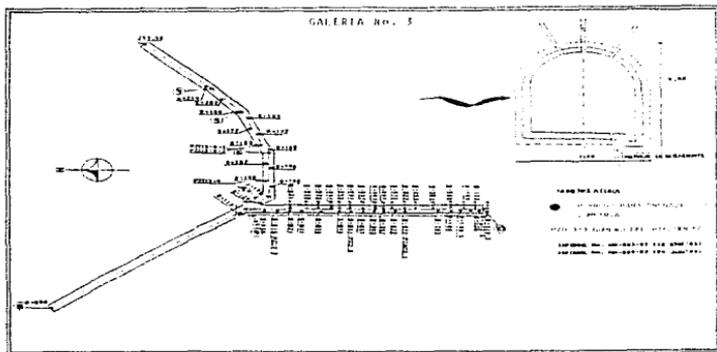


Figura 4.8 Pantalla de drenaje profundo y piezometría galería No 3

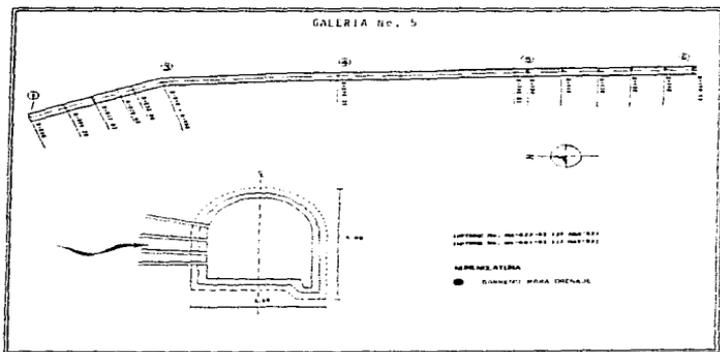


Figura 4.9 Pantalla de drenaje profundo galería No 5

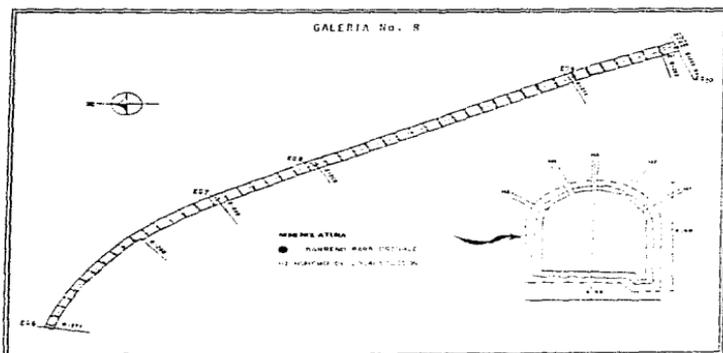
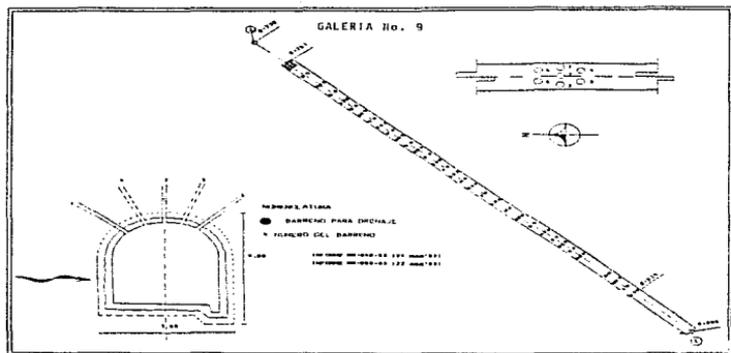


Figura 4.10 Pantalla de drenaje profundo galería No 8



**Figura 4.11 Pantalla de drenaje profundo galería No 9**

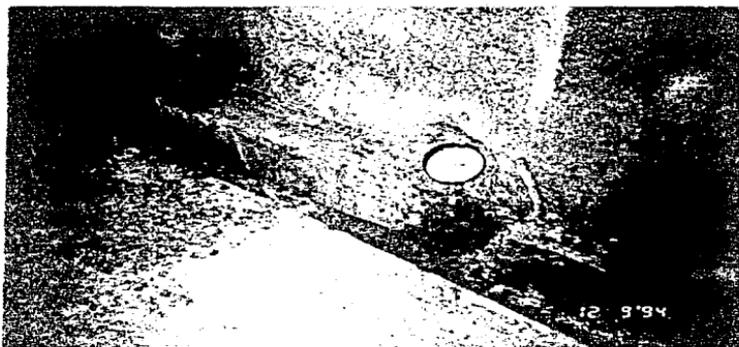


Figura 4.12  
En la foto superior se  
aprecia la puesta en  
servicio de un piezómetro  
ubicado en la galería No 2

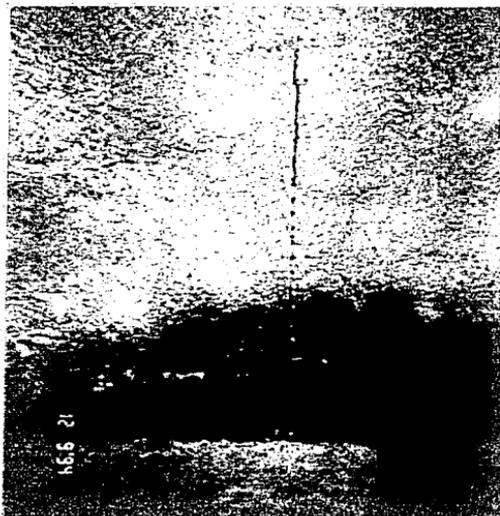


Figura 4.13  
En la foto inferior se  
observa un barrero de  
drenaje, en el cual se  
ve la preparación que  
tiene en el brocal para  
canalizar mejor el flujo  
de agua y no tener  
escorrentamiento por las  
paredes. Galería No 2.

## V INGENIERIA LEGAL

**V.1 LICITACION PUBLICA:** Durante la construcción del plano de estanqueidad fue necesario efectuar licitaciones públicas para adjudicar contratos complementarios para la ejecución de actividades de: Trazo, nivelación y levantamiento topográfico, planeación control de avances de obra, análisis de precios unitarios extraordinarios y reclamaciones a los contratos de obra pública del proyecto.

De acuerdo a lo establecido por el reglamento de la Ley de Obras Públicas, se efectuó la licitación pública para la " construcción de las obras de contención, generación y excedencias " ; la que se adjudicó a la compañía Ingenieros Civiles Asociados S.A de C.V mediante el contrato 891049 y supervisada por la Residencia de Obra Civil de C.F.F. a través de la Jefatura de supervisión de las obras de contención.

Con fecha 02 / oct. / 1989, se celebró el concurso SDC - GPI - I 01 - 89, referente a la " construcción de las obras de generación, contención y excedencias del proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Nayarit " emitiéndose el fallo el 08 / nov. / 1989, a favor de la empresa Ingenieros Civiles Asociados S.A de C.V y con ello la adjudicación del contrato 891049, dentro de los alcances se contempló la construcción de las galerías y sus tratamientos, indicándose en los planos de concurso el proyecto y las especificaciones técnicas de construcción.

Basado en el plano de concurso, la contratista presentó su programa de construcción de galerías, el cual marca como fecha de inicio enero de 1990 y fecha de terminación junio de 1993 , no obstante en el programa recortado esta estructura debió iniciarse en mayo de 1990 y terminar en junio de 1993. Sin embargo realmente se inició en marzo de 1990 y terminación en julio de 1994.

Durante la construcción del plano de estanqueidad fue necesario efectuar licitaciones públicas para adjudicar contratos complementarios para la ejecución de las actividades de :

Trazo, nivelación y levantamiento topográfico, planeación y control de avances de obra, análisis de P.U. extraordinarios y reclamaciones a los contratos de obra pública del P.II Aguamilpa, Nayarit, observando la modalidad para contratos de obra pública locales adjudicados directamente conforme al artículo 57 del párrafo II de la Ley de Obras Públicas.

En la tabla 1.0 se muestran los contratos y modalidades bajo las cuales la Unidad de Servicios Técnicos adjudicó los contratos adicionales que tuvieron participación en el plano de estanqueidad.

NOMBRE	N° CONTRATO	DESCRIPCION	TIPO CONTRATO
COMPU - TIEMPO	903029	SERVICIO DE PLANEACION Y PROGRAMACION DE AVANCES DE LA OBRA CIVIL DEL PROYECTO AGAMILPA, NAYARIT.	ADJUDICACION DIRECTA
DRECA	913063	SERVICIO DE TOPOGRAFIA GENERAL PARA LA SUPERVISION DE LA CONSTRUCCION DEL P.H. AGAMILPA, NAYARIT.	ADJUDICACION DIRECTA
ICSA	903034	ANALISIS, REVISION, CALCULO, CONCILIACION Y DEFINICION DE P.U. DE TRABAJOS EXTRAORDINARIOS ASI COMO RECLAMACIONES A LOS CONTRATOS DE OBRA PUBLICA DEL P.H. AGAMILPA, NAYARIT.	ADJUDICACION DIRECTA
	913011	IDEM	ADJUDICACION DIRECTA
	923008	IDEM	ADJUDICACION DIRECTA
	933026	IDEM	ADJUDICACION DIRECTA
	REGA-GLS 07-93	IDEM	ADJUDICACION DIRECTA
BISA	923046	ESTUDIO, REVISION Y CONCILIACION A LOS P.U. N° 64, 93, 188, 198, POR CAMBIO DE PROYECTO ORIGINAL, POR AJUSTES DE ESTOS EN OBRA ADICIONAL Y EXTRAORDINARIA.	ADJUDICACION DIRECTA
BISA	REGA-CN-20/92	ESTUDIO, REVISION Y CONCILIACION DE P.U. EXTRAORDINARIOS Y RECLAMACIONES DE P.U. DEL CONTRATO 891049 P.H. AGAMILPA, NAYARIT.	ADJUDICACION DIRECTA
	92068		ADJUDICACION DIRECTA

Tabla 1 Licitaciones

**V.2 ESTIMACION :** En el procedimiento de pago de estimaciones del contrato 891049, la elaboración de los números generadores estuvieron a cargo de la constructora, en tanto la revisión se realizó por parte de supervisión de C.F.E. a través de sus jefaturas dentro de los ocho días hábiles de la fecha de corte de los trabajos fijados por C.F.E.

Sin embargo, la constructora tuvo deficiencias en las presentaciones de los generadores dentro del plazo estipulado en el artículo 47 de la ley de obras públicas, provocando con esto atraso en la presentación del generador al entregar la documentación de soporte incompleta el cual era motivo suficiente para rechazar la estimación. Por tal motivo, la comisión asignó personal permanente para auxiliar a la contratista y agilizar los trámites mensuales de estimación.

Para la presentación de los números generadores se recurrió a las formas autorizadas para tal fin como son :

- Formato N° 01 Control de pago de estimaciones
- Formato N° 02, 03 y 04 Resumen de números generadores
- Formato N° 05, 06 y 07 Análisis de números generadores

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se muestran ejemplos de la presentación de los números generadores en el formato correspondiente enfocados a la estimación mensual.

Los generadores conciliados y autorizados por la jefatura de supervisión fueron enviados a la unidad de servicios técnicos, quien es el encargado de elaborar las estimaciones de las obras ejecutadas.

Una vez autorizadas las estimaciones por la residencia general del P. H. Aguamiipa, la estimación se envió al coordinador del proyecto hidroeléctrico para el trámite correspondiente ante la subdirección de finanzas. ( Figs. 5.1 y 5.2 )

La metodología establecida para la recepción, revisión y autorización de los números generadores correspondientes a la jefatura de obras de contención, permitió a la contratista mediante el cobro oportuno de las estimaciones, la recuperación de su inversión y utilidades correspondientes. **Tabla 6.**

**V.3 OBRA EXTRAORDINARIA :** La Comisión Federal de Electricidad, por así convenir a sus intereses y políticas de generación de energía eléctrica, aceptó la propuesta de la contratista en adelantar un año la terminación de la obra. Esto obligó a modificar los procedimientos constructivos, diseño de algunas obras complementarias y por consiguiente el programa general de construcción.

Aunado a esas causas, se modificaron las especificaciones para las inyecciones del plano de estanqueidad.

Debido a las modificaciones ya descritas, se generaron conceptos que no estaban previstos, los cuales se tuvieron que analizar cuidadosamente por ambas partes ( C.F.E e I.C.A. S.A. de C.V. ) para llegar a un acuerdo del precio unitario y poder emitir las órdenes de trabajo para su ejecución inmediata.

En la tabla 7 se muestra un flujograma para la revisión de precios unitarios extraordinarios.



**PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA**  
**CONTROL DE PAGO DE ESTIMACIONES**

FORMA No. 21

HOJA \_\_\_ DE \_\_\_

OBRA: CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONTENCION, GENERACION Y EFICIENCIAS.  
 CONTRATO No. 891049 ESTIMACION No. 60 NORMAL ESCAL.  
 IMPORTE DE LA ESTIMACION (SIN I.V.A.) \_\_\_\_\_  
 PERIODO DEL 01/NOVIEMBRE/93 AL 30/NOVIEMBRE/93, SOLICITUD DE FONDOS No. \_\_\_\_\_  
 FECHA \_\_\_\_\_ IMPORTE DEL CONTRATO \$ \_\_\_\_\_  
 CONVENIOS \$ \_\_\_\_\_ TOTAL \_\_\_\_\_ IMPORTE ESTIMADO ACUMULADO \_\_\_\_\_  
 \$ \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 PLAZO DE TERMINACION CONTRATO \_\_\_\_\_ CONVENIOS \_\_\_\_\_

FORMALIZACION	RECEPCION DOCUMENTOS		ENTREGA DOCUMENTOS		PLAZOS	
	FECHA	FIRMA	FECHA	FIRMA	(PROGRAMADO)	REALES
CONTRATISTA			16/DIC/93			
RESIDENTE DE OBRA	15-12-93		16-12-93			
RESIDENTE TECNICO						
RESIDENTE GENERAL						
SERVICIOS TECNICOS						
FACTURA						
RESIDENCIA ADMINISTRATIVA						
ENVIO OFICINAS NACIONALES						
RECEPCION OFICINAS NACIONALES						
PAGO CFE						
PAGO NAFIN						
TOTAL						

OBSERVACIONES: NUMERO GOBIERNOS INTERIORES DE 2, 4, 6 Y 8

FIRMA  
 NOMBRE ING. JORGE HERRERA COLMECA

FIRMA  
 NOMBRE ING. ALFONSO ARCE ARANCO

Tabla 2 Control de pago de estimaciones



## PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA

FORMA No. 02

## RESUMEN DE NUMEROS GENERADORES

HOJA \_\_\_ DE \_\_\_

OBRA: CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONTENCION, GENERACION Y EXCEDENCIAS.  
CONTRATISTA: INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V.  
CONTRATO No. 891049 ESTIMACION No. 19  
PERIODO DEL 01 DE NOVIEMBRE AL 30 DE NOVIEMBRE DE 1993

CUENTA DE COSTOS	NUMERO CONCEPTO	BREVE DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
<u>RESUMEN GENERAL GALERIA</u>				
<u>GALERIA No. 2</u>				
	370-E	MORTERO LANZADO EN GALERIA	M3.	+ 0.0
	305-E	SUMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA DE 1X15X4" DOBLE	M2.	+ 143.3
<u>GALERIA No. 4</u>				
	370-E	MORTERO LANZADO EN GALERIA	M3.	+ 0.0
	305-E	SUMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA DE 1X15X4" DOBLE.	M2.	+ 65.9
<u>GALERIA No. 6</u>				
	*37	CONCRETO REFORZADO F'C=200 KG/CM2 COLOCADO EN MURO Y BOVEDA.	M3.	+ 16.9
	288-E	SUMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO EN PISO Y/O BOVEDA DE GALERIA.	TON.	+ 0.069
<u>GALERIA No. 9</u>				
	*37	CONCRETO REFORZADO F'C=200 KG/CM2 COLOCADO CON BOMBA EN MURO Y/O BOVEDA DE GALERIA.	M3.	+ 31.6
	288-E	SUMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO EN PISO MURO Y/O BOVEDA DE GALERIA.	TON.	+ 0.000
* P.U. PROVISORIAL				

RESIDENTE TECNICO

RESIDENTE GENERAL

EJECUTOR

FIRMA  
INGENIERO INC. BERNARDO ARCEJUN I.FIRMA  
INGENIERO INC. LUIS W. RIVERA GARCIAFIRMA  
INGENIERO INC. ALFONSO ARCE ARANCO

Tabla 3 Resumen de conceptos de números generadores

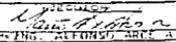
	<b>PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA</b> <b>RESUMEN DE NUMEROS GENERADORES</b>	FORMA No. 04 HOJA ___ DE ___		
OBRA: <u>CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN, GENERACION Y EXCEDENCIAS.</u> CONTRATISTA: <u>INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V.</u> CONTRATO No. <u>891049</u> ESTIMACION No. <u>49</u> PERIODO DEL: <u>01 DE NOVIEMBRE</u> AL <u>30 DE NOVIEMBRE DE 1993.</u>				
No. CATALOGO	ESPECIF.	C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD
SUMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO EN PISO Y/O BOVEDAS DE GALERIAS.				
288-E		GALERIA No. 6	Ton.	0.986
		GALERIA NO. 9	Ton.	3.522
			Ton.	4.508
CONCEPTO No. DOSCIENTOS OCHENTA Y OCHO GUIÓN E A ESTIMAR: CUATRO PUNTO QUINIENTOS OCHO TONELADAS				
 SUPERVISOR FIRMADO: <u>OSCAR RODRIGUEZ C.</u>	RESIDENTE TECNICO FIRMADO: <u>BERNARDO ZARZUMIN</u>	 INGENIERO FIRMADO: <u>ALFONSO ARTE A.</u>		

Tabla 4 Resumen por concepto de números generadores



PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA  
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

FORMA No. 58

HOJA DE

OBRA: CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CENTRACION, GENERACION Y EXCEDENCIAS.

CONTRATISTA: INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V.

CONTRATO No. 891049

ESTIMACION No. 49

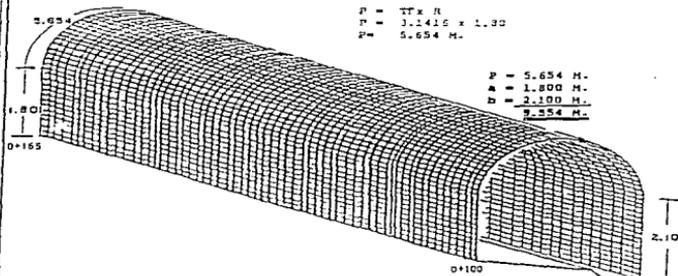
PERIODO DEL 01 DE NOVIEMBRE

AL

30 DE NOVIEMBRE DE 1993.

CONCEPTO No. 305-E SUMINISTRO, HABILITACION Y COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA DE 15x15x 4" SOBRE T/O PAREDES DE GALERIA.

GALERIA No. 2



CADENAMIENTOS	LONGITUD	PERIMETRO	AREA
0+100 - 0+165	65.00	9.554	621.31

A ESTIMAR = 621.0 M2.

FIRMA  
INGENIERO CIVIL

FIRMA  
INGENIERO CIVIL

Tabla 5 Analisis de números generadores

**PROGRAMA PARA EL PAGO DE ESTIMACIONES DEL CONTRATO  
DE CONSTRUCCION DEL P.H AGUAMILPA.**

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	DIAS HABILES	
		TRAMITE NORMAL	TRAMITE ACELERADO
1.- Presentación de números generadores	Contratista	4	4
2.- Revisión de números generadores	Resid. Técnica	<u>8</u>	<u>5</u>
	SUMA	12	9
3.- Formulación de estimaciones	Resid. Admva.	3	2
4.- Elaboración de factura	I.C.A	1	1
5.- Entrega de estimación y factura en Ofnas. Nac.	Resid. Admva.	1	1
6.- Revisión de estimación y asiento contable	Depto. De Control del presupuesto y Aut. De pagos.	2*	2*
7.- Revisión y notificación a Nafinsa para pago de estimación.	Subdirección de Finanzas	3	3
8.- Pago de estimación	Nafinsa	10	10
	SUMA	<u>18</u>	<u>17</u>
	PLAZO TOTAL	30	26

**NOTAS :**

- Actividad simultánea con N° 7, no suma.
- A. Las actividades 1 y 2 están sujetas a la conciliación de generadores entre la Contratista y la Residencia Técnica.
- B. La ley de Obras Públicas fija un plazo máximo de pago de 30 días, a partir de la aprobación de los números generadores. ( Actividades 3 a 8 )

**Tabla 6 Programa para el pago de estimaciones.**

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA**

TRAMITE DE AUTORIZACION DE P.U. POR TRABAJOS EXTRAORDINARIOS	
ORDEN DE EJECUCION DE LOS TRABAJOS Y SOLICITUD DE PRESENTACION DE PRECIOS	JEFATURA DE SUPERVISION
ELABORACION Y PRESENTACION DE PRECIOS UNITARIOS POR TRABAJOS EXTRAORDINARIOS	CONTRATISTA
REVISION DEL ANALISIS DEL P.U.	JEFATURA DE SUPERVISION Y UNIDAD DE SERVICIOS TECNICOS
CONCILIACION	JEFATURA DE SUPERVISION, CONTRATISTA Y UNIDAD DE SERVICIOS TECNICOS
AUTORIZACION DEL PRECIO	RESIDENCIA GENERAL
PRESENTACION DE ORDEN DE ACTUALIZACION	JEFATURA DE SUPERVISION RESIDENCIA GENERAL

**Tabla 7 Flujoograma para la revisión de P.U extraordinarios**

**Marco legal : Ley de Obras Públicas y su Reglamento**

Reglas generales para la construcción de obras públicas y de servicios relacionadas con las mismas para las dependencias y entidades de la administración pública federal.

Dentro del procedimiento que se estableció para la revisión de la modificaciones y el cumplimiento de la normatividad de la Ley de Obras Públicas, algunas veces existieron diferencias en la conciliación de los recursos invertidos y los rendimientos de las actividades, lo cual motivó que estas ocuparan bastante tiempo para integrar los sustentos documentales hasta llegar a un acuerdo por ambas partes.

**V.4 RECLAMACIONES :** Con el motivo de adelantar un año la puesta en marcha del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa, se provocó el incremento de obra adicional, suceso que impactó directamente en la utilización de recursos, aumentando tanto en equipo como en mano de obra respecto a las cantidades consideradas en los análisis de los precios unitarios de concurso, motivo por el cual la contratista presentó sus reclamos de "sobrecostos de obra".

Conocida la problemática, se le encargó a la Residencia Técnica de obra civil atender los reclamos que presentara el contratista, apoyado en el flujoograma que formalizaron la Residencia General y el Director de obra del contratista, para lo cual se contrataron los

servicios especializados de dos prestadores de servicios, I.C.S.A S.A de C.V y B.I.C.S.A S.A de C.V, los cuales efectuaron en forma directa la revisión, análisis y conciliación derivados del impacto por el adelanto del programa en un año y por concepto de los precios extraordinarios que fueron presentados durante la construcción del proyecto Aguamilpa.

En la ejecución real de los trabajos, específicamente en los conceptos de obra relacionados con los "tratamientos de la roca", surgieron una gran variedad de conceptos que debido a sus características y alcances, quedaron fuera del catálogo de conceptos, por lo que se optó por emplear el siguiente mecanismo que permitió cubrir el importe de dichos conceptos: Se aplicó al precio unitario una descripción y alcance del concepto que existía en los catálogos de conceptos de contrato.

Se aplicaron precios unitarios del mismo catálogo de conceptos, cuya descripción y alcance era similar y que después de revisar detalladamente los insumos, rendimientos de mano de obra y equipo, se determinó hacer extensiva su aplicación establecida y se elaboraron los "dictámenes de extensividad" correspondiente.

Para los conceptos de obra en la que no fue posible determinar los precios unitarios en la forma establecida, el contratista presentó sus nuevos precios unitarios acompañados de sus respectivos análisis, formulados con el mismo criterio que sirvió en la determinación de los precios unitarios establecidos en el contrato Ver Tabla 9.

N° I.C.S.A	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P.U
E017	BARRENACION EN ROCA DE 3.18 CM DIAMETRO (1 1/4")	M	48772.40
E018	HABILITADO, COLOCACION E INYECCION DE ANCLAS DE FRICCION	M	59900.73
E272	SEMIMINISTRO, ALMACENAMIENTO Y MASEJO DE MATERIALES BASICOS	BAUTIA	20561.68
E273	BARRENACION PARA DRENAJE 3" A LONGITUD DE 0 A 5 M	M	158115.39
E274	BARRENACION DE 3.58" (9.2 cm) CON LONGITUD DE 0 A 5 M	M	137336.75
E275	INYECCION DE ALTA PRESION DE 0 A 102 M	ML/INSY.	140382.90
E289	CONCRETO f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup> EN TAPON DE CERRILLO	M <sup>3</sup>	269164.86
E291	PRUEBA DE PERMEABILIDAD LUJOS DE 0.01 A 102 M	M	311458.83
E305	SEMIMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA	M <sup>2</sup>	74381.25
E306	SEMIMINISTRO, HABILITADO Y COLOCACION DE MALLA ELECTROSOLDADA	M <sup>2</sup>	64352.53
E313	PRUEBA DE INYECCION TECNICA LOBHARDI	M	256608.24
E314	INYECCION DE CONTACTO CONCRETO - ROCA	PZA	245591.22
E315	INYECCION DE ALTA PRESION DE 0 A 80 M	ML/INSY.	137336.78
E332	REGULACION DE ENCAVACION A LINEA 3"Ø	M <sup>3</sup>	57101.20
E341	BARRENACION DE 2 1/2" A 3" CON PRUEBA DE PERMEABILIDAD	M	197486.78
E345	BARRENACION DE 3.58 (9.2 cm) DE DIAMETRO	M	772452.21
E360	DRENAJE CON TUBERIA DE ACERO DE 16" DE DIAMETRO	M	101325.44
E361	DRENAJE CON TUBERIA DE ACERO DE 16" DE DIAMETRO	M	251264.78
E370	MORTERO LANZADO EN GALERIA EN ESTRUCTURA	M <sup>3</sup> prim	772452.21
E379	BARRENACION DE 3" DE DIAMETRO Y DE 0 A 60 M DE LONGITUD	M	164560.48
E385	BARRENACION EN ROCA CON PRUEBA DE PERMEABILIDAD	M	264560.48
E508	CONCRETO DE REVESTIMIENTO f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup> c	520665.72
S/N	SEMIMINISTRO DE MATERIAL ELECTRICO PARA ILLUMINACION EN GALERIA	LOTE	15782909.00
E228R	CONCRETO f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup> EN TAPON DE CERRILLO	M <sup>3</sup>	55972.48
E508R	CONCRETO EN REVESTIMIENTO f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup> c	58905.22
S/N	REJA TIPO PARA GALERIAS DE INYECCION A DRENAJE	Kg	26216.36

Tabla 9 Relación de precios extraordinarios

**V.5 FINIQUITO DE OBRA :** Para llevar a cabo el finiquito del plano de estanqueidad del contrato 891049, la supervisión procedió a entregar la documentación necesaria conforme se concluía un frente de trabajo.

Para el seguimiento a la integración de la documentación de las actas de entrega - recepción, elaboración del acta y su formalización entre la residencia y la contratista, la residencia de obra civil estableció la unidad de finiquitos, la cual se encargó también, de la disposición final de la documentación en el archivo general del P.H Aguamilpa.

Fue a partir de julio de 1991 que se formó la unidad de finiquitos estableciéndose el plan de trabajo para la elaboración de las actas de entrega - recepción.

La elaboración del finiquito de obra contempló lo siguiente :

- Memorias descriptivas
- Documentos oficiales
- Especificaciones
- Planos de construcción
- Programas de construcción
- Cuadro de volúmenes de obra ejecutada
- Cuadro de importes pagados
- Larguillos de todas las actividades ejecutadas
- Secciones de construcción
- Sección topográfica



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
P. H. AGUAMILPA

CRICID No.: JARN/563/93.

FECHA: MARZO 23 DE 1993.

ING. FEDERICO SCHMUCKER CONTRERAS  
COORDINADOR DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS  
P. H. A. G. U. A. M. I. L. P. A.

En relación al Contrato No.: 817049, denominado: CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCION, DE GENERACION Y DE EXCEDENCIAS DEL P. H. AGUAMILPA, NARANJITO, a cargo de la Empresa: INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A DE C.V.

Anexo al presente se permite enviar el original de las estimaciones Nos. 39A y 40 con un importe total de: \$2'935,357.69 (CUARENTA Y DOS MILLORES NOVECIENTOS TRINTA Y SEIS MIL Y CINCO CIENTOS CINCUENTA Y OCHO NUEVOS PASOS 99/100 M.N.A.) correspondiente a los trabajos ejecutados del 01 de Enero de 1992 al 31 de Enero de 1993 y del 01 al 28 de Febrero de 1993, respectivamente, las cuales, en base a las prescripciones presupuestales, se están enviando para su clasificación, para continuar con el trámite correspondiente ante la Sub-Dirección de Finanzas.

ATENCION

ING. JORGE A. MORALES NAJA.  
REGISTRO ADMINISTRATIVO.

- C.o.p. - Ing. Fernando Fabela Lozano. - Coordinador General de Construcción.
- C.o.p. - C.P. Alberto Castañeda y López. - Sub-Dirección de Finanzas.
- C.o.p. - Ing. Celso Cruz Garza. - Jefe de la Unidad de Cont. y Pres. Int.
- C.o.p. - C.P. Roman María Amador. - Jefe de Asociación de Pago.
- C.o.p. - Ing. Roberto Alejandro Vivas. - Unidad de Cont. Presup. y Seg. de Proj.
- C.o.p. - Ing. Luis Manuel Rivera Garza. - Asistente General. - P.H.A.
- C.o.p. - Ing. Bernardino Arreguín León. - Asistente Técnico. - P.H.A.
- C.o.p. - Ing. Carlos Chaves Hernández. - Auditor Técnico de Construcción.
- C.o.p. - Cda. Juan Avalos Montoya. - Jefe de la Unidad de Apoyo Administrativo.
- C.o.p. - Contadorista.
- C.o.p. - Escribiente.
- C.o.p. - Mensajero.

JARN:JURY/000.

Figura 5.1



## VI ASPECTO FINANCIERO

**VI.1 IMPORTE ORIGINAL :** El importe de obra original correspondiente al plano de estanqueidad y tratamientos se integra por 16 conceptos contenidos en el catálogo de conceptos amparado por el contrato 891049 " Construcción de las obras de contención, generación y excedencias del P. H Aguamilpa " ver Tabla 1

Nº	DESCRIPCIÓN	U	VOLUMEN ORIGINAL	IMPORTE ORIGINAL
179	EXCAV. EN ROCA, EN TUNEL, EN GAL. DE INSPEC. Y DRENARIE	M <sup>3</sup>	22,129.00	4,973,050,831.60
180	EXCAV. DE LAMBIERAS P ACCESO A GAL. DE INSPEC. Y DREN.	M <sup>3</sup>	1,045.00	243,919,370.65
214	BARRENACIÓN EN ROCA (2 1/4" x 1/2) HASTA 50 M	M.L.	15,000.00	1,278,110,400.00
215	BARRENACIÓN EN ROCA (2 1/4" x 1/2) DE 25 A 30 M	M.L.	9,000.00	818,819,510.00
216	BARRENACIÓN EN ROCA (2 1/4" x 1/2) 5 M DE LONGITUD	M.L.	6,000.00	307,020,545.40
217	BARRENACIÓN EN ROCA (2 1/4" x 1/2) 3 M DE LONGITUD	M.L.	4,200.00	214,935,336.00
218	INYECCION DE ALTA PRESION DE 40 A 50 M	M <sup>3</sup>	900.00	377,618,175.00
219	INVEC. DE CONSOL. DE BAJA PRESION DE 20 A 30 M DE LONG.	M <sup>3</sup>	540.00	300,193,716.00
220	INYECCION TAPETE DE CONSOLIDACION 5 M DE LONGITUD	M <sup>3</sup>	400.00	272,901,856.00
228	CONCRETO EN PLANTILLA DE GAL. SUBTERR. F'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	150.00	35,927,719.50
245	BARRENACIÓN EN ROCA DE 3" x 6 EN GAL. DE INSPEC. Y DREN.	M.L.	4,500.00	272,063,970.00
80	BARR. P/DREN. EN EXCAV. SUBTERR. 3" x 6 DE 6 Y 9 M DE LONG.	M.L.	11,000.00	500,063,970.00
83	BARR. E INYECCION DE CONSOLIDACION EN EXCAV. SUBTERR.	M.L.	36,700.00	2,598,300,913.00
87	INYECCION CONTACTO CONCRETO - PLACA ACERO	M <sup>2</sup>	100.00	71,640,083.00
86	INYECCION CONTACTO CONCRETO - ROCA	M <sup>2</sup>	220.00	166,275,918.60
85	INYECCION CONSOLIDACION EXCAVACIONES SUBTERRANEAS	M <sup>3</sup>	1,100.00	891,029,202.00
<b>T O T A L</b>				<b>13,492,199,806.75</b>

Tabla 1 Importe original de las obras.

**VI.2 IMPORTE OBRA ADICIONAL :** El importe correspondiente al costo de la obra adicional tiene como base los mismos conceptos del catálogo original a los cuales se incrementaron la cantidad de obra y es la diferencia del concepto de obra total ejecutada menos la obra original.

En este rubro están los conceptos de barrenación para la pantalla de inyecciones en galerías, la cual se incremento por cambio de diseño al incrementar el volumen de obra para la pantalla desde las galerías. En cuanto a la excavación de galerías, hubo incrementos debido a los cambios de diseño al modificar los accesos definitivos y en cuanto a las plantillas de concreto el incremento fue debido a que considero únicamente los portales de acceso sin tomar en cuenta los revestimientos en el interior de algunas galerías, ver Tabla 2

**VI.3 IMPORTE OBRA EXTRAORDINARIA :** El importe correspondiente al costo de la obra extraordinaria es aquel que no fue considerado en el catálogo de conceptos originales y que para su integración al contrato 891049 fue necesario de un analisis tomando como base las condiciones de concurso para su autorización y vigencia. Las causas que originaron esta variación fue debido a cambios de especificaciones, de diseño y conceptos no considerados, ver Tabla 2

Las especificaciones de los tratamientos por medio de inyecciones, fueron cambiadas al aplicar la nueva tecnología " Presión - volumen - controlada " tanto en la pantalla principal, como para la de consolidación.

El diseño de la pantalla general de inyecciones, se modificó como resultado de la exploración geológica del pinto con barrenos de hasta 100 m de profundidad, obligando el tratamiento a mayores profundidades de las originales de 50 y 80 m.

En los conceptos no considerados de origen, se tienen los revestimientos de las galerías, concreto armado a seccion completa, el concreto lanzado con malla electrosoldada de refuerzo y la regularizacion de los pisos de las galerías, con rezaiga fina compactada para reducir los volúmenes de concreto.

**VI.4 IMPORTE TOTAL DE LAS OBRAS :** La valuación del importe total de las obras, es el resultado de aplicar los precios unitarios del catalogo de conceptos a los volúmenes ejecutados, donde se incluyen los conceptos de obra original, adicionales y extraordinarios, al amparo del contrato 891049, en particular para las estructuras del plano de estanqueidad y tratamientos desde galerías, ver **Tabla 3**

Nº	DESCRIPCIÓN	U	P	U	REAL EJECU	IMPORTE
<b>EXCAVACION Y REVESTIMIENTO</b>						
179	ENCAY. EN ROCA, EN TUNEL, EN GALERIA	M <sup>2</sup>	224,821.43		25,751.20	5,789,421,608.22
305-E	SUM. HABIL. Y COL. DE MALLA ELECTROSOLDADA 15 X 15 X 1.4"	M <sup>2</sup>	74,381.25		3,520.60	261,866,628.75
72	ANCLAJE DE FRICCION 1" Ø LONG. 4.5 A 6 M	M <sup>2</sup>	102,770.66		54.00	5,849,615.64
361-E	DRENAJE TUBO ACERO 16" Ø PORTAL	M <sup>2</sup>	251,264.078		71.50	17,965,431.77
360-E	DRENAJE TUBO ACERO 16" Ø PORTAL	M <sup>2</sup>	729,763.008		28.00	20,433,388.08
17-E	BARRERACIONES 1.14" Ø ANCLAJE DE FRICCION	M <sup>2</sup>	48,772.040		39.00	1,902,123.60
70	PRUEBAS LIGEROS DE 0.01 A 102 M	M <sup>2</sup>	19,384.51		1,580.20	30,747,457.40
104	MONTAJE MARCOS METALICOS 1" Ø ADHES.	TO	2,258,872.02		4.180	9,455,638.28
105	FABR. Y TRANSPORTE DE MARCOS METALICOS	TO	470,438.16		4.186	1,969,254.14
72-E	ANCLAS DE FRICCION 1.12" Ø LONG. 12 M	M <sup>2</sup>	162,680.11		32.00	5,205,763.82
306-E	SUM. HABIL. Y COL. DE MALLA ELECTROSOLDADA 15 X 15 X 1.4"	M <sup>2</sup>	63,452.053		3,574.75	226,826,931.62
370-E	MORTERO LANZADO DE 3 A 20 cm DE ESPESOR	M <sup>3</sup>	772,452.21		1,890.20	1,460,089,167.34
332-E	REG.L. DE ENCAY. C RELENO COMPACTADO	M <sup>3</sup>	57,161.020		399.00	22,807,338.80
17-E	BARRERACIONES 1.14" Ø ANCLAJE DE FRICCION	M <sup>2</sup>	48,772.040		399.00	19,460,187.60
18-E	HABILITADO E INYECCION DE ANCLAS	M <sup>2</sup>	59,960.75		1,013.40	60,703,420.60
408-E	CONCRETO MICROS Y BOVEDA 1" c = 200 kg cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	520,865.72		1890.00	984,436,210.80
289-E	CONCRETO EN PLAN H.L.A 1" c = 200 kg cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	268,164.86		1,183.93	317,388,422.70
228	CONCRETO EN PLAN H.L.A 1" c = 200 kg cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	239,418.04		3,098.70	742,194,829.43
288-E	SUM. HABIL. Y COL. DE ACERO DE REFUERZO	TO	2,232,199.04		137.155	966,157,259.33
64	ENCAY. A CUALQUIER ALTURA A CIELO ABIERTO	M <sup>2</sup>	9,807.70		1,778.70	17,445,009.35
<b>S U M A</b>						<b>10,302,125,666.41</b>

**Tabla 3** Importe total de las obras en galerías y tratamientos.

No	DESCRIPCION	U	P U	REAL EJEC.	IMPORTE
<b>PANTALLA DE INYECCIONES</b>					
214	BARRENACION 2 1/4" Ø LONG. DE 40 A 50 M	M.L.	85,207.36	21,164.000	1,809,328,567.04
215	BARRENACION 2 1/4" Ø LONG. DE 20 A 30 M	M.L.	90,984.09	33,336.400	2,633,277,987.56
216	BARRENACION 2 1/4" Ø LONG. DE 5 M	M.L.	58,108.19	3,874.70	196,908,246.79
274 E	BARRENACION 2 1/4" Ø LONG. DE 20 A 30 M	M.L.	137,336.78	18,715.960	2,570,351,440.80
272 E	PREPARACION DE MEZCLAS PARA INYECCION	M.L.	70,336.68	121,148.8	8,879,139,090.43
291 E	BARR. P/INYECC. DE CONSOLO. EN CAV. SUBTERR.	BACCHA	41,127.23	49,268.000	1,013,032,850.24
315 E	PRUEBAS LL.GEON. DE 0.01 A 102 M	M.L.	41,458.83	2,908.56	948,878,007.06
315 E	PRUEBAS DE INYECCION TIPO FIA LOMBARDI	M.L.	296,008.24	1,211.000	710,960,523.58
335 E	BARR. CON RECUP. DE SUELO Y PRUEBA LL.GE.	M.L.	703,633.10	82.000	87,769,914.20
344 E	INYECCION DE CONTACTO CONCRETO - ROCA	PIEZA	252,509.39	3,462.000	871,662,414.28
459 E	INYECCION ALTA PRESION DE 0 A 50 M	M.L.	264,594.48	786.000	102,120,345.28
315 E	BARRENACION Y PRUEBA TIPO LIFRANC	M.L.P.V.	207,672.78	28,650.400	3,534,406,108.06
273 E	INYECCION DE CONTACTO CONCRETO - ROCA	M	758,799.63	21,312	16,107,661.71
439 E	BARRENACION PARA DRENAJE 3" Ø DE 0 A 67 M	M.L.	188,115.39	109.000	26,721,504.91
343 E	BARRENACION PARA DRENAJE	M.L.	101,375.44	8,716.000	596,269,247.04
245	INYECCION EN TAPONES DE 0 A 50 M	M.L.	17,586.39	105.000	14,052,820.45
291 E	BARRENACION PARA DRENAJE 3" Ø	M.L.	60,488.66	6,660.000	303,865,848.80
345 E	PRUEBAS LL.GEON. DE 0.01 A 102 M	M.L.	213,428.83	2,908.56	932,964,925.27
346 E	BARR. P/INYECCION 3 5/8" Ø MAYOR DE 50 M	M.L.	88,207.36	6,760.50	576,044,357.28
366 E	BARR. P/INYECCION 2 1/4" Ø HASTA 50 M	M.L.	90,984.09	8,372.500	701,706,805.28
50	BARRENACION 2 1/2" Ø DE 20 A 30 M	M.L.	82,792.99	2,811.000	148,536,764.99
5 N	BARR. 3" Ø PARA DRENAJE LONG. 6 A 9 M REJA TIPO EN GALERIA	PIEZA	12,810.00	8.000	192,480.00
<b>S U M A</b>					<b>37,671,250,440.10</b>

Tabla 3 Complemento a la tabla anterior.

No	DESCRIPCION	U	P.U.	VOLUMENES DE OBRA					REAL ELEC	IMPORTE
				CON	ADI	CAN	EX	EXT		
OBRAS DE CONSTRUCCION										
176	ENCAPA EN EL SUELO DE LOS ALBAÑILES	M <sup>2</sup>	174.227.43	17,120					17,120	2,978,471.60
180	ENCAPA EN EL MUR DE LOS ALBAÑILES	M <sup>2</sup>	174.227.43	1,415					1,415	245,127.65
177	BARR 21.47 * 100 CM DE 400 X 60 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43	1,444		1,045			2,489	430,121.60
178	BARR 21.47 * 100 CM DE 20 X 30 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43	1,045					1,045	183,577.50
179	BARR 21.47 * 100 CM S.M.	M <sup>3</sup>	174.227.43	1,045					1,045	183,577.50
174	BARR 35 * 40 * 100 CM DE 3 X 3 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43				1,760		1,760	305,499.24
175	INVECT ALBAÑILERIA DE 40 X 60 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
170	INVECT CANTON DE 10 CM DE 20 X 30 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
171	INVECT CANTON DE 10 CM DE 30 X 30 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
172	INVECT CANTON DE 10 CM DE 40 X 60 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
173	INVECT CANTON DE 10 CM DE 20 X 30 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
175	BARR ANCHO DE 10 CM DE 10 X 10 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
176	BARR 17 * 100 CM DE 6 X 6 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
177	BARR PUNZON DE 10 CM DE 10 X 10 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
178	INVECT COMPACTO DE 10 CM DE BARR	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
179	INVECT COMPACTO DE 10 CM DE BARR	M <sup>2</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
274	INVECT CONCRETO EN LA VIGA DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43				1,045		1,045	183,577.50
275	BARR 35 * 40 * 100 CM DE 6 X 6 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43					14,716	14,716	2,579,181.441
276	INVECT ALBAÑILERIA DE 20 X 30 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43	61,176					61,176	10,648,723.166
260	PREPARACION DE MEZCLAS PARA EL	M <sup>3</sup>	174.227.43	71,844					71,844	1,249,136.177
714	PREPARACION DE MEZCLAS PARA EL	M <sup>3</sup>	174.227.43	111,459.84					111,459.84	1,938,832.452
715	PREPARACION DE MEZCLAS PARA EL	M <sup>3</sup>	174.227.43	256,909.24					256,909.24	4,473,896.744
430	PREPARACION DE MEZCLAS PARA EL	M <sup>3</sup>	174.227.43	111,459.84					111,459.84	1,938,832.452
144	BARR 6 DE 10 CM DE 10 X 10 CM PARA EL	M <sup>3</sup>	174.227.43	122,568.96					122,568.96	2,145,924.112
430	INVECT CANTON DE 10 CM DE 20 X 30 CM	M <sup>2</sup>	174.227.43	262,966.64					262,966.64	4,584,833.818
332	BARR Y FRONTERA TIPO DE 10 CM	M <sup>3</sup>	174.227.43	111,459.84				22,171.97	133,631.81	2,324,865.913
171	MEMBRONA EN SUELO DE 10 CM DE ANCHO	M <sup>2</sup>	174.227.43				1,045		1,045	183,577.50
181	BARR 17 * 100 CM DE 6 X 6 CM DE BARRICION	M <sup>3</sup>	174.227.43					4,414	4,414	770,707.420
182	FRONTERA TIPO DE 10 CM DE ANCHO	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,444	1,444	251,010.819
332	MUR DE 10 CM DE 10 X 10 CM PARA EL	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
280	REGLAS PARA EL ENLACE DE BARRICION	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
330	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
331	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
332	CONCRETO EN LOS MUR Y VIGA DE 10 CM DE ANCHO	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
333	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
334	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
335	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
336	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
337	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
338	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
339	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
340	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
341	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
342	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
343	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
344	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
345	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
346	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
347	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
348	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
349	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
350	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
351	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
352	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
353	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
354	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
355	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
356	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
357	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
358	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
359	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
360	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
361	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
362	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
363	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
364	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
365	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
366	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
367	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
368	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
369	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
370	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
371	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
372	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
373	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
374	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
375	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
376	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
377	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
378	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
379	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
380	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
381	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
382	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
383	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
384	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
385	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
386	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
387	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
388	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
389	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
390	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
391	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
392	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
393	SUMADIA Y 10 CM DE 10 X 10 CM DE BARR	M <sup>3</sup>	174.227.43					1,045	1,045	183,577.50
394	SUMADIA Y									

## VII CONCLUSIONES

Es claro que el desarrollo de un país, está basado en la capacidad de respuesta de su gente, así como de la inversión pública y privada para generar la infraestructura necesaria para poder atender la demanda de la población y de la industria que día a día crece más rápidamente.

Es por ello que el sector eléctrico tiene el compromiso de cubrir el déficit de energía actual y de satisfacer las demandas futuras que exigirá la creciente industria en desarrollo.

Para poder garantizar la demanda de energía eléctrica futura es necesario que en la C.F.E se continúe con esta tendencia de crecimiento, además de contar con programas de mantenimiento que mantengan en buenas condiciones todas y cada una de las plantas que actualmente se encuentran funcionando y las que se pongan en marcha.

Para llevar a cabo las expectativas que de una obra se esperan, es indispensable que cada una de las partes que la constituyen pongan su máximo esfuerzo para realizar una obra de calidad y en el tiempo estipulado.

En el P.H. Aguamilpa, cuya finalidad es la creación de energía eléctrica a partir de un aprovechamiento hidráulico, se conjugaron tecnologías tradicionales y tecnologías que se están aplicando actualmente en Europa y traídas a México para aplicarlas en las presas de Zimapan en el edo. De Hidalgo y la presa de Aguamilpa en el edo. De Nayarit.

Para implementar la nueva tecnología de inyecciones en roca fue necesario contar con la asesoría del grupo consultor de C.F.E y en particular del Dr. Lombardi y B Schneider para definir el diseño de la pantalla, así como la oportuna participación de los grupos de Geología de Construcción y Mecánica de Rocas para retroalimentar información, también fue decisiva la participación de la Supervisión y la Contratista para la etapa de pruebas de permeabilidad e inyectabilidad, adiestramiento y capacitación del personal de campo para la ejecución de la obra; toda esta amalgama de actividades dieron por resultado la aplicación de la nueva tecnología para inyecciones denominada "presión - volumen controlada" y que demostradas sus ventajas ya se está aplicando en otras obras similares de C.F.E, siendo este procedimiento una aportación muy valiosa y la de mayor impacto en geotecnia.

Este tipo de tecnologías dan como resultado un ahorro en el consumo de lechada en la pantalla de inyecciones y un mejor control en la inversión de recursos destinados a esta etapa en particular.

También en el caso de las galerías de inyección y drenaje construidas en este proyecto, en las que se obtuvieron excelentes rendimientos mediante el procedimiento convencional de excavación a base de explosivos, mientras que en la creación de la pantalla de inyección se utilizaron los más recientes conceptos europeos aplicados a este campo, lográndose una integración muy ventajosa que hace esperar la obtención de una pantalla impermeable que cumplirá los objetivos para los que fue diseñada.

De la revisión y estudio de este trabajo se destacaran algunos puntos, los cuales son indispensables cumplir conforme a lo programado y un estricto apego a las normas de diseño para llevar a buen término una obra de esta magnitud.

Sin duda una de las primeras etapas en estudio es una buena programación detallada de las actividades y asignación de recursos requeridos, cuya correcta planeación permite un funcionamiento equilibrado de todos los departamentos que colaboran en una u otra forma en la ejecución de los trabajos, lográndose con ello un avance rápido y sistemático en el frente de acción.

Uno de los conceptos más relevantes consistió en la aplicación de la nueva tecnología de inyección que se usó para la conformación de la pantalla de inyección, el cual modificó el procedimiento convencional aportando ahorros en el consumo de mezclas de inyección que se traduce en un importante ahorro económico.

Es importante destacar que el ejecutor de la construcción, debe cumplir con las especificaciones del proyecto, además de respetar el programa de ejecución de la obra, para evitar trastornos que podrían alterar la disponibilidad de recursos en cierta etapa de la obra, temiéndose como consecuencia retrasos que podrían ser irrecuperables.

Además debe vigilar que en todos los procesos, se cumplan con los lineamientos de calidad establecidas, asimismo, responsabilizarse de que todos los trabajos se desarrollen con estricto apego a las normas de seguridad para el personal.

En la medida en que todas las etapas mencionadas anteriormente se logren integrar, mediante el establecimiento de un flujo de información continuo y constructivo, y asumiendo cada uno sus responsabilidades, será posible el surgimiento de una nueva forma de pensar y de actuar, que son ya indispensables, para elevar el nivel de competencia de la construcción en nuestro país.

## VIII REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

### **Excavaciones Subterráneas en Roca**

**E. Hoek / E.T Brown  
Mc graw Hill**

### **Geotecnia del Ingeniero (reconocimiento de suelos)**

**Henri Cambefort  
Editores Técnicos Asociados**

### **Inyección de Suelos**

**Henri Cambefort  
Editores Omega, S. A.**

### **Memoria Descriptiva Galerias y Tratamiento de la Roca**

**Ing. Jorge Rodríguez Colunga  
Ing. Apolinar de los Santos M.  
Ing. Armando González M  
C.F.E ( 1994 ) México**

### **Manual " Procedimiento para perforación e inyección de anclas "**

**Ing. Sergio Herrera Castañeda  
G.I.E y C' C.F.E ( 1993 )**

### **C.F.E " Especificaciones Técnicas "**

**Informes Técnicos emitidos por la Residencia de Geología  
de Construcción y Mecánica de Rocas del P.H Aguamilpa.**

### **Especificaciones para los tratamientos de inyección de pantalla profunda y consolidación**

**C.F.E ( 1991 )**

### **Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Nayarit**

**C.F.E ( 1991 ) México**