

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

EXCAVACION SUBTERRANEA DE LA CASA DE  
MAQUINAS DEL P.H. AGUAMILPA, NAYARIT.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JOSE LEOPOLDO MATAMOROS ALPIZAR

CIUDAD UNIVERSITARIA

1993.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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

INDICE  
CAPITULO 1

CONTENIDO	PAGINA
INTRODUCCION	1
1-01.00 Generalidades	4
1-01.01 Definición de una Plata Hidroeléctrica	4
1-01.02 Clasificación de las Plantas Hidroeléctricas	4
1-02.00 Descripción de las Obras que componen el Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa	5
1-02.01 Obras de Contención	5
1-02.02 Obras de Generación	7
1-02.03 Obras de Excedencias	10
1-02.04 Obras de Desvío	11
1-02.03 Infraestructura	12
1-03.00 Localización	12
1-04.00 Estudios preliminares	13
1-05.00 Hidrología	13
1-05.01 Control y Estudios de las avenidas	15
1-06.00 Geología del sitio	15
1-07.00 Análisis sísmico	17

## CAPITULO 2

CONTENIDO	PAGINA
EXCAVACIONES SUBTERRANEAS	
2-01.00 Introducción	19
2-02.00 Mecánica básica de la ruptura de la roca	21
2-03.00 Tipos de frentes en una excavación subterránea	25
2-04.00 Diseño de los modelos de voladura	29
2-05.00 Daño de la roca	31
2-06.00 Pre-corte y pos-corte en la roca	32
2-07.00 Cálculo de cargas en la voladura	37

## CAPITULO 3

### EXCAVACION DE LA CASA DE MAQUINAS DEL P.H. AGUAMILPA

3-00.00 Excavación de la casa de maquinas del P.H. Aguamilpa	44
3-01.00 Descripción del conjunto de Obras Subterranas	47
3-02.00 Procedimiento de construcción	61
3-03.00 Especificaciones técnicas de construcción	89
3-04.00 Personal y Equipo utilizado	107

## CAPITULO 4

### TRATAMIENTO DE LA ROCA

4-00.00 Tratamiento de la roca	113
4-00.01 Tipos de anclaje utilizados en casa de maquinas	113
4-01.00 Secuencia entre excavación y soporte	124
4-02.00 Tipos de soporte utilizado	125
4-03.00 Concreto lanzado y malla	132
4-04.00 Drenaje	132

## CAPITULO 5

CONCLUSIONES	134
BIBLIOGRAFIA	136

## INTRODUCCION

El Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa forma parte de un plan global de aprovechamiento hidroeeléctrico del Río Santiago, cuyo diseño se ejecuta actualmente en la Comisión Federal de Electricidad. Su finalidad principal es la generación de energía eléctrica, en operación conjunta con las Plantas previstas a lo largo de éste río y con factores de Planta bajos para atender la demanda en las horas "pico".

Aunque en forma incipiente, los estudios de la C.F.E. se iniciaron a partir de 1954, los estudios geológicos en el sitio actual, permitieron determinar la factibilidad geológica-geotécnica para la construcción de una presa, en cualquiera de las opciones analizadas para definir el ante-proyecto, dichas opciones fueron con presas de: Gravedad, arco-bóveda y materiales graduados, con altura entre 120 y 190 m. A nivel de ante-proyecto se concluyó que la Cortina más conveniente era de materiales graduados (enrocamiento con cara de concreto), dándose por terminado el estudio en 1984.

Los estudios realizados en cuanto al tipo de roca óptima geológicamente para tales fines fueron en la Unidad de Aguamilpa (zona inferior), la Unidad Colorines (zona intermedia) y Unidad Picachos (zona superior). La primera fue encontrada como la más óptima, por lo que se comenzó el estudio a fondo de este tipo de roca, ya que se había llegado a la conclusión de construir la Casa de Máquinas en forma subterránea y de acuerdo a esto se planeo la distribución de todo lo que serían las Obras

de Generación, las estructuras que la componen son las siguientes :

- OBRA DE TOMA
- CONDUCCION A PRESION
- CASA DE MAQUINAS (SUBTERRANEA)
- PLATAFORMA DE TRANSFORMADORES (SUPERFICIAL)
- GALERIA DE OSCILACION (SUBTERRANEA)
- TUNEL DE DESFOGUE (SUBTERRANEO)
- SUBESTACION DE 400 Kv.

Asi mismo las demas obras que componen este Proyecto Hidroeléctrico son:

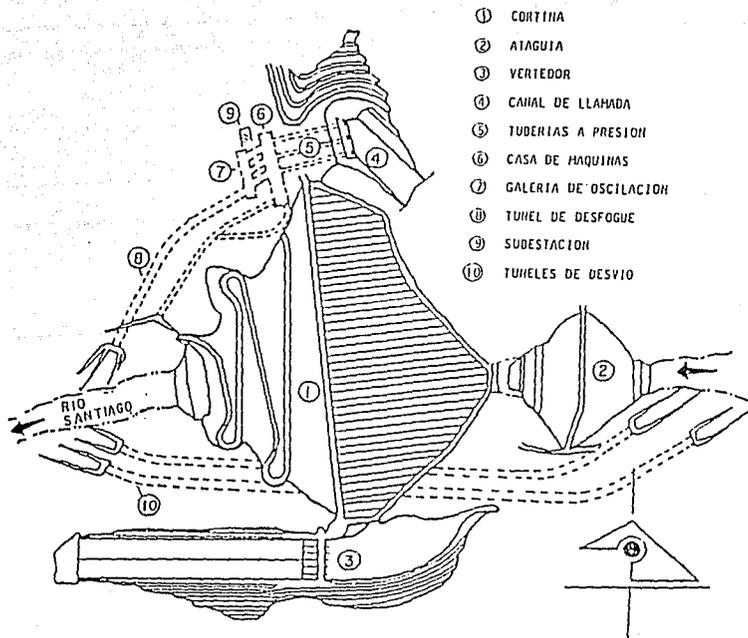
- OBRAS DE CONTENCION
- OBRAS DE DESVIO
- OBRAS DE EXCEDENCIAS

La capacidad instalada será de 960 MW, distribuida en tres turbinas de 320 MW cada una.

Actualmente en construcción, Aguamilpa generará en promedio 2131 GWH anuales, para satisfacer la demanda "pico". Esto hace que Aguamilpa sea uno de los Proyectos Hidroeléctricos más importantes del país. En marzo de 1989 se inició por administración directa la construcción de la Obra de Desvío, posteriormente en diciembre de 1989 la Compañía Ingenieros Civiles Asociados (I.C.A.) continuó con los trabajos de Obra Civil, en marzo de 1991 se firmó el Contrato con la Asociación SEVTS, la cual está constituida por SIEMENS A.G. ENERGOMACHEXPORT, VOEST ALPINE, TECHINT, S.A. Y SIEMENS, S.A. para el diseño, fabricación, montaje y puesta en servicio del equipo electromecánico.

Es importante conocer el contenido de toda la obra en general y aunque el

tema de este documento es la Excavación Subterránea de la Casa de Máquinas, se presenta una breve descripción del Proyecto en general ya que de él se desprende nuestro tema en cuestión. Y en el cual se analizan a detalle los temas que componen el procedimiento utilizado en la excavación de la Casa de Máquinas el cual tiene como objetivo dar a conocer los métodos utilizados en cada una de las actividades que componen la excavación subterránea.



## 1-01.00 GENERALIDADES

### a) DEFINICION DE UNA PLANTA HIDROELECTRICA

Las Plantas o Proyectos Hidroeléctricos pueden definirse como todas aquellas Obras Hidráulicas que constituyen un conjunto de estructuras, construidas con el objeto de manejar el agua a plena satisfacción del hombre, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento y/o de defensa.

Debido a las características de las Plantas Hidroeléctricas en que se aprovecha la energía de acuerdo a la posición del agua, las estructuras de distribución en las instalaciones modernas son siempre conductos a presión.

### b) CLASIFICACION DE LAS PLANTAS HIDROELECTRICAS

La clasificación de estas Plantas Hidroeléctricas está en relación con la caída (H) y el gasto del río para de acuerdo a éste, determinar la caída (H).

Planta de baja caída		H	<	30 m.	
Planta de mediana caída	30	<	H	<	150 m.
Planta de alta caída	150	<	H	<	300 m.
Planta de muy alta caída	300	<	H	<	2000 m.

En cuanto al gasto (Q)

Gasto pequeño	Q	=	5 m <sup>3</sup> /seg.
Gasto mediano	Q	=	25 m <sup>3</sup> /seg.
Gasto grande	Q	>	25 m <sup>3</sup> /seg.

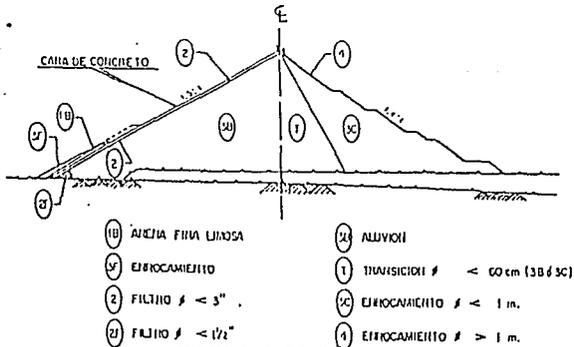
# 1-02.00 DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE COMPONEN EL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUMILPA

## 1-02.01 OBRAS DE CONTENCIÓN

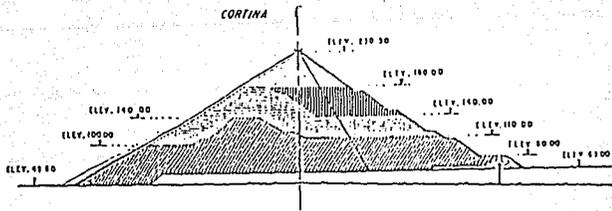
Este conjunto consiste en una Cortina de enrocamiento con una cara de concreto desplantada a partir de la elevación 48.00 m.s.n.m., con una altura de 187 m. que corresponde a la elevación 235.00 donde se encuentra la corona de la Cortina de longitud=680 m. y con un volumen de materiales de 13'000,000 m<sup>3</sup>. La decisión de construir la Cortina de enrocamiento con cara de concreto fue debida a la disponibilidad de materiales y tiempo requerido para su construcción. (Fig. 1-02.01).

La altura desde el desplante de la losa de pie hasta la corona será de 185.5 m. y el área de la cara de concreto es de 136,900 m<sup>2</sup>.

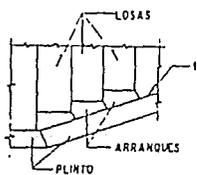
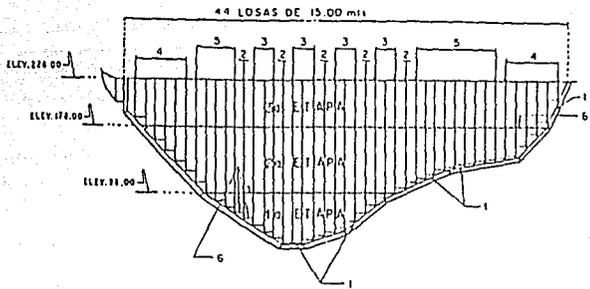
El elemento impermeable de la Cortina es la cara de concreto su función no es estructural y su comportamiento depende de la deformación de los materiales de la Cortina. La cara de concreto está dividida en losas longitudinales de 15 m. de ancho. El espesor es variable de 0.85 m. en el fondo del río hasta 0.30 m. a la altura del parapeto. (Fig. 1-02.02).



(FIGURA 1-02.01)



Etapas de construcción



Juntas Tipo en cara de concreto

# OBRAS DE CONTENCIÓN

(FIGURA 1-02.02)

## 1-02.02 OBRAS DE GENERACION

El conjunto de Obras de Generación se encuentra localizado en el camino de la margen derecha del río Santiago en el Km. 4+780, las estructuras principales que conforman las Obras de Generación, son :

- CANAL DE LLAMADA A CIELO ABIERTO
- OBRA DE TOMA
- TRES CONDUCTOS A PRESION EN TUNEL
- CASA DE MAQUINAS
- GALERIA DE OSCILACION
- LUMBRERA DE BUSES Y VENTILACION
- PLATAFORMA DE TRANSFORMADORES Y SUBESTACION
- TUNEL DE DESFOGUE

Se describen brevemente los más importantes :

### CASA DE MAQUINAS

La Casa de Máquinas, en caverna, alberga los equipos electromecánicos y de acuerdo a esto se definen los siguientes pisos: De charolas, de turbinas, de generadores y de excitadores. Además se encuentran también las galerías de drenaje, de inspección y el cárcamo de bombeo.

Las dos gruas de Casa de Máquinas tienen una capacidad de 405/40 toneladas cada una y acopladas podrán levantar el rotor con un peso de 735 toneladas.

## DATOS TECNICOS

Tipo	Subterránea.
Turbina	(3) tres Francis de 320 MW c/u.
Línea de transmisión	400 KV.
Carga bruta máxima	150 m.
Carga bruta mínima	120.6 m.
Carga de diseño	146 m.
Generador de	337 MVA.
Factor de planta anual	0.253
Volumen excavación caverna	130,000 m <sup>3</sup> .
Dimensiones caverna	134 x 24 x 48 m (L.A.h.).

### GALERIA DE OSCILACION

La Galería de Oscilación amortiguará los efectos de variación de presión originados por los rechazos y toma de carga. Se localizará aguas abajo de los tubos de aspiración, la separación entre Galería de Oscilación y Casa de Máquinas es de 50 m. entre ejes. Obedeciendo a condiciones geotécnicas del macizo rocoso (esto hizo necesario proyectar un túnel de aspiración que conectará el tubo con la Galería y en un extremo de esta Galería se inicia el túnel de desfogue).

VOLUMEN DE ESCAVACION = 80,000 m<sup>3</sup>.

DIMENSIONES = 87.60 x 16.60 x 50. m. (L.A.h.)

## TUNEL DE DESFOQUE

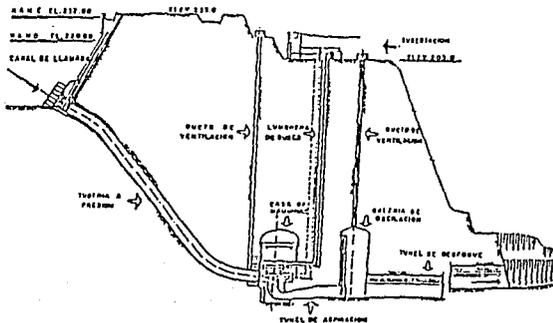
Este túnel conecta la galería de oscilación con el río. Su diseño es tal que consideramos su longitud de (391. m). La geología, el aspecto constructivo y la evaluación económica nos dé las condiciones óptimas de trabajo, ya que el comportamiento hidráulico y las pérdidas hidráulicas en este caso son importantes. La geometría de 16 x 16 m., la sección portal y revestimiento de concreto cumplen con lo mencionado anteriormente.

## CONDUCTOS A PRESION

Los conductos se inician a partir de las compuertas de servicio con sección rectangular de 5.8 m x 7 m. y mediante una transición, en curva vertical cambian a sección circular la zona de transición ya revestida de concreto reforzado y la zona con sección circular de 7.40 de diámetro con revestimiento metálico y empadada con concreto simple.

LONGITUD DE CONDUCCION = 215 m.

GASTO DE DISEÑO POR UNIDAD = 249 m<sup>3</sup>/Seg.



(FIGURA 1-02.03)

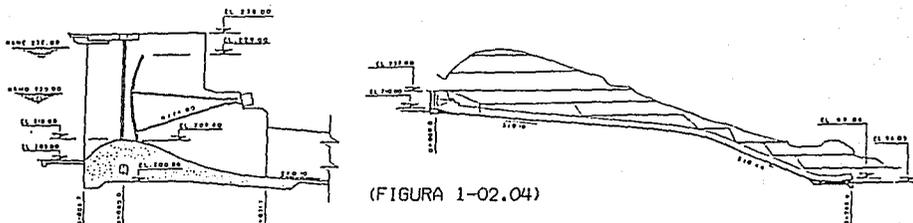
### 1-02.03 OBRA DE EXCEDENCIAS

Consta de un vertedor de demasías en la margen izquierda del río, consiste en dos canales a cielo abierto, ambos diseñados para una descarga conjunta de 14,900 m<sup>3</sup>/Seg. para transitar una avenida con gasto máximo de 17,500 m<sup>3</sup>/Seg., la cual se determina con base en criterios de transportación de ciclones y precipitación máxima probable. Consta también de 6 vanos de 12 m. de ancho, dividida en dos canalones, uno auxiliar y otro de servicio. Ver. Fig. 1-02.04

La política de operación de compuertas en este vertedor es tal, que nos permite regular avenidas hasta de un tiempo de retorno de 70 años, sin descargar más de 3000 m<sup>3</sup>/Seg.

La elevación de la cresta es la 210.00, el labio de la cubeta de descarga la 96.06, alcanzándose una velocidad mayor de 40.00 m/Seg., por lo que se construirán aireadores.

GASTO MAXIMO DE LA AVENIDA DE DISEÑO	— 17,500 m <sup>3</sup> /Seg.
VOLUMEN DE LA AVENIDA	— 6,966 millones de m <sup>3</sup> .
GASTO DE DISEÑO (DESCARGA)	— 14,900 m <sup>3</sup> /Seg.
ELEVACION DE LA CRESTA	— 210 m.s.n.m.
COMPUERTAS	— 6 de 10.2 m x 16.8 m
CANAL DE DESCARGA	— 2 a cielo abierto

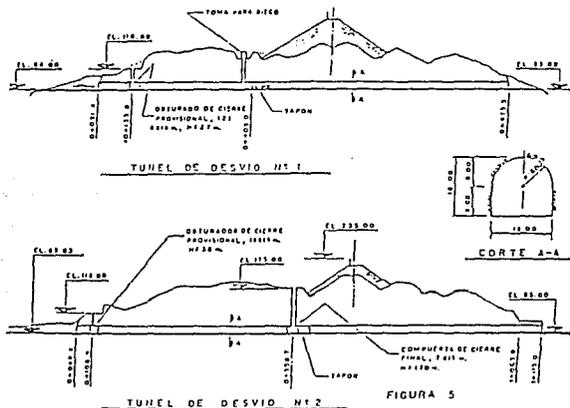


## 1-02.04 OBRAS DE DESVIO

El desvío del río Santiago se proyectó realizarlo mediante dos túneles de sección portal de 16 x 16 m., ambos localizados en la margen izquierda, excavados en roca y una atagüía de materiales graduados para taponamiento del cauce natural.

El tipo de obra de desvío obedece al tipo de Cortina seleccionada y a la configuración topográfica del cauce (Fig, 1-02.05), la decisión de no revestir los túneles, se tomó como base en consideraciones económicas, duración de construcción y vida útil.

el 14 de Marzo de 1990, empezó a trabajar el túnel No. 1, y en Julio del mismo año el No. 2. en Agosto de 1990 se registró un gasto máximo de descarga de 3800 m<sup>3</sup>/Seg., alcanzando el agua en el embalse la elevación 102.00 y un gasto máximo de entrada de 5075 m<sup>3</sup>/Seg.



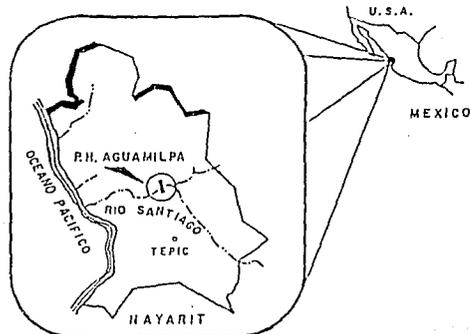
(FIGURA 1-02.05)

## 1-02.05 INFRAESTRUCTURA

Consta de un acceso de 50 Km. que va de la Cd. de Tepic al P. H. Aguamilpa, e incluye un puente sobre el río Santiago, que conduce a las diferentes obras y estructuras que componen a esta Planta. En la etapa inicial se programó construir campamentos, oficinas, talleres y almacenes, tanto para la Empresa Contratista, como para la Comisión Federal de Electricidad (Supervisión). Para así poder cubrir las necesidades que demanda la construcción.

## 1-03.00 LOCALIZACION

El estudio de la Cortina se encuentra en la parte central del estado de Nayarit, entre los municipios de Tepic y el Nayar, el acceso al sitio es, partiendo de la Cd. de Tepic por la carretera estatal pavimentada que va a la población Francisco I. Madero y en el Km. 12 se encuentra la desviación hacia Aguamilpa, continuando por un camino adicional de 40 Km., cuya pavimentación fue planeada precisamente para el acceso a la Obra. (Fig. 1-03.00).



(FIGURA 1-03.00)

## 1-04.00 ESTUDIOS PRELIMINARES

Desde hace casi 20 años, la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), estudió el sitio de Aguamilpa como parte del plan hidráulico del Noroeste (PLHINO), el cual consistía en una serie de almacenamientos y conductos que permitirían intercambiar y transferir agua desde el estado de Nayarit hasta el estado de Sonora (a unos 1000 Km), con el objeto de cubrir nuevas tierras de riego de cultivos.

Aunado a esto se realizaron estudios por C.F.E. a partir de 1954, para analizar los siguientes puntos :

- BENEFICIOS MARGINALES
- CONTROL DE AVENIDAS
- APROVECHAMIENTO AGRICOLA
- DESARROLLO EN EL AREA DEL EMBALSE
- GEOLOGICOS-GEOTECNICOS

## 1-05.00 HIDROLOGIA

El escurrimiento en el río Santiago es muy variable a la altura de Aguamilpa, el gasto medio de un mes de estiaje puede oscilar entre 8 y 180 m<sup>3</sup>/seg., y entre 95 y 2000 m<sup>3</sup>/seg., en un mes húmedo el gasto medio anual historico es de 220 m<sup>3</sup>/seg.

Con base a la información de las estaciones climatológicas e hidrométricas en la cuenca del río Santiago, se determinaron las avenidas máximas para diferentes periodos de retorno y con el criterio de precipitación máxima probable y transposición de ciclones la avenida del diseño del vertedor.

La cuenca del río Santiago cuenta con datos de 154 estaciones climatológicas y 26 estaciones hidrométricas, de las cuales las más antiguas operan desde 1933, la mayoría desde 1952 y Aguamilpa desde 1942. Para la Obra de Desvío, se consideró la avenida máxima histórica registrada el 17 de Agosto de 1973, que es equivalente a la de un periodo de retorno de  $(Tr)=50$  años.

**GASTOS MAXIMOS INSTANTANEOS  
ANUALES EN LA ESTACION HIDROMETRICA EL CARRIZAL**

ANO	GASTO m <sup>3</sup>	ANO	GASTO m <sup>3</sup>
1942	2,172	1967	5,652
1943	6,113	1968	2,413
1944	3,203	1969	1,060
1945	1,491	1970	3,310
1946	1,587	1971	4,470
1947	2,386	1972	2,270
1948	2,345	1973	6,680
1949	1,768	1974	1,295
1950	1,845	1975	4,382
1951	1,469	1976	4,190
1952	1,693	1977	2,510
1953	2,234	1978	2,160
1954	1,862	1979	1,706
1955	2,349	1980	2,184
1956	1,353	1981	2,385
1957	1,879	1982	2,412
1958	2,169	1983	3,394
1959	1,933	1984	2,509
1960	1,253	1985	2,737
1961	1,866	1986	2,279
1962	1,714	1987	3,183
1963	2,956	1988	5,061
1964	1,639	1989	799
1965	3,133	1990	5,200
1966	3,051	1991	5,277

### DATOS PRINCIPALES DEL PROYECTO

a) Área de la cuenca del río Santiago	75,651 Km <sup>2</sup>
b) Área de la cuenca hasta Aguamilpa	73,834 Km <sup>2</sup>
c) Número de años de registro	43
d) Escurrimiento medio anual (1943-1979)	6,948 Hm <sup>3</sup>
e) Gasto medio anual	220 m <sup>3</sup> /S
f) Uso futuro medio anual aguas arriba	212 Hm <sup>3</sup>
g) Gasto medio anual futuro	213.61 m <sup>3</sup> /S
h) Gasto medio aprovechado	198.4 m <sup>3</sup> /S
i) Azolve medio anual en suspensión	8.14 Hm <sup>3</sup>
j) Azolve medio anual en acarreo	2.78 Hm <sup>3</sup>

### 1-05.01 CONTROL Y ESTUDIO DE AVENIDAS

Los escurrimientos registrados en el sitio de proyecto están influidos en pequeña escala por la Presa Manuel M. Domínguez que se encuentra aguas arriba. Por lo tanto la determinación de las avenidas máximas en Aguamilpa asociados a períodos de retornos bajos, se hicieron con base a los gastos máximos de la estación Carrizal, ubicada en el Proyecto y aforando las estaciones: San Cristóbal, El Caimán y Huaynamota, donde a la fecha se lleva un control diario con el objeto de pronosticar avenidas para efectos de implementar las medidas de seguridad en el sitio de la construcción.

### 1-06.00 GEOLOGIA DEL SITIO

El Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa se localiza en la parte Suroeste de la Sierra Madre Occidental, esta área se caracteriza por rocas volcánicas extrusivas (ignimbritas riódacíticas) del mioceno.

Los estudios geológicos realizados muestran que la calidad de la roca en la margen derecha del río es ligeramente mejor que en la izquierda, sin embargo esto no invalida la posibilidad de construir los túneles de desvío en la margen izquierda aún sin revestirlos, pero con el tratamiento adecuado de la roca.

En la boquilla aflora roca volcánica extrusiva parcialmente cubierta por depósitos de talúd, suelo o aluvión.

El suelo es de color ocre constituidos por limos, arcillas, fragmentos de roca y material vegetal. Se distribuye ampliamente en la zona en forma irregular con espesor medio de 3 m.

El aluvión está integrado por limos, arenas, gravas y bolques de gran tamaño. Su composición es heterogénea y se distribuye en los cauces del río y arroyos. Su espesor en el río varía de 2.4 m a 26.0 m., con 10.6 m. en el eje de la Cortina.

Las principales características estructurales geológicas detectadas en el sitio, corresponden a seis fallas con orientación general NE-SW conocidas como sistema Colorines. Cuatro de estas fallas se localizan en la margen derecha y afectan las Obras de Generación; las otras dos se localizan en la margen izquierda y una de ellas involucra la Obra de Desvío y el Vertedor. Se encuentran también cuatro sistemas principales de fracturas que muestran mayor continuidad horizontal que vertical.

## 1-07.00 ANALISIS SISMICO

Las Presas de enrocamiento con cara de concreto se consideran seguras contra la acción de eventos sísmicos y generalmente se utiliza el mismo diseño en regiones sísmicas que el de zonas asísmicas.

Las razones para apoyar esta práctica son:

- a).- No hay posibilidades de que se generen presiones de poro durante la excitación sísmica, debido a que toda la Cortina está seca y por lo tanto no hay tendencia a la reducción en la resistencia.
- b).- El enrocamiento que forma la Cortina es compactado intensamente para llevarlo a un estado denso, por lo que los sismos solo pueden causar deformaciones pequeñas especialmente en los taludes del pedraplén.
- c).- A pesar de que durante sismos severos la losa de concreto se agrieta, aumentando las fugas de agua, este flujo no pone en peligro la estabilidad de la Presa, ya que en las Presas modernas el volumen de agua que fluye por las fisuras, se puede manejar fácilmente a través de la Cortina.

Aunque estas consideraciones tienen mérito aceptable, también es verdad la mayoría de las Presas de este tipo se han construido en zonas de baja actividad sísmica y no hay a la fecha un caso que demuestre el buen comportamiento de este tipo de estructuras sometidas a un sismo severo.

## CAPITULO 2

### EXCAVACIONES SUBTERRANEAS

## EXCAVACIONES SUBTERRANEAS

### 2-01.00 INTRODUCCION

Las excavaciones subterráneas se llevan a cabo para diferentes propósitos, como son las estructuras de tipo minero, proyectos hidroeléctricos, ferroviarios, etc., cada uno de estos con diferentes condiciones para su construcción y esto se debe a diferentes tipos de roca que deberá ser estudiada para destinar el tipo de estructuras que podrá construirse.

Para entender mejor este tema, se describen las condiciones y requerimientos para cada tipo de excavación subterránea.

Originalmente estas operaciones subterráneas no eran más que una prolongación hacia abajo de las pequeñas excavaciones que se practicaban para exploración de las manifestaciones de la superficie.

La mayoría de las excavaciones mineras eran y de hecho son todavía provisionales. Mientras se mantenga un acceso seguro durante la extracción del mineral y mientras el comportamiento subsecuente de la excavación no sea un obstáculo a las demás operaciones, la excavación deja de ser importante en un tiempo relativamente corto. Evidentemente los recursos destinados a la estabilidad de tal excavación, así como la calidad y cantidad del ademe tiene que estar en relación con el lapso durante el cual se pretende mantener la estabilidad.

Los ingenieros civiles pocas veces se ocupan de las excavaciones provisionales, ya que los túneles las Casas de Máquinas subterráneas y las cavernas para almacenamiento de petróleo tienen que mantenerse estables por más de 20 años y como no se puede admitir ningún tipo de inestabili-

dad, los recursos que se destinan al diseño y a las instalaciones de sistemas de refuerzo son normalmente suficientes y a veces excesivos.

El diseño de excavaciones subterráneas es en gran medida, el diseño de los sistemas subterráneos de los sistemas de ademado. Estos pueden abarcar desde cero refuerzo, como en el caso de las excavaciones de minería provisionales en roca buena, hasta el uso de recubrimiento total de concreto lanzado y con anclas o cables tensados con malla, en el caso de una excavación permanente de Ingeniería Civil, se puede decir que estos dos extremos son los límites inferiores y superiores del diseño de refuerzos subterráneos. Es necesario contemplar los problemas de diseño que se ubican entre estos dos extremos.

#### DIFERENTES EXCAVACIONES SUBTERRANEAS

Desde el punto de vista geotécnico la clasificación más útil de las excavaciones subterráneas se refiere a la estabilidad o seguridad que se exige de la roca que circunda una excavación. Esto, a la vez, depende del uso que se pretende dar a la excavación.

#### CATEGORIAS DE EXCAVACIONES SUBTERRANEAS

- A.- Minas provisionales
- B.- Tiros verticales
- C.- Minas permanentes, túneles de conducción de agua para Proyectos hidroeléctricos, túneles de exploración, galerías y cortes parciales de grandes excavaciones.
- D.- Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles para carretera secundarias o ferrocarriles, pozos de oscilación y túneles de acceso a Proyectos Hidroeléctricos.

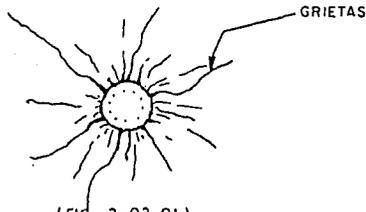
E.- Casas de Máquinas subterráneas, túneles "grandes" para carreteras o ferrocarriles, refugios de defensa civil, portales de túneles.

F.- Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de trenes, instalaciones deportivas y públicas, fábricas subterráneas.

## 2-02.00 MECANICA BASICA DE LA RUPTURA DE LA ROCA

Para una mayor comprensión en el fenómeno de las voladuras, se considera necesaria la explicación de los principios importantes, para poder crear una base sólida en cuanto conocimientos de excavaciones subterráneas o bien a cielo abierto.

Después de haberse iniciado la explosión de un barreno, se libera energía química del explosivo, provocando gases calientes a una presión enorme y como la roca es menos resistente a la tensión que a la compresión, las primeras grietas se forman bajo el efecto de este esfuerzo, dando como resultado grietas radiales. (Fig.2-02.01).



(FIG. 2-02.01)

En el período de agrietamiento no hay prácticamente ruptura, solo un ensanchamiento por quebramiento y deformación plástica.

En forma general la roca se rompe o fractura por la explosión de tres maneras, por : 1) COMPRESION 2) ESFUERZO CORTANTE 3) TENSION

### 1) LA COMPRESION

Se efectúa por el golpe directo (como de un mazo), de la explosión contra la masa de roca inflexible. Un explosivo que está profundamente enterrado, no puede romper hacia la superficie, por lo tanto rompe a la compresión únicamente. Sin embargo esta es la manera menos efectiva en su uso por lo tanto la menos recomendable.

### 2) EL CORTANTE

Se efectúa por el movimiento de las piezas o bloques de roca a lo largo de las líneas de fisura o estratificación.

### 3) LA TENSION

Se produce por la flexión desde el punto de la explosión hacia una superficie no confinada o al frente de menor resistencia de la roca que la circunda.

En las rocas duras, la efectividad máxima de los explosivos se obtiene por tensión, la resistencia a la tensión es de solo aproximadamente 1/10 de la resistencia al cortante y la resistencia al cortante es únicamente de 1/10 de la resistencia a la compresión.

Esto indica que una voladura diseñada para romper hacia un frente libre y a una distancia calculada puede producir 100 veces la fracturación de cualquier roca que esté completamente confinada.

La importancia de la tensión ha sido demostrada mediante una voladura de un explosivo muy confinado y eficientemente debajo de una superficie horizontal, de modo que la explosión no pudiera romper hacia arriba, pero suficientemente cerca, de tal manera que la superficie de la roca fuera

fracturada en crater de forma conica, separada de la pequeña cámara de explosión por roca sólida.

Cuando se detona un explosivo colocado en un barreno, los gases de alta presión que produce la explosión hacen impacto en las paredes del barreno y generan una onda de presión intensa que viaja hacia fuera de la roca. En las inmediaciones de las paredes del barreno, los esfuerzos pueden rebasar la resistencia de la roca, lo que posiblemente ocasionaría una ruptura y trituración de la misma, ya que la intensidad de los esfuerzos que genera la explosión disminuye rápidamente en relación a la distancia del barreno, el comportamiento de la roca varía desde una deformación plástica, hasta una fracturación plástica quebradiza y el tamaño de las partículas aumentará rápidamente en relación a la distancia del barreno. Fuera de esta zona en la que se rebasa la resistencia a la compresión de la roca, se formará una zona de fisuras radiales por el componente de esfuerzos a la tensión tangenciales (esfuerzos de zuncho) producto del campo de los esfuerzos, producida por la explosión, esas fisuras radiales seguirán propagándose mientras el esfuerzo a la tensión tangencial en la punta de las fisuras rebasa la resistencia a la tensión de la roca.

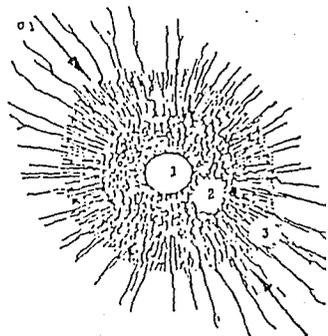
En los actuales macizos rocosos ese fracturamiento quedará influenciado por la anisotropía en la roca, la fisuración preexistente y el estado de los esfuerzos insitu. (Fig. 2-02.02).

Esfuerzo principal mayor.

Representación idealizada de la fracturación inducida por la detonación de un explosivo en un barreno.

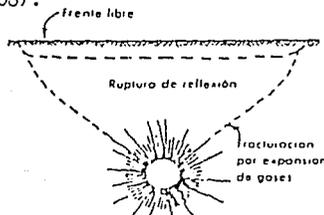
1. Barreno.
2. Zona pulverizada.
3. Fisuras radiales con desarrollo preferencial

(FIGURA 2-02.02)



Quando el barreno se encuentra cerca de un frente libre producido por una voladura anterior o por un barreno de alivio (sin carga), el desarrollo de la fracturación alrededor del barreno queda influenciado en una forma notable por este frente libre. Este se debe a que la onda del esfuerzo de compresión radial que viaja hacia afuera del barreno se convierte en una onda reflejada de esfuerzo a la tensión cuando encuentra un frente libre. Esta onda de esfuerzo a la tensión se desplaza en sentido contrario desde el frente libre rumbo al barreno y aparte de provocar desmoronamiento en el frente libre, también puede alterar el campo de los esfuerzos alrededor del barreno y alterar la distribución de las fisuras, la voladura siempre tiene que presentarse hacia el frente libre para permitir el abundamiento de la roca y evitar que la voladura se quede.

Además de los efectos dinámicos, también los gases producidos por la explosión tienen importancia para abrir fisuras y propiciar su propagación. Esa presión de gases tiene una importancia todavía mayor en ciertas técnicas, tales como el precorte y las voladuras de contorno controlado (post-corte) en las cuales las fracturas se forzan a crecer en determinadas direcciones. A la presión de los gases también se debe el levantamiento de la roca fragmentada y su alejamiento del barreno, proporcionando en esta forma el volumen de excavación adecuado para las voladuras subsecuentes. (Fig. 2-02.03).



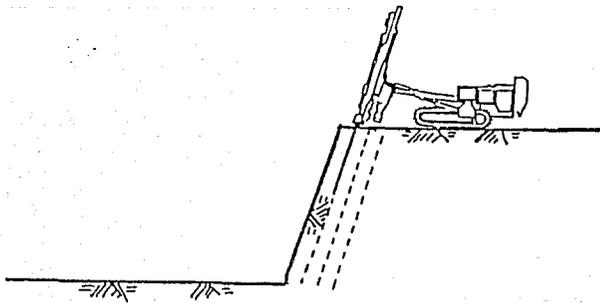
(FIGURA 2-02.03)

### 2.03.00 TIPOS DE FRENTE EN UNA EXCAVACION SUBTERRANEA

En las excavaciones subterráneas se consideran los frentes de acuerdo a la salida franca o liberada que tenga para salir la roca, esto depende básicamente de las condiciones que se tengan para formar un frente libre, es decir, que se clasificarán los tipos de frentes de acuerdo a la creación de un frente libre, por lo que en excavaciones subterráneas solo pueden tenerse 2 tipos y son:

- Frentes en donde se realizan voladuras de banco (banqueos).
- Frentes en donde se realizan voladura de túnel.

En voladura de banco existe normalmente un frente libre, ya que la voladura se inicia desde los barrenos más cercanos al frente que fue creado con la voladura anterior, es decir que cada hilera de barrenos empujará la roca y creará un frente nuevo para que pueda ser volada la siguiente hilera (Fig. 2-03.01).



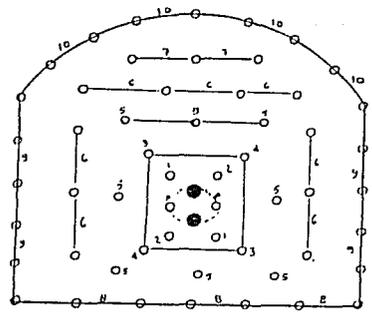
(FIGURA 2-03.01)

En las voladuras de túnel no existe ningún frente libre ya que no hay superficies libres paralelos a los barrenos y que estos se barrenan paralelos al eje del túnel, por lo tanto uno de los primeros pasos importantes en una voladura de túnel es producir un corte (o cuña) libre que se detonará primero para provocar un frente libre.

La cuña en túnel tiene como característica principal permitir la entrada de oxígeno al tramo de roca que será detonado.

Comunmente se hacen 1, 2 ó más barrenos de mayor diametro a los demas al centro de la sección o frente, a estos barrenos se les llama "quemados" por que no se cargan, y así mismo, esto permite expulsar el volumen de roca en la cuña hacia el frente dejando espacio al resto de la roca para poder desplazarse sin golpear la roca perimetral a la sección del túnel (Fig. 2-03.02).

- Barreno Cargado
- Barreno quemado (Vacio)



(FIGURA 2-03.02)

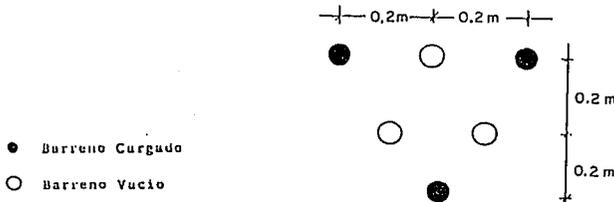
Existen diferentes tipos de cuñas y barrenaciones utilizados en las excavaciones subterráneas del país, las cuales dependen de:

- Tipo de roca
- Grado de alteración de la roca
- Dimensión de la obra
- Capacidad de equipo de rezagado
- Capacidad de barrenación
- Tipo de explosivo utilizado
- Producción requerida

De acuerdo a lo anterior son tres los tipos de cuñas más utilizadas.

### 1.- Cuña quemada

Todos los barrenos deberán ser paralelos entre si y perpendiculares a la cara del frente. (Fig. 2-03.03)



(FIGURA 2-03.03)

### 2.- Cuña de ángulo

Los barrenos tienen una cierta inclinación y así se juntan en el centro. (Fig. 2-03.04).



(FIGURA 2-03.04)

### 3.- Cuñas mecánicas

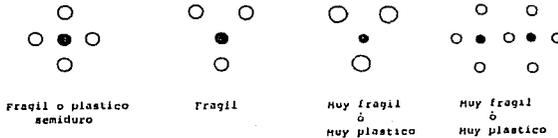
Son desarrolladas con máquina cortadora de roca y barrenación paralela entre si.

Otros tipos de cuñas quemadas conocidas en México se muestran en la siguientes figuras: (2-03.05), (2-03.06).



(FIGURA 2-03.05)

Cuña quemada tipo redondo o trebol para diferentes condiciones del terreno.



(FIGURA 2-03.06)

Cuña quemada tipo redondo o trebol invertido para diferentes condiciones del terreno.

En la figura (2-03.02) se observa que el orden de encendido nos da la secuencia lógica para el tumbado (desprendimiento) de la roca, de tal forma que la roca no desprendida no sufra daños considerables por un ahogo.

El diseño de los modelos de voladuras, tanto en secciones típicas de túnel como a cielo abierto, de precorte o controladas deben llevarse a cabo mediante un análisis del terreno en cuestión, así mismo deben tomarse en cuenta las condiciones de maquinaria y equipo con que se cuenta.

Por lo que el decidir en un determinado modelo dependerá de:

- TIPO DE ROCA
- DIAMETRO DE FRAGMENTACION
- GRADO DE ALTERACION DE LA ROCA
- DIMENSIONES DE LA OBRA
- CAPACIDAD DEL EQUIPO DE REZAGADO
- TIPO DE EXPLOSIVO UTILIZADO
- DIAMETRO DE BARRENACION

## **2-04.00 DISEÑO DE LOS MODELOS DE VOLADURAS**

Cuando se presentan daños causados por la voladuras en las cavidades subterráneas, existe una tendencia a tratar de remediarlos mediante la técnica de contorno controlado. Si esto se hace sin tomar en cuenta el diseño de barrenación principal, los resultados serán posiblemente poco menos que satisfactorios, ya que la roca que se encuentra más allá del contorno puede sufrir daños excesivos de la voladura principal.

Un buen diseño de voladura nunca podrá lograrse por partes separadas. Si se pretende lograr resultados satisfactorios tienen que tomarse en cuenta todo el conjunto de la voladura, tanto para la cuña como para la voladura principal.



## 2-05.00 DAÑO A LA ROCA

Una buena voladura comienza con el diseño correcto de la cuña y de los demás barrenos que son necesarios para fracturar la roca alrededor de la cuña. Para reducir al mínimo el daño a la roca de la periferia del túnel, será de rigor dar una atención muy especial al dispositivo y a la carga de la última línea de barrenos.

Para poder diseñar esos barrenos hay que conocer los factores que determinan el daño a la roca adyacente en un barreno de carga.

El daño a la roca está relacionada con la velocidad máxima de partículas producidas por una voladura.

Esta velocidad máxima de partículas puede ser estimada por medio de la ecuación empírica.

$$V = \frac{(K) \cdot (W \alpha)}{R/\beta}$$

Donde:

V = Velocidad máxima de la partícula en mm/Seg

W = Peso de la carga en Kg

R = Es la distancia radial en metros desde el punto de detonación

K,  $\alpha$  y  $\beta$  = Son constantes que dependen de las propiedades estructurales del macizo rocoso y que pueden variar de un sitio a otro.

La utilización de densidades adecuadas de carga en barrenos de escaso espaciamento, es la base de la técnica de las voladuras de contorno

controlado que se utiliza para evitar el daño del explosivo en excavaciones subterráneas.

Una de las principales causas en el daño a la roca, es el mal uso de explosivos al cargar un frente inapropiadamente, ya que al sobrepasar una carga o no distribuirla en un orden cronológico, provoca golpes o vibraciones de consecuencias considerables en la estabilidad de la roca.

Otro caso importante en el daño a la roca y que en ocasiones no se analiza con la importancia debida, es el golpe de la roca expulsada en una voladura, cuando la roca sale del frente y la distancia a la pared es muy corta, se produce el choque que perjudica al macizo rocoso, el cual fue golpeado por la roca expulsada y aún más, cuando las condiciones del terreno son desfavorables en cuanto a su resistencia y estabilidad.

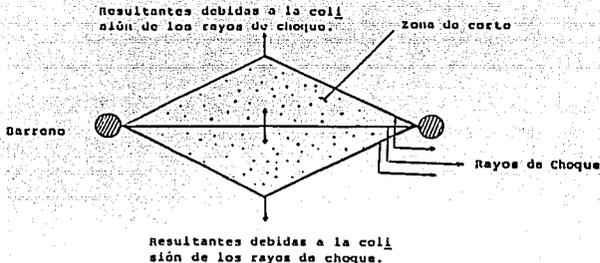
## 2-06.00 PRE-CORTE Y POST-CORTE EN LA ROCA

### I.- PRE-CORTE

El pre-corte implica una serie de barrenos en una sola hilera y a lo largo de la línea de excavación, la separación entre ellos depende de la densidad de la roca, así como de las condiciones de fracturamiento en que se encuentre.

Los barrenos son generalmente del mismo diámetro (2" a 4") y en la mayoría de los casos todos cargados. El pre-corte difiere de la barrenación en línea, de la voladura amortiguada y de la voladura perfilada, en que estos barrenos son disparados antes que la voladura principal.

(Fig. 2-06.01).



(FIGURA 2-06.01)

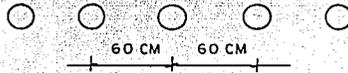
La teoría del pre-corte consiste en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en barrenos adyacentes, la colisión de las ondas de choque procedentes de los barrenos, coloca la pared intermedia en tensión y origina grietas que forman el corte entre los barrenos (Fig. 2-06.02) con cargas y espaciamientos adecuados, la zona fracturada entre barrenos se constituirá en una angosta franja cortada hacia la cual la voladura principal puede romper. El resultado es una pared de roca lisa con poco o ningún rompimiento adicional.

El plano de pre-corte refleja parte de las ondas de choque procedentes de las voladuras principales inmediatamente posteriores, impidiendo que sean transmitidas a la pared terminada, reduciendo al mínimo la fracturación y la sobreexcavación (ésto es evitar que se excave más de lo debido). Esta reflexión de las ondas de choques también tienden a reducir las vibraciones.

La técnica del pre-corte es semejante al de costureo, su diferencia básica está en que los barrenos deben estar separados más o menos 60 cm; tener un diámetro entre 2 y 4" y ser cargados con cartuchos de 7/8" a 1.0" de diámetro, separados entre 20 y 30 cm. y disparados antes de cualquier otra voladura principal cercana.

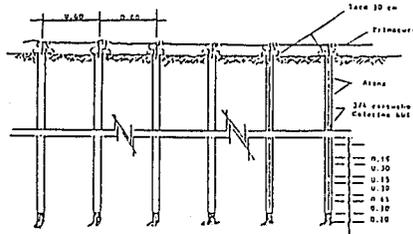
El objeto de los anillos vacíos (Fig. 2-06.02) alrededor del explosivo de

diametro pequeño, es el de amortiguar la onda de choque reduciendo el quebrado y rompimiento radial del material alrededor del barrenos.



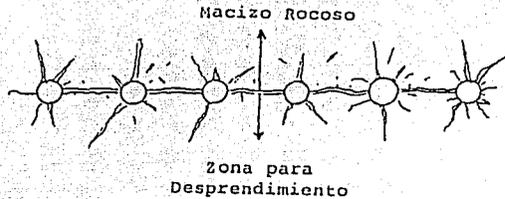
(FIGURA 2-06.02)

La teoría del pre-corte, se basa en que las fracturas radiales de un barrenos que se dispara con una carga pequeña, puede unirse con las del barrenos adyacente o bien encontrar otras fracturas radiales que formen un plano de roca quebrada entre dos barrenos. La fractura entre barrenos producida por la onda de choque se amplia y extiende por los gases de expansión. (Fig. 2-06.03).



(FIGURA 2-06.03)

Dependiendo de las condiciones y propiedades de la roca, el espaciamiento entre barrenos, el diametro de los mismos y la colocación y cantidad de explosivos, la zona fracturada puede ser solamente una simple fractura estrecha o una amplia zona de roca triturada que forma una zona discontinua que limita o elimina el rompimiento excesivo (Fig. 2-06.04).



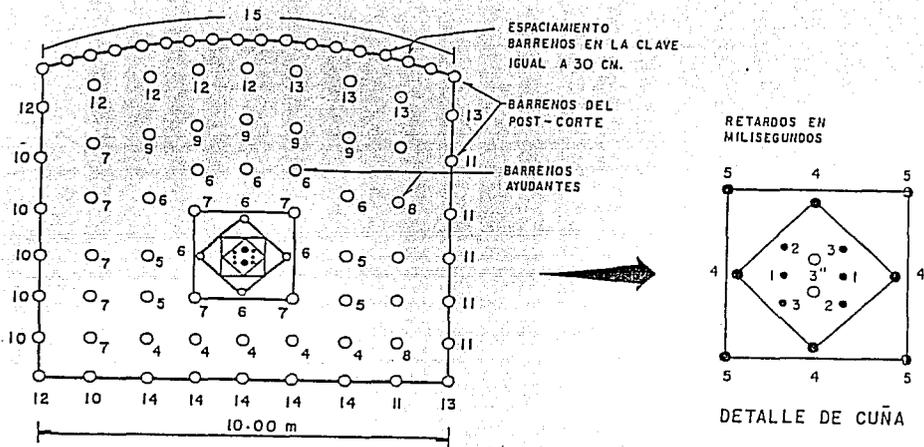
(FIGURA 2-06.04)

El pre-corte puede ser utilizado también para voladuras a cielo abierto y para poder dar inicio a excavaciones subterráneas, como son los taludes y sección de acabados en portales, para túneles se mantiene durante casi toda la vida de la obra como una expresión de cuidado y precisión del trabajo ejecutado.

## II.- POST-CORTE

El pre-corte perimetral también llamado recorte convencional tiene por objeto proteger la superficie de la roca alrededor de la voladura, es decir, que recorte el contorno de la sección de túneles.

Este método consiste en la aplicación de concentraciones de carga reducidas y una mayor densidad de perforación para producir un agrietamiento menor en la superficie perimetral del túnel. Al disparar instantáneamente o con un retardo mínimo entre barrenos se obtiene una acción cortante perimetral que desprende el bordo final con un daño reducido de las paredes (Fig. 2-06.05).



(FIGURA 2-06.05)

Estos barrenos se disparan después de los barrenos de piso para asegurar que la roca fragmentada ya haya sido desplazada, ofreciéndoles un espacio de alivio suficiente para lograr que una voladura de este tipo logre un sacudimiento mínimo y un recorte perimetral bien definido, es importante la barrenación de poco espaciamiento en todo su contorno como podemos ver en la figura anterior, existen barrenos con un espaciamiento de 15 ó 20 cm. aproximados y para el logro de un mejor corte se carga un barreno y el siguiente se deja sin cargar.

Esto permite que dos barrenos se comuniquen "en cuanto a fracturas" más fácilmente y sin sobrecarga, porque la fisura avanza hacia el punto más frágil, que sería el barreno vacío y el otro barreno cargado haría lo mismo, en caso contrario podrían no comunicarse los agrietamientos de ambos barrenos, produciendo así lajas intermedias a los 2 barrenos tronados (Fig. 02-06.06).



(FIGURA 2-06.06)

## 2-07.00 CALCULO DE CARGAS EN VOLADURAS

La construcción de túneles excavados mediante voladuras es una técnica que ha experimentado un desarrollo extremadamente rápido en los últimos años. La nueva maquinaria ha llevado consigo la introducción de métodos más racionales.

Como resultado de la experiencia recogida en las voladuras en túneles, al calcular la alineación y la carga de los barrenos se utiliza un esquema de perforación adecuado al área de que se trate. En general los cálculos se han hecho de un modo menos sistemático que, por ejemplo, los de voladuras en banco.

La información teórica básica para las voladuras en túneles está fundamentada generalmente en una comparación con la voladuras en banco, con la adición de unos factores correspondientes al aumento de carga necesarios en las voladuras en túneles.

de tal manera que a medida que el frente de ataque es menor, mayor es el confinamiento. Por lo tanto a menores dimensiones del túnel corresponde una mayor cara específica, esto se deduce de la teoría de cargas de barrenos en bancos a cielo abierto, que dice lo siguiente:

- La carga en el barrenos esta constituida por la carga de fondo y la carga de columna.

Además el extremo exterior se rellena de arena seca a esta zona se le denomina de retaque o retacado.

El fondo es la zona más confinada del barreno, por esto la carga es mayor en el fondo del barreno, es usual que la carga de columna sea del 40 al 70 % de la carga de fondo en la práctica esta relación varia entre 20 y 170 % de acuerdo con la altura del banco y la distribución de explosivos necesarios para una fragmentación adecuada.

Este mismo criterio es utilizado para la carga en los barrenos de túneles, pues mucho tiene que ver el confinamiento del terreno, dado que el único frente libre es el de ataque y esto tendría una reacción parecida a la del fondo de un barreno a cielo abierto.

**CALCULO DE LA PLANTILLA DE BARRENACION DE UN FRENTE  
CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS**

**DATOS**

Diámetro de perforación	1 7/8"
Sección del frente	4.0 x 4.0 m
tipo de roca	Roca dura (granito)
Densidad de la roca	3.3 gr/cc
Profundidad del barreno	3.0 m
Taco (por antecedentes)	0.5 m
Factor de carga	1.0 Kg/Ton
Carga de fondo	GODYNE 1" x 8" (0.120 Kg)
Carga de columna	ANFOMEX

**1.- SELECCION DE LA CURA**

Conociendo las características de la roca, la selección de la cuña en este sistema se consideró utilizar una cuña 5 oros, con un barreno de alivio al centro de 3" de diámetro.

**2.- CALCULO DE LA SUPERFICIE DEL FRENTE**

SECCION RECTANGULAR

$$A = b \times h = 4 \times 2 = 8 \text{ m}^2$$

SECCION CIRCULAR

$$A = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{3.1416(2)}{2} = 6.28 \text{ m}^2$$

$$\text{SUPERFICIE TOTAL} = 14.28 \text{ m}^2$$

**3.- CALCULO DEL VOLUMEN Y TONELAJE DE ROCA A TUMBAR CON EXPLOSIVO**

$$\text{VOLUMEN } V = 14.28 \text{ m}^2 \times 3.00 \text{ m} = 42.84 \text{ m}^3$$

$$\text{TONELADAS } T = 42.84 \text{ m}^3 \times 3.3 \text{ Ton/m}^3 = 141.37 \text{ Tons.}$$

$$\text{TONELADAS } T = 42.84 \text{ m}^3 \times 3.3 \text{ Ton/m}^3 = 141.37 \text{ Tons.}$$

4.- CALCULO DE LA CARGA TOTAL DE EXPLOSIVO POR BARRENO  
CONSIDERANDO UN TACO DE 0.05 MTS.

GODYNE 1" x 8" (densidad especifica = 1.2 gr/cc) y (1.79 Kg/m) por lo que necesitan 2.148 Kg de GOYDNE para llenar un metro de columna en un diámetro de 1 7/8", (ver tabla 2-07.01)  $1.79 \times 1.20 = 2.148 \text{ Kg.}$

Por lo tanto :

$$2.148 \text{ Kg} \quad \text{---} \quad 1.0 \text{ m}$$

$$0.120 \text{ Kg.} \quad \text{---} \quad \times \quad \times = 0.0558 \text{ m}$$

ANFO (densidad = 0.85 gr/cc) cargado neumáticamente.

Se necesita 1.52 Kg de ANFO confinado para llenar un metro de columna en un diámetro de 1 7/8" (ver tabla 2-07.01).

Por lo tanto:

$$1.52 \text{ Kg} \quad \quad \quad 1.0 \text{ m}$$

$$\times \quad \quad \quad 2.44 \text{ m} \quad \quad \quad \times = 3.715 \text{ Kgs.}$$

Carga total/barreno = ANFO + GOYDNE

$$\text{C.T.B.} = 3.715 + 0.120 = 3.835$$

5.- CALCULO DEL EXPLOSIVO TOTAL UTILIZADO EN EL FRENTE CONSIDERADO  
EN ESTE EJEMPLO

$$\text{Kg. de explosivo} = (\text{factor de carga}) (\text{toneladas tumbadas})$$

$$\text{Kg. de explosivo} = (1.0 \text{ Kg/Ton}) (141.37 \text{ Ton.})$$

Kg. de explosivo = 141.37 Kg.

6.- CALCULO DEL NUMERO DE BARRENOS NECESARIOS EN EL FRENTE

No. de barrenos =  $\frac{\text{Kg. de explosivos en el frente}}{\text{Kg. de explosivos por barreno}}$

No. de barrenos =  $\frac{141.37 \text{ Kg.}}{3.835 \text{ Kg.}} = 36.86$  barrenos

No. de barrenos cargados = 37

7.- SE PROCEDE A UBICAR PROPORCIONALMENTE LOS 37 BARRENOS CARGADOS  
(INCLUYENDO LOS DE LA CUÑA) EN EL FRENTE MENCIONADO

- 1.- Ubicar barrenos de cuña y ayudantes de cuña.
- 2.- El resto de los barrenos se distribuyen en la superficie restante en forma proporcional.

CUÑA = 4 BARRENOS + 2 QUEMADOS

AYUD. DE CUÑA = 4 BARRENOS

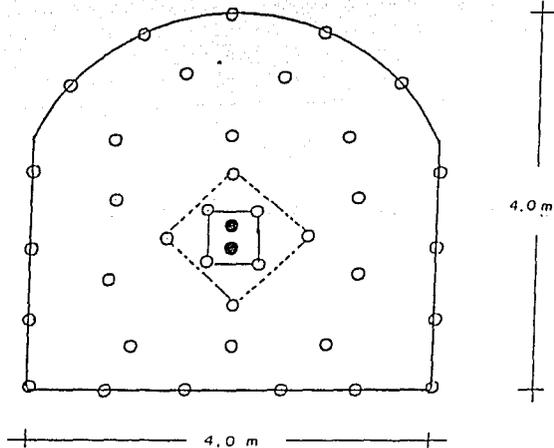
CLAVE = 5 BARRENOS

TABLA = 6 BARRENOS

PISO = 6 BARRENOS

INTERIORES = 12 BARRENOS

DISTRIBUCION DE BARRENOS DE ACUERDO AL CALCULO  
DE EXPLOSIVOS Y SECCION DEL FRENTE.



(FIGURA 2-07.01)

**Carga por metro (pies) de barrenación con un explosivo de densidad 1.0 g/cm<sup>3</sup>**

Diámetro de barrenación		Carga		Diámetro de barrenación		Carga kg/mt.	
Pulg.	cm	lbs/pie	Kg/mt	Pulg.	cm	lbs/pie	kg/mt
1	2.54	0.34	0.51	6 7/8	22.54	26.82	39.88
1 1/8	2.86	0.43	0.64	6 3/8	16.19	13.84	20.60
1 1/4	3.18	0.53	0.79	6 1/2	16.51	14.39	21.42
1 3/8	3.49	0.64	0.95	6 5/8	16.83	14.94	22.23
1 1/2	3.81	0.77	1.16	6 3/4	17.15	15.51	23.08
1 5/8	4.13	0.90	1.34	6 7/8	17.46	16.09	23.94
1 3/4	4.45	1.04	1.55	7	17.78	16.68	24.82
1 7/8	4.76	1.20	1.79	7 1/8	18.10	17.28	25.72
2	5.08	1.36	2.02	7 1/4	18.42	17.90	26.64
2 1/8	5.40	1.54	2.29	7 3/8	18.73	18.52	27.56
2 1/4	5.72	1.72	2.56	7 1/2	19.05	19.15	28.50
2 3/8	6.03	1.92	2.86	7 5/8	19.37	19.80	29.47
2 1/2	6.35	2.13	3.17	7 3/4	19.69	20.45	30.43
2 5/8	6.67	2.34	3.48	7 7/8	20.00	21.12	31.43
2 3/4	6.99	2.57	3.82	8	20.32	21.79	32.43
2 7/8	7.30	2.81	4.18	8 1/8	20.64	22.48	33.45
3	7.62	3.06	4.55	8 1/4	20.96	23.17	34.48
3 1/8	7.94	3.32	4.94	8 3/8	21.27	23.88	35.54
3 1/4	8.26	3.59	5.34	8 1/2	21.59	24.60	36.61
3 3/8	8.57	3.87	5.76	8 5/8	21.91	25.33	37.70
3 1/2	8.89	4.17	6.21	8 3/4	22.23	26.07	38.80
3 5/8	9.21	4.47	6.65	9	22.86	27.58	41.04
3 3/4	9.53	4.78	7.11	9 1/8	23.18	28.35	41.19
3 7/8	9.84	5.11	7.60	9 1/4	23.50	29.13	43.35
4	10.16	5.45	8.11	9 3/8	23.81	29.93	44.54
4 1/8	10.48	5.79	8.62	9 1/2	24.13	30.73	45.73
4 1/4	10.80	6.15	9.15	9 5/8	24.45	31.54	46.94
4 3/8	11.11	6.51	9.69	9 3/4	24.77	32.37	48.17
4 1/2	11.43	6.89	10.25	9 7/8	25.08	33.20	49.41
4 5/8	11.75	7.28	10.83	10	25.40	34.08	50.72
4 3/4	12.07	7.68	11.43	10 1/8	25.72	34.90	51.94
4 7/8	12.38	8.09	12.04	10 1/4	26.04	35.77	52.23
5	12.70	8.51	12.68	10 3/8	26.35	36.65	54.54
5 1/8	13.02	8.94	13.30	10 1/2	26.67	37.54	55.87
5 1/4	13.34	9.38	13.96	10 5/8	26.99	38.44	57.21
5 3/8	13.65	9.84	14.64	10 3/4	27.31	39.35	58.56
5 1/2	13.97	10.30	15.33	10 7/8	27.62	40.27	59.93
5 5/8	14.29	10.77	16.03	11	27.94	41.20	61.31
5 3/4	14.61	11.26	16.76	11 1/8	28.26	42.14	62.71
6	15.24	12.26	18.25	11 1/4	28.58	43.09	64.13
6 1/8	15.56	12.77	19.00	11 3/8	28.89	44.05	65.66
6 1/4	15.88	13.30	19.79	11 1/2	29.21	45.03	67.01
11 5/6	29.53	46.01	69.47	12 3/8	31.43	52.14	77.59
11 3/4	29.85	47.00	70.94	12 1/2	31.75	53.20	79.17
12	30.48	49.03	73.97	12 5/8	32.07	54.27	80.76
12 1/8	30.80	50.06	74.50	12 3/4	32.39	55.35	82.37
12 1/4	31.12	51.09	76.03	12 7/8	32.71	56.44	84.99

( TABLA 2 - 07.01 )

### CAPITULO 3

#### EXCAVACION DE LA CASA DE MAQUINAS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA

### 3-00.00 EXCAVACION DE LA CASA DE MAQUINAS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA

La excavación de esta Casa de Maquinas se realizó en forma subterránea, decisión tomada después de una serie de largos estudios geológicos, en donde se determinó la ubicación de las diferentes estructuras que componen las obras subterráneas de generación. (Ver figura 3-00.02)

Esta ubicación se diseño de acuerdo a las condiciones que presentaron los diferentes macizos rocosos en diferentes zonas, siendo así las más óptimas para estas estructuras, ya que de acuerdo a informes y levantamientos geológicos estructurales que se realizaron por medio del socavon 8-C (en las intersecciones 1E y 3E) permitieron definir cuatro sistemas de fracturas. Para desarrollar el modelo de bloques se seleccionaron cuatro estructuras geológicas importantes que se asocian a los sistemas definidos, que tienen las siguientes orientaciones :

- S1 = N 29 E/58 SE
- S2 = N 75 W/68 SE
- S3 = N 15 W/47 NE
- S4 = N 65 E/55 NW

Los sistemas 1, 2, y 4 son estructuras continuas y persistentes con rellenos arcillosos entre 0.5 y 15 cm., el sistema 3 se asocia a fallas con gruesos rellenos arcillosos en espesores mayores a 10 cm y hasta 80 cm todas las estructuras geológicas del macizo rocoso en la Unidad Agumilpa tienen buzamiento hacia el Este.



En este tercer capítulo se hará mención de las técnicas tan avanzadas, así como de la maquinaria pesada que fue utilizada en las excavaciones subterráneas del Proyecto. Es importante mencionar que las técnicas, procedimientos y material utilizado por la contratista, fueron debidamente supervisados y aprobados por la Comisión Federal de Electricidad, la secuencia de los trabajos en las excavaciones subterráneas, así como cambios, diseño y detalles paso a paso hasta la terminación de la excavación, serán tratados con toda la información que corresponde en este capítulo.

#### PROGRAMA DE OBRA

Las fechas más importantes dentro del programa de construcción son las siguientes :

- Inicio de las Obras de Infraestructura	ENERO 1989
- Inicio de las Obras de Desvío	ABRIL 1989
- Inicio de las Obras de Contención	ENERO 1990
- Desvío del río (por túnel No. 1)	MARZO 1990
- Inicio de Obras de Generación	ENERO 1990
- Inicio de las Obras de Excedencias	SEPT. 1990
- Inicio fabricación de turbinas	ENERO 1991
- Inicio montaje de turbinas	ENERO 1992
- Inicio fabricación de generadores	ENERO 1992
- Inicio montaje de generadores	ENERO 1993
- Cierre final de túneles de Desvío	JUNIO 1993
- Sincronización de la primera Unidad Generadora	JUNIO 1993

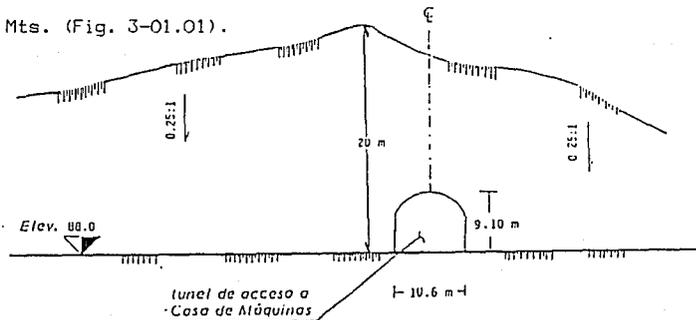
### 3-01.00 DESCRIPCION DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS DE GENERACION

La descripción de estas Obras Subterráneas tiene como propósito el dar a conocer en una forma general la finalidad de haber sido contruidas cada una de estas estructuras, es una base fundamental el saber el funcionamiento de cada una de ellas, así como el ciclo de trabajo a desempeñar, para poder comprender con facilidad, la ubicación, dimencionamiento e importancia que se le ha dado a cada una de estas estructuras. Por lo tanto se describirán cada una de esta Obras, explicando la relación que tenga una con otra.

#### A) DESCRIPCION DEL PORTAL DE ENTRADA A CASA DE MAQUINAS

##### DESCRIPCION

El portal de entrada al túnel de acceso a Casa de Máquinas, se localiza en la margen derecha del río Santiago en el Km. 4 + 780 a la elevación 88.00 m.s.n.m., es una plataforma con un talud de 0.25:1, con altura máxima de 20 Mts. (Fig. 3-01.01).



(FIGURA 3-01.01)

## FINALIDAD

La finalidad de la ejecución del portal de entrada al túnel de acceso a Casa de Máquinas es: permitir llegar al umbral del túnel por el cual se tendrá acceso a la Casa de Máquinas y de esta forma dar un factor de seguridad al acceso 100% confiable durante toda su etapa de construcción y aún en toda la vida útil de esta obra.

## B) DESCRIPCION DEL TUNEL DE ACCESO A BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS

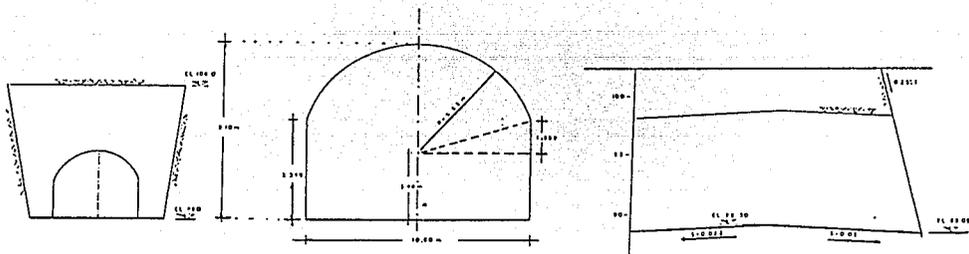
Este túnel se inició a excavar inmediatamente después del tajo realizado en el portal de entrada, ya que se acordó esto para no retrasar la excavación del túnel de acceso (Fig. 3-01.02).

Realizando así las primeras voladuras de este túnel, con una sección de 10.60 m de ancho por 9.10 de altura (Fig. 3-01.03) sección que se mantuvo constante en toda su longitud de 323.25 m

El inicio de este túnel 0+000 se encuentra a la elevación 88.00 m.s.n.m., teniendo una pendiente ascendente los primeros 10 m. de  $S = 0.03$ , y continúa a partir de este punto con una pendiente descendente hasta el cadenamiento 0+234.00 de  $S = 0.022$  y del 0+234 al 0+307.03 una pendiente ascendente de  $S = 0.120$ , posteriormente en el tramo del 0+307.03 al punto donde entronca el túnel con la bóveda de Casa de Máquinas K 0+323.25 sin pendiente, a la elevación 80.50 (Fig. 3-01.04), el diseño de las dimensiones de este túnel fueron analizadas previendo el futuro tránsito de maquinaria para el montaje de elementos estructurales y electromecánicos, así como el tránsito de la maquinaria de excavación.

## FINALIDAD

La finalidad de la ejecución de este túnel es obviamente permitir el acceso para iniciar la excavación de la bóveda de Casa de Máquinas, y al mismo tiempo poder iniciar también la excavación en la bóveda de la galería de oscilación, por otra parte, hacer posible la ramificación de todos los túneles auxiliares, que tendrán como fin el acceso a todo tipo de maquinarias, tanto en su etapa de construcción como en la de operación y mantenimiento.

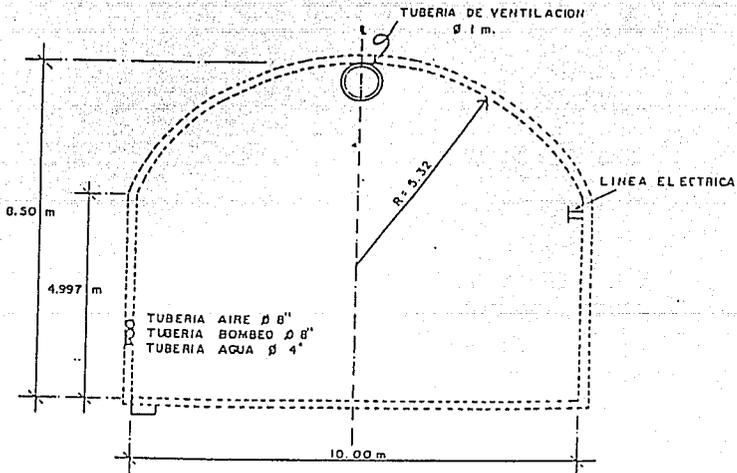
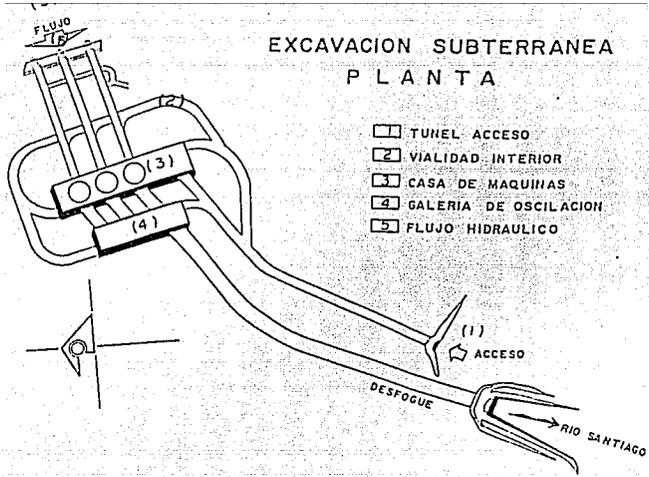


(FIGURAS 3-01.02 3-01.03 Y 3-01.04)

## C) DESCRIPCION DEL TUNEL DE ACCESO DEFINITIVO A CASA DE MAQUINAS

La excavación de este túnel inicio despues de haber concluido el túnel de acceso a la bóveda de Casa de Máquinas, a partir del cadenamiento 0+220, punto mismo en donde se localiza el 0+000 de este túnel de acceso definitivo, continuando éste hasta el tímpano sur de Casa de Máquinas a la elevación 68.20 (en piso) con una logitud de 137.00 m (Fig. 3-01.05) con una sección constante en todo su desarrollo de 10.00 m de ancho por 8.50 m de altura a sección portal (Fig. 3-01.06).

# EXCAVACION SUBTERRANEA PLANTA



(FIGURA 301.05 Y 3-01.06)

## FINALIDAD

La finalidad de excavar el túnel de acceso definitivo fue que durante la etapa de excavación diera mayor facilidad en el rezagado del material producto de las voladuras en los banqueos de Casa de Máquinas, ya que despues de excavar la bóveda, el primer banqueo fue necesario rezagarlo por este acceso, así mismo el segundo, tercero y parte del cuarto y al llegar al acceso por tímpano Norte se rezagaría el resto del cuarto y el quinto banqueo, y por otra parte en la etapa de montaje tanto de elementos metálicos estructurales, como los electromecánicos tuvieron acceso por este túnel a la playa de Montaje, sitio donde se llevó a cabo todas las maniobras de montaje y distribución de maquinaria y equipo para estos trabajos, ahora bien como su nombre lo dice "Túnel de acceso definitivo a Casa de Máquinas", este túnel quedará en forma definitiva para tener acceso a cualquier punto de esta estructura y cualquier elevación.

## D) DESCRIPCION DE LOS TUNELES AUXILIARES A TUBERIAS A PRESION, ACCESO A GALERIA DE OSCILACION Y CASA DE MAQUINAS POR TIMPANO NORTE

Este túnel se comenzo en el cadenamamiento 0+102.0 (parte derecha) del túnel de acceso definitivo a bóveda de Casa de Máquinas, con una sección de 9.0 m de ancho por 7.0 m de altura (Fig. 3-01.07), del cadenamamiento 0+043 al cadenamamiento 0+089 se encuentra la primer curva la cual permite llegar perpendicularmente al paño aguas arriba de Casa de Máquinas (Fig. 3-01.08) ya que la ubicación de las tuberias a presión es la siguiente :

Parten de la Obra de Toma a la elevación 0+170.00 con una inclinación de 52° respecto a la horizontal y terminan en el paño aguas arriba de la

Casa de Máquinas a la elevación 57.00 con una longitud igual a 137.33 m de acuerdo a esto se ubicaron los tres ramales a las tuberías a presión con sección de 8 m de ancho por 7 m de altura en túnel y de 8.70 m de diámetro en tubería (Figs. 3-01.09 y 3-01.10).

El túnel auxiliar a tuberías a presión termina en la prolongación del paño derecho de la unidad tres hasta interseccionarse con el centro de línea del túnel que corresponde al cadenamiento 0+192.734.

Se le dió este nombre al túnel, ya que hasta este cadenamiento podríamos tener acceso a los túneles a presión, la continuación de éste nos lleva a la Casa de Máquinas y a la Galería de Oscilación.

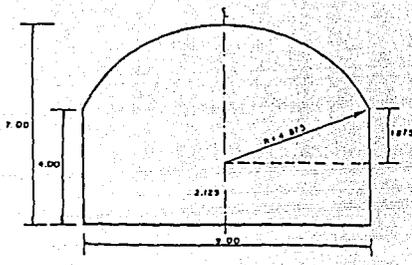
Las pendientes se manejaron de acuerdo a las necesidades para poder llegar a las diferentes elevaciones requeridas, la pendiente más fuerte que se manejó en los accesos fue de  $S=0.11400$  en el tramo del Pt. de la lera. curva (K0+089.38) al cadenamiento de la lera. tubería a presión.

Con el cadenamiento 0+396.996 que es el tímpano norte de la galería de oscilación, quedaron concluidos todos los accesos y ramales a diferentes puntos de las obras principales. (Ver plano "tuneles auxiliares y definitivos").

#### FINALIDAD

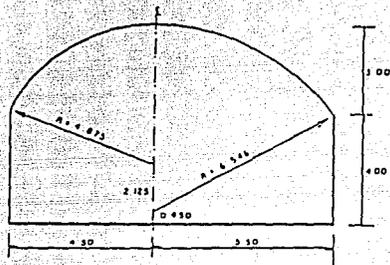
La función primordial de éste túnel es poder atacar un frente por dos o más partes a diferentes elevaciones y poder llevar acabo el rezagado de material ya que debido a la diferencia de elevaciones sería imposible rezagar por un mismo acceso y con un desnivel de 30, 40 ó más metros.

SECCION—TUNEL AUXILIAR A TUBERIAS A PRESION  
ACCESO A CASA DE MAQUINAS Y GALERIA DE US-  
CILACION POR TAMPADO NURTE.



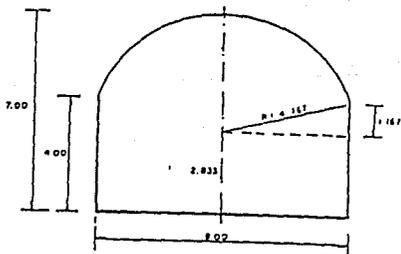
( Fig. 3-01-07 ).

SECCION—AMPLIACION TUNEL AUXILIAR  
A TUBERIAS A PRESION.



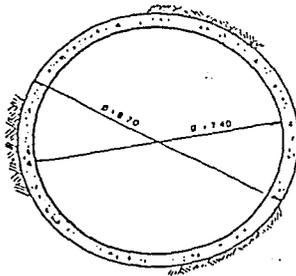
( Fig. 3-01-08 ).

SECCION—TUNEL RAMAL A UNIDADES



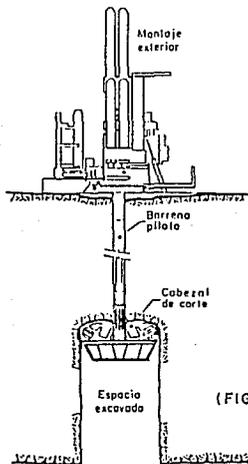
( Fig. 3-01-09 ).

SECCION—TUNEL DE TUBERIA A PRESION



( Fig. 3-01-10 ).

El túnel auxiliar a tuberías a presión; permitió atacar los túneles de las tuberías a la Elev. 57.00 que es el eje del distribuidor y al mismo tiempo iniciar la excavación por la parte superior de la tubería auxiliar a presión a la Elev. 154.25, mediante un acceso llamado galería auxiliar No. 4, ésto permitió llevar acabo la excavación del contrapozo de cada una de las tuberías, facilitando así el acceso de la rima por la parte inferior (túnel auxiliar) y la instalación de la contrapocera en la parte superior (Ver fig. 3-01.11), una vez terminado el contrapozo, viene una segunda etapa de excavación que son llevadas acabo mediante banqueos para lograr una ampliación hasta el diámetro de excavación de 8.70 m.



(FIGURA 3-01.11)

El túnel de acceso a Casa de Máquinas por tímpano norte permitió excavar el quinto banqueo, aún sin terminar el cuarto, el túnel de acceso a Casa de Máquinas llegó por el tímpano norte a la Elev. 55.75 en piso y Elev. 62.00 en bóveda, permitiendo así comenzar el quinto banqueo por el tímpano norte, de la Elev. 55.75 a la 52.75.

El túnel de acceso a la galería de oscilación por tímpano norte, se excavo con la finalidad de poder atacar los túneles de aspiración a la Elev. 42.00 y por otra parte el último banqueo de galería de oscilación, aunque existía la posibilidad de hacerlo por el túnel de desfogue.

#### E) DESCRIPCION DE LA CASA DE MAGUINAS

La Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, es una estructura, la cual fue excavada subterráneamente con una longitud de 134.00 m., un ancho de 24.00 m. y una profundidad de 50.00 m hasta su parte más baja, ésta caverna contiene diferentes niveles destinados para diferentes funciones, las cuales se describen a continuación:

Los niveles de excavación de esta Caverna son varias, como puede verse en el plano (corte longitudinal por C.L. de unidades).

Estos niveles dividen a la Caverna en diferentes pisos: Es importante mencionar que cuando sea revestida de concreto esta caverna, se formarán otras divisiones o niveles de piso.

El primer nivel de piso es la zona de playa de montaje.

Cadenamiento 0+000 ——— 0+033

Elevación 67.90 ——— Nivel de excavación.

Elevación 68.20 ——— Nivel de piso terminado.

Su función es, el armado y almacen de las piezas de las turbinas que llegarán a Casa de Máquinas.

Una vez armadas y preparadas dichas piezas se trasladarán a su lugar de montaje correspondiente.

El segundo nivel es la Sala de baterías.

Elevación 63.75 ——— Nivel de excavación.

Elevación 64.00 ——— Nivel de piso terminado.

Su función es almacenar las baterías para arranque de éste tipo de maquinaria. Además de oficinas para personal de operación.

El tercer nivel es el piso en donde se inicia la excavación de los fosos de aspiración.

Elevación 52.75 ——— Nivel de excavación.

Elevación 56.00 ——— Nivel de piso terminado.

Su función es alojar una serie de conductos y tuberías que conduciran la energía de las turbinas a la Subestación.

El cuarto nivel es fondo de los fosos de aspiración, los cuales se conectan con galería de oscilación mediante unos túneles de aspiración.

Elevación 39.25 ——— Nivel de excavación.

Elevación 39.50 ——— Nivel de piso terminado.

Es importante mencionar que nivel de piso terminado de la elev. 39.50 es donde se apoyará el codo de conexión de la carcasa con los túneles de aspiración y el resto del foso a partir de la elev. 39.50 y hasta la 56.00 será empacado de concreto.

Estos niveles antes mencionados son los que se pueden apreciar en los planos de etapa de excavación y como ya se mencionó, cuando la caverna se revestió se formaron las losas de concreto, otros niveles con otras funciones.

Para poder apreciar con mayor claridad los niveles, dimensiones y elevaciones de la excavación de la casa de máquinas, ver planos que se presentan al final de este capítulo (3).

Otra de las elevaciones importantes es la 79.80 donde se encuentra el riel de la trabe carril, la cual tiene como función trasladar las grúas tanto la de construcción, como las dos grúas definitivas que servirán para el montaje de piezas pesadas de turbinas en la etapa de construcción y también en la etapa de operación y mantenimiento. Estas grúas definitivas son dos: clasificadas como la grúa definitiva "A" y la grúa definitiva "B", las cuales tienen una capacidad de 405 toneladas cada una y que utilizarán en toda la vida útil de la obra.

Otro de los aspectos importantes, es definir los centros de línea de esta caverna. Uno de ellos es el centro de línea de Casa de Máquinas, que está a 12.00 m. de los muros aguas arriba y aguas abajo y el centro de línea de las unidades, el cual se encuentra a 14.70 m del muro aguas arriba y 9.30 m del muro aguas abajo.

Este centro de línea es utilizado para ubicar a las tres Unidades, tanto para excavación, como en la colocación de turbinas, éste centro de línea longitudinal contiene a los centros de línea transversales en cada una de las unidades o fosos de aspiración (Ver plano elev. 78.05).

## FINALIDAD

El objeto principal de esta caverna es el alojar todo el conjunto de instalaciones y montajes de turbinas generadoras de energía eléctrica, formando una parte principal en el ciclo de funcionamiento del Proyecto Hidroeléctrico, el cual consiste básicamente en :

- 1.- ALMACENAMIENTO (EMBALSE)
- 2.- CAPTACION (OBRA DE TOMA)
- 3.- RECEPCION Y GENERACION (CASA DE MAQUINAS)
- 4.- CONTROL DE EXCEDENCIAS (VERTEDEDOR)

La Casa de Máquinas se construyó previendo todo tipo de posibles consecuencias a futuro, tomando en cuenta las experiencias en presas anteriores, para así darle un máximo factor de seguridad y confiabilidad en el desarrollo de su vida y finalidad de ésta obra.

La Caverna de Casa de Máquinas tiene la función básica de recibir por medio de las tuberías a presión el agua almacenada en el vaso captandola por medio de la Obra de Toma (canal de llamada). Una vez que el agua llega a la Caverna, se inicia el proceso de generación mediante las turbinas instaladas tipo Francis. El giro de aespas de la turbina provocado por la presión con la que llega el agua produce una rotación la cual forma un campo magnético, que precisamente es la energía producida y es conducida mediante guías por las lumbreras de buses a la subestación, que vendría siendo un almacén de energía.

## F) DESCRIPCION DE LA GALERIA DE OSCILACION

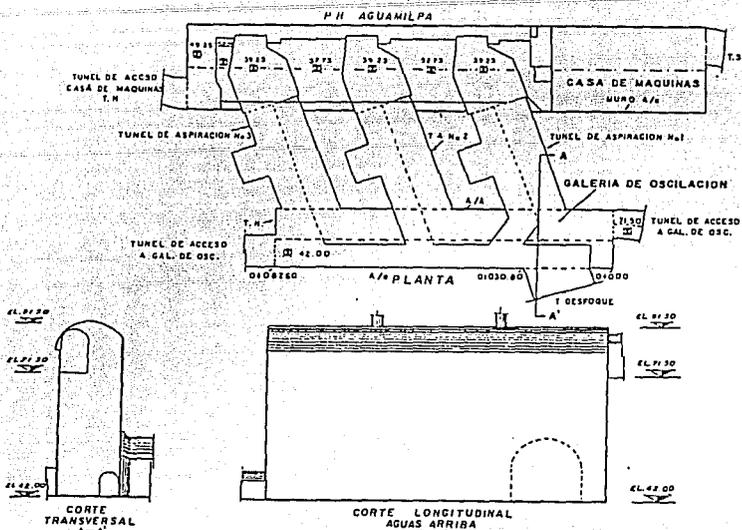
La galería de oscilación, es una estructura también excavada en forma subterránea, con una longitud de 87.60 m, un ancho de 16.60 m y profundidad de 49.50 m. Esta galería se encuentra aguas abajo de la Casa de Máquinas conectada con ésta, por la parte inferior a la elevación 42.00 mediante tres túneles de aspiración y conectada también en la pared aguas abajo con el túnel de desfogue elevación 42.00, en el tímpano sur se encuentra el túnel de acceso a bóveda, de la elevación 91.00 a la 71.50, y en el tímpano norte se encuentra otro túnel de acceso auxiliar para su excavación, las cuales quedarán tapados para hacer posible su funcionamiento. (Fig. 3-01.12)

Los túneles de aspiración y el túnel de desfogue tienen un desfase de 20° con respecto al eje transversal de Casa de Máquinas y galería de oscilación.

La galería de oscilación cuenta con dos lumbreras de ventilación en la parte superior de la bóveda, planeadas para su etapa de construcción.

### FINALIDAD

El objeto de la galería de oscilación es dar alivio y control en el manejo de la salida del agua proveniente de las turbinas de Casa de Máquinas, mediante compuertas colocadas en el muro aguas arriba de galería de oscilación, la abertura de las compuertas permitirá el paso de agua que oscilará en esta galería de acuerdo a la entrada que tenga por los túneles de aspiración y la salida por el túnel de desfogue.



(FIGURA 3-01.12)

G) DESCRIPCION DE LOS TUNELES DE ASPIRACION

Los tres túneles de aspiración, localizados en la parte intermedia de Casa de Máquinas y Galería de Oscilación, tiene una longitud de 31.377 m. con una sección rectangular de 14.00 m. de ancho por 9.00 m. de altura, en los cuales se encuentra un nicho para acceso a la colocación de una rima que escavó la primera etapa de las lumbreras de buses a un diámetro de 2.40 m, siendo el diámetro final de proyecto de 6.17 m. excavada mediante banquetes de ampliación

Estos nichos se encuentran en el cadenamiento 0+019.50 de cada uno de estos túneles, del cadenamiento 0+000 al 0+013.50 no tiene pendiente, y a partir del 0+013.50 al 0+031.377 tiene una pendiente descendiente del 11.33 % hasta conectar con los fosos de aspiración de casa de máquinas.

FINALIDAD

Los túneles de aspiración, tienen la finalidad de conducir directamente el agua proveniente de las turbinas de casa de Máquinas a la galería de

oscilación, estos túneles fueron construidos en su excavación a sección completa de 14.00 x 9.00 m para posteriormente dividirlos en dos vanos cada uno con una pila central de concreto hidráulico quedando finalmente un total de 6 compuertas.

Los túneles de aspiración tienen un desfazamiento de 20 grados respecto al eje transversal de casa de máquinas y galería de oscilación para dar mayor facilidad a la salida del agua por el túnel de desfogue.

#### H) DESCRIPCION DEL TUNEL DE DESFOGUE.

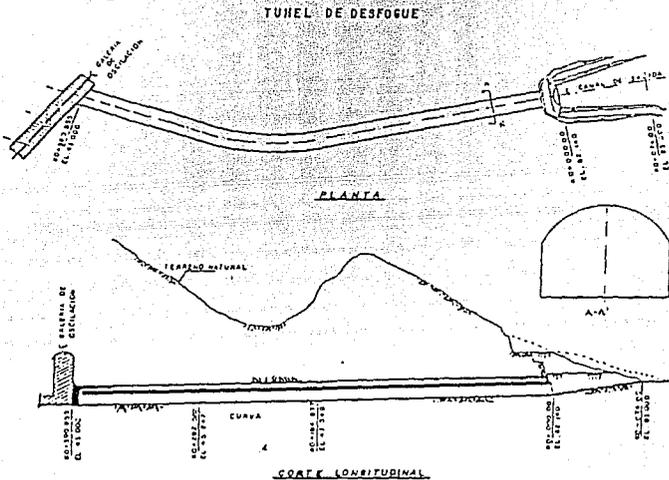
Este túnel se excavo con una sección portal de 17.20m.x 17.20m. Con una longitud de 390.955 m y una pendiente de 0.02356, contraria al flujo de agua. El portal de salida se une al canal de descarga a la elevación 52.14 y en su otro extremo se une con el muro aguas abajo de galerías de oscilación a la elevación 42.00 (en piso), por otra parte, el túnel cuenta con una sola curva a partir del cadenamamiento 0+194.877 al 0+292.582 teniendo una longitud de curva de 97.705m un radio de 186.603m. A partir del cadenamamiento 0+000 en el portal de salida está el canal de salida (descarga a cielo abierto) que llega al cadenamamiento 0 - 074.00 a la elevación 63.00(conectandose con el río).

El portal de salida cuenta con un talud de 0.25:1 para su estabilidad y seguridad. (figura 3-01.13).

#### FINALIDAD

Este túnel tiene la finalidad de conducir el agua proveniente de casa de máquinas a través de galería de oscilación encausandola hasta el río santiago.

En el proceso de generación de este conjunto el túnel de desfogue se encarga de realizar el último paso del ciclo de trabajo, que es la descarga del agua que fué utilizada por las turbinas y en forma moderada se controla por laa galería de oscilación.



(FIGURA 3-01.13)

### 3-02.00 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE LA CASA DE MAQUINAS.

El procedimiento constructivo para la excavación llevó una serie de pasos con un orden muy drástico, ésto debido a la importancia que merece este tipo de excavaciones, aunque sabemos que un procedimiento constructivo sigue un cierto orden, es factible en algunos casos poder saltar una actividad para ganar tiempo al programa, pero en este caso no es posible pues se requiere estrictamente terminar una actividad para comenzar otra, pero se utilizó un metodo para poder ganar tiempo, y en este capítulo se explicará detalladamente.

Como ya sabemos, despues de haber realizado un proyecto y de ser aprobado para su construcción, iniciarlo requiere de un análisis en cuanto a exigencias, recursos, necesidades, análisis de los datos de proyecto, reconocimiento del sitio, etc. Así, una vez realizados todos estos puntos, se inició la excavación, siendo la base primordial de este arranque, todos los datos topográficos, como coordenadas de puntos determinados, bancos de nivel, etc.

En planos topográficos como el túneles auxiliares se localizaron los puntos claves como los de los ejes de intersección de galería de oscilación, Casa de Máquinas y túnel de desfogue, para que mediante coordenadas se obtuvieran distancias y chequeo de dimensiones, porterior a ésto se inició con la excavación del túnel de acceso a Casa de Máquinas y al llegar al entronque de Casa de Máquinas se fueron colocando referencias (mojoneras) para verificación de los puntos claves como: PC, PT, G-12, G-13, G- 14, G-15, G-16, G-17, G-18, G-19, G-20, G-21, G-22, G-23, G-24, G-25, y G-26, así una vez determinados todos los puntos topográficos, se hace un estudio en campo de las condiciones geológicas y mecánicas de la roca para verificar la utilización del explosivo diseñado, de acuerdo a los estudios que ya se tenían establecidos.

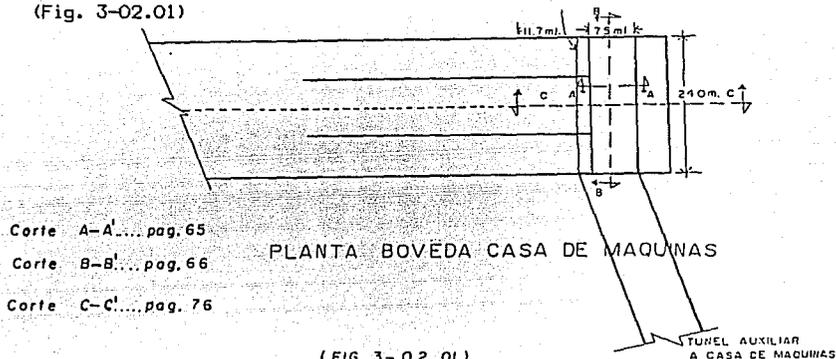
Cuando la excavación del túnel de acceso a la bóveda de Casa de Máquinas llegó a su entronque, se inició el siguiente método para la excavación de la bóveda.

La sección a excavar fue de 24.00 m. de ancho por 9.00m. de altura con sección arco. La bóveda fué la primera etapa de excavación, y se dividió en tres partes para poder excavar como túnel (figura 3-02.01).

Para poder iniciar esta forma de excavación se tuvo que entrar con el

túnel de acceso hasta cruzar la casa de máquinas transversalmente y llegar hasta el paño del muro aguas arriba y con esto poder llevar acabo la excavación en tres partes, la parte I (parte central) se llevó como túnel piloto, es decir que se excava llevando este frente más adentro que las otras dos partes. Este método tiene el siguiente objetivo:

(Fig. 3-02.01)



La parte central se detona primero para que las partes laterales tengan mayor libertad en su salida hacia el frente y a un lado, espacio que queda libre por la excavación del túnel piloto.

La utilización de este método de excavación fue necesario debido a las dimensiones de la estructura, ya que para excavar un túnel a sección completa debe tener como máximo 10.00m. de diámetro pues de lo contrario se corre el riesgo de golpear bastante a la roca aladaña, provocando así desprendimientos de gran volumen, ya sea al instante o posteriores. así mismo una vez elegido el sistema de excavación y conociendo la zona geológicamente, se inicia el proceso llevando una secuencia entre un determinado número de voladuras y una revisión geológica para comprobación de los estudios previstos, de acuerdo a esto se fija el número de

voladuras continuas que podrian autorizarse sin revision geológica ni tratamiento a la roca para formarse así un ciclo bien definido.

La excavación de esta primera etapa de 134.00 m de longitud se llevó a cabo dividiendo la sección arco en tres partes y en cada una de estas se realiza un ciclo de actividades para excavación, independiente a las otras dos secciones, el avance promedio para cada voladura es de 3.00m por lo que en 134.00m se realizarían 45 voladuras por una sección y 135 para las tres secciones el periodo de construcción fué de 180 días para esta bóveda de casa de máquinas.

Por lo tanto cada voladura tendría una duración de 1.3 días pero considerando días efectivos de trabajo el ciclo de actividades sería de 24 horas promedio.

Al final de este capítulo se muestra en forma grafica el ciclo de actividades para la excavación de la bóveda, donde apreciaremos las horas efectivas de trabajo y tiempos de duración.

Las partes fundamentales de este ciclo para excavaciones subterráneas, se describen a continuación con el siguiente orden:

#### 1.- EXCAVACION:

(Mediante el uso de explosivo y con un avance de cada voladura de aproximadamente de 3.00 m)

#### 2.- REVISION GEOLOGICA:

(Levantada en campo, en el frente del nuevo avance.)

#### 3.- TRATAMIENTOS A LA ROCA:

(Estos son recomendados después del estudio geológico levantado en campo, y puede ser; anclaje de fricción, anclaje de tensión, concreto lanzado,

drenaje, malla electrosoldada, o bien marcos de ademe.)

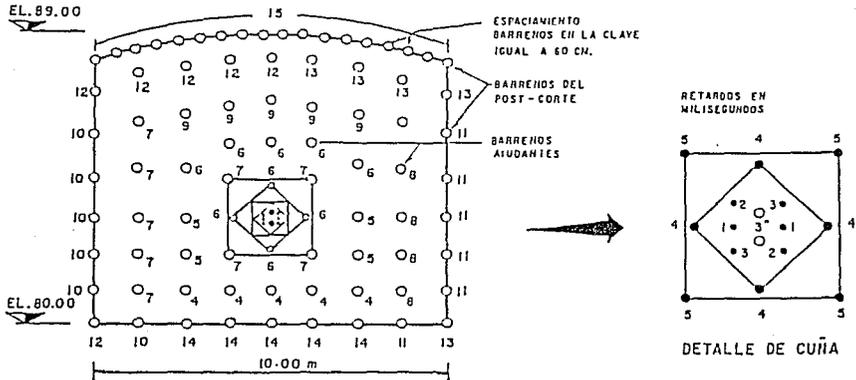
4.- VERIFICACION Y TRAZOS TOPOGRAFICOS:

(Esto es necesario para el correcto avance del frente.)

La barrenación para excavación de las tres partes en que se dividió la bóveda fue la siguiente.

Para la parte central se diseño la siguiente plantilla de barrenación y carga con la siguiente distribución de tiempos. (figura 3-02.02)

DIAGRAMA DE BARRENACION SECCION CENTRAL BOVEDA CASA DE MAQUINAS

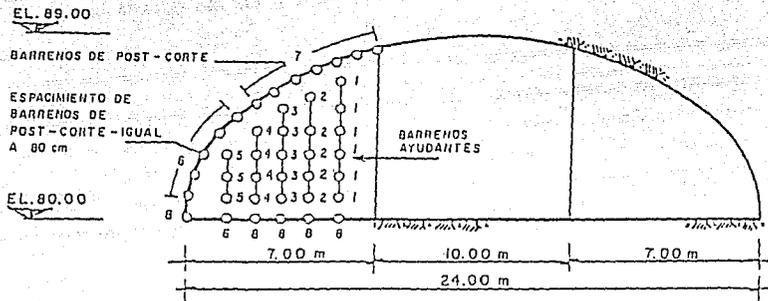


Corte A-A'

(Figura 3-02.02)

Para las partes laterales de la sección se utilizó la siguiente plantilla. (figura 3-02.03)

### SECCION BOVEDA POS-CORTE PARTES LATERALES



Corte B-B'

(FIGURA 3-02.03)

Para esta primera etapa de excavación y prácticamente en una forma general, el ciclo de excavación consiste en el siguiente orden de actividades.

- 1.- TRAZO TOPOGRAFICO.
- 2.- BARRENACION.
- 3.- LAVADO DE BARRENOS Y CARGA DE EXPLOSIVOS.
- 4.- EFECTO DE VOLADURA.
- 5.- VENTILACION.
- 6.- REZAGADO.
- 7.- AMACIZE..

Para poder llevar a efecto estas actividades es necesario tener previsto todos los recursos necesarios y poder realizar los ciclos sin interrupciones que puedan causar retrasos, los recursos de los que debe preverse son los siguientes:

**Energía eléctrica:** requerida para la alimentación de la maquinaria de barrenación (jumbo eléctrico) y para la iluminación del frente, indispensable y de mayor importancia para los trazos topográficos y así mismo para la ventilación mediante la extracción del aire. Con extractores y/o ventiladores eléctricos.

**Aire comprimido:** la conducción del aire se efectúa mediante tubería de acero de diámetro = 8" alimentadas por compresores con capacidad de 1200 y 1550 P.C.M. utilizado para el sopleteo de barrenos y la carga de explosivos. Dicho aire también se utiliza para la perfección de anclaje y drenaje con Track-Drill.

**Suministro de agua:** esta fué conducida por tubería de acero de 4" de diámetro para la alimentación de la maquinaria de barrenación, para humedecer el material de rezaga y para el lavado de barrenos en la carga de explosivos.

Una vez que se tienen todos estos recursos se hace un cálculo de la cantidad de explosivos que deba utilizarse en la voladura y así poder comenzar con los ciclos, para ello veremos y analizaremos cada una de las actividades que componen un ciclo de excavación.

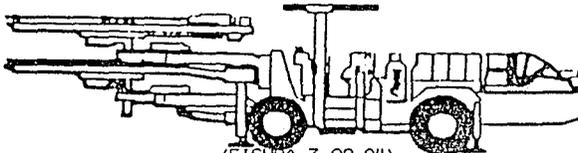
## 1.- TRAZO TOPOGRAFICO.

Esta es la primera actividad que deberá hacerse en el ciclo, y una vez determinada las dimensiones del túnel habrá que marcar la superficie de la sección mediante trazos referenciados por puntos claves, niveletas y cadenamientos determinados por topografía y a su vez poder garantizar al perforista los rumbos para la barrenación, el tiempo utilizado en esta actividad dependerá de las dimensiones de la sección de referencias marcadas en campo, así como la experiencia en el personal que labore en esta área, para tener una idea de los tiempos utilizados en esta actividad y en todas las que componen el ciclo, se presentan graficas de tiempos promedios y avances mensuales. Al final de estas definiciones,

## 2.- BARRENACION.

Para poder llevar a cabo esta actividad influyen muchos aspectos como el diseño de las plantillas de barrenación, el análisis de la separación entre los barrenos según se requieran para un post-corte o un pre-corte, en el caso de un túnel de frente completo, deberá tenerse una longitud de barrenación homogénea, ya que de ello depende el rompimiento de la roca. El método de post-corte es utilizado en bifurcaciones y en entronques con una separación más reducida, que la separación utilizada a lo largo de todo el túnel.

Las perforaciones se realizaron con un jumbo electrohidráulico de excavación con tres pistolas montadas. (ver figura 3-02.04)



(FIGURA 3-02.04)

### 3.- LAVADO DE BARRENOS Y CARGA DE EXPLOSIVOS.

Después de la barrenación del frente, se comienza el lavado de los barrenos con aire y agua a presión cuidando de no dejar agua en el fondo de los barrenos. el tipo de carga en esta primera etapa con barrenación horizontal se realizó con bombillos de explosivo hidrogel, colocandolos de la siguiente forma.

En los barrenos de cuña se colocan de 8 a 9 bombillos de hidrogel siendo la profundidad de estos barrenos de 3.2.00m. Y se coloca un tapon de carton húmedo comprimido.

En los barrenos ayudantes de cuña, se colocan 2 bombillos al fondo, llevando el primero de ellos un estopín introducido en él, posteriormente se coloca un tapón de anfo en el resto de la longitud del barreno. Así mismo para los barrenos interiores.

En los barrenos de contorno o de post-corte se colocaron de 5 a 6 bombillos igualmente colocando un estopín al fondo en el primero de ellos, (a esta operación se le llama cebado). Posteriormente se coloca un tapón de cartón húmedo comprimido, una vez cargados todos los barrenos, quedando el cable del estopín en cada uno de los barrenos, se procede a unirlos y conectarlos mediante un cordón detonante llamado prima cord, y se deja una salida que servirá como guía para realizar la detonación.

#### EXPLOSIVOS UTILIZADOS.

Para las voladuras diseñadas en este frente, los explosivos que se utilizaron fueron los siguientes:

#### A.- ANFO:

El ANFO es una combinación de nitrato de amonio, su uso predominante es en la forma de granulos de N.A. una pequeña bolita porosa mezclada con aceite combustible.

El producto ANFO está compuesto por un 94 % de granulos de nitrato de amonio y un 6 % de aceite combustible (diesel) su velocidad de detonación depende propiamente del diámetro del barrenos; (a mayor diámetro, mayor velocidad) y depende también del grado de confinamiento en el cual se inicia.

La densidad de este producto depende del tamaño de las partículas del N.A. usado en la mezcla, la mayoría del ANFO pesa alrededor de 865 kg/m<sup>3</sup>.

Los barrenos que contienen humedad no deben ser cargados con ANFO sin empacar, porque el agua rápidamente disuelve desensibiliza debido a la poca resistencia al agua, este producto es empacado en sacos de 25 kg. de papel "SMIKRAFT" con una cubierta interna de hule para la protección precisamente del agua.

Uso del ANFO bajo condiciones secas.

A cielo abierto: más usado como carga de columna, pero en roca suave se puede usar como carga completa adecuadamente cebado con Godyne o emulsión en barrenos mayores de 3" grados, en nuestro caso se utilizó un dispositivo llamado "Olla Presurizada" con manguera antiestática para el llenado de los barrenos con ANFO.

## B.- HIDROGEL:

Un método de suministrar a los productos de nitrato de amonio, resistencia al agua, es protegiéndolos químicamente, los explosivos hidrogeles evolucionaron por investigación en esta área y reemplazaron a la dinamita por razones de seguridad.

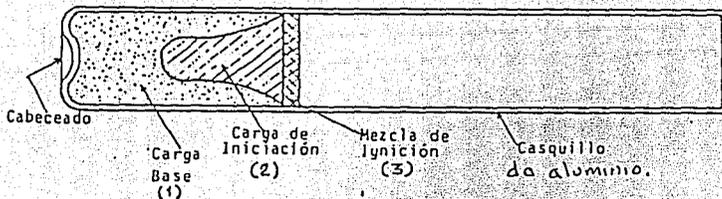
El HIDROGEL, es un explosivo de consistencia de una gelatina compuesto por sales de amonio y sodio, se identifica por su apariencia plateada debido a su contenido de grado fino de aluminio, éste producto es utilizado en frentes, crucero, contrapozos, monéas, y pre-cortes. También es útil en la construcción de preeas, canales, demoliciones y además puede ser envasado en diámetro más grande para ser utilizado como cebo en carga de fondo.

## C.- DISPOSITIVOS DE INICIACION NO - ELÉCTRICOS (NONEL)

Los estopines no eléctricos algunas veces llamados fulminantes de mecha u ordinarios, proporcionan un método no eléctrico de iniciar cargas explosivas cuando se usan apropiadamente en conjunto con la mecha de seguridad. La mecha conduce una flama en forma uniforme hacia el fulminante donde éste enciende la carga de ignición.

CONSISTEN EN CASQUILLOS DE ALUMINIO CONTENIENDO 3 CARGAS:

- 1.- Carga Base (de alta velocidad en el fondo del casco).
- 2.- Una Carga Primaria (en medio del casco).
- 3.- Una Carga de Polvora de Ignición (en la parte superior)  
(ver figura 3-02.05).

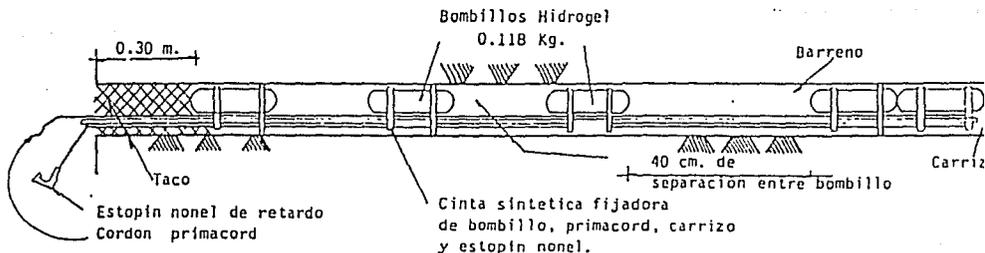


(FIGURA 3-02.05)

El método para la carga de explosivos en los barrenos de éste túnel, fué el siguiente:

En los barrenos exteriores (Post-corte) se utilizaron carrizos a los cuales se les atan cinco bombillos de 0.118 Kg. de densidad muy baja, con 30 cm. de taco, colocando en el bombillo del fondo un estopín nonel de retardo encajado en el bombillo a lo cual se le llama cebado.

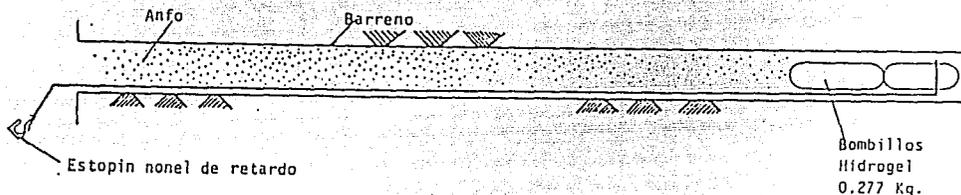
### DETALLE BARRENO POST-CORTE



(FIGURA 3-02.06)

En los barrenos interiores y ayudantes de la cuña, se colocan dos bombillos de 0.277 Kg. y el resto del barreno se coloca ANFO neumáticamente y el cebado correspondiente.

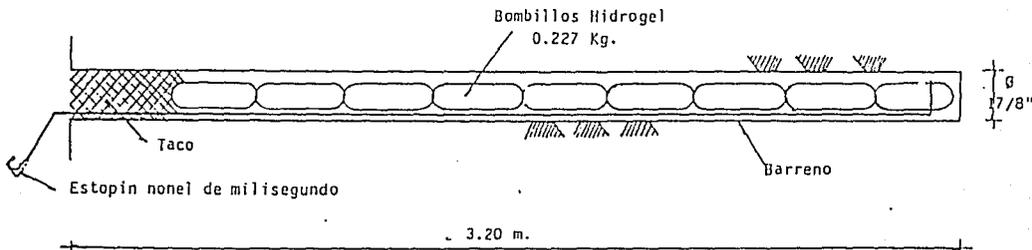
### DETALLE BARRENO AYUDANTE



(FIGURA 3-02.07)

En los barrenos de la cuña se colocan de 8 a 9 bombillos de 0.277 Kg. y un estopin nonel milisegundo al fondo y con un "Taco" de 30 cm.

### DETALLE BARRENO DE CUÑA



(FIGURA 3-02.08)

Ejemplo de una plantilla de carga de explosivos utilizados por voladura en túnel de sección de 7x9 m.

Barrenos en	Profundidad (m)	Nº de bnos.	Nº de bombillos.	Peso de c./bombillo (Kg)	Carga de fondo (Kg)	Carga de columna (Kg)	Carga por barreno (Kg)	Carga total (Kg)
Clave *	3.2	15	5	0.118	0.59	-----	0.59	8.85
Tabla *	3.2	12	5	0.118	0.59	-----	0.59	7.08
Piso	3.2	9	11	0.277	3.047	-----	3.047	27.42
Cuña	3.2	6	9	0.277	2.493	-----	2.493	14.96
Ayte. de cuña	3.2	8	2	0.277	0.54	3.031	3.57	28.56
Interiores	3.2	42	2	0.277	0.54	3.031	3.57	149.94
Totales		92						236.81
Primocord	---	---	---	---	---	---	---	100 mts.

\* BARRENOS DE CONTORNO DE POST-CORTE

AREA: 61.35 m<sup>2</sup>

VOLUMEN: 61.35 X 3 = 184.05m<sup>3</sup>

CARGA ESPECIFICA:  $\frac{236.813}{184.05} = 1.28 \text{ Kg/m}^3$ .

#### 4.- RETIRO Y EFECTO DE VOLADURA

Una vez que se tiene listo el tramo, se procede a retirar a todo el personal de los frentes cercanos a la voladura y se toman medidas de seguridad en cuanto a equipo, instalaciones y maquinaria, posteriormente el personal encargado para este tipo de actividades, realiza la detonación encendiendo una mecha a una distancia considerable, o utilizando un detonador mecánico.

#### 5.- VENTILACION

Esta operación se cuenta desde el momento de la voladura hasta el momento en que inicia la rezaga. El tiempo máximo debe ser de 30 minutos, esto con el objeto de permitir el acceso al personal de trabajo, la ventilación es ayudada mediante ventiladores eléctricos, los cuales se encargan de extraer aire y llevarlo hasta el frente.

#### 6.- REZAGADO.

Esta operación depende del tipo y cantidad de maquinaria destinada a esta actividad, también dependen de que tipo de frente se presente en nuestro caso, en donde el nivel de piso es accesible se utilizó para tal efecto la siguiente maquinaria.

Un cargador frontal con capacidad de carga de 5.7m<sup>3</sup> y 4 ó más camiones fuera de carretera (euclid), con capacidad de 18m<sup>3</sup>.

El tiempo de rezagado depende del volumen de material detonado, del tamaño de roca y de la facilidad de acceso.

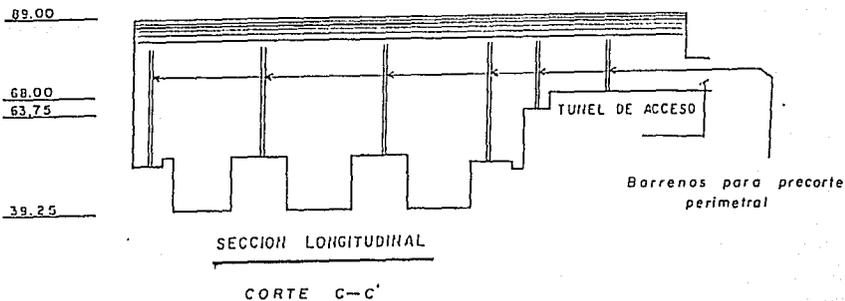
## 7.- AMACIZE.

Una vez concluida la rezaga se procede a retirar las cáscaras de roca inestables, para que al momento de realizar las siguientes actividades del ciclo no se corra peligro de algún desprendimiento.

Para ésta primera etapa de excavación (bóveda de Casa de Máquinas) el método de excavación ya mencionado, fue constante a lo largo de sus 134.00 m. de longitud.

Una vez concluida la excavación de esta bóveda, se inició la barrenación para precorte con barrenación vertical en piso.

Para esta barrenación se utiliza el TRAC-DRILL INGERSOLL RAND, ya que ésta maquinaria puede realizar barrenaciones hasta de 50 m. de profundidad. Asimismo, con esta maquinaria se realizaron los barrenos para precorte en todo el contorno de la caverna posterior a la excavación de la bóveda y a diferentes profundidades de acuerdo a como lo pide el proyecto. (Ver Figura 3-02.09)



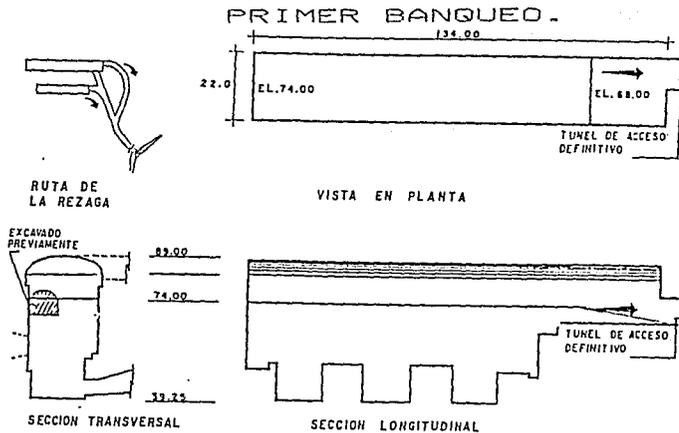
(FIGURA 3-02.09)

Como puede verse, la barrenación para precorte se realizó completamente hasta donde se requería, de un solo tajo. La diferencia de profundidades en esta barrenación se determinó de acuerdo al piso definitivo de excavación; un ejemplo es, que en la playa de montaje del cadenamiento 0+000 al 0+033 se barreno a una profundidad de 12 m. (ver figura 3-02.09) que es la barrenación de precorte más corta, y el mas largo fué el cadenamiento 0+039 al 0+134 con una profundidad de 27.25.

Una vez realizada la barrenación de precorte en todo el contorno de la estructura, el volumen de material por excavar se extrajo mediante banquetes, de los cuales se describe a continuación, el primero de ellos.

#### PRIMER BANQUEO.

Este primer banqueo se realizó de la elevación 80.00 a la elevación 74.00, con una longitud de barrenación de 6.00 m. (Fig. 3-02.10)

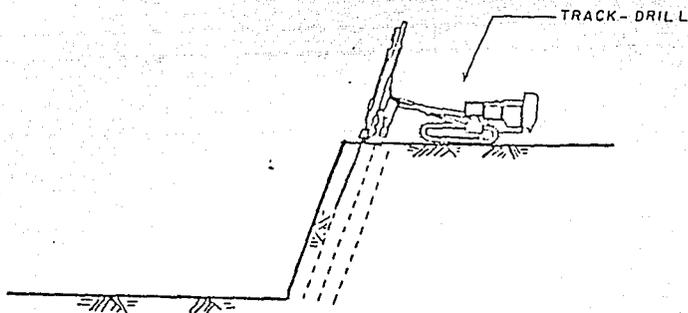


(FIGURA 3-02.10)

Este tipo de excavación aunque se realiza subterráneamente, es de forma muy parecida a la del cielo abierto en su ejecución, únicamente que se utiliza menor carga de explosivos, de kilogramos por tiempo, ya que deben tomarse mayores precauciones al rebote de la roca, pues es posible que cause daños a instalaciones, maquinaria, o la misma estructura en construcción.

La barrenación en banco se hace en forma inclinada con el fin de dar dirección de salida a la roca, es decir, que si el avance es longitudinal, la inclinación se dará hacia donde fue la voladura anterior.

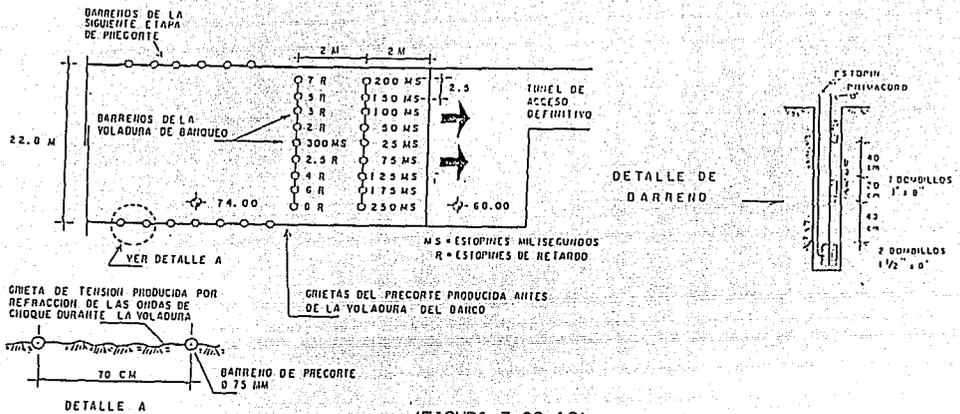
(Fig. 3-02.11)



(FIGURA 3-02.11)

La carga de explosivos para excavar en banco se realiza generalmente con separaciones de arena entre bombillos. Esto para evitar el uso del ANFO, ya que es muy común que se almacene agua en el fondo del barreno, la forma de distribución de barrenos es en líneas transversales a la sec-

ción. Como puede verse en la (figura 3-02.12).



(FIGURA 3-02.12)

Y el orden de encendido es el siguiente: la línea de barrenos más próxima al avance o frente de excavación, será la primera en detonar, disparando primero los barrenos del centro y después los de las orillas hasta completarse toda la línea, posteriormente detonará la línea de atrás con el mismo orden, primero el centro y luego las orillas, y así sucesivamente hasta detonar el número de líneas de barrenos programados.

Las líneas de barrenos tienen una separación entre sí de 2 a 2.5m dependiendo de la carga de explosivo que contengan y la separación entre barrenos en una línea es de 1.5 a 2.0 m. también dependiendo de la carga de explosivos que contengan estos barrenos. La cantidad de carga se determina de acuerdo a la profundidad del barreno, al tipo de roca (dureza), al tipo de estructura y a las condiciones en que se encuentre el frente, es decir que se puedan correr riesgos de destrucción de instalaciones o de la misma estructura.

Si pensamos en detonar 3 líneas de barrenos, cada línea deberá tener un retardo con respecto a la otra a la hora del disparo, con esto se tendrá un avance de 6.0 m. efectivos, el material que se obtiene de una voladura deberá rezagarse antes de iniciar la siguiente.

En la excavación de banquetes, el tratamiento a la roca se viene haciendo 15 ó 20 m. atrás del avance de excavación o más si es permitido por el terreno, la forma de alternar estas actividades es la siguiente.

Cuando comienza la barrenación para la excavación de banquetes puede hacerse simultáneamente la barrenación para anclaje de igual forma cuando se inicia la carga de explosivos, se puede trabajar en la colocación o inyección de anclaje. La única actividad que en ocasiones no puede realizarse simultáneamente es el rezagado, pues las condiciones de espacio y maniobra lo impiden, el tiempo de duración de este banquete fueron 52 días, considerando que se realizaron 46 voladuras en un avance promedio de 6.0 m. y 27 horas aproximadamente por cada voladura.

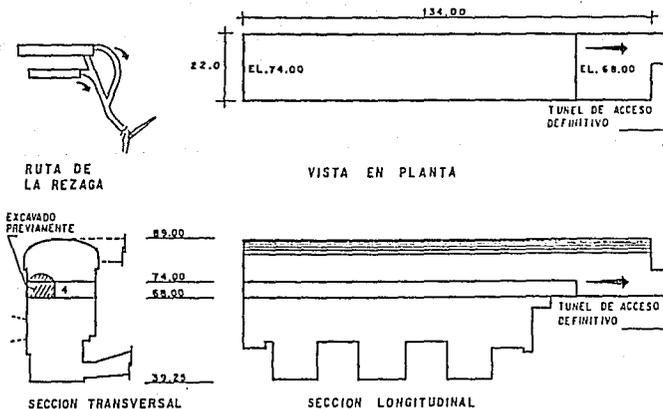
El segundo banquete fué de la elevación 74.00 a la elevación 68.00, esta excavación se realizó con barrenación de 6 m. de profundidad, llegando así al piso de la playa de montaje el cual comprende del cadenamiento 0+000 al 0+033, asimismo, con esta elevación llegó la excavación del túnel de acceso definitivo a Casa de Máquinas.

Para poder llevar a cabo la excavación de este segundo banquete, fue necesario rezagar el material por el túnel de acceso definitivo, llevando un avance de excavación similar al primer banquete, de aproximadamente 6.00 m. por voladura a la mitad de la sección en forma escalonada. (Fig. 3-02.13).

En este segundo banqueo se inicia la excavación por el túnel de acceso definitivo y de esta forma se pudo dar un avance que permitiera llevarlo a mitad de sección y en forma escalonada.

Esta forma de avance se practicó en los cinco banqueos, ya que esto nos da mayor seguridad en el cuidado de la estructura, así como mayor facilidad en los trabajos de tratamiento. En este banqueo fue una longitud de 134 m. y si tenemos un avance de 6 m promedio por voladura, tendríamos un total de 46 voladuras por las dos medias secciones, el tiempo promedio en la ejecución de cada voladura considerando todo el ciclo, es de 30 hrs. por lo tanto, para terminar la excavación de un banqueo completo se lleva aproximadamente 58 días.

## SEGUNDO BANQUEO



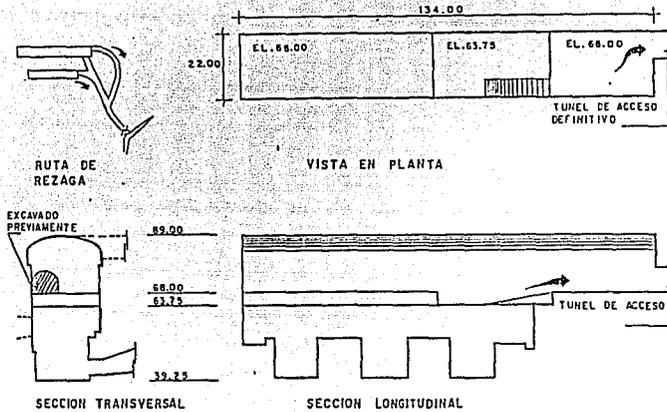
(FIGURA 3-02.13)

Tercer Banqueo; este banqueo se realizó de la elevación 68.00 a la 63.75 y del cadenamiento 0+033 al 0+134, para el rezagado de este material producto de excavación se formó una rampa del mismo material, que partió del cadenamiento 0+033 al cadenamiento 0+050, para que por esta misma, se tuviera acceso de la maquinaria para rezaga, al realizar este tercer banqueo, se fueron descubriendo las elevaciones de proyecto para las galerías de bues localizadas en el muro aguas abajo de esta Casa de Máquinas, las cuales fueron de una sección portal de 6.17 de ancho por 6.0m de altura, las cuales se iniciaron a excavar al mismo tiempo que fue iniciado el cuarto banqueo, otras de las excavaciones que se iniciaron en el muro aguas arriba al mismo tiempo que el tercer banqueo, fueron los cuatro nichos para las lumbreras de ventilación, con una elevación de piso a la 68.60 y una sección portal en cada uno de los cuatro nichos de 2.40 m. de ancho por 2.05 m. de altura y una profundidad de 9 m (Ver figura 3-02.14, y plano (corte longitudinal)).

Como puede verse, la profundidad de proyecto de estos nichos fue de 11.80 m. al centro de línea de las lumbreras, pero se excavaron como ya lo mencionamos solo 9 m. para dejar un tapón de 1.00 m. que sirviera de protección para la excavación con rima. (Ver figura 3-02.14a).

En este banqueo se excavó una longitud de 101.m. tomando un avance de 6.0 m. por voladura, hacen un total de 34 voladuras considerando las dos medias secciones, el tiempo promedio por voladura es de más o menos 27 horas, por lo tanto tenemos que se excavó el tercer banqueo en más o menos 38 días efectivos de trabajo.

## TERCER BANQUEO



(FIGURA 3-02.14)

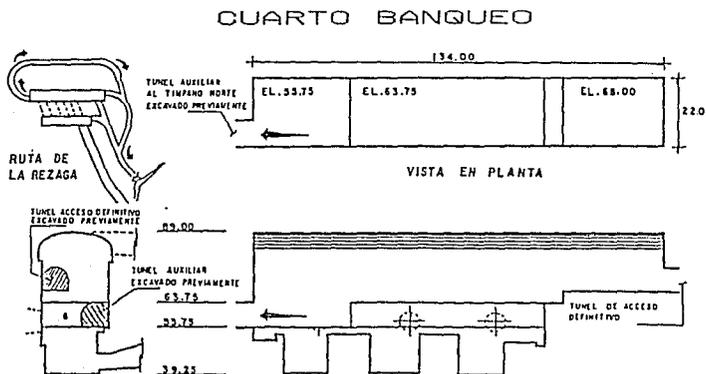
Cuarto Banqueo, se inició de la elevación 63.75 a la elevación 55.75 con una profundidad de 8 m. y de cadenamiento 0+039 al 0+134, el material producto de excavación se rezagó por el "túnel de acceso a Casa de Máquinas por tímpano norte"; que fue excavado antes de iniciar el cuarto bancoero (Ver figura 3-02.15).

Como mencionamos anteriormente, ésta excavación se realizó a la par con las galerías de buses, las cuales tuvieron una profundidad de 10 m. Ver plano (planta 78.05). En dicho plano se puede observar que la profundidad de proyecto de estas galerías es de 13.80 m. al centro de línea de las lumbreras, pero se excavaron solo 10.00 m. para dejar un tapón que serviría de protección para la rima que excavaría éstas lumbreras de buses ya que de otro modo si se hubiera llegado la excavación a 13.80 m de profundidad en las galerías, se hubiera comunicado con la rima de

6.17 m. de diámetro y esto mismo provocaría un cabeceo al pasar por este hueco, caso que se presentó en la lumbrera uno y degolló la barra guía.

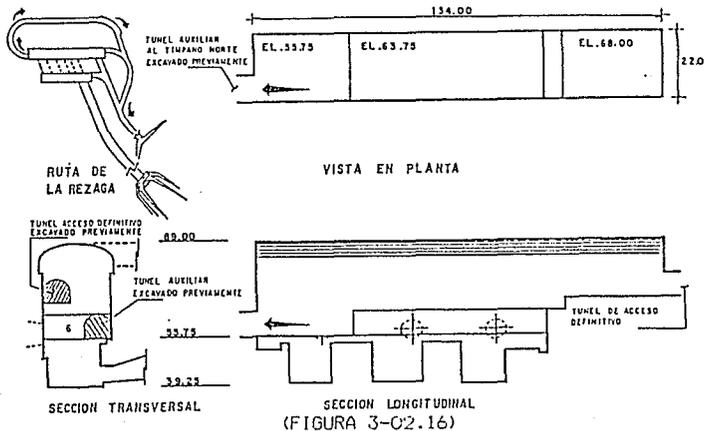
Así mismo en el muro aguas arriba se llegó a la elevación donde se encuentran las entradas de las tuberías a presión, mismas que fueron excavadas antes de concluir este cuarto banqueo, de tal forma que al avanzar el cuarto banqueo se fueron descubriendo subsecuentemente los túneles de las tres tuberías a presión, los cuales se conectan con el túnel auxiliar para excavación de dichas tuberías, éstos tres accesos sirvieron para realizar la excavación en una forma independiente a la de la Casa de Máquinas.

La longitud excavada en este cuarto banqueo fué de 95.00 m. y de igual manera se excavó en dos medias secciones transversales de 11.4 m; haciendo el mismo análisis la duración de este banqueo fué la siguiente. 20 horas por voladura y un total de 32 voladuras por lo que esto marca una duración de 26 días.



Quinto Banqueo, esta excavación partió de la elevación 55.75 a la 52.75 y del cadenamiento 0+039.00 al cadenamiento 0+134.00 con una profundidad de 3 m. este material producto de excavación fué rezagado también por el túnel de acceso a Casa de Máquinas por tímpano norte, este banqueo se realizó a un piso el cual fue el último; en cuanto a excavación de banqueo ya que el resto de la excavación como puede verse en la figura 3-02.15. son los tres fosos de aspiración que fueron excavados en su totalidad cada uno de la elevación 52.75 a la 39.25 y para ésto se llegó con la excavación de los túneles de aspiración antes de iniciar dichos fosos, para que de esta forma se pudieran rezagar los fosos de la siguiente manera:

Al llegar con la excavación de los túneles de aspiración por debajo de los fosos a la elevación 39.25, se construyera una lumbrera que comunicara el piso, de la elevación 52.75 de Casa de Máquinas al túnel piloto de la elevación 39.25 y así rezagar dicho material por los túneles de aspiración. (Ver fig. 3-02.16)



Otras de las excavaciones adicionales fueron la galería para descarga de la turbina auxiliar, la galería de drenaje, la trinchera de inspección y el cárcamo de bombeo, las cuales pueden observarse en los planos (plantas galerías) (planta 78.05) y (cortes longitudinales), en donde se analizan cortes y plantas de todas las excavaciones.

Todos estos frentes se excavaron casi al mismo tiempo que los fosos 1, 2 y 3. Por ejemplo cuando se inició la excavación del foso uno, se inició también la trinchera de inspección y conforme se iba llegando en el foso a la elevación a la que iría la galería de drenaje se avanzó la trinchera de inspección para así poder excavar los tres frentes simultáneamente. El cárcamo de bombeo fué el que se excavó al final ya que al cambiarse la ubicación de proyecto a la parte exterior de la caverna, se le dió menor interés pues de esta forma no intervendría con el avance para poder iniciar con los colados y montajes.

En este banqueo también se excavo una longitud de 95.00 m. y considerando un avance de 6.00 m. por voladura obtenemos un total 36 voladuras considerando las dos medias secciones, de esta manera obtenemos una duración de 24 días para su excavación.

La excavación de esta casa de máquinas inició con la bóveda el 09 de Septiembre de 1990 y se concluyó hasta lo que son los fosos de aspiración el día 19 de mayo de 1992. Lo que quiere decir que la excavación total de casa de maquinas se realizó en un año y nueve meses.

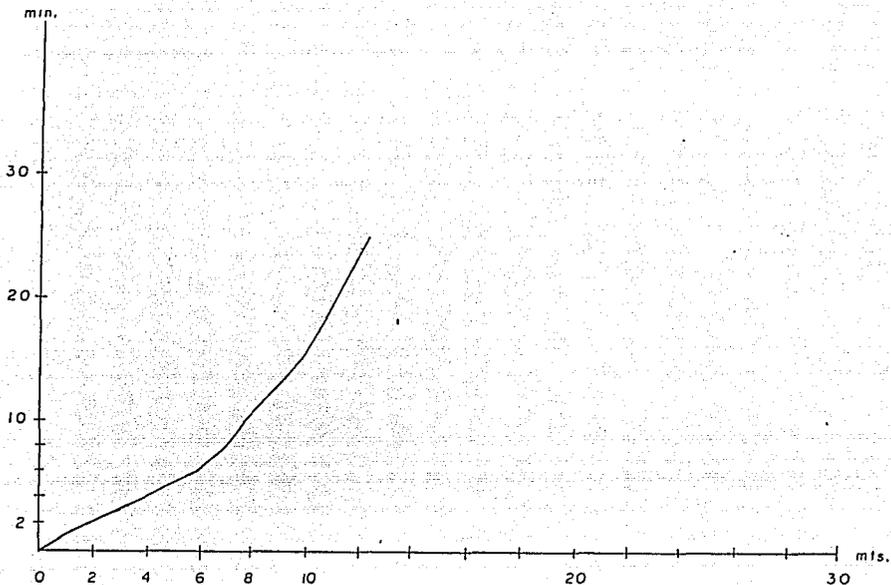
Acontinuación se presentan graficas de los tiempos de ejecución y costos para los ciclos de excavación.

Grafica de rendimiento para la excavación de la boveda.

La barrenación horizontal se realizó con maquina perforadora electrochi-

dráulica llamada Jumbo Tamrock esta máquina tiene un rendimiento de 1 m. por minuto trabajando sus tres plumas por lo que una barrenación completa para una voladura de 120 barrenos la realizaría en 2 hrs. incluyendo maniobras e imprevistos, como ya lo mencionamos la bóveda de casa de maquinas se dividió para su excavación en tres secciones, para la parte central se necesitaron 60 barrenos por cada una, el avance promedio por voladura fué de 3.00 m. por lo tanto tenemos que para excavar los 134.00 m. de longitud se necesitaron 45 voladuras en la parte central y 45 voladuras para cada una de las partes laterales; la barrenación en estas máquinas tiene variación en la velocidad de penetración de acuerdo a la profundidad.

En la siguiente gráfica se muestra la relación de avance (m) por minuto en relación a la profundidad de penetración.



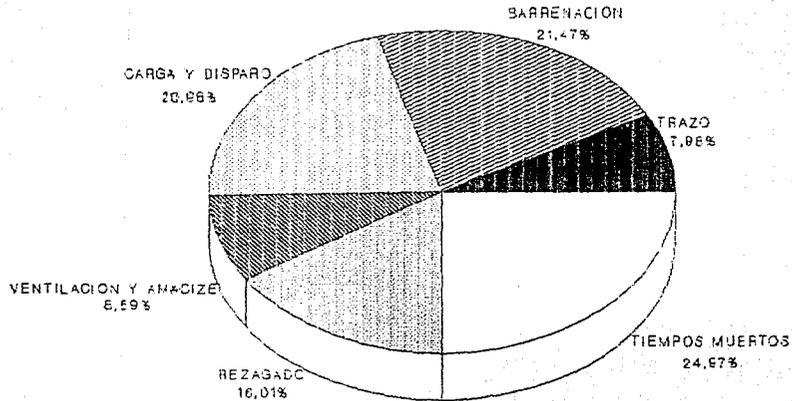
GRAFICA DE RENDIMIENTO PARA BARRENACION DE ACUERDO A LA PROFUNDIDAD EN JUMBO TAMROCK.

Como podemos ver de la gráfica anterior, la velocidad de penetración, es mayor mientras más corto sea el barreno, es decir que el avance de barrenación de la máquina no es lineal, mientras más vaya penetrado es menor la velocidad de barrenación.

Para una mayor comprensión de los avances de excavación y rendimiento de maquinaria, se presentan a continuación las gráficas de los ciclos mensuales de las actividades de excavación y tratamiento. Así como gráficas de duración y costos en la excavación total de la bóveda y banquetes de Casa de Máquinas.

Es importante señalar que en los ciclos de excavación y tratamiento existe traslape de horas, ya que hay actividades que se pueden hacer simultáneamente.

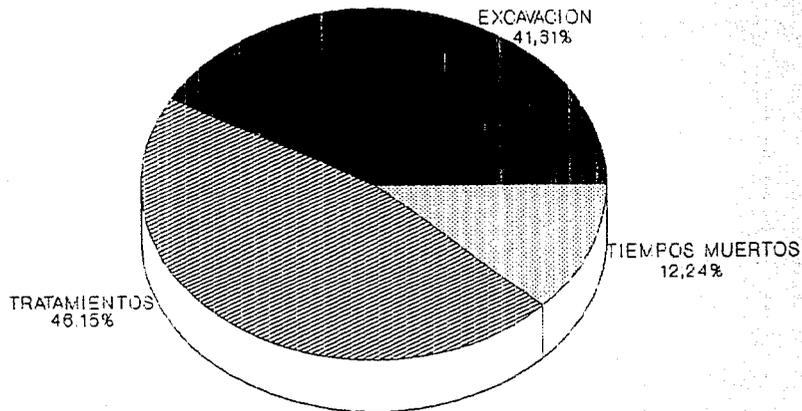
# CASA DE MAQUINAS SEPTIEMBRE DE 1990



EXCAVACION = 16.3 HRS. (PROMEDIO)

# CASA DE MAQUINAS

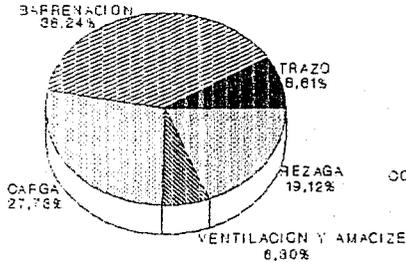
## OCTUBRE DE 1990



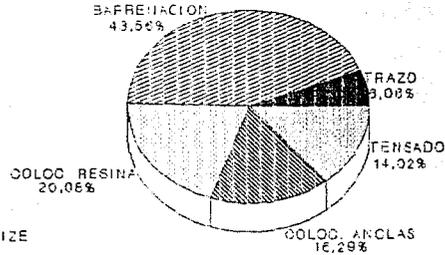
RESUMEN = 572 HRS.

# CASA DE MAQUINAS

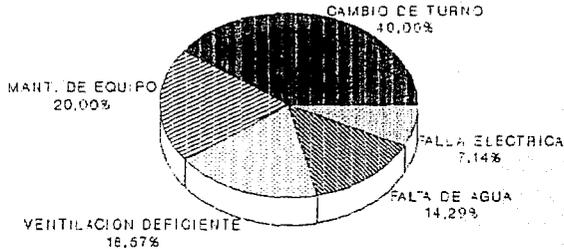
## OCTUBRE DE 1990



EXCAVACION - 238 HRS.

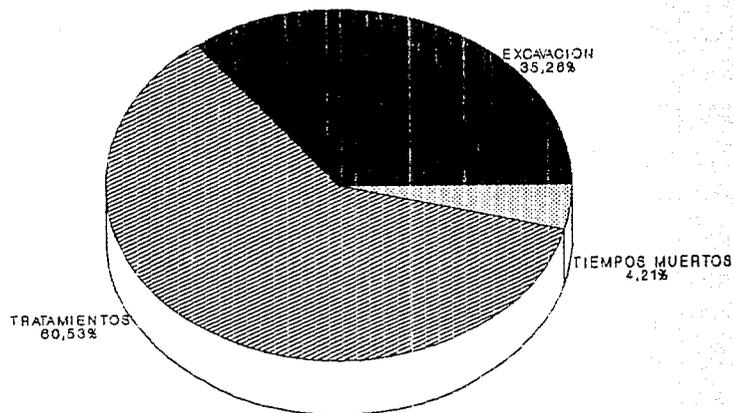


TRATAMIENTOS - 264 HRS.



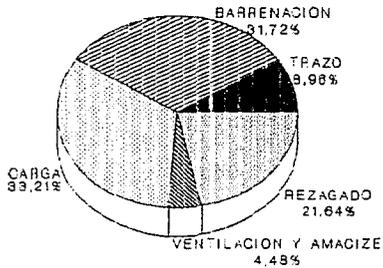
TIEMPO MUERTO - 70 HRS.

# CASA DE MAQUINAS NOVIEMBRE DE 1990

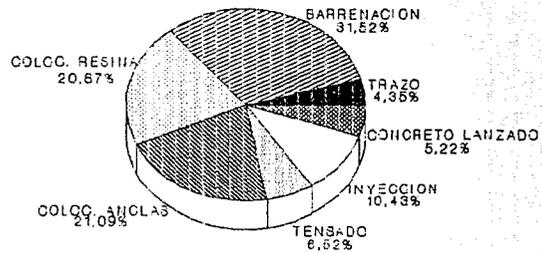


RESUMEN = 760 HRS.

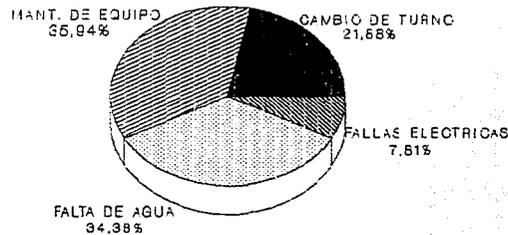
# CASA DE MAQUINAS NOVIEMBRE DE 1990



**EXCAVACION = 268 HRS.**



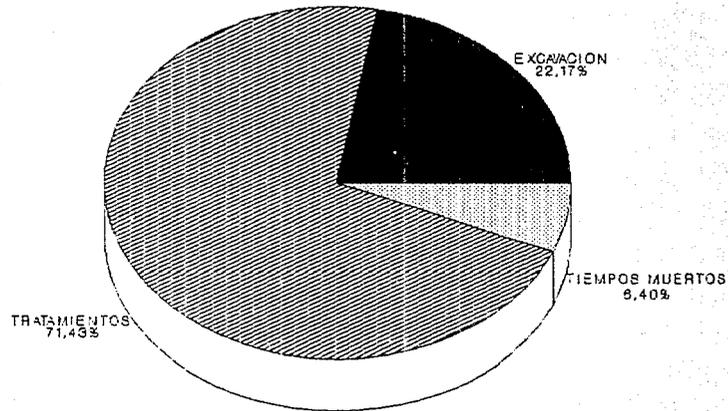
**TRATAMIENTOS = 460 HRS.**



**TIEMPOS MUERTOS = 32 HRS.**

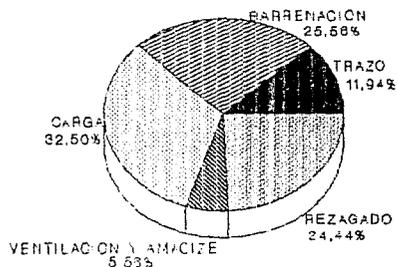
# CASA DE MAQUINAS

## DICIEMBRE 1990

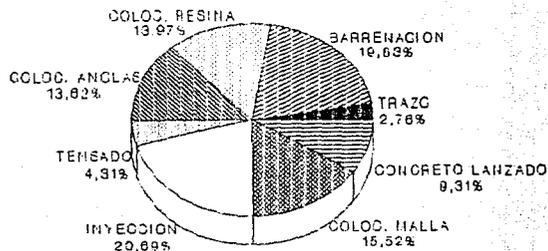


RESUMEN = 812 HRS.

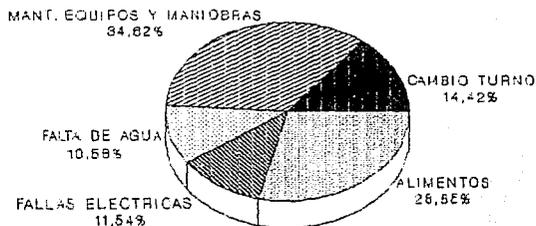
# CASA DE MAQUINAS DICIEMBRE DE 1990



**EXCAVACION = 180 HRS.**



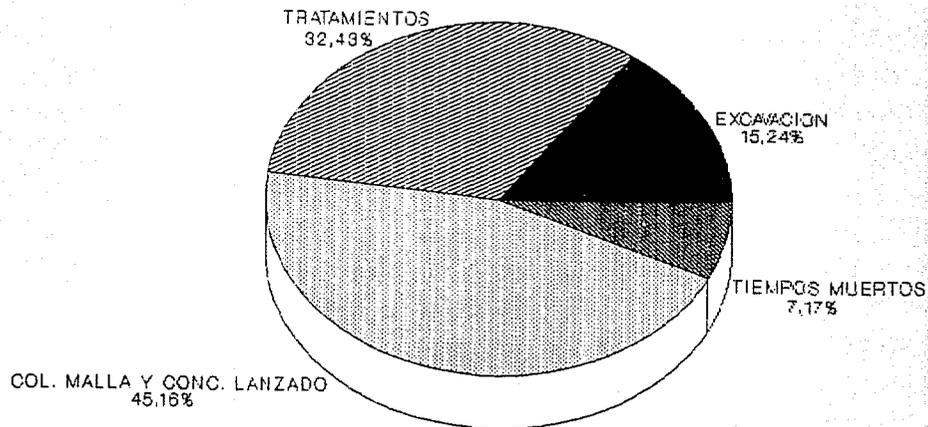
**TRATAMIENTOS = 580 HRS.**



**TIEMPOS MUERTOS = 52 HRS.**

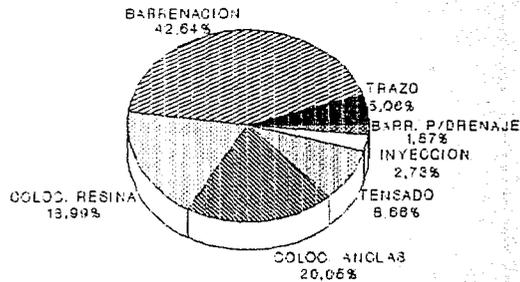
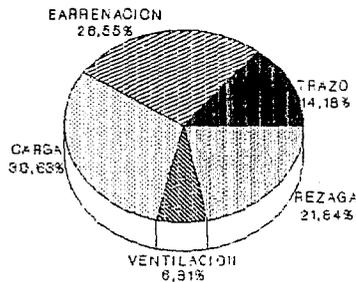
# CASA DE MAQUINAS

## ENERO DE 1991



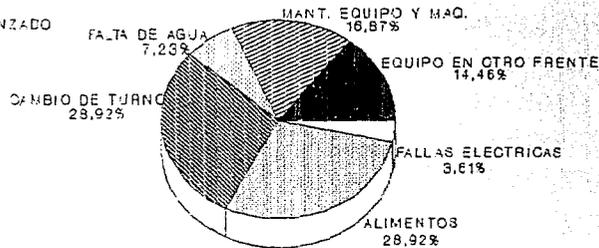
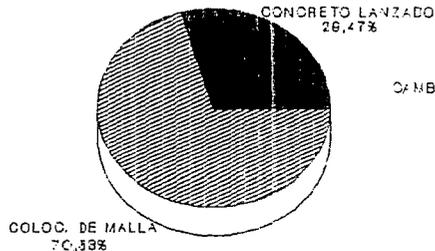
RESUMEN - 1157.05 HRS.

# CASA DE MAQUINAS ENERO DE 1991



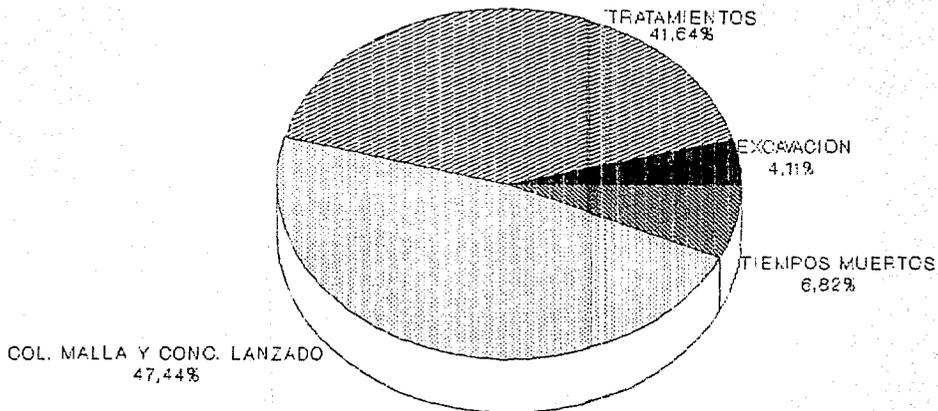
EXCAVACION = 176.3 HRS.

TRATAMIENTOS = 375.25 HRS.



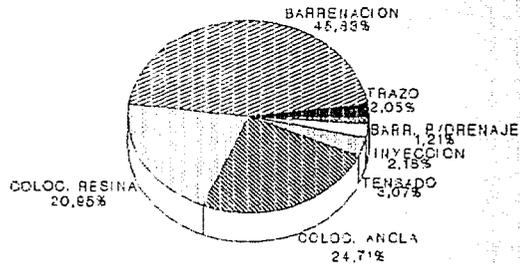
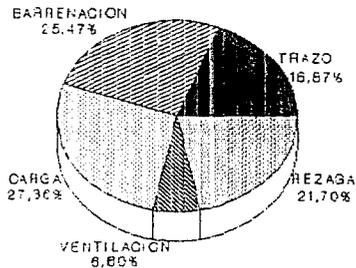
COL. MALLA Y CONC. LANZADO = 522.5 HRS. TIEMPOS MUERTOS = 83 HRS.

# CASA DE MAQUINAS FEBRERO DE 1991



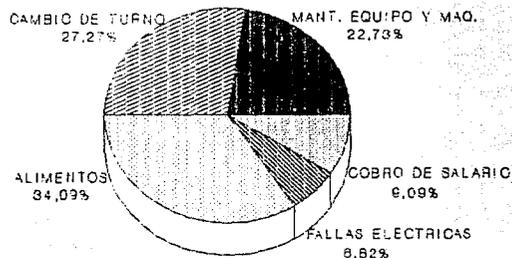
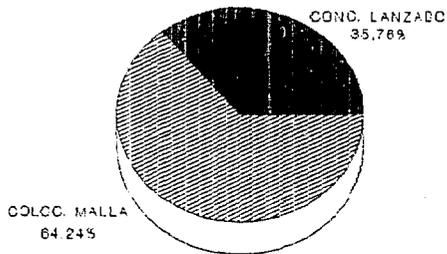
RESUMEN - 1290.6 HRS.

# CASA DE MAQUINAS FEBRERO DE 1991



EXCAVACION = 53 HRS.

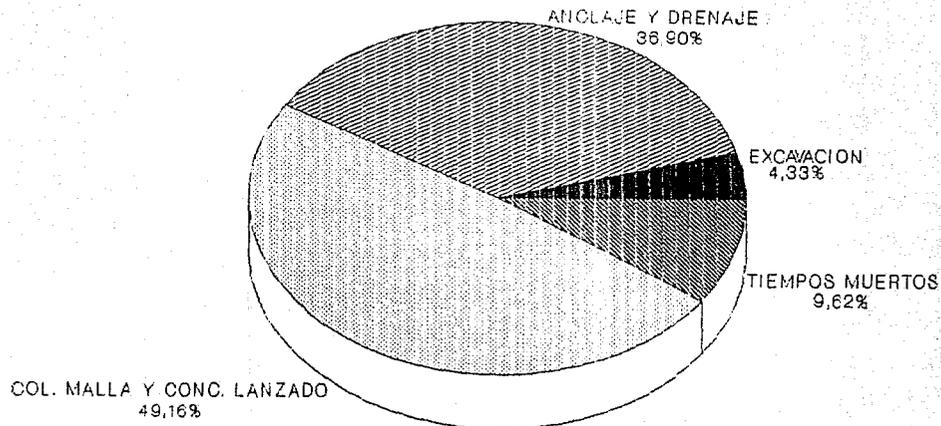
TRATAMIENTOS = 537.4 HRS.



COL. MALLA Y CONCC. LANZADO = 612.2 HRS. TIEMPOS MUERTOS = 88 HRS.

# CASA DE MAQUINAS

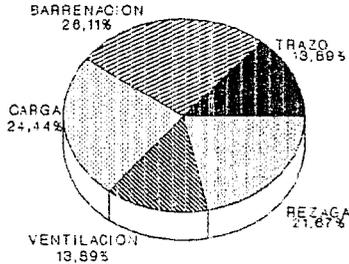
## MARZO DE 1991



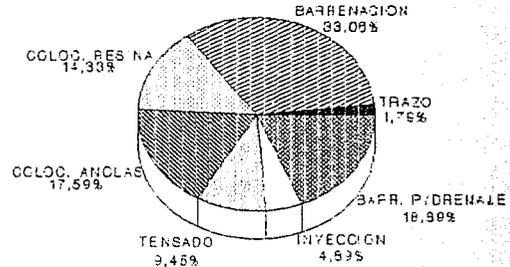
RESUMEN • 832 HRS.

# CASA DE MAQUINAS

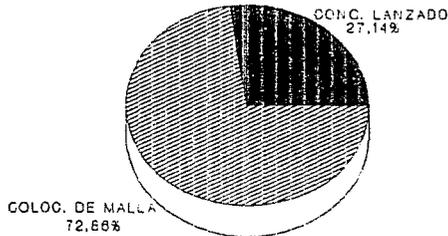
## MARZO DE 1991



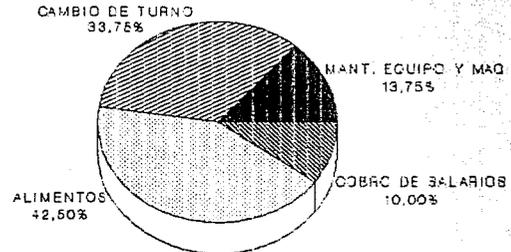
EXCAVACION = 36 HRS.



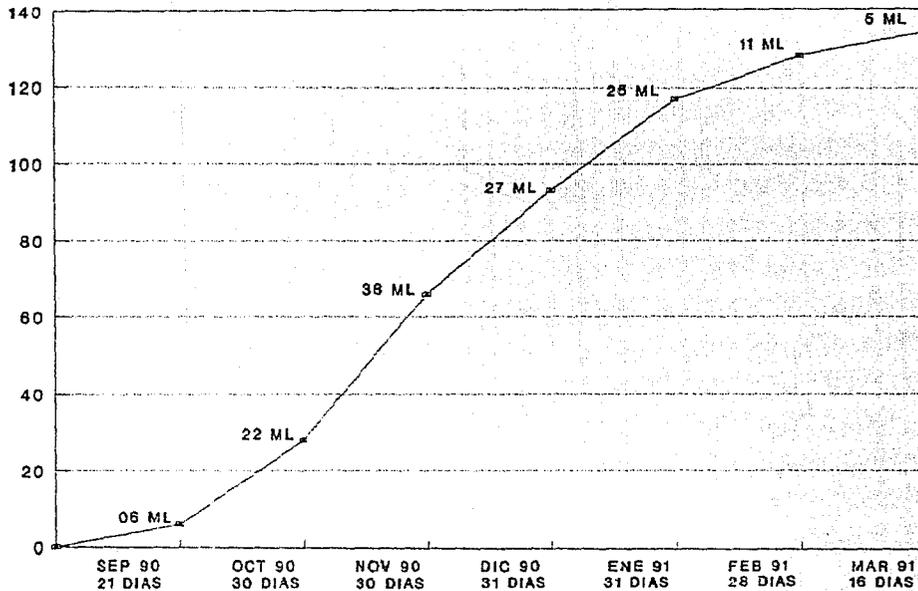
ANCLAJE Y DRENAJE = 307 HRS



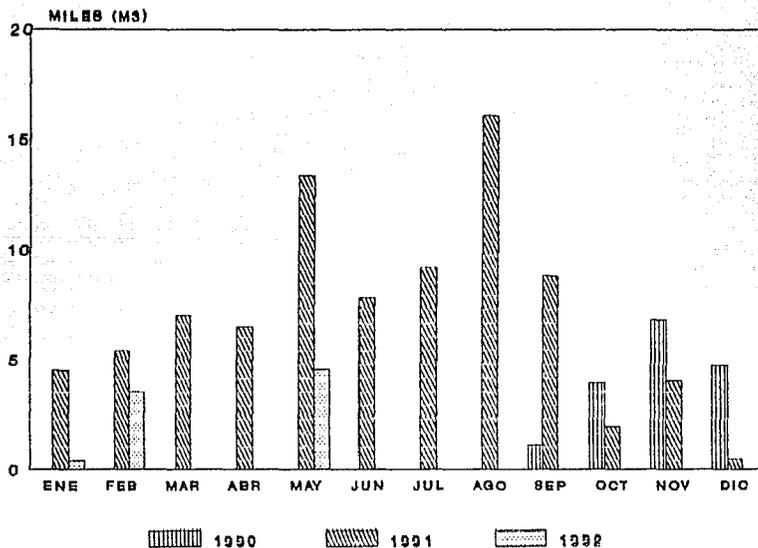
COL. MALLA Y CONC. LANZADO = 409 HRS. TIEMPOS MUERTOS = 80 HRS.



# AVANCE MENSUAL DE LA EXCAVACION EN METROS LINEALES DE LA BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS

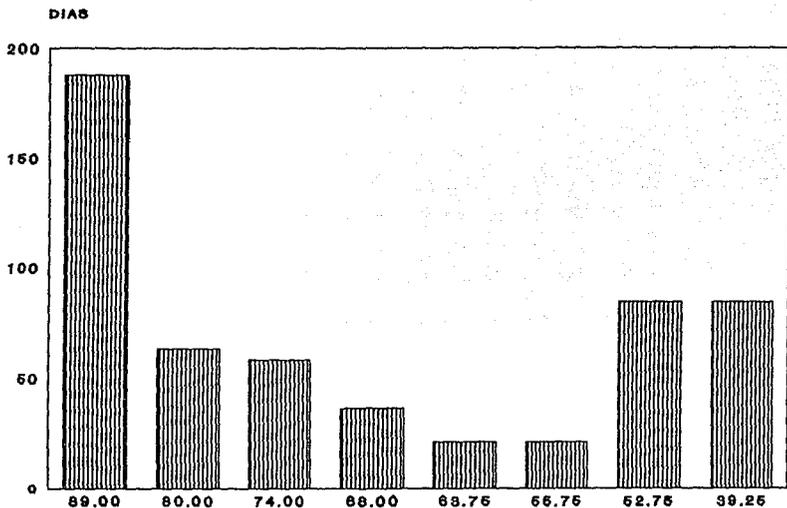


## EXCAVACION SUBTERRANEA MENSUAL



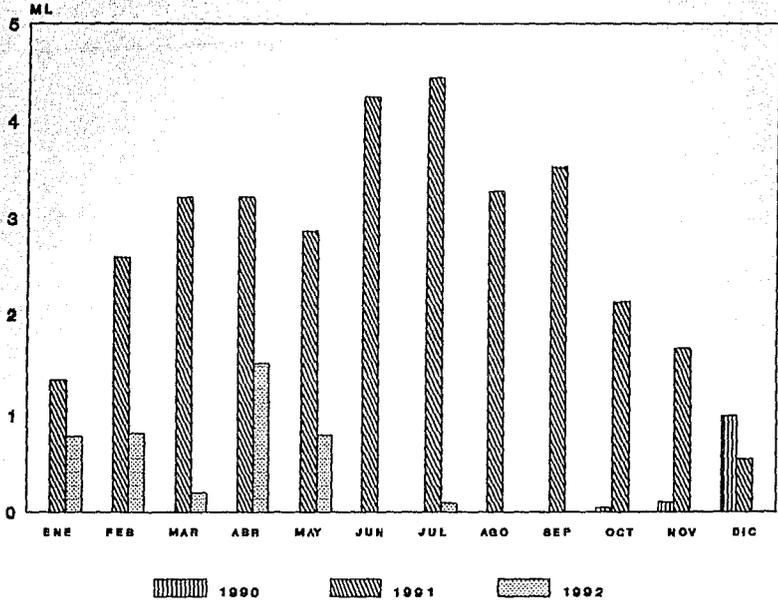
EXCAVACION SUBTERRANEA												
MESES	ENE	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990									1.007	2.970	2.715	4.224
1991	4,505.4	5,079.7	6,074	6,486	18,302	7,767	9,140.8	16,066	8,786	1,920	6,988.6	426
1992	844	8,806	0	0	4,628							
TOTAL 109,489.40 M3												

# EXCAVACION SUBTERRANEA POR BANQUEOS



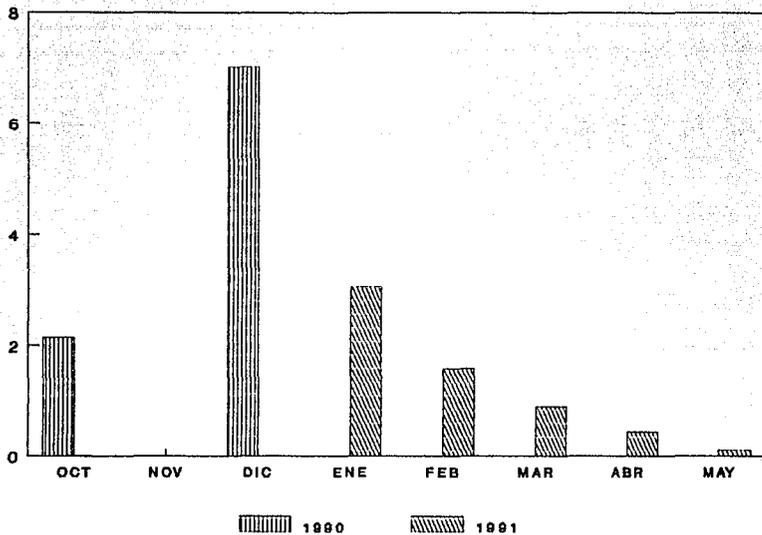
EXCAVACION SUBTERRANEA				
FRENTE	ELEVACION		VOLUMEN A PROYECTO (M <sup>3</sup> )	DURACION EN DIAS
	DE	A		
BOVEDA	89.00	80.00	23,935.91	188
1ER. BANQUEO	80.00	74.00	18,708.48	63
2do. BANQUEO	74.00	68.00	18,708.48	58
3o. BANQUEO	68.00	63.75	9,998.04	36
4o. BANQUEO	63.75	55.75	17,706.80	21
5o. BANQUEO	55.75	52.75	6,021.30	21
6o. BANQUEO	52.75	39.25	14,498.00	84
TOTAL			109,577.01	471.0

# ANCLAJE DE FRICCION



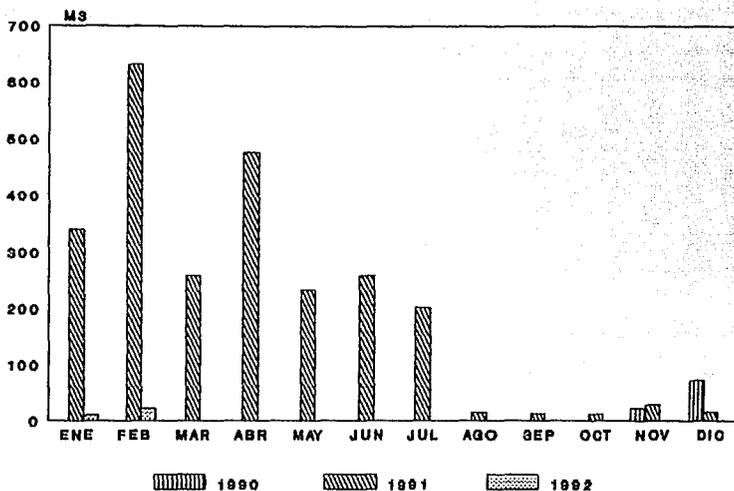
ANCLAJE DE FRICCION												
MESES ARG	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990										46	90	991
1991	1,050	2,580	3,108	3,108	2,547	4,290.0	4,441.0	3,248.5	3,510	2,112	1,681	556
1992	781.1	804	100	1,400.5	708	0.0	64					
<b>TOTAL</b>	<b>38,186.1</b>											

## ANCLAJE DE TENSION



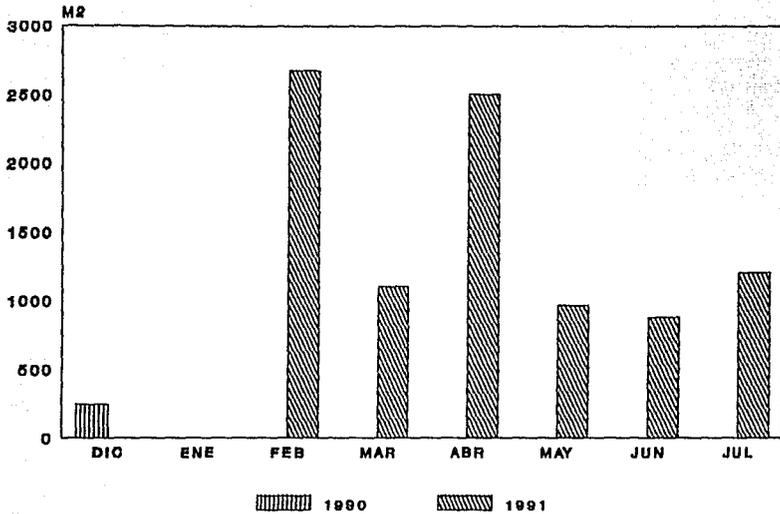
ANCLAJE DE TENSION EN ROVEDA								
MES AÑO	OCT	NOV	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
1990	2,151.00	0.00	7,029.00					
1991				3,000.00	1,500.00	002.00	432.00	10.00
<b>TOTAL</b>	<b>16,198.00 ML</b>							

## CONCRETO LANZADO



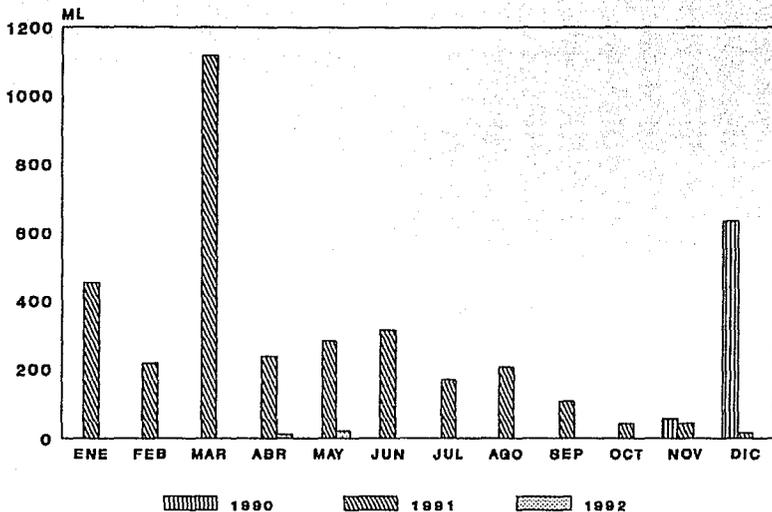
CONCRETO LANZADO												
RES ARG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990											21.6	78.26
1991	339.2	631.9	259.5	476.5	233	259.4	201.3	14.9	12.9	11	28.2	15.9
1992	9.70	21.6										
<b>T O T A L 2,810.55 MS</b>												

## MALLA ELECTROSOLDADA



MALLA ELECTROSOLDADA								
MES \ AÑO	DIC	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
1990	247.36							
1991		0.00	2,875.4	1,101.45	2,601.50	988.40	878.29	1,207.80
<b>TOTAL</b>	<b>9,580.19</b>							

# DRENAJE

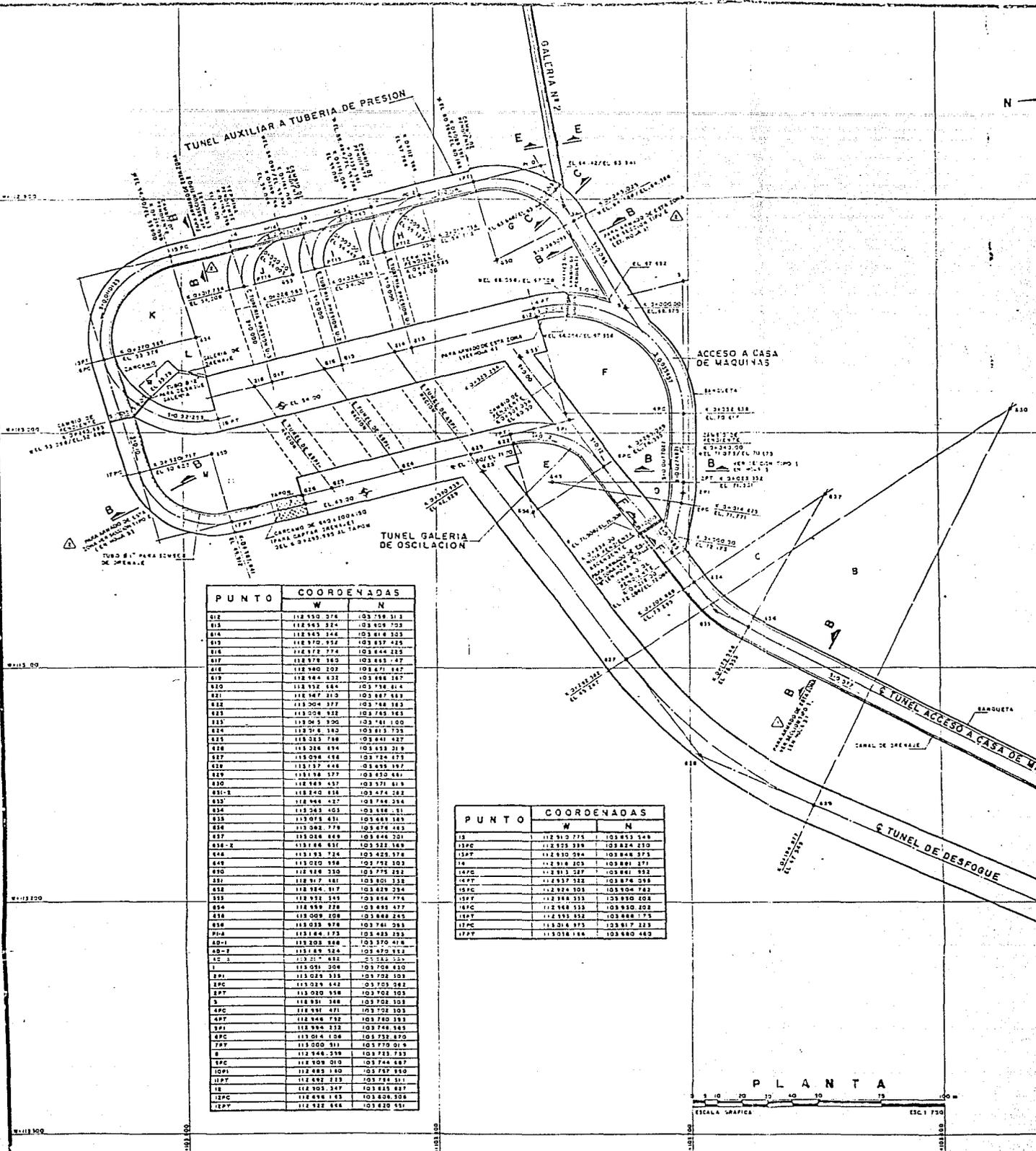


D R E N A J E												
MESES AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990											68	688
1991	468	219	1,117	288	282	315	171	207	111.0	44	48	18
1992	0.0	0.0	0.0	12	24							
TOTAL	3,955.0 ML											

MONTO DE LOS VOLUMENES DE OBRA DE CASA DE MAQUINAS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE \$	IMPORTE N°
EXCAVACION	M3	109,577.01	51,368.25	5,628,779,224.00	5,628,779.22
ANLAJE TENSION 2X"X9 M CON RESINA	M	4,896.00	145,631.14	713,010,061.40	713,010.06
ANLAJE DE TENSION 1 7/8"X1" X 9 M CON RESINA	M	10,242.00	154,073.87	1,578,024,577.00	1,578,024.58
ANLAJE DE FRICCION 3"X1X" DE 16 A 18 M CON LECHADA	M	6,855.00	201,880.85	1,383,893,227.00	1,383,893.23
ANLAJE DE FRICCION 3"X1X" X 15 M CON LECHADA	M	6,300.00	182,280.73	1,148,368,599.00	1,148,368.60
ANLAJE DE FRICCION 3"X1X" DE 11 A 14 M CON LECHADA	M	6,054.00	162,680.11	984,865,385.90	984,865.38
ANLAJE DE FRICCION 3"X1X" DE 6 A 10 M CON LECHADA	M	9,720.00	140,432.53	1,365,004,192.00	1,365,004.19
ANLAJE DE FRICCION 3"X1" DE 10 A 12 M CON LECHADA	M	522.00	109,087.22	56,943,528.84	56,943.53
ANLAJE DE FRICCION 2X"X1" DE 9 A 12 M CON LECHADA	M	705.00	109,087.22	76,906,490.10	76,906.49
ANLAJE DE FRICCION 2X"X1 DE 3.5 A 6 M CON LECHADA	M	2,571.50	102,770.66	264,274,752.20	264,274.75
ANLAJE DE FRICCION 1X"X3/4" X 3.5 M CON LECHADA	M	357.00	102,770.66	36,689,125.62	36,689.12
ANLAJE DE FRICCION 1X"X3/4" X 1.5 M CON LECHADA	M	13.50	85,681.11	1,156,708.48	1,156.71
ANLAJE DE FRICCION 2X"X1X" X 9 M CON RESINA	M	1,908.00	149,537.70	285,317,931.60	285,317.93
ANLAJE DE FRICCION 2X"X1X" X 6 M CON RESINA	M	102.00	106,283.18	10,840,894.36	10,840.88
ANLAJE DE FRICCION 1 7/8"X1" X 9 M CON RESINA	M	2,178.00	134,680.29	293,333,671.60	293,333.67
ANLAJE DE FRICCION 1 7/8"X1" X 6 M CON RESINA	M	24.00	128,406.48	3,081,755.52	3,081.76
ANLAJE DE FRICCION 1 7/8"X1X" DE 3 A 6 M CON RESINA	M	866.00	135,315.47	119,889,506.40	119,889.51
BARRENACION PARA DRENAJE DE 3"X18 M	M	171.00	86,608.71	14,810,089.41	14,810.09

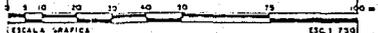
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE \$	IMPORTE M\$
BARRENACION PARA DRENAJE DE 3"X15 M	M	225.00	62,972.41	14,168,792.25	14,168.79
BARRENACION PARA DRENAJE DE 3" DE 10.5 A 12 M	M	141.00	52,762.99	7,439,581.59	7,439.58
BARRENACION PARA DRENAJE DE 3" DE 6 A 9 M	M	859.00	52,762.99	45,323,408.41	45,323.41
BARRENACION PARA DRENAJE DE 3" DE 3 A 4 M	M	375.00	51,213.92	19,205,220.00	19,205.22
BARRENACION PARA DRENAJE DE 2X" DE 9 A 15 M	M	774.00	62,972.41	48,740,645.34	48,740.64
BARRENACION PARA DRENAJE DE 2X" DE 6 M	M	744.00	61,649.40	45,867,153.60	45,867.15
BARRENACION PARA DRENAJE DE 1 7/8" 9 M	M	666.00	62,972.41	41,939,625.06	41,939.62
CONCRETO LANZADO	M3	2610.50	820,563.80	2,142,081,800.00	2,142,081.80
MALLA DE ACERO 15X15X3/16	M²	6,066.10	23,693.09	143,724,653.20	143,724.65
MALLA DE ACERO 15X15X4	M²	3514.09	51,806.31	182,052,035.90	182,052.03
				16,655,732,640.00	16,655,732.64



PUNTO	COORDENADAS	
	W	N
612	112 930 376	103 759 313
613	112 965 324	103 808 703
614	112 969 344	103 816 303
615	112 970 352	103 837 225
616	112 972 374	103 844 232
617	112 978 363	103 843 47
618	112 980 307	103 871 445
619	112 984 432	103 888 167
620	112 992 684	103 736 814
621	112 987 313	103 887 163
622	112 908 377	103 748 163
623	112 928 332	103 743 163
624	112 943 300	103 781 100
625	112 946 380	103 813 735
626	112 953 748	103 841 427
627	112 928 494	103 833 210
628	112 936 486	103 724 173
629	112 937 446	103 695 197
630	112 938 377	103 830 661
631	112 943 437	103 871 813
631-1	112 940 816	103 874 283
632	112 968 427	103 746 254
634	112 963 403	103 888 21
635	112 963 431	103 889 223
636	112 982 778	103 876 483
637	112 986 689	103 846 201
638-2	112 986 831	103 823 160
638	112 983 714	103 843 374
646	112 920 336	103 792 103
650	112 946 330	103 775 252
331	112 917 181	103 801 332
618	112 928 317	103 829 284
333	112 932 345	103 856 774
634	112 959 228	103 693 475
618	112 909 209	103 888 245
636	112 928 374	103 781 283
70-A	112 944 173	103 483 233
80-1	112 928 848	103 370 418
80-2	112 95 324	103 870 853
12-3	112 27 432	103 222 223
1	112 091 308	103 708 630
2	112 023 315	103 702 103
3	112 026 442	103 703 262
4	112 010 318	103 702 103
5	112 931 348	103 702 103
6	112 931 471	103 702 103
7	112 944 388	103 700 383
8	112 954 332	103 746 383
9	112 914 106	103 732 870
10	112 000 311	103 770 016
11	112 044 358	103 723 713
12	112 909 010	103 744 687
13	112 883 140	103 787 950
14	112 882 229	103 784 311
15	112 902 347	103 848 881
16	112 896 145	103 828 309
17	112 912 656	103 820 511

PUNTO	COORDENADAS	
	W	N
18	112 912 775	103 853 548
19PC	112 925 338	103 824 210
19PT	112 910 384	103 848 373
24	112 916 203	103 801 271
24PC	112 913 217	103 801 932
24PT	112 937 322	103 876 058
25PC	112 914 303	103 804 743
25PT	112 948 315	103 830 208
26PC	112 948 315	103 830 208
26PT	112 943 332	103 888 175
27PC	112 914 373	103 817 313
27PT	112 938 144	103 680 480

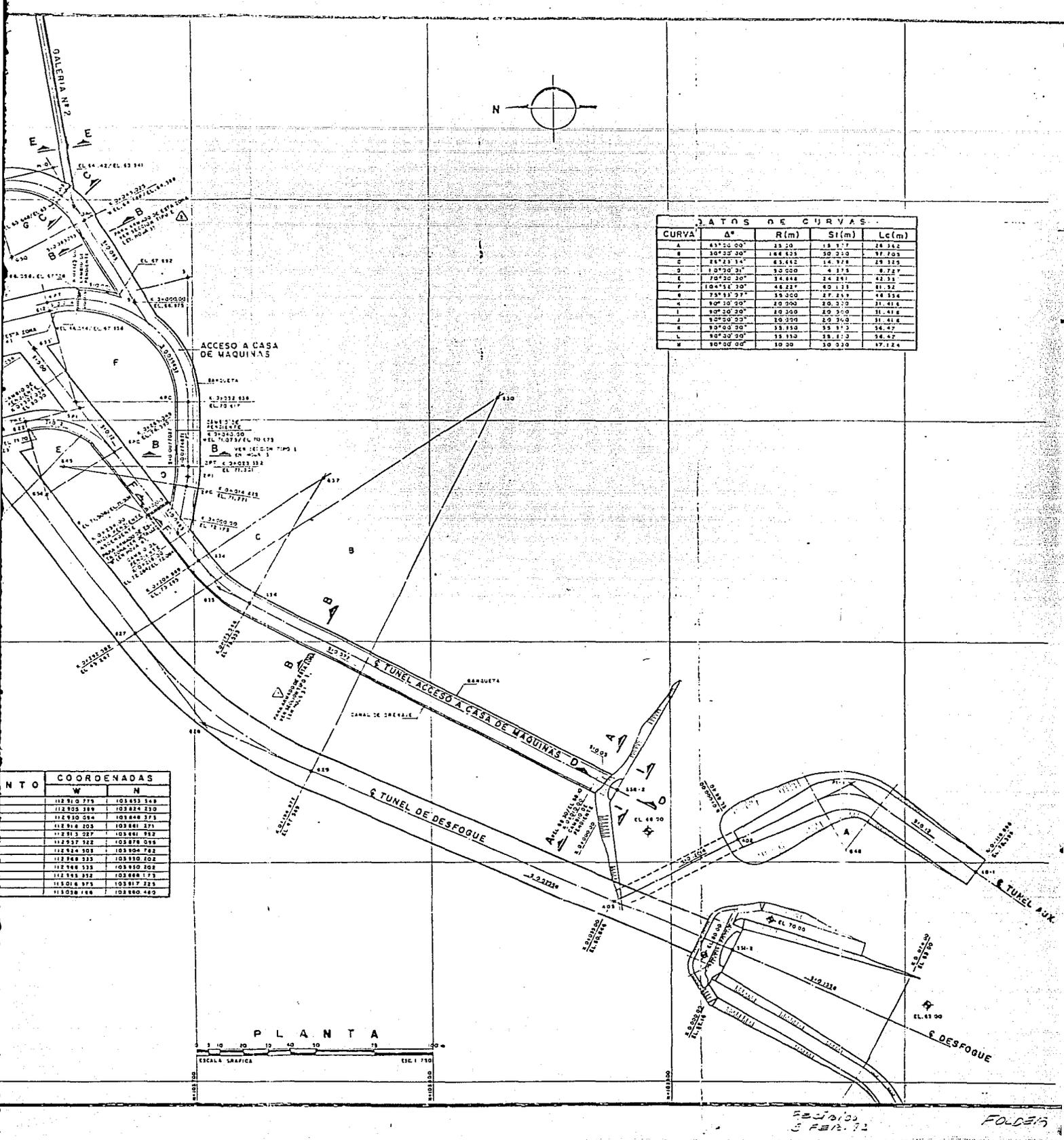
PLANTA



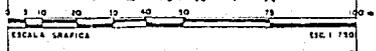


DATOS DE CURVAS				
CURVA	$\Delta^\circ$	R(m)	Sr(m)	Lc(m)
A	63°20'00"	23.20	18.177	26.342
B	10°20'30"	184.423	30.230	97.705
C	28°20'34"	83.452	14.702	28.125
D	10°20'31"	30.230	4.113	8.727
E	70°20'30"	34.848	24.191	42.313
F	10°20'30"	44.227	40.131	61.527
G	70°20'31"	25.200	27.243	40.124
H	80°20'30"	20.200	20.200	31.416
I	80°20'30"	20.200	20.200	31.416
J	90°20'30"	30.200	20.200	31.416
K	90°20'30"	35.150	25.150	34.477
L	90°20'30"	35.150	25.150	34.477
M	90°20'30"	30.200	20.200	31.416

PUNTO	COORDENADAS	
	N	E
102 918 275	103 853 548	
112 903 288	103 824 220	
112 910 324	103 848 373	
112 918 203	103 881 371	
112 918 257	103 881 782	
112 927 222	103 878 025	
112 924 203	103 904 782	
112 968 223	103 930 202	
112 948 233	103 930 202	
112 943 232	103 888 173	
115 016 275	103 917 223	
115 028 188	103 880 482	



PLANTA



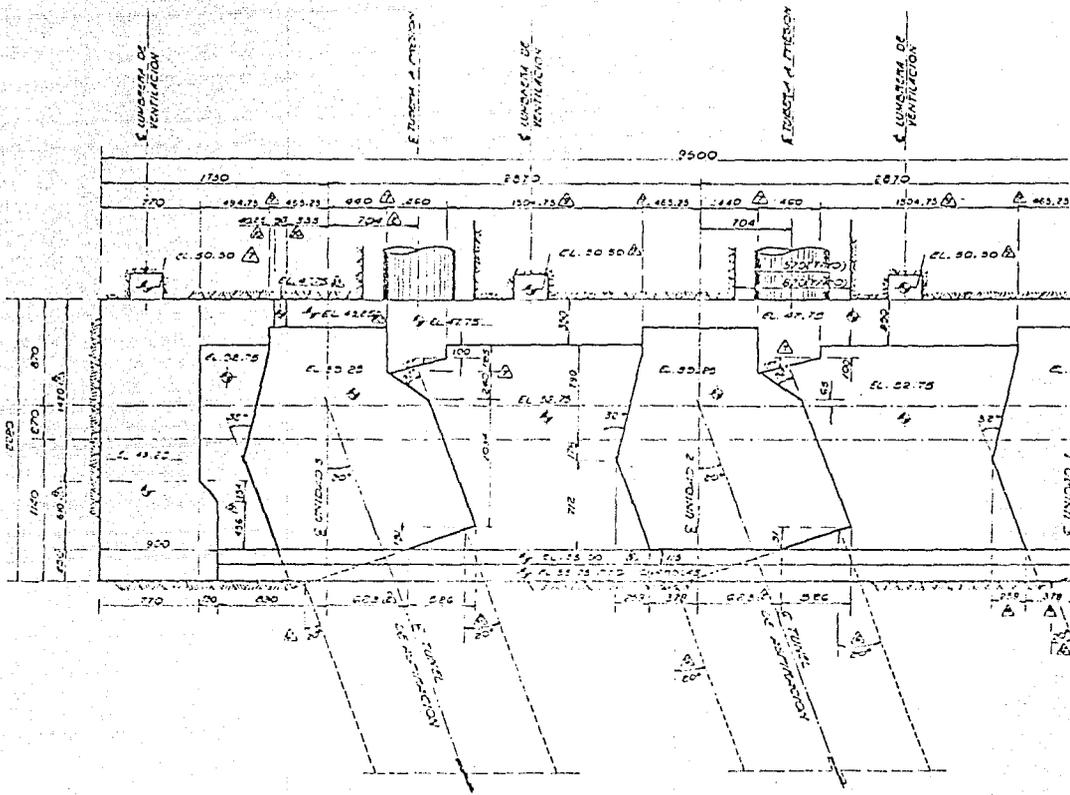
FECHA: 5 FEB. 72 FOLIO: 1



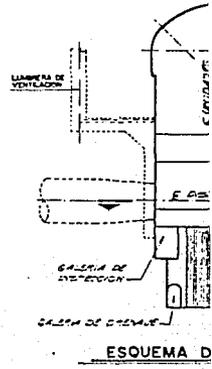
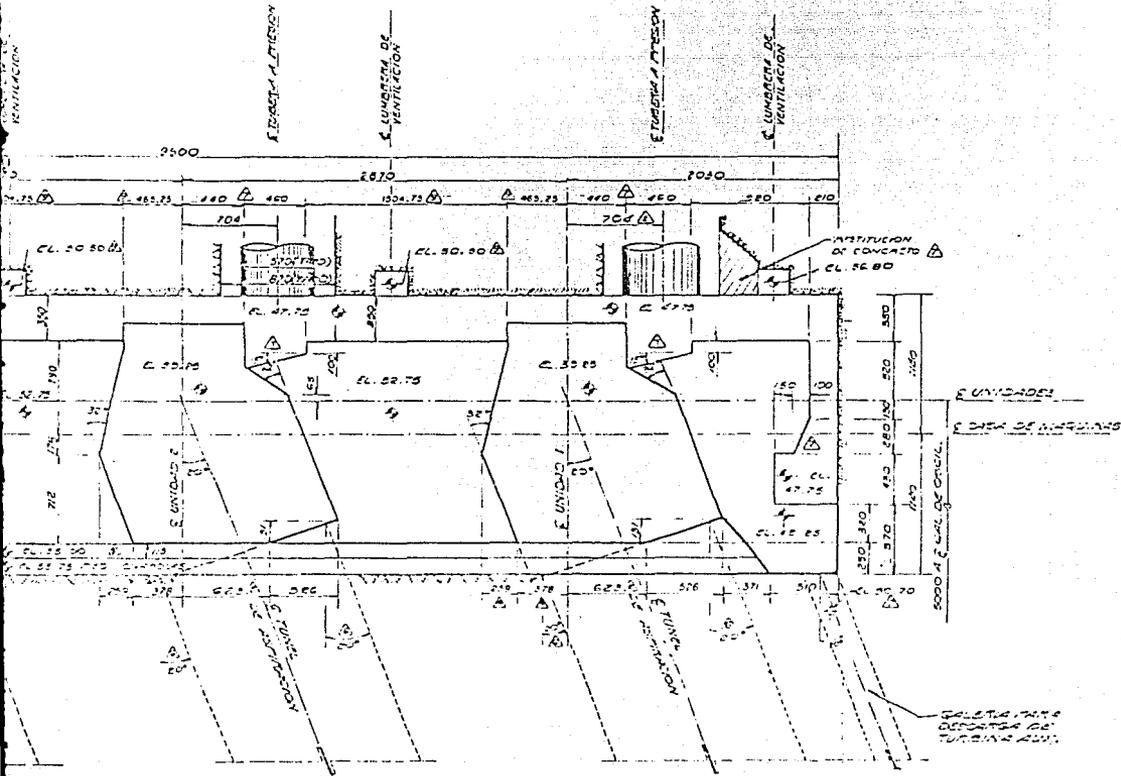








P L A N T A A E L E V.



**NOTAS:**  
 1- MODIFICACIONES EN CONT.  
 2- ELECCIONES EN MET.  
 3- VER NOTAS GENERALES

25	SE MODIFICAN Y ADICIONAN ELECCIONES
27-08-92	SE MODIFICAN Y ADICIONAN ELECCIONES
29-10-92	
03-11-92	SE ELIMINAN PASADIZOS
03-11-92	SE MODIFICA ELEVACION DE SE REVISAN CANTONAS Y SE REVISAN PASADIZOS Y SE MODIFICA ANCHO Y SE
22-03-91	SE MODIFICAN Y ADICIONAN ELECCIONES
17-05-91	SE ELIMINAN PASADIZOS Y SE ELIMINAN PASADIZOS PARA EL PASADIZO DE PASADIZOS Y SE MODIFICAN PASADIZOS Y SE MODIFICAN PASADIZOS
23-07-91	REVISION GENERAL
18-02-90	SE MODIFICAN Y ADICIONAN ELECCIONES
18-02-90	REVISION GENERAL
18-02-90	
18-02-90	

**COMISIÓN GENERAL**

**PROYECTO HIDROELECTRICO**  
**CONJUNTO: OBRAS DE EXCAVACION**  
**TITULO: EXCAVACION**

AREA DE DISEÑO: OFICINAS M...

APROBADO PARA CONSTRUIR	FECHA	INITIALES

APROBADO POR: **ING. JOSE LUIS...**

ELABORADO POR: **ING. JOSE LUIS...**

ESTUDIO: **ESTUDIO...**

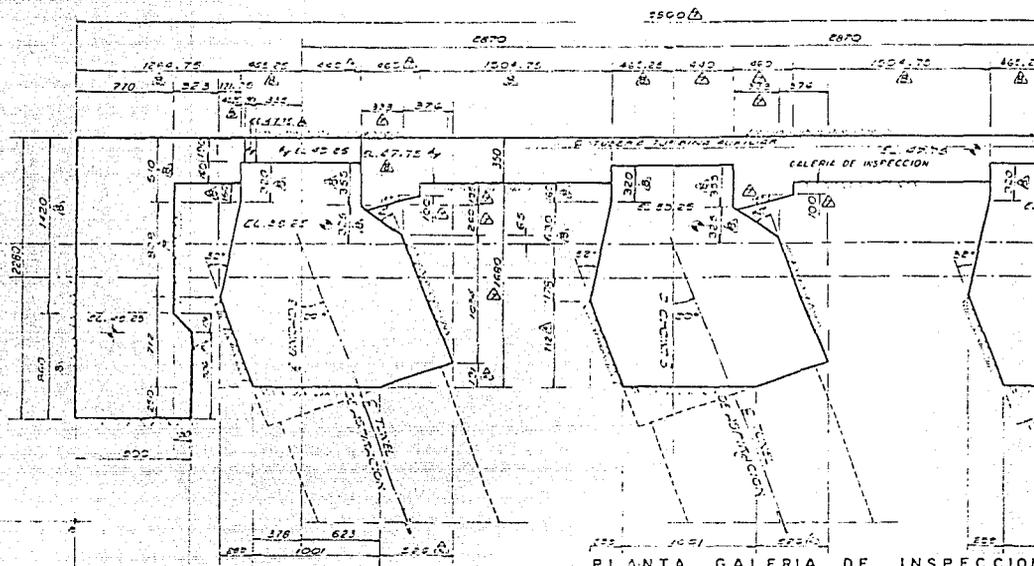
NO. DE PROYECTO: **229.174 - 60-84348**

PECI. 2-ABRIL-92

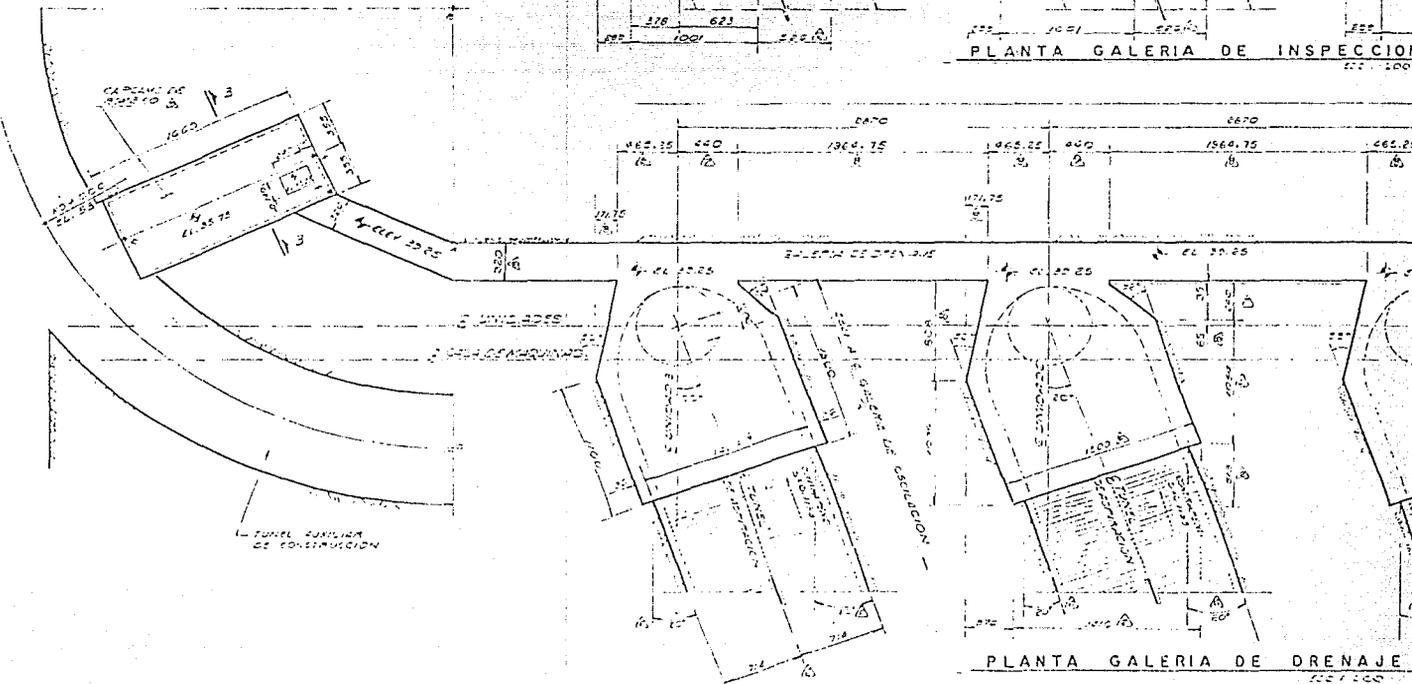
T A A E L E V. 5 7 . 0 0  
 150.7.200



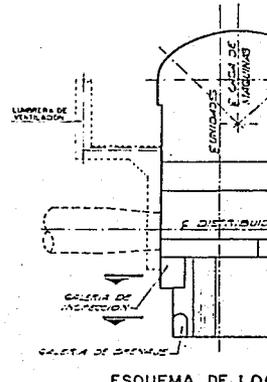
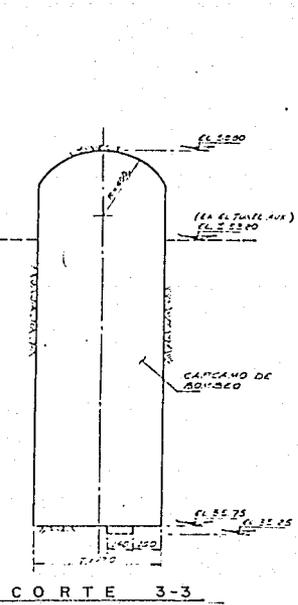
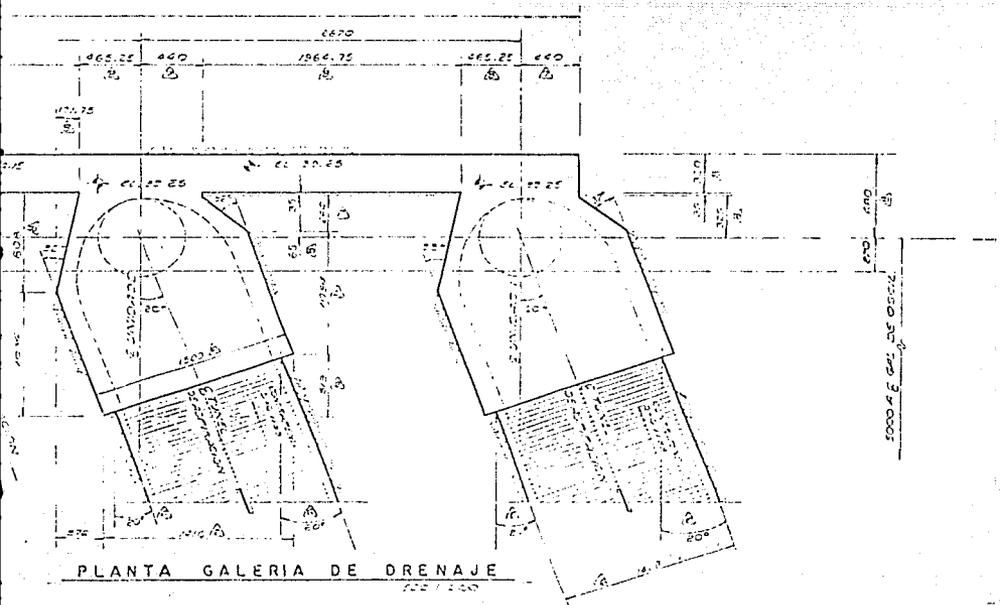
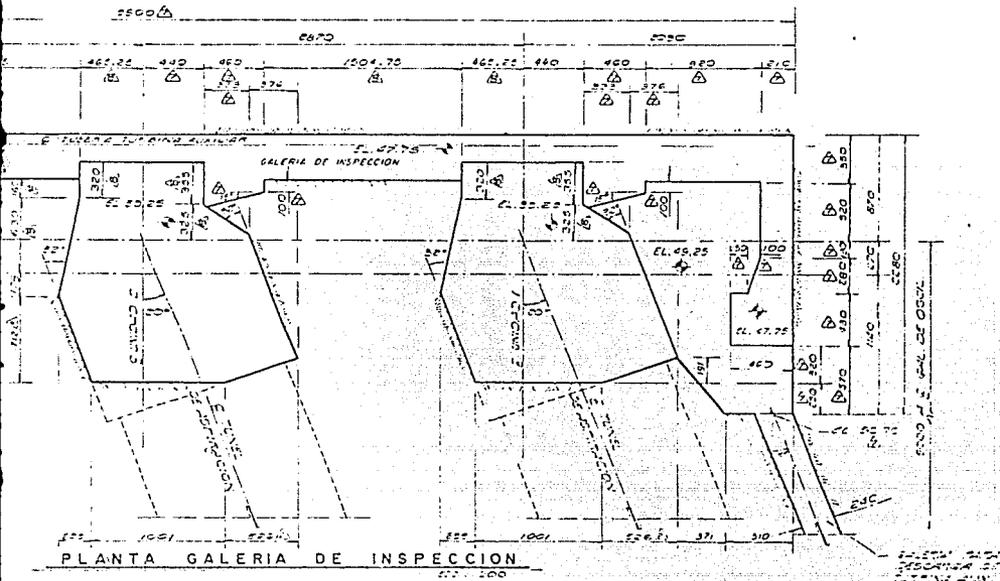
E UNIDADES  
 C CASA DE MAQUINAS



PLANTA GALERIA DE INSPECCION



PLANTA GALERIA DE DRENAJE



**NOTAS:**

MODIFICACIONES EN CANTONAMENTOS.  
 ELEVACIONES EN METROS.  
 DIMENSIONES GENERALES EN METROS.

10-03-78	SE ADICIONA EXCAVACION PARA CARGA DE CORRIGIERON Y ADICIONARON ACOTAS Y ELEVACIONES.
18-04-81	SE CORRIGIERON Y ADICIONARON Y ELEVACIONES.
27-11-81	SE MODIFICO CARTAMO DE BOMBA DON Y SE ADICIONARON ACOTACIONES Y ELEVACIONES.
27-03-81	SE MODIFICO CANTON ANILLOS Y SE ADICIONARON Y ELEVACIONES.
18-08-81	SE CORRIGIERON Y ADICIONARON Y ELEVACIONES.
24-07-81	SE CORRIGIERON Y ADICIONARON Y SE MODIFICO EL ESPACIO DE LA GALERIA DE LA TUNEL ADICION SE ADICIONARON Y ELEVACIONES.
20-05-81	REVISION GENERAL
18-11-80	SE ADICIONARON Y MODIFICARON ACOTAS Y ELEVACIONES.
21-11-80	REVISION GENERAL
REVISION	REVISION
REVISION	REVISION

**COMISION FEDERAL DE SUBDIRECCION GENERAL DE SUBGERENCIA**

**PROYECTO HIDROELECTRICO CONJUNTO: OBRAS DE GENERACION TITULO: EXCAVACIONES - PLANTA**

AREA DE DISEÑO OFICINAS NACIONALES

APROBADO PARA CONSTRUCCION	FECHA	CONSTRUCCION

APROBADO PARA CONSTRUCCION  
 INGENIERO CIVIL  
 (Firma)

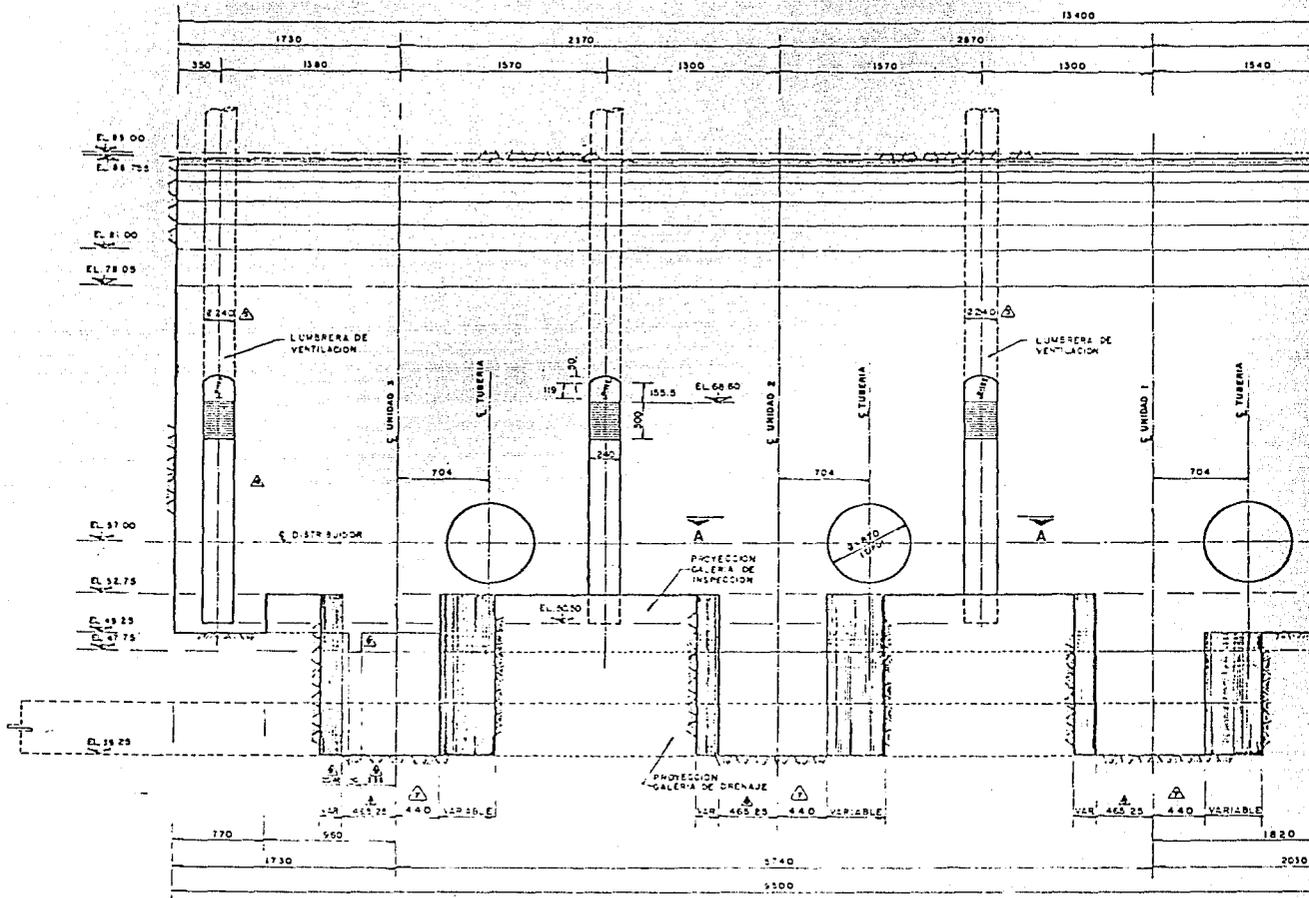
ESTACION: CENTRO SUBTERRANEO N° 229 1/4 - C-60-84348











CORTE LONGITUDINAL POR 3 UNIDADES

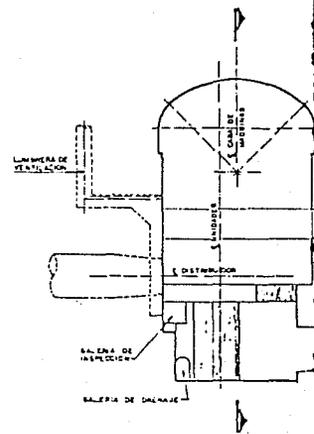
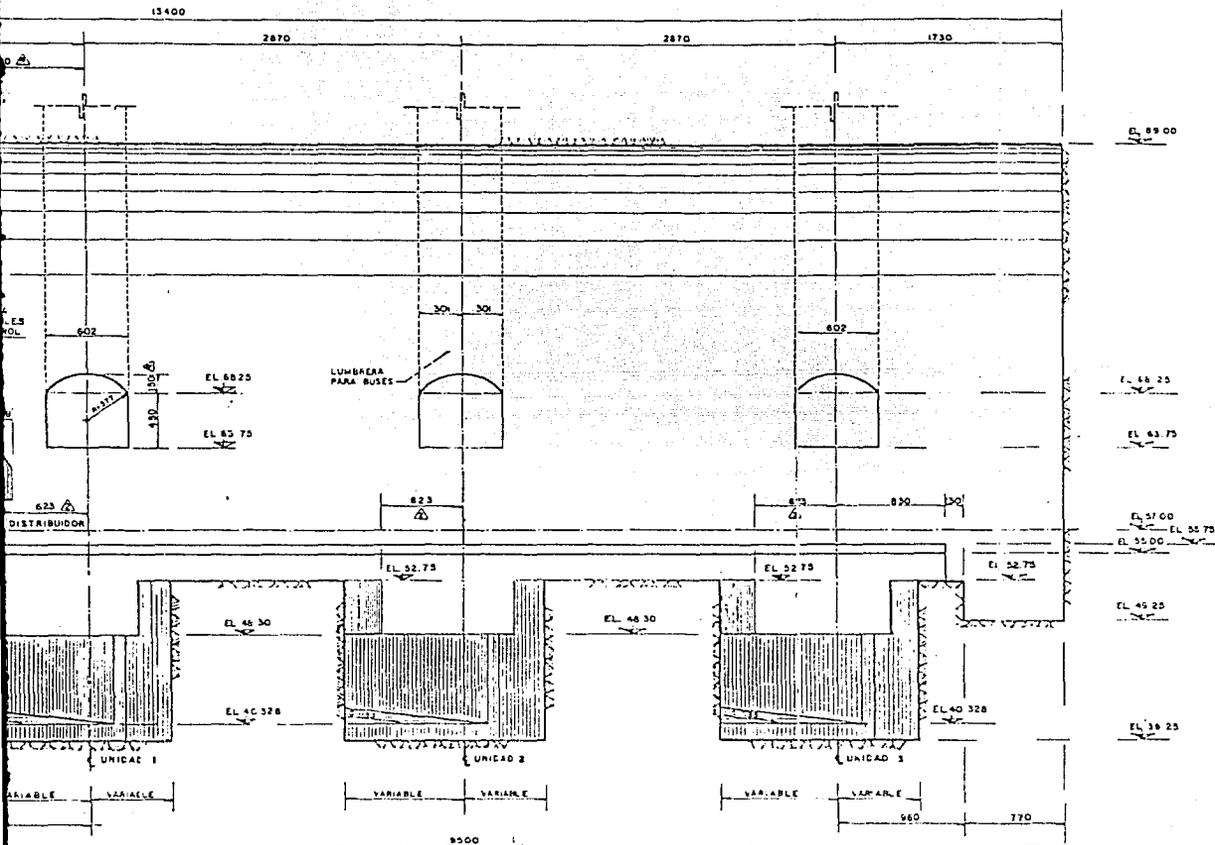
(VISTA HACIA AGUAS ARRIBA)

ESC 1/200









**NOTAS:**

1. ACOTACIONES EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS ELEVACIONES EN METROS.
2. LAS DIMENSIONES DE LAS EXCAVACIONES SON PRELIMINARES PUEDE CAMBIAR POR RAZONES DE CONVENIENCIA Y SEGURIDAD.
3. LAS DIMENSIONES DE LAS EXCAVACIONES SON PRELIMINARES PUEDE CAMBIAR POR RAZONES DE CONVENIENCIA Y SEGURIDAD.

SE-07-81 REVISOR GENERAL  
SE-07-81 REVISOR GENERAL  
SE-07-81 REVISOR GENERAL

COMISION FED. SUBDIRECCION GENERAL DE PROYECTOS SUBGERENCIA

PROYECTO HIDROELECTRICO A CONJUNTO: OBRAS DE GENERACION TITULO: EXCAVACIONES -

AREA DE SIEM. OFICINAS NACIONALES

AREA DE SIEM. OFICINAS NACIONALES	ESTADO PARA CONSTRUCCION
MECANICA	
ELECTRICAL	
ELECTRICA	
MECANICA	

CORTE LONGITUDINAL POR C CASA DE MAQUINAS (VISTA HACIA AGUAS ABAJO) ESC. 1/200

SE ELIMINAN PAMPAS EN ELEVACION 55 00

Nº 229.1/4-C-60-64348



### 3-03.00 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION

De acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción en todo el proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa las cuales constan de 8 secciones; de las cuales la sección 3 trata de una forma general de las excavaciones, como puede verse en el índice siguiente.

Para nuestro tema mencionamos los capítulos (uno) GENERALIDADES, que de alguna forma corresponden al seguimiento de las excavaciones subterráneas y (tres) EXCAVACIONES SUBTERRANEAS, base principal del tema, así mismo se hará mención de los capítulos (cuatro), (cinco) y (seis), los cuales corresponden a las actividades que fueron realizadas para complementar el conjunto de las Obras Subterráneas de Generación.

El capítulo (dos) del siguiente índice no lo mencionaremos, ya que incluye excavaciones a cielo abierto, además de que incluyen temas de otros frentes, como el de Obras de Contención y otros que no corresponden en nada a nuestro tema en cuestión.

Cabe señalar que las especificaciones aquí mencionadas están escritas tal cual como las que rigen en C.F.E.

Siendo un total de 8 secciones, nosotros tomaremos solo una; La sección 3 de la cual se muestra el índice a continuación:

## S E C C I O N    3

### EXCAVACIONES

#### 1.- GENERALIDADES.

- a) Desmante.
- b) Despalme.
- c) Brechas de acceso.
- d) Líneas "A" y "B".
- e) Sobreexcavación.
- f) Conservación.
- g) Bombeo.
- h) Programa y coordinación de las excavaciones.
- i) Uso de explosivos.
- j) Sistema Post-corte (Smooth Blasting).
- k) Sistema de Pre-corte (Presplitting).
- l) Forma de pago del Pre-corte y del Post-corte.
- m) Estabilización de las excavaciones.
- n) Medición y pago de las excavaciones.

#### 2.- EXCAVACION A CIELO ABIERTO.

- a) Excavaciones mayores.
- b) Excavaciones menores.
- c) Excavación en el área del plinto.
- d) Excavación en los portales de entrada y salida de los túneles de desvío.
- e) Excavaciones en plataforma de la Obra de Desvío.

#### 3.- EXCAVACION SUBTERRANEA.

- a) Túnel, caverna y galería.
- b) Túneles de desvío.
- c) Entibamiento provisional.
- d) Alumbrado y ventilación de las excavaciones.
- e) Secuencia entre excavación y soporte.

#### 4.- EXCAVACION EN LUMBRERA.

- a) Pago de excavación en lumbreras.

#### 5.- SOBRECARRERO DEL PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES.

#### 6.- RELLENOS.

## EXCAVACIONES

### 1.- GENERALIDADES.

Previamente a la iniciación de cualquier excavación y con una anticipación de 15 (quince) días, el contratista solicitará por escrito la aprobación de la Comisión para lo cual deberá anexar la descripción de los arreglos y métodos que pretenda emplear.

Además, el contratista deberá tomar todas las medidas pertinentes, para prevenir derrumbes e inundaciones, que garanticen la seguridad y continuidad de los trabajos.

Con la información que se presentan en estas especificaciones, con las que obtenga el Contratista como resultado de su visita a la obra y con la información previa al concurso que obtenga por otros medios, deberá conocer la naturaleza geológica de la zona de las obras, para poder estimar un precio único para el total de los materiales que deberá excavar en cada concepto de la obra.

La Comisión no aceptará ninguna reclamación que pretenda considerar alguna modificación en los precios unitarios por los siguientes conceptos: variación de consistencia o dureza del terreno, o porque esté húmedo, saturado e inclusive por encontrarse bajo el agua, por abundamiento o por cambios ordenados por la Comisión en la disposición, profundidad o talud de las excavaciones.

Las excavaciones de donde se vaya a obtener enrocamiento para la formación de la cortina, serán de dos tipos:

A.- No existiendo líneas de proyecto establecidas, tales como:

bancos de agregados, aluvión, etc.

B.- Excavación en la cual se deben respetar las líneas de proyecto establecidas, tales como banco (obra de excedencias), banco (plataforma de subestaciones), etc.

Para las excavaciones del tipo B, el Contratista deberá tomar las precauciones pertinentes para que la línea del proyecto de dichas estructuras sea respetada.

Las excavaciones en estas estructuras, se harán con taludes de 0.25:1 y cortes máximos de 25 m. con bermas de 6 m.

Será obligatoria la explicación del sistema de pre-corte en el perímetro de la excavación definitiva. La profundidad de los barrenos para el pre-corte no excederá de 9 m., a menos que la Comisión autorice una profundidad mayor.

a) Desmante.

Los trabajos de desmante los ejecutará la contratista en aquellas áreas de excavación a cielo abierto que lo requieran.

La contratista se apegará a lo estipulado en las Normas para Construcción e Instalaciones de Carreteras y Aeropistas de la S.C.T. última edición.

El pago de este concepto, cuando no esté incluido en otro concepto de obra, se medirá en hectáreas con tres decimales e incluye equipo, mano de obra, herramientas y todo lo que se necesite para dejar el trabajo a entera satisfacción de la Comisión. El desmante necesario en áreas tales como bancos de agregados, deberá quedar incluido en los precios unitarios de excavación.

b) Despalme.

El despalme se hará en las zonas de excavación a cielo abierto, según lo requiera, y su importe quedará incluido en el precio de la excavación. El contratista ejecutará los trabajos de despalme acatando lo dispuesto en las normas para Construcción e Instalaciones de Carreteras y Aeropistas de la S.C.T., última edición.

El pago de este concepto, cuando no este incluido en otro concepto de obra, se medirá en metros cúbicos con un decimal, e incluye equipo, mano de obra, herramienta y todo lo necesario para dejar el trabajo a entera satisfacción de Comisión. El despalme necesario en áreas tales como bancos de agregado, deberá quedar integrado en los precios unitarios de excavación.

c) Brechas de acceso.

Son los caminos provisionales que, previa aprobación de la Comisión, deberá construir el contratista para tener acceso a las obras y a los diferentes bancos y tiraderos de materiales. Su ejecución debe ser tal que considere las vías de comunicación existentes o de C.F.E. y tener un ancho y una pendiente suficientes para permitir la circulación de los vehículos de construcción que se vayan a utilizar; estas brechas contarán con la señalización indicada por la Comisión.

Así mismo el Contratista deberá tener en cuenta que los permisos o derechos de pago de paso, la construcción, el mantenimiento y conservación de las mismas serán a su cargo, independientemente que sean utilizadas por el personal de la Comisión o terceros, incluyendo la señalización.

d) Líneas "A" y "B"

La línea "A" es aquella línea de excavación considerada en el diseño para determinar las secciones de proyecto, por lo tanto la excavación no deberá sobresalir interiormente de la línea "A".

La línea "B" o línea de pago es la línea teórica que define las áreas con que se estimarán las secciones, tanto de excavación como de los recubrimientos o espesores de concreto, a su caso. La separación entre las líneas "A" y "B" será de 20 (veinte) cms. (ver figura 3-03.01), mostrando sección las líneas "A" y "B" sobre excavaciones y bajo excavaciones.

e) Sobreexcavación.

Toda la excavación que sobrepase la línea "B", ya sea por error, por equivocar el procedimiento o por no utilizar el equipo adecuado, se denominará sobreexcavación y no será estimada ni pagada al contratista. La Comisión podrá ordenar la reposición de las sobreexcavaciones, con mamposterías juntas con mortero o sin compactación, con mamposterías juntas con mortero, o con concreto (simple o armado). Cualquier reposición será ejecutada por el contratista a su cargo, considerando obra de mano, materiales, herramientas, manejo, acarreo, etc.

f) Conservación.

El contratista deberá mantener en buenas condiciones las zonas de las excavaciones durante la construcción. Los gastos por esta conservación serán por cuenta del Contratista.

g) Bombeo.

El contratista realizará todo el bombeo del agua producto de filtraciones, barrenación, inyecciones y/o colados, o si lo considera conveniente

y previa aprobación de la Comisión, podrá desviar o drenar dicha agua o parte de ella.

El bombeo de un gasto hasta de 10 lts/seg. para un mismo frente de trabajo, será por cuenta del contratista. Si en un frente de trabajo el gasto de bombeo excede de 10 lts/seg, la Comisión pagará al contratista el importe del bombeo en exceso de los 10 lts/seg; de acuerdo con las horas de operación efectiva de las bombas y a los precios considerados en el Catálogo de Conceptos de Obra. Para el bombeo extra se considerará el uso de bomba centrífuga autocebante para los siguientes diámetros:

50.8 mm	(2")	por hora efectiva de bombeo.
101.6 mm	(4")	por hora efectiva de bombeo.
152.4 mm	(6")	por hora efectiva de bombeo.
203.2 mm	(8")	por hora efectiva de bombeo.

Estos precios incluyen: suministro y operación de la bomba, suministro y colocación de las tuberías de succión y descarga, así como las instalaciones, suministros de materiales, combustibles y mantenimientos necesarios.

h) Programa y coordinación de las excavaciones.

El programa y la ejecución de las excavaciones deberán coordinarse con la Comisión.

i) Uso de explosivos.

Será responsabilidad del contratista el efectuar ante las autoridades correspondientes (Secretaría de la Defensa Nacional u otras), todos los trámites que se requieran para obtener las licencias o permisos necesarios para adquisición, transporte, manejo, almacenamiento y uso de los explosivos y accesorios que se vayan a utilizar en la obra.

Además, el contratista también será responsable de lo que pueda originarse por mal uso o accidentes relativos a los explosivos y a sus accesorios.

Para la ubicación de los almacenamientos (polvorines), y previamente a la solicitud de autorización entre las autoridades, deberán revisarse los programas y zonificaciones hechos en coordinación con la Comisión para no interferir con las diferentes áreas de trabajo. Los arreglos y métodos de tronadas a emplear serán presentados a la Comisión para su aprobación, de acuerdo con el inciso 1, excavaciones. La aprobación por parte de la Comisión no relevará al Contratista de la total responsabilidad por las operaciones de tronadas.

La cantidad de explosivos utilizada y los métodos de tronadas deberán evitar la fracturación de las superficies de excavación y los daños a trabajos adyacentes a los límites de excavación.

Conforme la excavación se aproxime a los límites finales, la profundidad y/o separación de los barrenos y la cantidad de explosivos en cada barreno deberá disminuirse en forma progresiva para preservar una buena condición la roca permanente. No se permitirá la perforación de barrenos más allá de las líneas de excavación.

Las tronadas se ejecutarán después de tomar las precauciones debidas para proteger al personal y a las propiedades.

Cualquier daño a las personas, a los trabajos, al igual que a la propiedad privada o pública será reparado por el Contratista a su cargo.

En caso necesario el Contratista utilizará malla metálica u otros dispositivos adecuados para evitar el daño a personas o a instalaciones próximas.

El costo por el uso de explosivos si se requieren, estará incluido en el concepto de excavación de que se trate.

Cuando se quiera obtener de una excavación particular dentro de ciertas dimensiones, a juicio de Comisión, el contratista ajustará y controlará las tronadas para tal fin.

j) Sistema post-corte (Smoot Blasting)

Se define como un método de tronada en el cual las perforaciones perimetrales están con separación muy próxima y cargadas ligeramente, siendo detonadas simultáneamente después de que la masa principal de roca ha sido detonada. Este método se deberá utilizar en todo el perímetro para las excavaciones de túneles.

El propósito del sistema post-corte es conseguir una superficie pareja y con la mínima alteración a la roca.

El contratista realizará las pruebas a su cargo para determinar el diámetro y separación apropiada de los barrenos así como la cantidad y distribución de las cargas.

k) Sistema de pre-corte (presplitting)

Este sistema consiste en ejecutar la barrenación perimetral con separación muy próxima y con carga apropiada. Las operaciones de explosión (tronadas) se llevarán a cabo para tener un corte previo que aísla la zona por excavar posteriormente, con daños mínimos a las partes aledañas a la excavación. El método pre-corte se deberá utilizar para obtener superficies más uniformes. El contratista realizará pruebas a su cargo para determinar el diámetro y separación de barrenos, así como la cantidad y distribución de las cargas.

l) Forma de pago del pre-corte y post-corte.

Los costos del pre-corte y del post-corte necesarios, quedarán incluidos dentro de los precios unitarios para el concepto de excavación correspondiente, asentando en el Catálogo de Conceptos de Obra. Este precio deberá incluir todas las operaciones de perforación, adquisición y colocación de explosivos y primacord; operaciones de explosión, obra de mano, cargos por uso y depreciación de equipo y herramienta, gastos de traslado y regreso del equipo, materiales de consumo, gastos de administración, dirección técnica y utilidades, etc., es decir todos los materiales y actividades necesarios para la ejecución correcta de estos conceptos.

m) Estabilización de las excavaciones.

Para evitar deslizamientos en las zonas en que lo indiquen los planos o lo determine la Comisión, se estabilizarán las excavaciones por medio de soportes que se pagarán a los precios unitarios previstos en el Catálogo de Conceptos de Obra.

n) Medición y pago de las excavaciones.

En todas las excavaciones, la unidad básica para cuantificar los volúmenes será el m<sup>3</sup>. con una fracción decimal.

Las cubriciones se harán en el sitio de la excavación y deberán considerar las líneas de pago que señalan los planos, las especificaciones y ordenes de la Comisión y no se pagará por ninguna excavación ejecutada fuera de estas líneas, salvo derrumbes por causas no imputables al contratista, en cuyo caso solo se pagará la extracción del material producto del derrumbe.

El Contratista no recibirá ningún pago extra por el abundamiento del

material excavado, es decir, por la variación de volumen que sufre los sitios de excavación y colocación, incluyendo su transportación, ya que dicha variación estará considerada en los precios unitarios del concepto. Por los precios unitarios para excavaciones, establecidos en el Catálogo de Conceptos de Obra para los diferentes tipos de excavación, el Contratista ejecutará las siguientes operaciones que no serán limitativas, según se indique en cada concepto.

- Excavación, incluyendo la adquisición y el uso de explosivos, el pre-corte o el post-corte, de tal forma que no se obtengan tamaños máximos mayores de 100 cm.
- Amacize y apuntalamiento temporal de las excavaciones cuando se requiera.
- Carga del producto de excavación en las unidades de transporte.
- Conservación de las zonas de las excavaciones.
- Acarreo libre: que se define como el transporte del material producto de la excavación hasta una distancia no mayor de 1 (un) kilómetro, contado a partir de donde se indique en cada concepto.
- Descarga del material en los sitios que sean determinados por la Comisión, incluyendo el extendido en el tiradero.
- Bombeo hasta 10 lts/seg. por frente de trabajo.

### 3.- EXCAVACION SUBTERRANEA.

#### A) túnel caverna y galería.

En este concepto se comprenden diferentes tipos de excavaciones tales como: túnel, (desvíos, conductos, apresión, desfogue y túneles auxiliares de construcción), caverna (casa de máquinas y galería de oscilación), galería (galerías de tratamiento).

El contratista deberá proponer a la Comisión los procedimientos para cada uno de los tipos de excavaciones. La Comisión revisará cada uno de los procedimientos y los aprobará o hará los ajustes necesarios para garantizar la calidad, seguridad y programa de ejecución y de las excavaciones.

#### Tuneles de desvío.

La excavación se hará en tres etapas, las dos primeras en bóveda y la tercera en banqueo inferior. El desfaseamiento de frentes entre etapas quedará sujeto a la colocación del soporte en la parte excavada antes de proceder a excavar la otra.

La excavación en la bóveda se ejecutará con barrenación horizontal. En el banqueo se podrá utilizar barrenación vertical apegándose siempre a la geometría de proyecto. En la excavación se utilizará técnicas de post-corte y pre-corte para dañar lo menos posible a la roca además de utilizar el mayor número de tiempos con el objeto de lograr la liberación parcial de la energía en cada voladura. Es conveniente considerar para una mayor estabilidad al excavar el túnel dividirlo en tres etapas lo anterior podría ocurrir en zonas de intenso fracturamiento y alteración de la roca.

El sistema de post-corte en la bóveda deberá ejecutarse en cada tronada y el de pre-corte en el banqueo inferior a la largo del túnel. Cuando por condiciones de estabilidad se requiere ampliar la excavación para colocar marcos de ademe, esta excavación se incluirá para apegarse al precio indicado en el catalogo de conceptos de obra para la excavación en túnel.

Cualquier daño o desplazamiento del ademe del túnel, originado por detonaciones por otra operación del contratista, será reparada por él mismo y a su cargo el kilometro de acarreo libre será a partir del portal por el cual se extraiga el producto de la excavación.

En caso de que por las condiciones de la roca y a juicio de la Comisión, la excavación fuera irregular, deberá considerarse la regulación del piso con concreto  $f'c=150$  Kg/Cm<sup>2</sup>., para reducir la rugosidad. El costo de limpieza previa del piso se incluirá en el precio unitario del concreto para plantilla.

En donde sea necesario y según ordene la Comisión, se utilizarán soportes adecuados para sostener la roca después de la excavación.

En donde sea necesario según Comisión, se utilizarán soportes para sostener la roca después de la excavación.

#### 1.- Marcos metalicos

Los marcos deberán colocarse sobre una trabe de concreto, rigidizarse longitudinalmente y empacarse dentro del revestimiento del concreto como se indica en los planos.

La cantidad de marcos metalicos estará sujeto a las condiciones del terreno por lo que se advierte al contrarista que no se haran modificaciones a los precios unitarios del catalogo de conceptos.

b) Anclas.

Para el soporte de la bóveda del túnel se considerarán anclas de fricción y de tensión. En ambos casos la distancia entre el frente de excavación y de anclaje efectivo, no deberá ser mayor de 20.00 m considerando como frente de anclaje efectivo aquel en el que ya estén inyectadas las anclas, las de tensión serán para proporcionar soporte inmediato y consistirán en varillas corrugadas con longitud y diametro variable y con expansor mecánico en un extremo, se instalarán en perforaciones de 2 1/4" de diámetro ó el compatible con el diámetro del expansor.

Las varillas serán de acero de  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  y se les soldará un espárrago en cada extremo las anclas se colocarán con una placa de 15 x 15 cm x 3/8" apoyada contra la roca, se deberán mantener tensadas a 16 toneladas desde su instalación e inyectarse con mortero de  $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$  fabricado con aselerante de fraguado.

Las de fricción consistirán en varillas corrugadas de igual longitud, diámetro y calidad de acero que las de tensión en perforaciones de 2 1/4" de diámetro ó la mínima que permita introducir la manguera de inyección.

El suministro que le corresponde al contratista, el habilitado, la colocación y el empaque de las anclas se pagará por metro lineal según sea indica en el catálogo de conceptos de obra.

c) Malla y mortero lanzado.

En aquellos tramos de túnel que determine la Comisión, en que exista alto fracturamientos de la roca se colocará malla de 10 x 10 cm x 3/16" fijadas con anclas de varilla corrugada de  $\phi 3/4"$  y 1 m de longitud en patrón de 1.50 x 1.50 m cubierta con mortero lanzado con un espesor medio de

7.5 cm drenados con barrenos de 1" de diámetro y 0.50 m de profundidad en un patrón de 5.00 x 5.00 m. En los tramos sin revestimiento deberán ejecutarse sistemáticamente, a todo lo largo del túnel, barrenos de drenaje de 3" de diámetro y 1.00 m profundidad en secciones a cada 4 m en el sentido longitudinal del túnel. Cada sección tendrá tres barrenos, la distribución de anclaje, drenaje, malla y mortero lanzado podría sufrir modificaciones a juicio de la Comisión, debido a condiciones locales del macizo rocoso.

d) Revestimiento de concretos.

A la entrada y salida de los túneles se colocará revestimiento de concreto, lo mismo que en algunas secciones interiores.

De las excavaciones durante toda la construcción. La iluminación y la ventilación deberán cumplir con los requisitos que establece la Comisión Mixta de Seguridad e Higiene de la C.F.E. y ser aprobados por dicha Comisión, y apropiado para interperie.

e) Secuencia entre excavaciones y soporte.

El contratista estará obligado a efectuar el soporte necesario de las excavaciones (ademes, anclas, marcos, revestimientos, etc) indicado por la Comisión, inmediatamente después de la excavación de un tramo y antes de continuar con el tramo siguiente.

Solamente que las condiciones de la roca lo permitan, la Comisión lo autorice, el Contratista podría excavar más de un tramo sin efectuar soportes de la roca.

4.- EXCAVACION EN LUMBRERA.

Las especificaciones de 3-01.00 a la 3-01.14 serán aplicables a este

concepto. La separación entre la línea "A" de proyecto y la línea "B" de pago será de 20 cm.

El procedimiento de excavación será propuesto por el Contratista y, en su caso aprobado por la Comisión.

Deberá utilizarse pre-corte perimetral y controlar voladuras para dañar lo menos posible.

Durante la excavación pudiera requerirse el uso de anclas de fricción constituidas por varillas de acero corrugado de 1"  $\phi$   $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup> inyectadas con mortero  $f'c = 180$  kg/cm<sup>2</sup>, introducidas en perforaciones de diámetro 5.7 cm. (2 1/4"), con longitud de 3 a 6 m.

En zonas de alto fracturamiento pudiera requerirse la aplicación de mallas de 10 x 10 cm. x 3/16" cubierta con mortero lanzado con un espesor mínimo de 3 cm. debidamente drenado.

El material producto de las excavaciones se colocará donde lo indique la Comisión.

El acarreo libre de un kilometro se iniciará a partir del eje de la lumbreras, si se rezaga por la parte superior o a partir del portal del túnel por donde se extraiga, si se efectúa por la parte interior.

a) Pago excavación en lumbreras.

Por los precios unitarios estipulados en el Catálogo de Conceptos, el Contratista ejecutará las siguientes operaciones en cualquier clase de material, incluyendo pre-corte, carga, amacize, acarreo libre de un kilómetro medido a partir del eje de la lumbrera si se rezaga por la parte superior, o a partir del portal del túnel por donde se extraiga si se efectúa por la parte interior, descarga en los sitios que indique

Comisión, ya sean bancos de almacenamiento, bancos de desperdicio u otros, esparciendo el material y formando plataforma de acuerdo con las indicaciones de Comisión, alumbrado, ventilación, conservación de las zonas excavadas, etc.

En caso de que debido a las condiciones de la roca se requiera marcos metálicos en estas zonas, éstos deberán empacarse con concreto según se indica.

En los tramos revestidos deberá efectuarse inyección de contacto concreto roca en la bóveda.

A juicio de la Comisión, se hará inyección de contacto en los muros y en caso necesario se hará inyección de consolidación conforme se especifica en la sección.

Los revestimientos deberán drenarse mediante barrenos de 3" diámetro y 0.50 m. de profundidad dentro de la roca, distribuidos en secciones a cada 4 m. de distancia en el sentido longitudinal del túnel, para lo cual deberán dejarse preparaciones en el armado, para posteriormente ejecutar la barrenación.

c) Entibamiento provisional.

Para sostener la roca después de efectuar las excavaciones, subterráneas, podrá requerirse entibamiento provisional, el cual será retirado por el Contratista después de ejecutar el soporte permanente.

El costo por suministro, montaje y retiro del entibamiento se incluire en el precio unitario.

d) Alumbrado y ventilación de las excavaciones.

El Contratista tendrá a su cargo el alumbrado y ventilación.

#### 5.- SOBRECARRERO DEL PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES.

El material producto de las excavaciones y/o caídos no imputables al contratista se transportará a los sitios que indique Comisión.

El Contratista acarreará el material dentro del primer kilómetro incluido en el mismo precio unitario.

El sobrecarreos en kilómetros subsecuentes al primero se pagará por separado a los precios unitarios por m<sup>3</sup>/km.

La medición del volumen para pago de excavaciones, caídos no imputables al contratista y sobrecarreos, se hará al sitio de las excavaciones y/o caídos.

El Contratista no recibirá pago por abundamientos ya que deberá incluirlo en los precios unitarios.

#### 6.- RELLENOS.

Se requerirán rellenos para conformar y revestir niveles de piso en la proximidad de algunas estructuras para las que haya necesidad de efectuar excavaciones. Los trabajos de este tipo imputables al Contratista, por su propia conveniencia para acceso a cualquier otro fin serán a su cargo.

## PERSONAL Y EQUIPO UTILIZADO

### 3-04.00 EQUIPO UTILIZADO

En este tema se hará mención de todo el equipo que se utilizó desde los trazos topográficos hasta el rezagado del material que comprende prácticamente todo el ciclo de excavación, así como el personal utilizado.

#### 1.- EQUIPO PARA TRAZOS TOPOGRAFICOS.

- Tránsito.
- Distanciómetro.
- Perfilógrafo.
- Nivel.
- Plomada.
- Cinta Métrica.

#### 2.- BARRENACION PARA EXCAVACION.

##### a) EXCAVACION EN TUNEL Y GALERIAS.

- Jumbo eléctrico-hidráulico.
- Perforadoras de pierna.
- Compresor estacionario.
- Compresor portátil.
- Transformador.
- Bomba de agua sumergible.

##### b) EXCAVACION EN BANCO.

- Track-Drill.
- Perforadora de pierna.
- Perforadora de piso.
- Compresor estacionario.
- Compresor portátil.

#### 3.- BARRENACION PARA ANCLAJE Y DRENAJE.

- Jumbo eléctrico-hidráulico.
- Track-Drill.
- Stenuick.
- camión canastilla.
- Planta de soldar.
- Bomba de agua sumergible.
- Compresor estacionario.
- Compresor portátil.
- Perforadora de pierna.
- Camión plataforma.

4.- CONCRETO LANZADO

Aliva.  
Robot.  
Camión tolva.  
Compresor estacionario  
Compresor portátil

5.- CARGA DE EXPLOSIVOS.

Compresor estacionario.  
Compresor portátil.

6.- COLOCACION DE MARCOS DE ADEME

Grúa telescópica. s/neumaticos.  
Planta de soldar.

7.- REZAGADO.

Cargador frontal 90-C frontal  
Camión fuera de carretera Terex.  
Tractor D8N Caterpillar.  
Cargador lateral JHON DEERE.

PERSONAL UTILIZADO EN LA EXCAVACION Y TRATAMIENTO DE CASA DE MAQUINAS

EXCAVACION  
PERSONAL DE BARRENACION

02 SOBRESTANTE  
04 OPERADOR DE JUMBO  
04 AYUDANTE OP. DE JUMBO

TRATAMIENTO  
PERSONAL DE BARRENACION

02 SOBRESTANTE  
04 OPERADOR DE JUMBO  
06 OPERADOR DE TRACK-DRILL

PERSONAL CARGA DE EXPLOSIVOS

02 CABO  
04 POBLADOR  
08 AYUDANTE  
02 CHOFER

PERSONAL DE ANCLAJE

02 SOBRESTANTE  
02 CABO  
08 ANCLADOR  
06 AYUDANTE GENERAL  
02 OPERADOR DE TRACK-DRILL

PERSONAL DE REZAGA

02 SOBRESTANTE  
04 OPERADOR DE CARGADOR  
02 OPERADOR DE TRACTOR  
08 OP. DE CAMION TEREX  
02 AYUDANTE GENERAL

PERSONAL DE CONCRETO LANZADO

02 SOBRESTANTE  
02 CABO  
02 LANZADOR DE CONCRETO  
02 OPERADOR DE ALIVA  
08 AYUDANTE

PERSONAL TOPOGRAFO

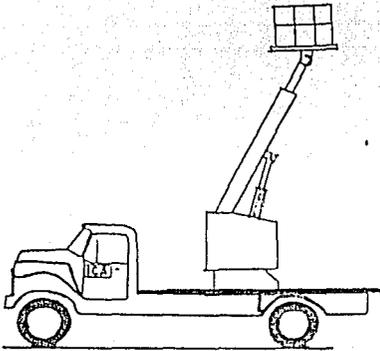
02 TOPOGRAFO  
04 CADENERO  
04 AYUDANTE GENERAL

PERSONAL DE COLOCACION DE MALLA ELEC.

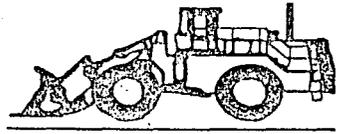
04 FIERRERO  
08 AYUDANTE GENERAL

PERSONAL DE SERVICIOS

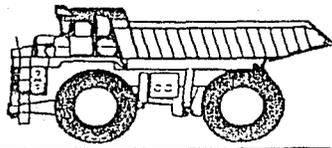
02 SOBRESTANTE  
04 ELECTRICISTA  
02 BOMBERO  
02 COMPRESORISTA  
04 SOLDADOR  
08 CHOFER  
04 MANIOBRISTA  
02 CHECADOR DE ACTIVIDADES



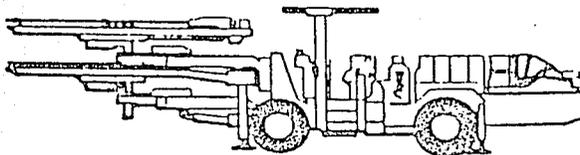
Camión de Canastilla



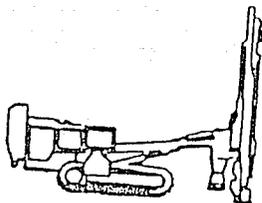
Cargador Frontal 90-C



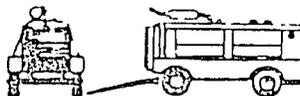
Euclid  
MAQUINARIA UTILIZADA



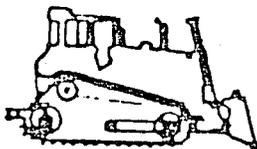
Jumbo Electrohidráulico Tamrock



Track-Drill  
Ingersoll-Rand



Compresor Portátil



tractor D8N

Caterpillar

MAQUINARIA UTILIZADA

## CAPITULO 4.

### TRATAMIENTO DE LA ROCA

#### 4-00.00 TRATAMIENTO DE LA ROCA.

El tratamiento de la roca, 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 puede realizarse más de dos voladuras dependiendo de las condiciones geológicas y propiedades mecánicas de la roca.

Este capítulo trata de explicar claramente el seguimiento de los tratamientos conforme al avance de excavación en la Casa de Máquinas, por lo que presentaremos el tratamiento aplicado en la bóveda de Casa de Máquinas que corresponde a la primera etapa de excavación y se continuará presentando el tratamiento utilizado conforme se realizó la secuencia de excavación.

El tratamiento en la bóveda fue anclaje de tensión, el cual fue de proyecto analizado de acuerdo a los estudios geológicos previos a la excavación, pero conforme avanzó la excavación se realizaron otros estudios geológicos, en los cuales se ordenaron instrucciones de anclaje adicional al de proyecto. (Ver plano de tratamientos Casa de Máquinas.)

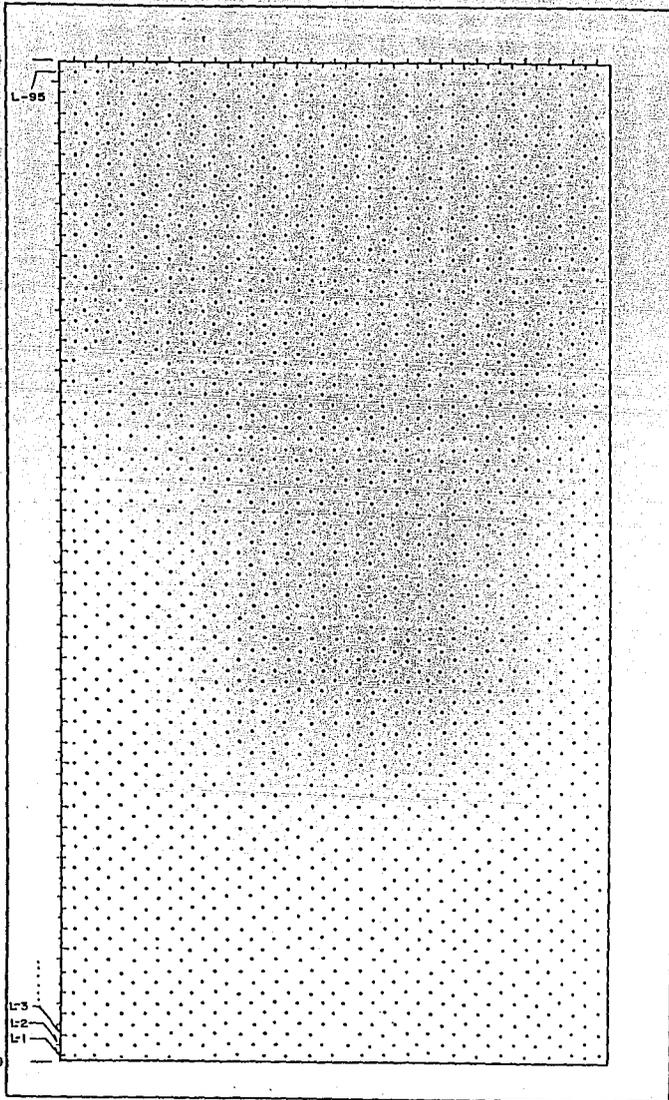
Estos estudios geológicos son entregados para su análisis al Departamento de Mecánica de Rocas, que es el encargado de diseñar las instrucciones de anclaje adicional y también es encargado de mandar cualquier otro tipo de tratamiento, ya sea anclaje de fricción, concreto o mortero lanzado, drenaje, malla electrosoldada o bien marcos metálicos de ademe. A continuación se muestra el anclaje de proyecto que fue aplicado en esta bóveda. (Ver figuras 4-00.01 y 4-00.02)

0+134

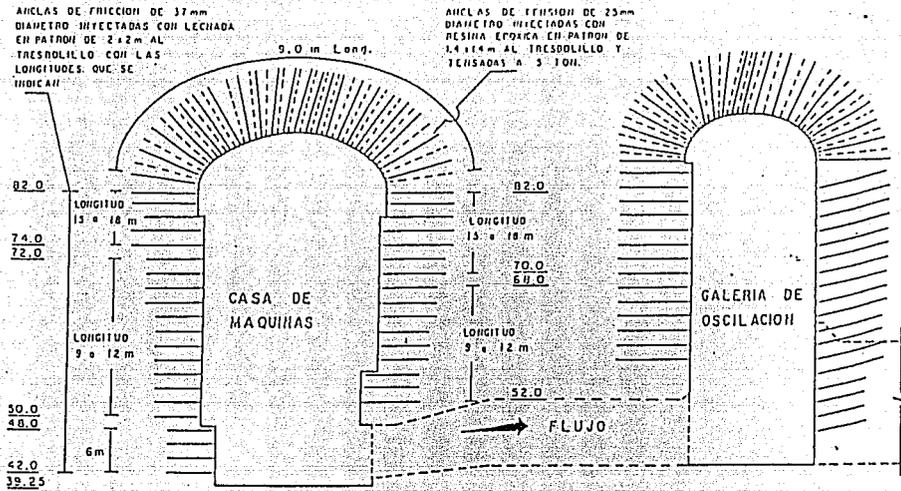
L-95

0+000

L-3  
L-2  
L-1

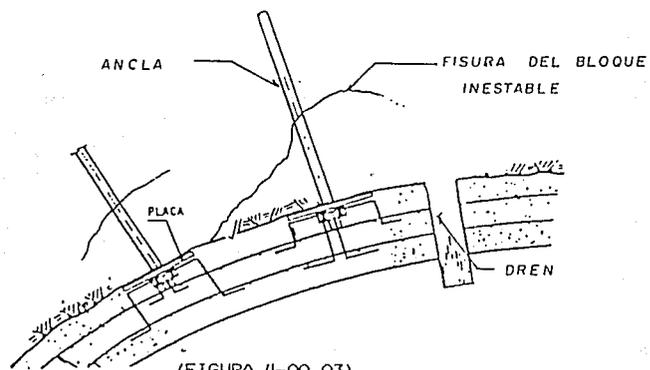


(FIGURA 4-00.01)



(FIGURA 4-00.02)

El anclaje de tensión utilizado en la bóveda en la Casa de Máquinas, tiene la función de sujetar los bloques de roca inestables, por lo que la barrenación para introducir estas anclas de varilla corrugada se diseña con una profundidad mayor a la que tiene el bloque. (Ver figura 4-00.03).



(FIGURA 4-00.03)

Para el anclaje de tensión o de fricción, se diseñó la separación entre

anclas (patrón) de acuerdo a la resistencia de cada ancla:

Considerando el peso de volumen de roca a sostener, la resistencia se obtiene de la siguiente manera:

Con una varilla de 1 1/2"

Obtenemos el área.

$$A = \pi R^2 \quad \text{---} \quad A = \text{Area} \quad \text{---} \quad \pi = 3.1416$$

$$A = 3.1416 (1.5 \times 2.54/2)^2$$

$$A = 11.40 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

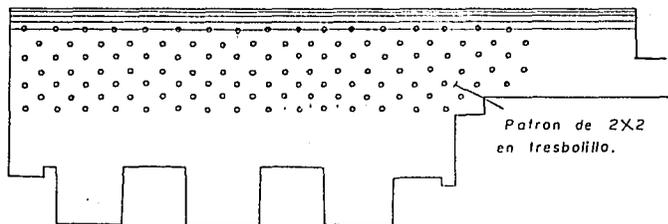
$$A \times f_y = 11.40 \text{ cm}^2 \times 4200 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{---} \quad A \times f_y = \text{Resistencia del ancla}$$

$$R = 47880 \text{ Kg}$$

$$R = 47.88 \text{ Toneladas.}$$

Y así teniendo la resistencia de cada ancla, se distribuye el número de ellas en el área del bloque determinado.

Posteriormente al iniciar el primero, segundo y tercer banqueo se inicio el anclaje sistemático para las paredes aguas arriba y aguas abajo, el tratamiento del anclaje de proyecto para estas paredes fué el siguiente ver figura ( 4-00.04 )



(FIGURA 4-00.04)

## PROCEDIMIENTO PARA PERFORACION E INYECCION DE ANCLAS

### 1.- ANCLAJE DE FRICCION CON MEZCLAS

Perforación y lavado de barrenos.

Para la perforación debe utilizarse el diámetro compatible con la varilla, que consiste en:

Varilla	Perforación mínima
Diám.	Diám.
1"	2 ¼"
1½"	3"

Durante la barrenación o posteriormente, debe lavarse toda la longitud del mismo hasta recuperar el agua limpia y libre de detritos de barrenación.

Preparativos y procedimiento de colocación del ancla.

Deben colocarse tres centradores de 1/4" de diám. como mínimo al rededor del ancla de 10 cm. de longitud y espaciados a cada 1.5 y 2 m para varilla de 1 1/2" Y 1" de diám. respectivamente.

Se instalará a todo lo largo del ancla una manguera flexible de 1/2" a 3/8" de diám. con la finalidad de desalojar el aire y permitir el retorno de la mezcla garantizando el llenado de todo el barreno, adicionalmente se colocará una manguera de poliductode aproximadamente 35 ó 40 cm. introducido 10 cm. del barreno en la manguera que servirá para la inyección del ancla y el resto en el exterior.

Es recomendable colocar las anclas en bancos para evitar el contacto con el piso, ya que no es permitido colocar las anclas con residuos orgánicos, oxidación tierra, etc.

Después de colocada el ancla se procede al calafateo con mortero seco en el brocal del barreno, dejando libre las mangueras de inyectado y testigo.

#### Mezclas de inyección

Se estudiaron en el laboratorio dos mezclas base para inyección de anclas y consistieron en:

Lechadas con agua-estabilizador de volumen- cemento, mezcla que deberá usarse únicamente en medios confinados o cerrados. Y los morteros con agua acelerante (si se requiere) cemento y arena, para los morteros se han estudiado dos mezclas, una para cemento tipo I y cemento puzolánico. Se relacionan las dosificaciones base, propiedades físicas para obtener manejabilidad y resistencia final al diseño.

#### Morteros

Cemento tipo I (Monterrey o Tolteca)	Propiedades físicas.
Agua 24.5 Lts.	Fluidez 11 - 13 Seg.
Acelerante*	Densidad 1.9-2.0 Gr/cm <sup>3</sup> .
Cemento 50 kg.	R.C.S. 28 días 240 kg/cm <sup>2</sup>
Arena+	
Cemento puzolánico (Guadalajara)	Propiedades físicas.
Agua 28.5 Lts.	Fluidez 11-13 Seg.
Acelerante*	Densidad 1.8-1.9 seg.
Cemento 50 Kgs.	R.C.S. a 28 días.
Arena+	210 kg/cm <sup>2</sup> .

\* Acelerante.- El uso de acelerantes es permisible y necesario para soporte de construcción en distancias inferiores a 25 m. del frente de

excavación y tiempo mínimo para reanudar la excavación de 9 hrs. la cantidad de acelerante por preparación base del mortero es:

Quimicerte ——— 2.00 Lts.

Fester Mix ——— 0.25 Lts.

Sika Crete ——— 0.15 Lts

+ Arena .- Los gramos de arena permiten tamaños que pasen la malla No. 16 1.5 mm. aprox. (malla mosquitero) y permisible un grado de humedad de 3 a 5 % en caso contrario se hace corrección en campo

Lechadas

Cemento puzolánico o tipo I (Guadalajara o monterrey o tolteca).

Agua	26 lts.	Propiedades físicas
Intraplast "c"	175 Gr.	Fluides 9-11 seg.
Cemento	50 Kg.	R.C.S. a 28 días 205 Kg/cm <sup>2</sup> .

Vida útil de la mezcla

En base a últimas pruebas de laboratorio para determinar la vida útil de las mezclas con agitación, permitiendo una pérdida máxima de resistencia del 7% es como sigue:

Mortero	45 minutos.
Lechada	30 minutos

En caso que el cemento tenga temperaturas de 40° C debe reponerse el fraguado inicial con agitación violenta y se reducirá la vida útil en 10 min. Para los dos casos.

Para la dosificación debe asegurarse recipientes calibrados e indeformables.

No debe permitirse el cemento hidratado ni mezclas con grumos.

## PROCEDIMIENTO DE INYECCION DE ANCLAS

Después de preparar la lechada o mortero se procederá al inyectado del ancla con tanque presurizado, dejando fluir la mezcla por el poliducto y verificando la salida del aire y mezcla por la manguera testigo flexible hasta el llenado total, dándose un dobléz y amarre al poliducto y manguera para evitar el retorno de la mezcla. Debe asegurarse el llenado del barreno por lo menos el volumen teórico que es equivalente a lo siguiente:

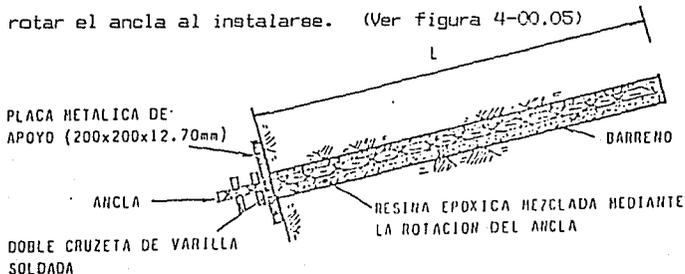
Diám. barreno pulgada	Diám. ancla Pulgada	Vol. de mezcla/m. Lts
3	1 ½	3.5
2 ½	1	2.2

Debe asegurarse por lo menos una presión de inyección de 5 Kg/cm<sup>2</sup>. en el tanque presurizado (satélite).

## 2.-ANCLAJE DE FRICCION CON RESINA EPOXICA EN TODA SU LONGITUD.

### Características del ancla

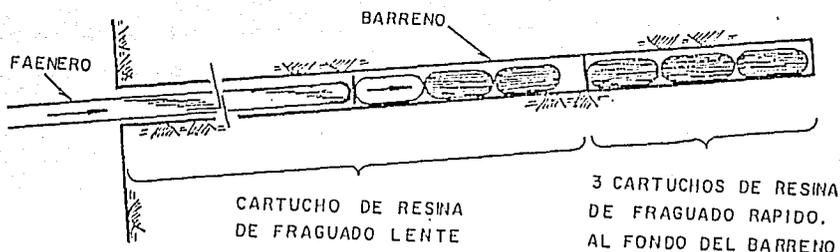
Varilla corrugada de 1" ó 1 ½" de Diám. y hasta 9 m. máximo de longitud, ésto debido a la dificultad en su colocación, en un extremo de la varilla debe terminar en punta y en el otro colocar placa y soldar una cruzeta para rotar el ancla al instalarse. (Ver figura 4-00.05)



Llenado del barreno con resina.

Debe colocarse al fondo del barreno de dos a tres cartuchos de resina de fraguado rápido (1 a 2 min. ) el resto con resina de fraguado lento hasta llenar todo el barreno de cartuchos.

Deben introducirse los cartuchos de dos en dos ó más e intercalando sombreros o canastillas para evitar que éstas se regresen o caigan. (Ver figura 4-00.06)



(FIGURA 4-00.06)

Colocación del Ancla.

Se introduce el ancla por la punta empujándola con el equipo de perforación, implantándose a éste equipo un adaptador conveniente de acuerdo a las características del mismo, se introduce al fondo del ancla y se hace rotar a velocidad por espacio de 15 a 20 seg., se deja inmóvil el empujador ancla por espacio de uno a dos minutos y luego se retira.

Es recomendable efectuar prueba de extracción del ancla en las primeras que se instalen, además se debe asegurar que la longitud del barreno sea igual a la del ancla para evitar oquedades dentro del barreno y sin resina.

La relación de diámetro del ancla-cartucho-barreno, debe elegirse en base a las recomendaciones del fabricante, tomando en cuenta la limitación del equipo y pruebas de verificación (ver tabla No.1 anexa).

### 3.-ANCLAJE DE TENSION FIJADAS CON RESINA EPOXICA.

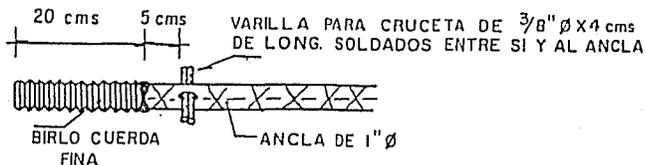
#### Perforación

Se perforará la longitud y diámetro indicado en el proyecto lavando adecuadamente el barreno.

#### Características del Ancla.

Consistirá en varilla corrugada de diámetro y longitud de proyecto con preparativos en cada extremo como sigue: Terminación en punta rosca de varilla o soldar cold roll con cuerda en una longitud de 20 cm, se recomienda soldadura E7018 y biselar las puntas de varilla cold roll.

Se soldará o fijará rondana metálica o plástico rígido a la longitud requerida de fijación. (Ver figura 4-00.07)



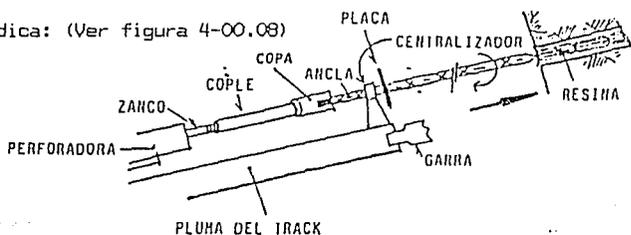
(FIGURA 4-00.07)

Llenado del barreno con resina epoxica.

Se procederá a colocar la resina necesaria para dar la longitud de adherencia requerida, de acuerdo a la relación de diámetro ancla-cartucho-barreno, fijando los cartuchos con sombrero o canastillas para evitar que se regresen.

#### Colocación del Ancla

Se introduce el ancla hasta el fondo con el equipo elegido y se da la rotación de 15 a 20 seg. y se deja inmovil el empujador-ancla de uno a dos minutos y se retira, la colocación de la rondana impedirá la salida de resina después de la longitud de adherencia requerida, después de 60 minutos se procederá a colocar placas y tuercas en el extremo para dar la tensión proyectada o necesaria con llaves o equipo de rotación calibrado y como se indica: (Ver figura 4-00.08)



(FIGURA 4-00.08)

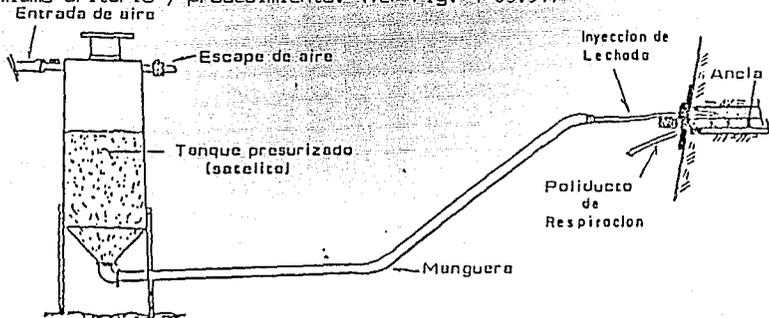
diámetro pulg.	tensión Ton.
1	16
1 ½	35

Se procederá hacer las pruebas necesarias de verificación de la tensión en forma permanente durante y posterior a la excavación hasta un inyectado final.

### Inyectado Final.

Después de no interferir con la excavación y a la brevedad se procederá a la inyección del ancla con mortero en el tramo no inyectado desde el brocal hasta la zona de resina con el procedimiento indicado en este mismo tema en las secciones "Preparativos y Procedimiento de colocación del ancla" y "Mezclas de inyección".

De esta manera se llevó acabo el anclaje en toda la Casa de Máquinas, así mismo se diseñó el tratamiento en las estructuras adicionales, siguiendo el mismo criterio y procedimiento. (Ver Fig. 4-00.09)



(FIGURA 4-00.09)

### 4-01.00 SECUENCIA ENTRE EXCAVACION Y SOPORTE.

La secuencia entre voladuras y soporte o tratamientos, es diseñado de acuerdo a un análisis de las condiciones del terreno, además depende de la función a la que esté destinada la estructura en excavación ya que se lleva más tiempo y cuidado cuando la estructura tiene un destino definitivo en cuanto a su vida útil.

Puede realizarse desde un tratamiento cada voladura, hasta uno de cada 5 ó 6 máximo voladuras.

#### 4-02.00 TIPOS DE SOPORTE UTILIZADO.

Estos tipos de soporte o tratamientos en excavaciones subterráneas, son las siguientes.

- ANCLAJE
- ANCLAJE DE FRICCIÓN CON RESINA
- ANCLAJE DE FRICCIÓN CON LECHADA
- ANCLAJE DE FRICCIÓN CON MORTERO
- INYECCIÓN DE CONSOLIDACIÓN
- DRENAJES
- COLOCACIÓN DE MALLA ELECTROSOLDADA
- MORTERO O CONCRETO LANZADO.

#### 4-03.00 CONCRETO LANZADO Y MALLA

Se propone el uso de concreto lanzado para recubrimiento de túneles. Para esto se deberá estudiar el tipo de roca y determinar el tipo de concreto y sus características. Expondremos algunos conceptos al respecto.

Las presiones de roca no pueden ser determinadas cuantitativamente, si la tensión superficial que aparece en el perímetro de una excavación excede la estabilidad de la roca, ésta se vuelve inestable y deberá ser soportada para no fallar.

Para asegurar estabilidad el terreno deberá ser apuntalado, originalmente se hacía con madera y recientemente con acero a lo largo del eje de excavación o lateralmente con concreto lanzado.

El uso de concreto lanzado nos da ahorro de aproximadamente 50 % con respecto al uso de marcos de acero, este ahorro es en tiempo y dinero. Al usar concreto lanzado otra ventaja es que al efectuarlo se obtiene un sellado casi perfecto del túnel, lo que con el acero no es posible; otra ventaja palpable es que se puede ir lanzado a medida de que se excava y un método consiste en lanzar la mitad superior del túnel mientras se excava la parte inferior.

## PROPIEDADES.

Un concreto lanzado bien aplicado es un material estructuralmente adecuado, durable y capaz de tener una muy buena adherencia con concreto, acero, roca y algunos otros materiales, claro que estas propiedades se consiguen con una planeación y supervisión adecuada.

La relación agua-cemento generalmente está en un rango de 0.25 a 0.50 en peso que es sensiblemente más bajo que en el concreto común. En general las propiedades físicas del concreto lanzado son comparables a las del concreto común, teniendo ambos la misma composición. La mayoría de los resultados reportados para la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días son del orden de 200 kg/cm<sup>2</sup>. y se han llegado a obtener en especímenes de prueba hasta 700 kg/cm<sup>2</sup>. Se recomienda que resistencias de 200 kg/cm<sup>2</sup>. en adelante solo sean especificadas para obras donde existirá un adecuado control de calidad y supervisión.

El agrietamiento por contracción en el concreto lanzado depende del proporcionamiento empleado, pero generalmente es el orden de 0.5 % al 2 %, esto es un poco más alto que el del concreto común, pues en este se usa un tamaño máximo de agregado mayor y una mezcla más pobre.

La durabilidad del concreto lanzado en pruebas de laboratorio y en campo es en general buena, pero es posible proteger dicho concreto con algún aceite o con otro tipo de protección cuando éste va a ser sometido a un severo ciclo de congelamiento o agua por largos periodos. Si el concreto lanzado es aplicado a una superficie no durable y no adecuada, puede perder adherencia y desprenderse al cabo de algunos años.

#### AGREGADOS.

La grava y arena empleada para el lanzamiento de concreto deben cumplir las especificaciones de la STM y deberán estar razonablemente secas y limpias. El módulo de finura deberá estar entre 2.4 y 3.2 el agregado fino no deberá tener más de 2 % de contaminación, ya que entorpecería el proceso cementante.

Se recomienda que el tamaño máximo de agregados sea de 25 mm. Aunque es posible lanzar con más de 38 mm. pero el rebote se vuelve excesivo y por lo tanto antieconómico.

El agregado deberá estar bien graduado y ser resistente y es preferible el uso de material redondeado, aunque se pueda aceptar material de trituración, pero un material demasiado lajeado deberá ser rechazado pues afectaría la relación agua-cemento. En general el material que no presenta exceso de un tamaño o falta de él, cae dentro de la gráfica granulométrica y es aceptado.

#### PROPORCIONAMIENTOS.

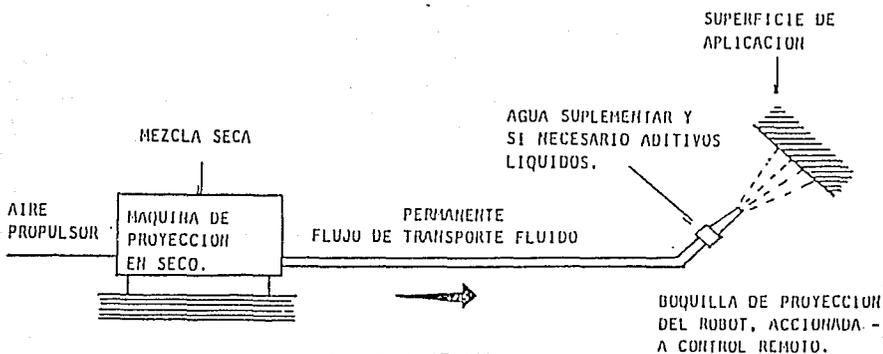
Como para el concreto común en el concreto lanzado la calidad de éste dependerá del proporcionamiento. Por economía se deberá usar la mínima cantidad de cemento por m<sup>3</sup>, pero sin sacrificar calidad; como la calidad depende de la relación agua-cemento, se usará la menor cantidad de agua posible, usando el tamaño máximo de agregado permisible. Se usará menos agua y se obtendrá mayor resistencia.

La relación agua-cemento se deberá tomar en un rango de 0.32 a 0.45 según la calidad, graduación y tamaño de los agregados, por ejemplo para agregados cuyo T.M.A. es mayor que 25 mm., la relación agua-cemento ideal será de aproximadamente 0.4.

Comparado con el concreto común se requiere una resistencia a la tensión mayor en el concreto lanzado, especialmente si se usa como soporte en túneles. Se establece que las resistencias últimas a la tensión y compresión para aplicaciones bajo tierra, son de una importancia secundaria puesto que el esfuerzo máximo en la zona de soporte ocurre a edades tempranas del concreto. En casos extremos esto ocurre solo algunas horas después de la aplicación del concreto lanzado.

#### ALIVA

Es un amáquina de proyección y transporte equipada con un rotor de máximo rendimiento, para la elaboración de mezclas secas. (Ver figura 4-03.01)



#### METODO DE TRANSPORTE DE CONCRETO LANZADO

PROYECCION DE CONCRETO EN SECO.

CONCRETO LANZADO EN LA BOVEDA.

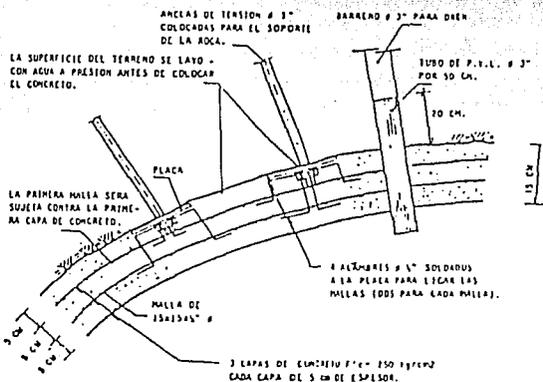
La bóveda de la Casa de Máquinas ameritaba este tratamiento y fue dictaminado mediante previo estudio de la zona y empezó a partir del

cadenamiento 0+000 al 0+131. El objetivo principal es de evitar cualquier desprendimiento de rocas durante la excavación y garantizar la estabilidad en la operación de la planta.

El concreto lanzado colocado en la bóveda, consistió en 3 capas de 5.0 cm. de espesor cada una y una malla electrosoldada de 15 x 15 x 3/16" diámetro. La resistencia del concreto es de 250 kg/cm<sup>2</sup>. (Ver figura 4-03.02)

La máquina utilizada fue un equipo Robot semiautomático de alto rendimiento, controlado remotamente por un solo operador.

#### CONCRETO LANZADO EN BÓVEDA



(FIGURA 4-03.02)

#### VENTAJAS OBSERVADAS DEL CONCRETO LANZADO.

- Adhesión perfecta de los materiales proyectados sobre la base.
- Llenado seguro de todas las grietas y desigualdades, especialmente en la construcción subterránea.
- Factor reducido agua-cemento.

- Alta resistencias en poco tiempo, mediante el agregado de acelerantes de freguado rápido.
- Alta impermeabilidad.
- Posibilidad de una rápida consolidación de construcciones en peligro, especialmente en construcciones subterráneas.

#### PREPARACION DE LA SUPERFICIE.

En principio se debe proyectar sobre una superficie limpia, ya que sobre una base sucia con impurezas, se reduce fuertemente la capacidad adhesiva del concreto lanzado. La superficie se limpia sencillamente con la pistola proyectora, es decir con aire comprimido y agua.

La proyección deberá realizarse siempre sobre una superficie bien humedecida.

Sobre la superficie no deberá fluir agua, ya que en caso contrario, se puede escurrir el concreto lanzado.

Durante la proyección, especialmente si es superficie dura en el primer momento el rebote es realmente elevado, sin embargo este se reduce rápidamente tan pronto como la superficie se cubre con una primera capa.

#### DISTANCIA DE LA BOQUILLA.

La distancia óptima entre la boquilla y la superficie a proyectar es de 1 m.

#### REBOTE

El rebote proviene principalmente del agregado grueso de la mezcla seca, no se debe reutilizar el rebote en ningún caso, ya que si se añade a la

mezcla seca, se podrá esperar que se reduzca la resistencia a la compresión, debido a que una parte de los granos de rebote se encuentra rodeada de pasta de cemento, la cual se endurece y esto reduce la adhesión en la estructura del concreto lanzado. El porcentaje real de rebote obtenido de acuerdo a pruebas de campo fue el 17 %.

#### INSTRUMENTACION

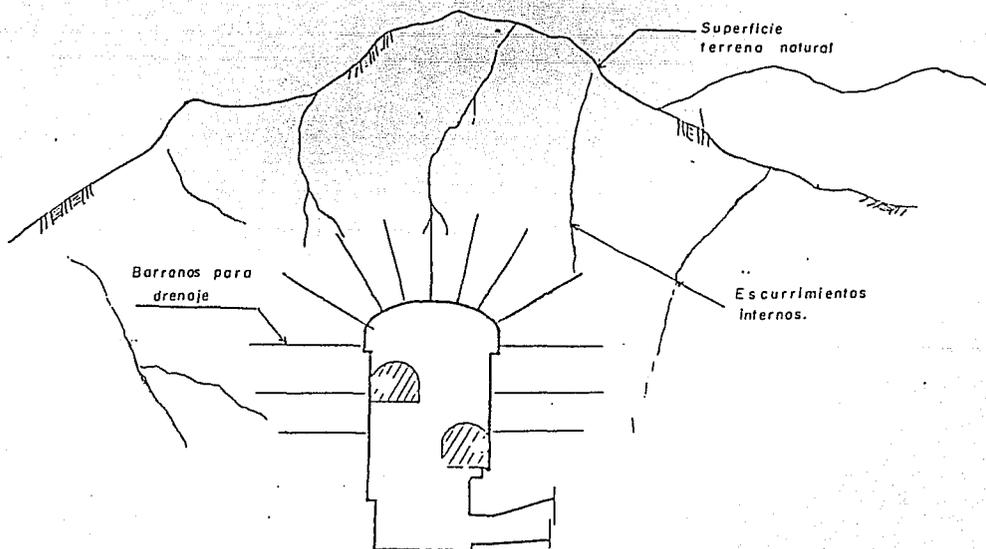
La instrumentación consistió en la colocación de sistemas de medición que permiten los posibles desplazamientos de los bloques de roca.

La instrumentación se realizó con extensómetros de barra colocados en barrenos de 3" diámetro.

#### 4-04.00 DRENAJES

La barrenación para drenaje en la bóveda y paredes de Casa de Máquinas, se realizó con el objeto de dar alivio a las presiones hidrostáticas de filtraciones y escurrimientos, procedentes de la superficie del terreno natural.

Esta operación es uno más de los tratamientos a la roca aplicados en esta excavación, las profundidades de la barrenación para drenaje es dictada de acuerdo al grado de humedad encontrado en el terreno, así como la distribución de cada uno de estos barrenos. (Figura 4-04.01).



(FIGURA 4-04.01)













CAPITULO 5  
CONCLUSIONES

El estudio de los métodos de excavación subterránea analiza día con día la forma de hacerlas más prácticas, rápidas y económicas, esto nos lleva a poner en práctica la teoría mediante pruebas realizadas en sitio y de acuerdo a esto seleccionar los métodos más productivos para que posteriormente sean utilizados en otras obras de este tipo.

Es importante recalcar las ventajas y desventajas en la construcción de un proyecto hidroeléctrico, dejando un antecedente que pueda ser aprovechado a futuro.

La distribución de los elementos y estructuras que conforman el conjunto de la obra, deberán analizarse de manera que no interrumpen el avance de otros frentes o áreas de trabajo, hasta donde el diseño lo permita; así mismo el excavar demasiados detalles o estructuras en espacios demasiado cortos nos acarrea problemas con la estabilidad del macizo rocoso pues sufre daños excesivos aún utilizando la técnica de voladuras controladas. Aunque en el diseño de una casa de máquinas debe contemplarse la cuestión económica, es importante considerar la seguridad de la vida útil.

La geometría de la excavación debe ser la más simple posible, evitando a lo máximo escalones y apoyos de macizo rocoso utilizados para equipo y trabe carril de la grúa viajera, ya que es prácticamente imposible labrarlos pues dependen de gran medida del patrón de fracturamiento natural del macizo. La experiencia ha demostrado que la solución más práctica es utilizar elementos de estructura metálica apoyados en el fondo de la caverna.

La elevación de pilares ó apoyos de roca en una caverna es arriesgado a un alto costo, ya que es muy factible hacer reposiciones o bien un anclaje imprevisto que garantice la calidad del macizo rocoso.

Es importante mencionar que el uso de mayor número de accesos hacia la

caverna, mejoró notablemente la coordinación de avances permitiendo producciones simultáneas en varios frentes y así también el cumplimiento cabal del programa de las excavaciones.

La caverna de casa de máquinas, siendo uno de los más complejos casos de excavación subterránea en México fue un éxito de construcción.

El trabajo ejecutado es un ejemplo de la aplicación de técnicas y métodos adecuados de voladuras en roca con especificaciones y controles exigentes a pesar de un programa tan recortado.

Se espera que el trabajo aquí presentado facilite el diseño, planeación ejecución de excavaciones subterránea en roca, de similar alcance.

## BIBLIOGRAFIA

- [1].- Manual para el uso de Explosivos, DUPONT Edición de 175 aniversario, Julio de 1991 E.I. DUPONT DE MEMOURS AND COMPANY INC.
- [2].- Uso de Explosivos de México, Atlas de México S.A. de C.V. Primera Edición, Junio 1988.
- [3].- Técnica Sueca de voladuras, RUNE GUSTAFSSON, ABA PUBLISHING COMPANY Westport Washington, U.S.A.
- [4].- Minutas de reunión semanal sobre revisión de acuerdos y compromisos contrarios en la construcción de las Obras de Generación del contrato 891049, Personal Técnico C.F.E. I.C.A. S.A. de C.V.
- [5].- Notas de Bitácora de obra, Supervisión Técnica de campo adscrito a Obras de Generación y Subestación.
- [6].- Instrucciones de Mecánica de Rocas, Personal Técnico de la G.I.E.C. - C.F.E.
- [7].- Reporte diario de actividades, Supervisión Técnica de campo adscrito a Obras de Generación y Subestación.
- [8].- Manual para el uso de explosivos DUPONT, S.A. de C.V. México E.I. DUPONT de Nemours and Co. (inc), Wilmington, Delaware 1989.
- [9].- Informe de Mecánicas de Roca MR-98-90 Asegurar el control y calidad de los tratamientos de soporte (instructivo) G.I.E.C. y C.F.E. México

[10].- Proyecto Hidroelectrico Aguamilpa Mesa Redonda. Homenaje al Prof. Raúl J. Marsal (1915-1990) impreso en México. Publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos , A.C.

[11].- Proyecto Hidroelectrico Aguamilpa Nay. México 1991. Comisión Federal de Electricidad