



40
2EJ
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS
CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE
TRANSFORMADORES DEL PROYECTO
HIDROELECTRICO ZIMAPAN, HGO."**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
JUAN MANUEL CORDOVA JIMENEZ**



DIRECTOR DE TESIS: ING. ERNESTO R. MENDOZA SANCHEZ

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-054/92

Señor
JUAN MANUEL CORDOVA JIMENEZ
Presente.

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

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS CAVERNAS DE CASA DE
MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES DEL P.II. ZIMAPAN, HGO."**

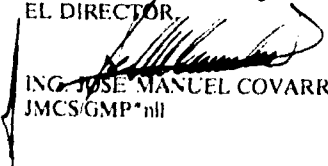
INTRODUCCION

- I. GENERALIDADES DEL PROYECTO**
- II. GEOLOGIA Y GEOTECNIA**
- III. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DE LAS CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES**
- IV. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 29 de agosto de 1995
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*nl

A MIS PADRES:

MA. MAGDALENA JIMENEZ DIAZ.

MANUEL JUAN CORDOVA GARCIA.

*Gracias por su ejemplo y apoyo en todo momento,
porque con sus consejos y cariño me brindaron la
oportunidad de salir adelante.*

A MI ESPOSA :

BLANCA ESTELA MARTINEZ DE CORDOVA.

A quien tengo siempre en mi pensamiento y es toda mi vida. Gracias por su amor y apoyo que me motivan a superarme cada día.

A MI HERMANA:

MA. MAGDALENA CORDOVA JIMENEZ.

(Con el cariño de siempre.)

A MI DIRECTOR DE TESIS:

ING. ERNESTO R. MENDOZA SANCHEZ.

*Gracias por su excelencia académica y orientación
durante el desarrollo de mi tesis.*

AL ING. SERVANDO ARANA GARCIA.

*Gracias por su valiosa colaboración y ayuda técnica,
así como por su apoyo moral durante mi estancia en
el proyecto.*

***A LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO.
YA SUS DISTINGUIDOS
PROFESORES.***

A MIS FAMILIARES.

A MIS AMIGOS.

***Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE HAN
CONFIADO EN MI.***

**TEMA: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS CAVERNAS DE
CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES
DEL P. H. ZIMAPAN, HIDALGO.**

INDICE

INTRODUCCION.

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.

- I.1. ASPECTOS GEOGRAFICOS E HIDROLOGICOS.
- I.2. SISMICIDAD.
- I.3. DATOS GENERALES DE LAS OBRAS QUE COMPOENEN EL PROYECTO.

II. GEOLOGIA Y GEOTECNIA.

- II.1. GEOLOGIA EN LA ZONA DE CASA DE MAQUINAS.
- II.2. GEOLOGIA DE SITIO.
- II.3. EXPLORACIONES REALIZADAS.
- II.4. PROPIEDADES DE LA ROCA.
- II.5. ESTRUCTURAS GEOLOGICAS RELEVANTES.

III. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DE LAS CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES.

- III.1. PROCESO CONSTRUCTIVO
- III.2. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION.
- III.3. USO Y CONTROL DE EXPLOSIVOS.
- III.4. SISTEMAS DE SOPORTE DE LA ROCA.
- III.4A. ANCLAJE.
- III.4B. DRENAJE.
- III.4C. CONCRETO LANZADO.
- III.5. INSTRUMENTACION.

IV. CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
No. 1 - PROYECTOS HIDROELECTRICOS SOBRE EL RIO MOCTEZUMA	2
No. 2 - LOCALIZACION DEL P.H. ZIMAPAN	3
No. 3 - CURVA DE LLENADO DEL VASO	5
No. 4 - OBRAS EN ZONA DE BOQUILLA	9
No. 5 - OBRAS EN ZONA DE CASA DE MAQUINAS	12
No. 6 - FORMACION " LAS TRANCAS "	14
No. 7 - BARRENACION REALIZADA EN EL AREA DE CASA DE MAQUINAS Y POZO DE OSCILACION	17
No. 8 - GEOLOGIA EN LA PARED AGUAS ARRIBA DE CASA DE MAQUINAS	21
No. 9 - GEOLOGIA EN LA PARED AGUAS ARRIBA DE CASA DE MAQUINAS (2)	22
No. 10 - GEOLOGIA EN LA PARED AGUAS ARRIBA DE CASA DE MAQUINAS (3)	23
No. 11 - GEOLOGIA EN TIMPANO IZQUIERDO DE CASA DE MAQUINAS	24
No. 12 - GEOLOGIA EN LA PARED AGUAS ABAJO DE CASA DE MAQUINAS	25
No. 13 - GEOLOGIA EN TIMPANO DERECHO DE CASA DE MAQUINAS	26
No. 14 - EXCAVACIONES EN LA ZONA DE CASA DE MAQUINAS	43
No. 15 - CASA DE MAQUINAS (SECUENCIA DE EXCAVACION)	44
No. 16 - PARED AGUAS ABAJO (SECUENCIA DE EXCAVACION)	45
No. 17 - PARED AGUAS ARRIBA (SECUENCIA DE EXCAVACION)	46
No. 18 - SECUENCIA DE EXCAVACION (BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS)	47
No. 19 - SECUENCIA DE EXCAVACION DE CASA DE MAQUINAS	48
No. 20 - SECUENCIA DE EXCAVACION DE CASA DE MAQUINAS (2)	49
No. 21 - SECUENCIA DE EXCAVACION DE CASA DE MAQUINAS (3)	50
No. 22 - SECUENCIA DE EXCAVACION DE CASA DE MAQUINAS (4)	51
No. 23 - SECUENCIA DE EXCAVACION DE CASA DE MAQUINAS (5)	52
No. 24 - GRAFICA DE RESISTENCIAS ADQUIRIDAS DE ESPECIMENES PROBADOS A EDADES TEMPRANAS DE DIFERENTES MEZCLAS	55
No. 25 - ANCLA INYECTADA CON MORTERO	70
No. 26 - ANCLA COLOCADA CON RESINA EPOXICA	74
No. 27 - ANCLAJE EN LAS CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES	80
No. 28 - ANCLAJE EN LA BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS	81
No. 29 - ANCLAJE EN PARED AGUAS ARRIBA (CASA DE MAQUINAS)	82
No. 30 - ANCLAJE EN PARED AGUAS ABAJO (CASA DE MAQUINAS)	83
No. 31 - ANCLAJE EN TIMPANO IZQUIERDO Y TIMPANO DERECHO DE CASA DE MAQUINAS	84
No. 32 - ANCLAJE EN LA BOVEDA DE SALA DE TRANSFORMADORES	85
No. 33 - ANCLAJE EN PARED AGUAS ARRIBA (SALA DE TRANSFORMADORES)	86
No. 34 - ANCLAJE EN PARED AGUAS ABAJO (SALA DE TRANSFORMADORES)	87
No. 35 - ANCLAJE EN TIMPANO IZQUIERDO Y TIMPANO DERECHO DE SALA DE TRANSFORMADORES	88
No. 36 - DRENAJE EN LAS CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES	91
No. 37 - DRENAJE EN LA BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS	92
No. 38 - DRENAJE EN PARED AGUAS ARRIBA (CASA DE MAQUINAS)	93
No. 39 - DRENAJE EN TIMPANO IZQUIERDO Y TIMPANO DERECHO DE CASA DE MAQUINAS	94
No. 40 - DRENAJE EN LA BOVEDA DE SALA DE TRANSFORMADORES	96

FIGURA	PAGINA
No. 41 - DRENAJE EN PARED AGUAS ABAJO (SALA DE TRANSFORMADORES) .	97
No. 42 - DRENAJE EN TIMPANO IZQUIERDO Y TIMPANO DERECHO DE SALA DE TRANSFORMADORES	98
No. 43 - TRATAMIENTO DE LA ROCA EN CAVERNAS.	99
No. 44 - OPERACION CARACTERISTICA DE CONCRETO LANZADO CON MEZCLA SECA	101
No. 45 - SECUENCIA DE LANZADO DE CONCRETO	112
No. 46 - SECUENCIA DE LANZADO DE CONCRETO (2)	113
No. 47 - SECUENCIA DE LANZADO DE CONCRETO (3)	114
No. 48 - SECUENCIA DE LANZADO DE CONCRETO (4)	115
No. 49 - SECUENCIA DE LANZADO DE CONCRETO (5)	116
No. 50 - DOSIFICACION DE LOS LANZADOS DE CONCRETO	117
No. 51 - EXTENSOMETRO DE BARRA	120
No. 52 - LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS EN CASA DE MAQUINAS (CORTE TRANSVERSAL)	123
No. 53 - LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS EN LA BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS.	124
No. 54 - LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS EN LA PARED AGUAS ARRIBA DE CASA DE MAQUINAS.	125
No. 55 - LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS EN LA PARED AGUAS ABAJO DE CASA DE MAQUINAS.	126

INTRODUCCION.

De acuerdo con la política de diversificación de fuentes de energía del Gobierno Federal, La Comisión Federal de Electricidad, ejecuta actualmente el diseño del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, localizado entre los límites de los estados de Hidalgo y Querétaro, aprovechando el potencial del río Moctezuma, el cual forma parte integral del sistema hidrológico del río Pánuco.

La finalidad principal es la generación de energía eléctrica, que en operación conjunta con otras plantas que se localizan aguas abajo del río y aunado a su relativa facilidad de interconexión a la red eléctrica, por su cercanía a las plantas termoeléctricas de Tula, en el estado de Hidalgo, y Sauz en el estado de Querétaro, permitirá atender las demandas de electricidad de la región central del país.

I.- GENERALIDADES DEL PROYECTO.

II.- ASPECTOS GEOGRAFICOS E HIDROLOGICOS.

UBICACION.

El P.H. Zimapán formará un sistema integral junto con otros cuatro proyectos para aprovechar al máximo el potencial del río Moctezuma, siendo el primero del sistema y también el primero que se construye. (Fig. No. 1).

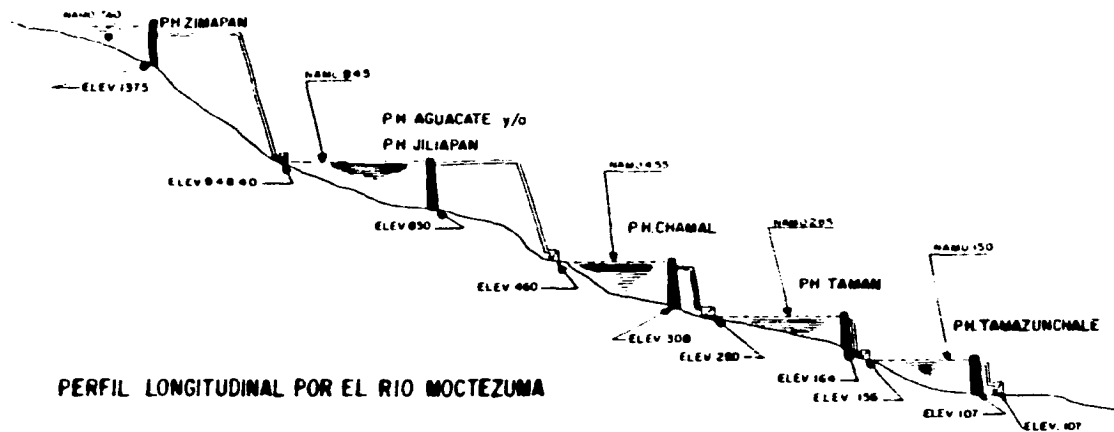
El proyecto está ubicado sobre el río Moctezuma (límite de los estados Querétaro e Hidalgo), en el Cañón del Infiernillo en la confluencia de los ríos San Juan al Oeste y Tula al Este. (Fig. No. 2).

El sitio previsto para la Cortina, se encuentra en las coordenadas geográficas 90° 30' longitud oeste y 20° 40' de latitud norte a 39 kms. de la población de Cadereyta de Montes, Qro. y a 30 kms. de Zimapán, Hgo.

La Casa de Máquinas está localizada a 36 kms aguas abajo de la Cortina, medidas sobre el cauce del río, quedando ligadas las obras con el Túnel de Conducción de 21 kms.

La población más cercana a Casa de Máquinas es San Joaquín, Qro., 62 kms. al norte de Cadereyta, Qro.

PROYECTOS HIDROELECTRICOS SOBRE EL RIO MOCTEZUMA



PERFIL LONGITUDINAL POR EL RIO MOCTEZUMA

ELEVACIONES EN M.S.N.M.

(Fig. No. 1)

ESTUDIO DE AVENIDAS.

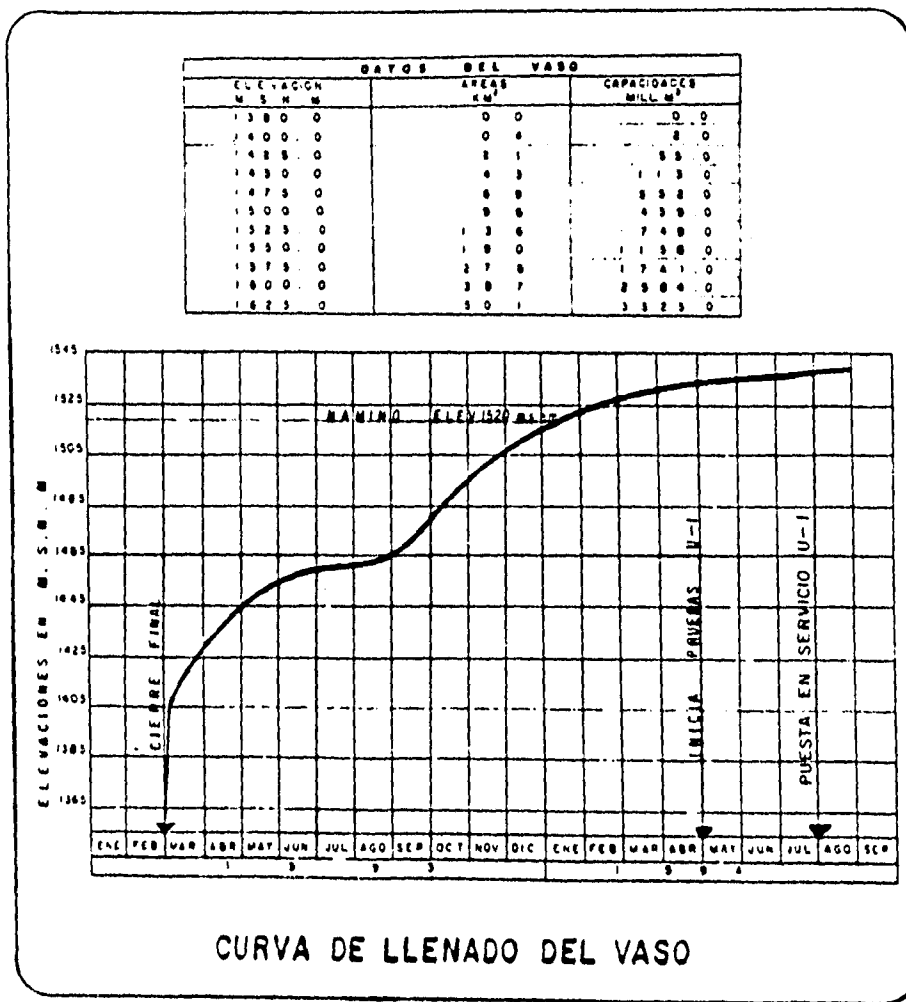
Dadas las características hidrológicas de la cuenca, se definieron las siguientes avenidas de diseño, tanto para la obra de desvío como para la obra de excedencias.

TR (PERIODO DE RETORNO)	GASTO MAXIMO	VOLUMEN
AÑOS	M³/SEG.	MILL.M³
10	632	310
20	842	403
10,000	2,960	1,209

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

HIDROLOGIA.

a)	Area de la cuenca del rio Pánuco	84,956 km ² .
b)	Area de la cuenca hasta Zimapán	11,870 km ² .
c)	Números de años de registro (deducidos)	(27 observados) .
d)	Escorrentamiento medio anual	982 mill.m ³ .
e)	Volumen medio mensual escurrido	81.8 mill.m ³ .
f)	Gasto medio	31.1 m ³ /seg.
g)	Volumen medio anual aprovechado	868 mill.m ³ .
h)	Gasto medio aprovechado	27.4 m ³ /seg.
i)	Porcentaje de aprovechamiento	88.1%.



(Fig No 3)

1.2.- SISMICIDAD.

La región de estudio se encuentra ubicada en la frontera de las provincias penesísmica y asísmica. La primera se caracteriza por sismos ocasionales, no mayores de 6 grados en la escala de Richter, en donde los epicentros más cercanos se localizan a 200 kms. al oeste en el Océano Pacífico.

Para adoptar el coeficiente sísmico se realizó un estudio de riesgo, para ello se localizaron los epicentros en una área de 100 kms. de radio a partir de la cortina, correspondientes a los eventos ocurridos en el periodo 1920-1984, de donde se concluye que la actividad es escasa y no hay evidencias históricas de eventos mayores a 5.5 grados en la escala de Richter. La aceleración máxima fue de 0.019g, en el sitio de la boquilla.

1.3.- DATOS GENERALES DE LAS OBRAS QUE COMPONEN EL PROYECTO

1.3A.- OBRAS DE CONTROL.

1.3A.1.- VASO DE ALMACENAMIENTO.

a)	Elevaciones.	Capacidad.
	NAMINO 1520 msnm	680 mill.m ³ .
	NAMO 1560 msnm	1,360 mill.m ³ .
	NAME 1563 msnm	1,426 mill.m ³ .
b)	Capacidad para azolves	250 mill.m ³ .
c)	Capacidad útil entre NAMINO-NAMO	680 mill.m ³ .
d)	Capacidad para control de avenidas NAMO-NAME	66 mill.m ³ .
e)	Area ocupada por el embalse al NAME	22.9 km ² .
f)	Area ocupada por el embalse al NAMO	21.8 km ² .
g)	Area ocupada por el embalse al NAMINO	13.0 km ² .

1.3A.2.- OBRA DE DESVIO CON TR=10 AÑOS.

a)	Caudal máximo avenida	632 m ³ /seg.
b)	Gasto del diseño máximo	618 m ³ /seg.
c)	Elevación ataguía aguas arriba	1405 msnm.
d)	Elevación ataguía aguas abajo	1385 msnm.
e)	Túnel sección portal	9.4 m. x 9.4 m.
f)	Longitud total	552 m.
g)	Volumen de la excavación del túnel	46,020 m ³ .
h)	Velocidad máxima	8 m/seg.
i)	Cierre provisional	Con obturadores mecánicos.
j)	Cierre definitivo	Tapón de concreto.
k)	Volumen de la avenida	310 mill.m ³ .

1.3A.3.- ATAGUIA AGUAS ARRIBA.

Estructura de materiales graduados con núcleo impermeable.

h - 24.0 m.

l - 174.0 m.

Sección trapecial de 90.00 a 12.00 m.

1.3A.4.- CORTINA.

a)	Tipo	Arco Bóveda de Concreto.
b)	Elevación de la corona	1,565 msnm.
c)	Longitud de la corona	80 m.
d)	Altura total al desplante	200 m.
e)	Volumen	200, 000 m ³ .
f)	Desplante (Elevación)	1,365 msnm.
g)	Bordo Libre	2 m.

1.3A.5.- OBRAS DE EXCEDENCIAS CON AVENIDA MAXIMA PROBABLE (TR=10,000 AÑOS).

a)	Gasto máximo avenida	2,960 m ³ /seg.
b)	Volumen de la avenida	1,209 mill.m ³ .
c)	Gastos del diseño descarga	2,539 m ³ /seg.
d)	Elevación de la Cresta	1,547 msnm.
e)	Longitud efectiva del cimacio	21.0 m.
f)	Compuertas	Radiales (3 de 7 m. x 14.35 m.) $r = 17.55$ m.
g)	Diámetro del túnel de la salida	13.70 m.
h)	Velocidad máxima del túnel	25.0 m/s.
i)	Longitud del túnel	535.0 m.
j)	Relación de llenado	0.7.

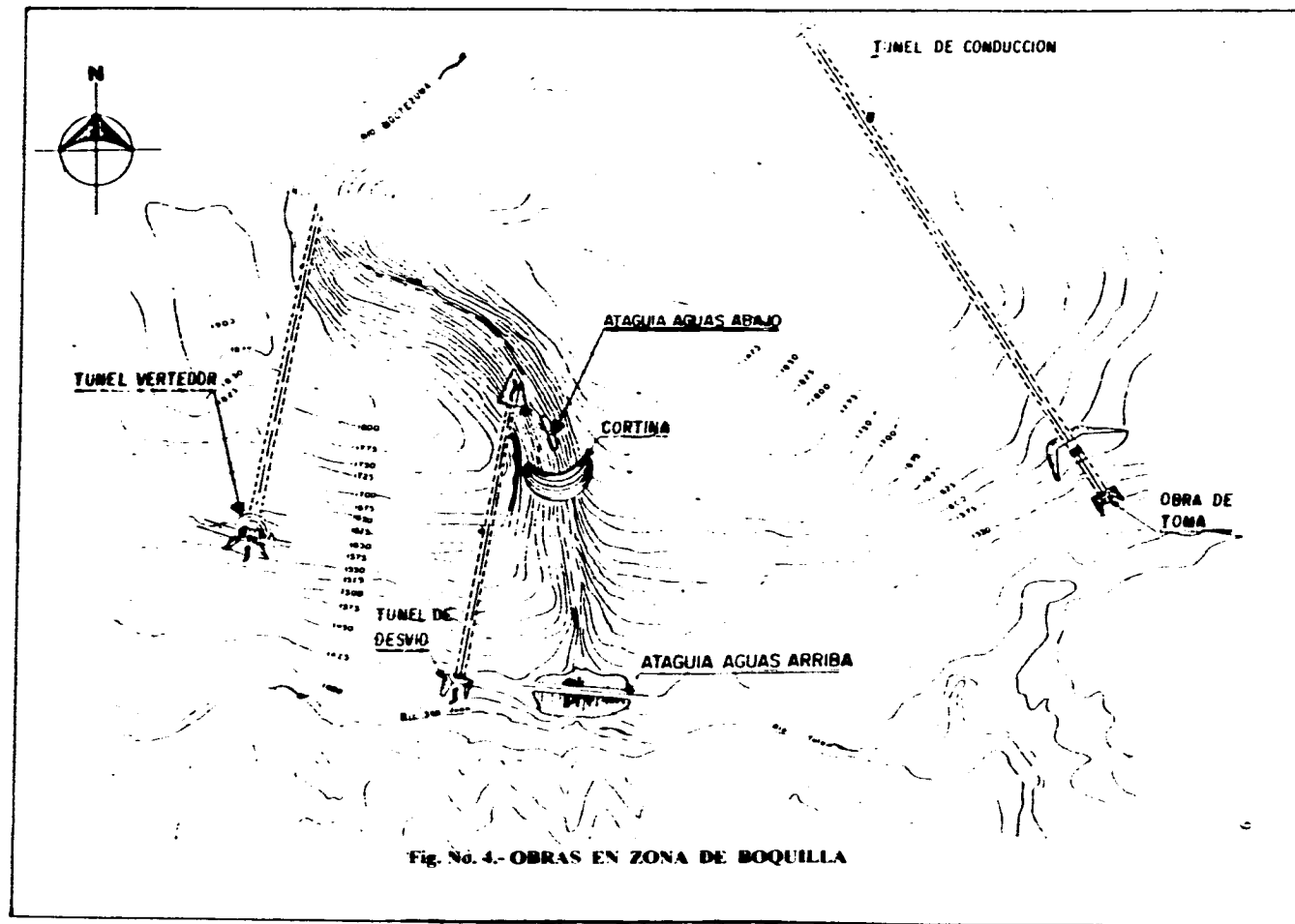


Fig. No. 4.- OBRAS EN ZONA DE BOQUILLA

1.3B.- OBRAS DE GENERACION.**1.3B.1.- OBRAS DE TOMA.**

a)	Tipo de toma	Rampa.
b)	Elevación de la obra de toma (Umbral)	1,500 msnm.
c)	Elevación plantilla en el canal de llamada	1496.5 msnm.
d)	Dimensiones de compuertas	2 de 3.90 m. x 4.50 m.
e)	Gasto máximo	59 m ³ /seg.
f)	Estructura de control	Tipo Lumbrera.
g)	Altura estructura de control	60 m.

1.3B.2.- TUNEL DE CONDUCCION.

a)	Diámetro del túnel de conducción	4.7 m.
b)	Longitud del túnel de conducción	21,000 m.
c)	Elevación inicial de la plantilla	1,500 msnm.

1.3B.3.- POZO DE OSCILACION.

a)	Longitud	132.0 m.
b)	Diámetro	15.0 m.

1.3B.4.- TUBERIA DE PRESION.

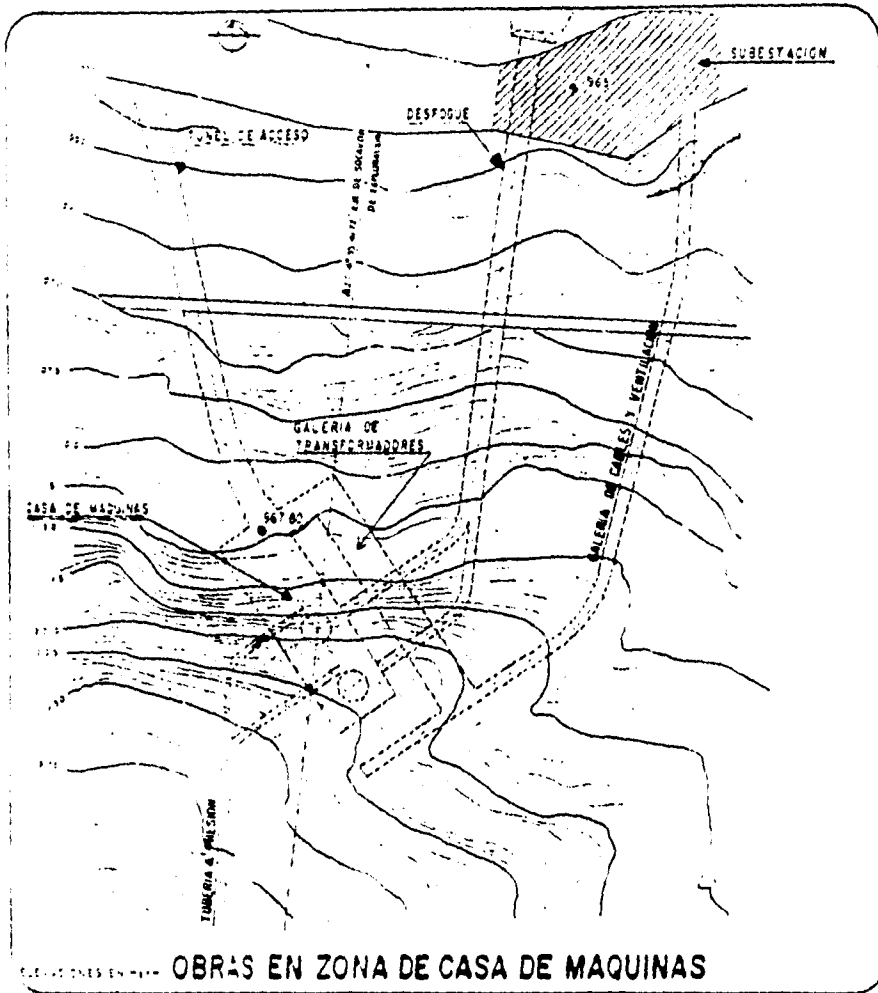
a)	Diámetro de la conducción a presión	3.5 m.
b)	Longitud de la conducción a presión	925.3 m.
c)	Diámetro de bifurcaciones	2.1 m.

I.3B.5.- CASA DE MAQUINAS (TIPO CAVERNA).

a)	Gasto de diseño por unidad	29.5 m ³ /seg.
b)	Elevación del eje del distribuidor	957 msnm.
c)	Velocidad de rotación de las turbinas	300 r.p.m.
d)	Carga bruta máxima al NAMO	603.0 m.
e)	Carga bruta mínima al NAMINO	563.0 m.
f)	Carga neta de diseño	563.3 m.
g)	Generador	147.4 mva.
h)	Potencia de cada unidad	140 mw.
i)	Capacidad instalada-2 pelton (6 chiflones c/una)	280 mw.
j)	Factor de planta medio anual	0.53.
k)	Generación media anual firme	1,139.6 gwh/año.
l)	Generación media anual secundaria	152.8 gwh/año.
m)	Generación media anual	1,292.4 gwh/año.
n)	Nivel de la subestación	965 msnm.
o)	Dos líneas de salida de Dañu, Hgo.	230 kv c/u.
p)	Longitud hacia la red Dañu, por Huichapan, Hgo.	80 kms.

I.3B.6.- DESFOGUE.

a)	Nivel medio de desfogue	950 msnm.
b)	Tipo	Sección Portal de 6.10 m. x 6.10 m.
c)	Longitud	200 m.



(Fig No 5)

II.- GEOLOGIA Y GEOTECNIA

II.1.- GEOLOGIA EN LA ZONA DE CASA DE MAQUINAS

El área de Casa de Máquinas está constituida por rocas sedimentarias de la Formación Las Trancas de edad Jurásico Superior, con diversos grados de metamorfismo de contacto y estructuras tales como sinclinales y anticlinales con rumbo N 30° - 60° W, recostados al NE.

II.1A.- ESTRATIGRAFIA

FORMACION LAS TRANCAS, Miembro Inferior.

Es un grueso paquete de calizas arcillosas y areniscas calcáreas intercaladas en estratos de 10 cm. a 1.0 m. de espesor con horizontes delgados de lutitas.

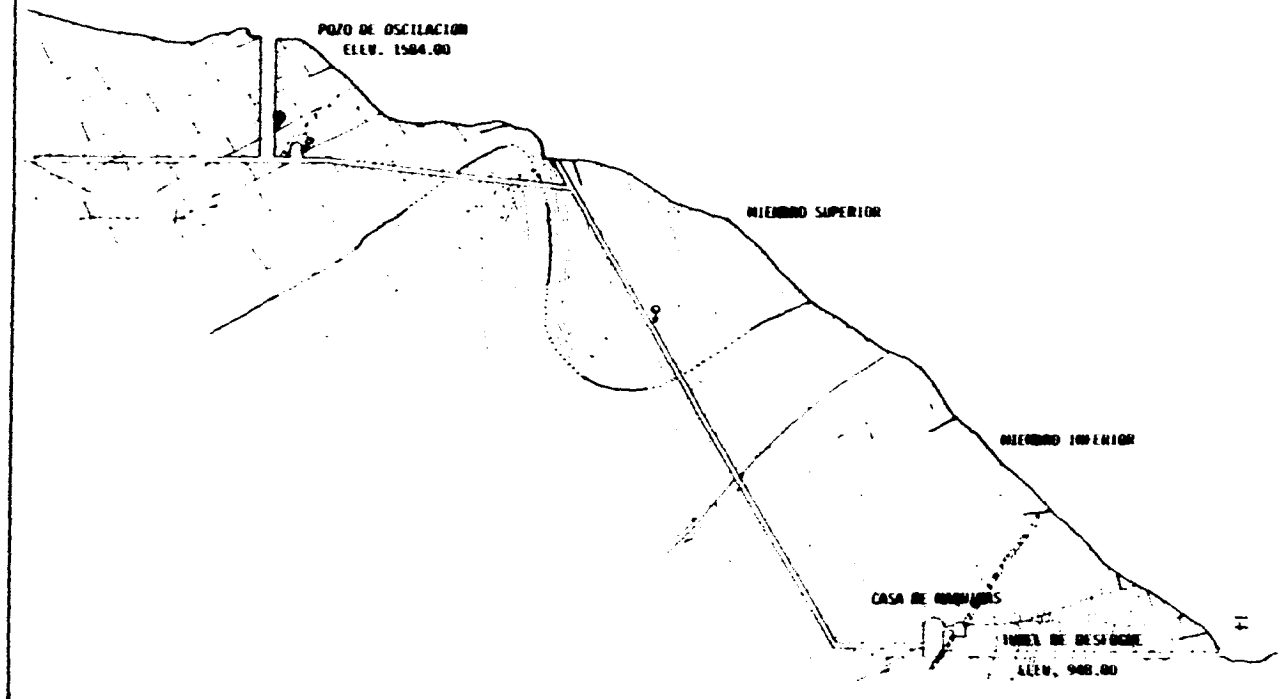
Este miembro inferior de la Formación Las Trancas se manifiesta desde el nivel del río hasta la cota 1,300. Su contacto inferior es desconocido y el superior es concordante con el miembro superior de la misma formación. (Fig. No. 6).

FORMACION LAS TRANCAS, Miembro Superior.

Está constituido por una alternancia rítmica de calizas y lutitas, de estratificación delgada a laminar, en estratos de 5 a 10 cm. de espesor en general.

Su contacto superior, se manifiesta en la cota 1,700 msnm, mientras que su contacto inferior está definido en la cota 1,300 msnm, en el trazo de la obra de conducción. (Fig. No. 6).

Fig. No. 6.- FORMACION "LAS TRANCAS"



II.2.- GEOLOGIA DEL SITIO

Las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores se localizan en la Unidad Geológica denominada Trancas Inferior, constituida por una alternancia de lutitas, calizas arcillosas y areniscas afectadas por un proceso de metamorfismo cuyo resultado es una roca metamórfica denominada **SKARN** de color negro.

El rumbo de la estratificación es NW 48 ° con echado de 24 ° a 30 ° al SW, casi paralelo al rumbo NW 35 ° del eje longitudinal de Casa de Máquinas.

El fracturamiento lo constituyen dos familias cuyas características estructurales son las siguientes: **f 1 = E-W CON 60 ° NE. Y f 2 = N-S CON 78 ° a 90 ° al SE.**

Estas condiciones geológicas originan que en la zona de Pilares de Roca entre las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores, la estratificación buze hacia la primer caverna, así como también una falla geológica cuyo contacto es variable de roca - roca, con relleno de calcita y en ocasiones relleno de calcita con arcilla.

II.3.- EXPLORACIONES REALIZADAS

La exploración geológica que se realizó para este proyecto se dividió en Exploración Directa y Exploración Indirecta.

II.3A.- EXPLORACION DIRECTA

La Exploración Directa consistió en la perforación de cinco barrenos con recuperación de núcleo, tres en la zona del Pozo de Oscilación y dos en el área de la Casa de Máquinas. Sus características principales se presentan en la Fig. No.7.

II.3B.- EXPLORACION INDIRECTA

Los estudios geofísicos consistieron inicialmente en seis líneas con un total de catorce tendidos sísmicos y dieciocho sondeos eléctricos schlumberger cuya interpretación indica una capa superficial con velocidades de 0.2 a 1.3 km/s y un espesor de 1.5 a 5.0 m. correspondientes al material aluvial y de talud, y un espesor de roca descomprimida de 7.0 - 33.0 m. como máximo. Subyaciendo a la anterior se tiene roca de buena calidad, con velocidades de 4.5 - 5.6 km/s.

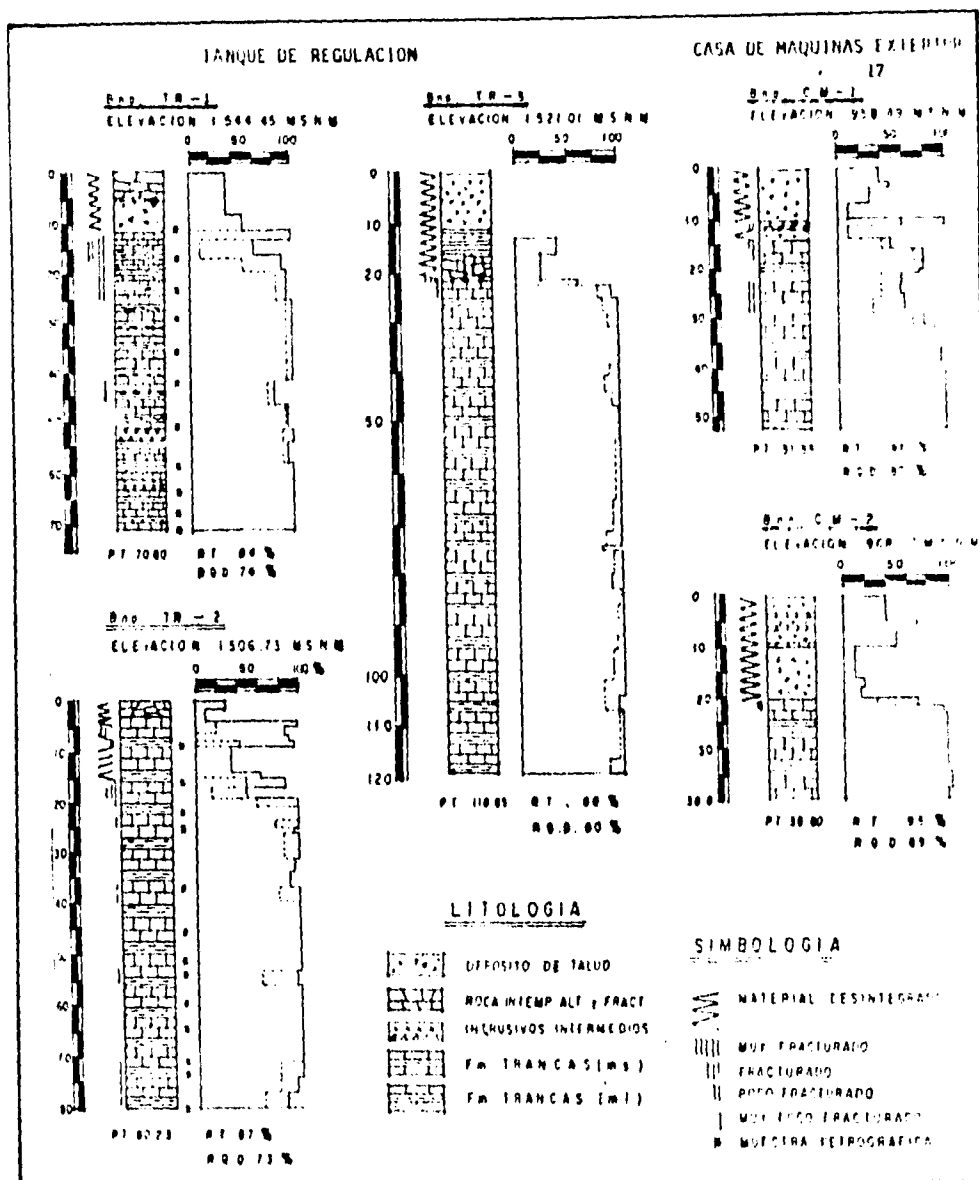


Fig No. 7.- BARRENACION REALIZADA EN EL AREA DE CASA DE MAQUINAS Y POZO DE OSCILACION.

II.4.- PROPIEDADES DE LA ROCA

Si se considera a la Formación Las Trancas en sus dos miembros como un solo macizo rocoso, con un comportamiento relativamente homogéneo es posible hacer una evaluación general del mismo.

De esta forma se procedió a clasificar al macizo tomando como base los datos de abertura, espaciamiento, resistencia, etc; y empleando los métodos del CSIR, NGI y CFE (geofísica) se obtuvieron los siguientes resultados:

CSIR (Bienawski) = RMR = 80 Corresponde a un macizo de buena calidad.

NGI (Barton) = Q = 7 - 14 Se asigna a macizos rocosos de calidad buena a regular.

CFE (Geofísica)	=	Vp	=	4.4 km/s	Valores que se consideran muy satisfactorios. Clasifican todo como un macizo de buena calidad.
		Vs	=	2.0 km/s	
		γ	=	0.37	
		G	=	106 ton/cm ²	
		E	=	291 ton/cm ²	
		K	=	381 ton/cm ²	
		S	=	2.7 gr/cm ³	

II.5.- ESTRUCTURAS GEOLOGICAS RELEVANTES.

IDENTIFICACION DE CUÑAS.

Durante las etapas de excavación que se realizaron tanto en la Casa de Máquinas como en la Sala de Transformadores, se fue realizando el cartografiado geológico con el fin de determinar la localización y características de las discontinuidades de las obras subterráneas.

Una vez determinada la continuidad de las estructuras, se identificó la formación de probables cuñas que podrían afectar la excavación de la Casa de Máquinas.

La conjugación de dichas discontinuidades se presenta a continuación:

a) En la Pared Aguas Arriba de Casa de Máquinas, se detectaron tres fracturas de la familia N - S, que al conjugarse con el sistema E -W, dan lugar a la formación de cuñas con salida hacia la excavación.

La combinación de la fractura "a" con la "f" es la de mayores dimensiones, delimitada en la parte superior por la estratificación (Figs. No. 8 y 9).

b) Bloques formados por la fractura "b", el corte y la familia E -W (fracturas "c", "c1" y "d"), originando prismas alargados en los cuales su punto de fuga se encuentra en el macizo (Fig. No. 10).

c) Bloque formado por las fracturas "g", "j" y el corte con dirección de fuga NE 46 °, localizando su punto de fuga con salida hacia la excavación (Fig. No. 10).

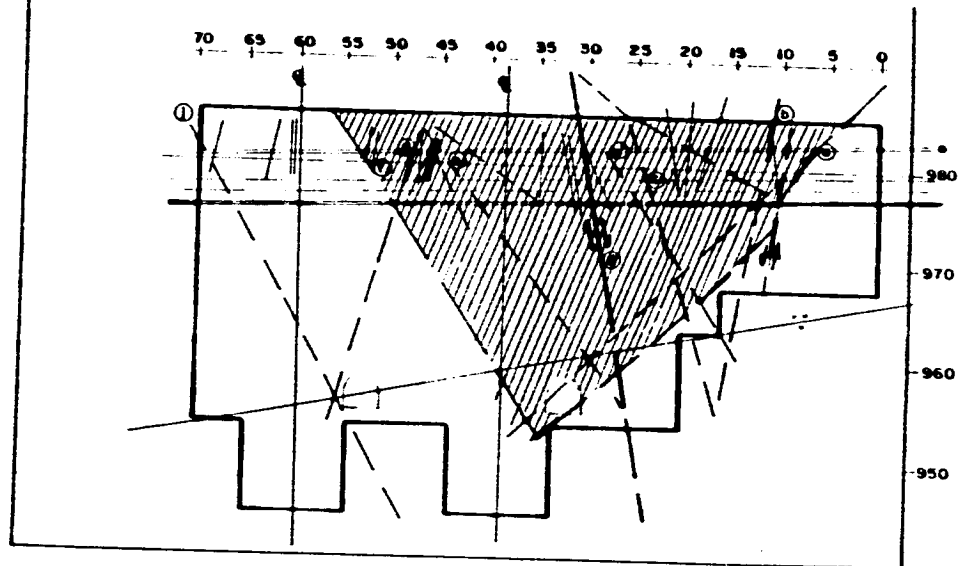
d) Bloque formado por la fractura “l”, la falla inversa “h”, el corte de Casa de Máquinas y el corte del Túnel de Acceso a la Sala de Transformadores.

La dirección de fuga es SW 6 ° sobre el plano de la falla inversa (Figs. No. 11 y 12).

e) En la Pared Aguas Abajo de Casa de Máquinas se presentó la formación de columnas a la derecha de la falla normal “d” con salida sobre el plano de la falla inversa “h” (Fig. No. 12).

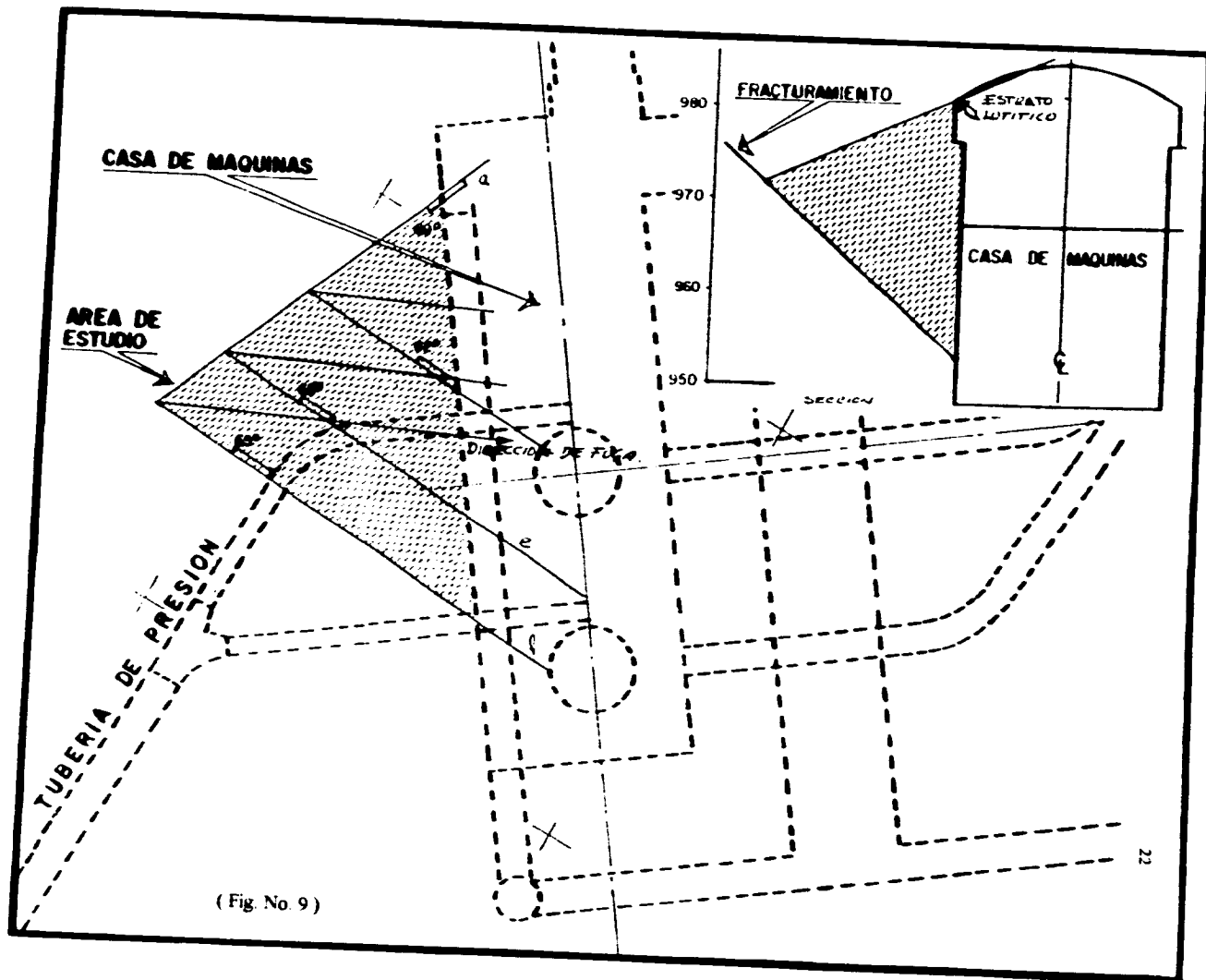
En esta área uno de los ductos de buses se encuentra fracturado por la falla normal “d”.

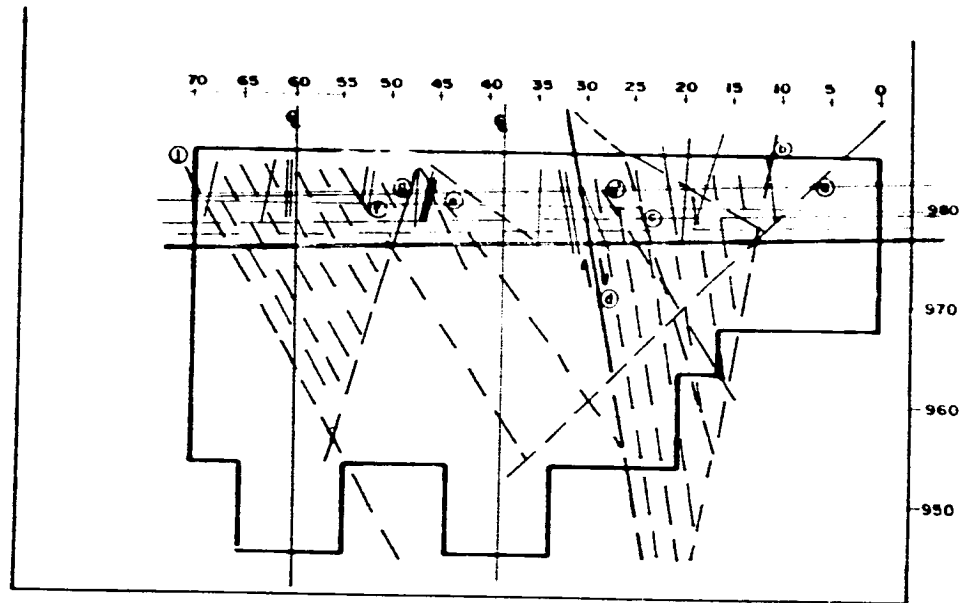
f) Formación de bloques alargados, teniendo como componentes la falla inversa “h” y planos de estratificación delimitados por la falla normal “f” (Fig. No. 13).



GEOLOGIA PARED AGUAS ARRIBA CASA DE MAQUINAS

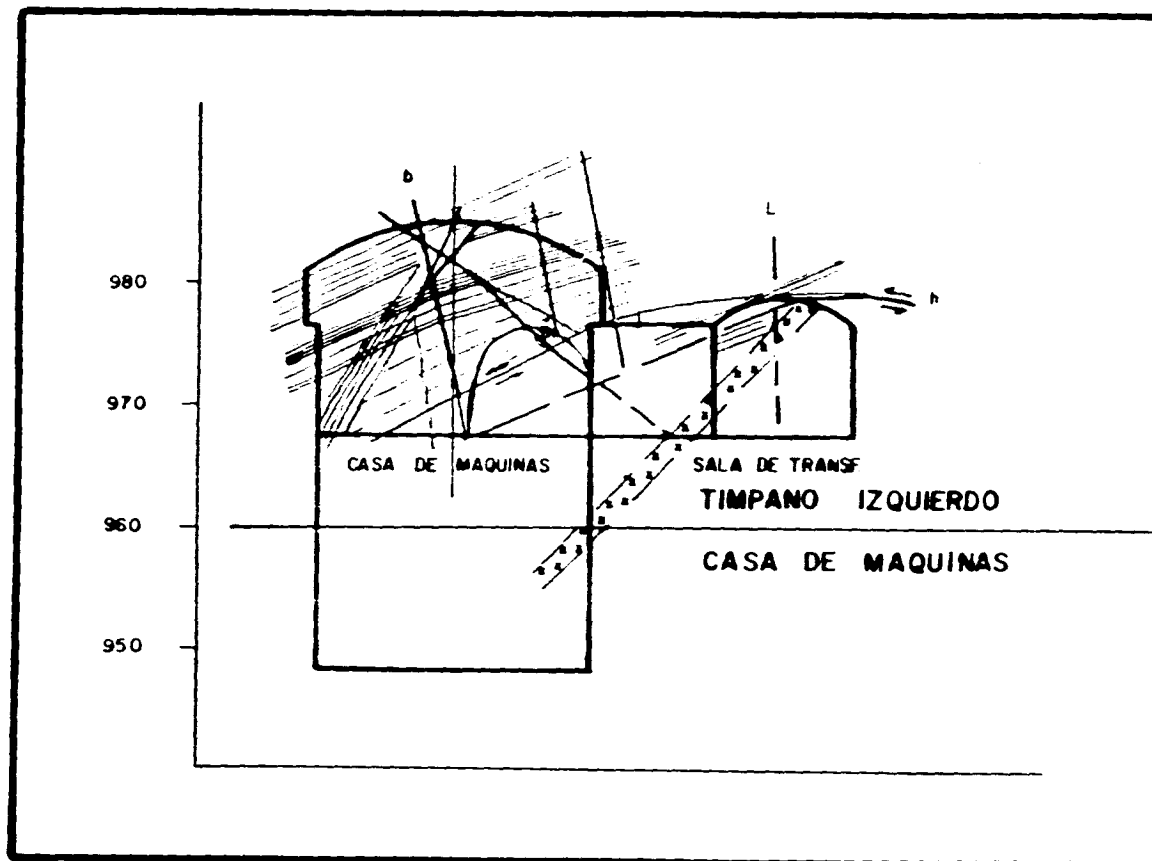
(Fig No. 8)



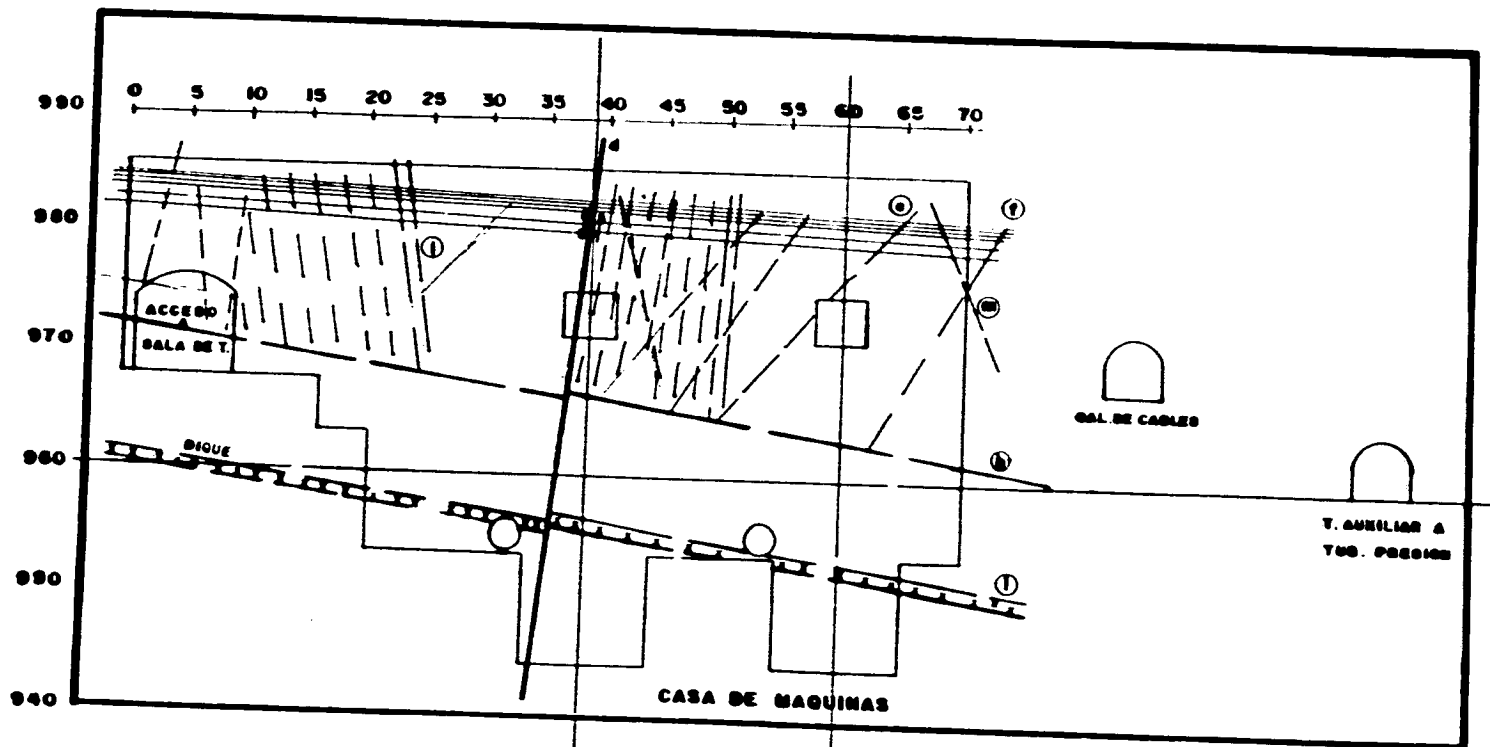


GEOLOGIA PARED AGUAS ARRIBA CASA DE MAQUINAS

(Fig No. 10)

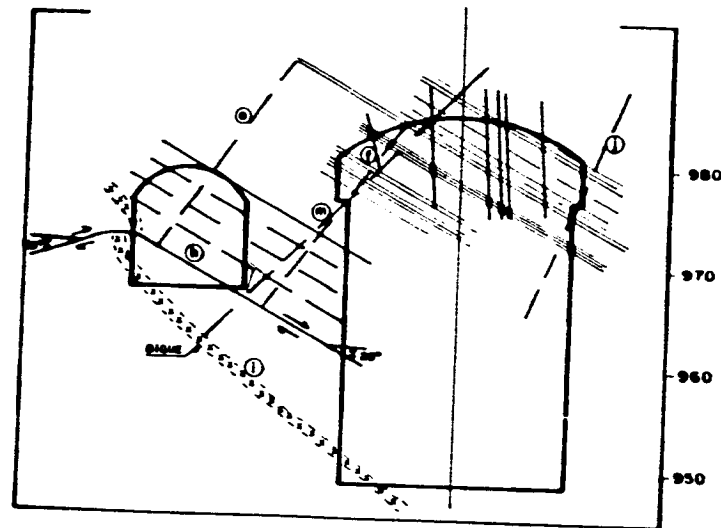


(Fig. No. 11)



GEOLOGIA PARED AGUAS ABAJO CASA DE MAQUINAS

(Fig. No. 12)



TIMPANO DERECHO DE CASA DE MAQUINAS

(Fig. No 13)

III.- PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DE LAS CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES.

III.1.- PROCESO CONSTRUCTIVO

El Proceso Constructivo de la Excavación de las Cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores fue el siguiente:

- 1.- Marcaje de la Plantilla de Barrenación de Carga.
- 2.- Realización de la Barrenación de Carga.
- 3.- Carga del Explosivo.
- 4.- Detonación del Explosivo y Tiempo de Ventilación.
- 5.- Carga y Acarreo de la Rezaga.
- 6.- Marcaje de las Plantillas de Barrenación para Anclaje y Drenaje.
- 7.- Barrenación para Anclaje y Drenaje.
- 8.- Habilitación del Anclaje.
- 9.- Inyección del Anclaje.
- 10.- Colocación de la Instrumentación.

DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

1.- Marcaje de la Plantilla de Barrenación de Carga:

El Patrón de la Barrenación de Producción empleado fue de 1.8 x 1.8 m. en cuadrícula. Esta actividad se realiza en media hora.

2.- Realización de la Barrenación de Carga:

La Barrenación se realizó con "Track Drills". Para conocer el tiempo en que se realizó esta actividad tomaremos los datos del ejemplo No. 1 (Pág. 53 del Capítulo III.3B. Plantillas de Barrenación y Carga.)

$$\text{Area de Excavación} = 10.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} = 90.0 \text{ m}^2$$

$$23 \text{ Barrenos con una Profundidad } h = 5.50 \text{ m.}$$

$$\text{Volumen Excavado} = A \times h = 90.0 \text{ m}^2 \times 5.50 \text{ m.} = 495.0 \text{ m}^3$$

$$\text{Longitud de Barrenación} = 23 \text{ barrenos} \times 5.80 \text{ m.} = 133.4 \text{ m.}$$

$$\text{Rendimiento "Track Drill"} = 3 \text{ m.} / 20 \text{ min.} \Rightarrow 9 \text{ m.} / \text{ hora.}$$

$$\text{Tiempo de barrenación} = \text{Long. Barrenación} / \text{Rendimiento "Track Drill"}$$

Utilizando 2 "Track Drills". Tenemos:

$$\text{Tiempo de barrenación} = 133.4 \text{ m.} / (2 \times 9 \text{ m.} / \text{ hora.}) = 7.4 \text{ hrs.} \Rightarrow$$

$$\text{Tiempo de barrenación} = 7.5 \text{ hrs.}$$

3.- Carga del Explosivo:

El explosivo utilizado, comercialmente se conoce como Tovex 700 en su presentación 2 x 16 (2" de diámetro x 16" de longitud), con un peso de 1.0 kg. por bombillo. Esta actividad se realiza en 1.0 hora.

Siguiendo con el ejemplo No.1, tenemos que los barrenos se cargaron con 9 bombillos de 1.0 kg., obteniendo la siguiente densidad de carga:

$$\text{Densidad de carga} = \text{Carga del barreno} / \text{Long. del barreno.}$$

$$\text{Densidad de carga} = 9.0 \text{ kg.} / h = 5.50 \text{ m.}$$

$$\text{Densidad de carga} = 1.63 \text{ kg.} / \text{ m.}$$

Ahora calcularemos el Factor de Carga:

$$\text{Factor de Carga} = \text{Cantidad de explosivo} / \text{Volumen excavado}$$

$$\text{Cantidad de explosivo} = 23 \text{ barrenos} \times 9.0 \text{ kg. (explosivo).}$$

$$\text{Cantidad de explosivo} = 207 \text{ kg. (explosivo).}$$

$$\text{Volumen excavado} = 10.0 \times 9.0 \times 5.50 \text{ m.} = 495.0 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de Carga} = 207.0 \text{ kg.} / 495.0 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de Carga} = 0.42 \text{ kg.} / \text{ m}^3$$

4. - Detonación del Explosivo y Tiempo de Ventilación:

Después de efectuada la voladura, se requirió un tiempo de ventilación de 0.5 hr. para la disipación de gases.

5. - Carga y Acarreo de la Rezaga:

Para la carga de la rezaga se utilizó un cargador frontal con neumáticos, también conocido como "Payloader", con una capacidad en su cucharón de 3.5 yd³, y el acarreo se llevó a cabo en camiones de 6 m³ de capacidad.

Continuando con el ejemplo No. 1, calcularemos el tiempo en que se realizó la carga y el acarreo de la rezaga.

Capacidad del cucharón = 3.5 yd³

Capacidad del camión = 6.0 m³

Volumen excavado = 495.0 m³ (banco)

Factor de abundamiento = 1.6 (para roca)

Factor de carga = 0.75 (para material dinamitado de fragmentación mediana. (Ver: Apuntes de Movimiento de Tierras. Tomo I. Pag. 229 de la Facultad de Ingeniería. UNAM.).

NOTA: Este Factor de Carga está referido al porcentaje del material que carga el cucharón. Y es totalmente diferente al factor de carga calculado anteriormente para las plantillas de barrenación y carga.

Ahora calcularemos el Rendimiento del Cargador:

Rendimiento del Cargador = Carga por ciclo x Ciclos por hora.

Carga por ciclo del cargador = Capacidad del cucharón x Factor de carga

Carga por ciclo del cargador = 3.5 yd³ x 0.75

Carga por ciclo del cargador = 2.62 yd³

Convirtiendo a m³ tenemos:

$$\text{Carga por ciclo del cargador} = 2.62 \text{ yd}^3 \times (0.763 \text{ m}^3 / \text{yd}^3)$$

$$\text{Carga por ciclo del cargador} = 2.0 \text{ m}^3 \text{ (material suelto)}$$

$$\text{Carga por ciclo del cargador (banco)} = 2.0 \text{ m}^3 / \text{Factor de abundamiento.}$$

$$\text{Carga por ciclo del cargador (banco)} = 2.0 \text{ m}^3 / 1.6$$

$$\text{Carga por ciclo del cargador (banco)} = 1.25 \text{ m}^3$$

Por observación directa tenemos:

El tiempo de carga entre camiones fue de 5 minutos.

Tomaremos como "Un ciclo", el tiempo de carga entre camiones.

$$\text{Ciclos por hora} = 60 \text{ min.} / 5 \text{ min.}$$

$$\text{Ciclos por hora} = 12$$

$$\# \text{ de cargas por camión} = \text{cap. camión} / \text{carga por ciclo del cargador.}$$

$$\# \text{ de cargas por camión} = 6.0 \text{ m}^3 / 2.0 \text{ m}^3.$$

$$\# \text{ de cargas por camión} = 3$$

$$\text{Carga por Ciclo} = \text{Carga por ciclo del cargador} \times (\# \text{ cargas por camión})$$

$$\text{Carga por Ciclo} = 1.25 \text{ m}^3 \text{ (banco)} \times (\# \text{ cargas por camión})$$

$$\text{Carga por ciclo} = 1.25 \text{ m}^3 \text{ (banco)} \times 3$$

$$\text{Carga por ciclo} = 3.75 \text{ m}^3 \text{ (banco)}$$

$$\text{Rendimiento del cargador} = \text{Carga por ciclo} \times \text{Ciclos por hora.}$$

$$\text{Rendimiento del cargador} = 3.75 \text{ m}^3 \text{ (banco)} \times 12$$

$$\text{Rendimiento del cargador} = 45 \text{ m}^3 \text{ (banco)} / \text{hora.}$$

$$\text{Tiempo de rezagado} = \text{Volumen excavado} / \text{Rendimiento del cargador.}$$

$$\text{Tiempo de rezagado} = 495.0 \text{ m}^3 \text{ (banco)} / (45.0 \text{ m}^3 \text{ (banco)} / \text{hora.})$$

$$\text{Tiempo de rezagado} = 11.0 \text{ horas.}$$

Por último calcularemos el número de camiones necesarios para el acarreo de la rezaga:

$$\text{Número de camiones} = \frac{\text{Tiempo del ciclo del camión}}{\text{Tiempo de carga del camión}}$$

Por observación directa tenemos :

Tiempo del ciclo del camión = 16 min.

El ciclo del camión comprende: el tiempo de carga, + el tiempo de ida y vuelta al lugar de descarga, + el tiempo de descarga.

Tiempo de carga del camión = 5 min.

$$\text{Número de camiones} = \frac{\text{Tiempo del ciclo del camión}}{\text{Tiempo de carga del camión}}$$

$$\text{Número de camiones} = 16 \text{ min.} / 5 \text{ min.}$$

$$\text{Número de camiones} = 3.2 \Rightarrow$$

$$\text{Número de camiones} = 4$$

NOTA: Las cinco actividades descritas anteriormente formaron la Ruta Crítica del Proceso Constructivo de las Cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores. Y las siguientes actividades del Proceso Constructivo, que se mencionan a continuación, se realizaban simultáneamente con las actividades críticas.

6.- Marcaje de las Plantillas de Barrenación para Anclaje y Drenaje:

El Patrón de Barrenación de las Plantillas de Anclaje y Drenaje se describen en los capítulos posteriores: III 4A.- Anclaje y III.4B.-Drenaje. Esta actividad se realizaba en media hora.

7.- Barrenación para Anclaje y Drenaje:

La Barrenación se realizó con “Track Drills” , con un rendimiento de 9.0 m / hora. Esta actividad solamente se suspendía cuando se cargaba el explosivo y se producía la voladura

8 - Habilitación del Anclaje:

Esta actividad consiste en realizar todos los preparativos a las anclas para su inyección. Se podía realizar adentro o afuera de la Casa de Máquinas y se desarrollaba simultáneamente con la Barrenación de Carga.

9.- Inyección del Anclaje:

La Inyección del Anclaje se realizaba durante el rezagado del material producto de la voladura. Y se realizó con “satélites”, que básicamente son depósitos que tienen acondicionada una manguera por donde se les aplica aire a presión y otra por donde viaja la mezcla de inyección hacia el barreno.

10.- Colocación de la Instrumentación:

La Instrumentación se colocaba conforme avanzaba la excavación, porque el tiempo de instalación era menor al utilizar menos tubería de andamiaje para alcanzar los sitios de trabajo.



Barrenación con "Track Drills" para Anclaje en la Bóveda de la Casa de Máquinas
(Elev. 979.00)



Excavación en la elev. 976.50. Obsérvese el andamio y los extensómetros del lado izquierdo (Pared Aguas Abajo), así como los preparativos para el colado de la Trabe Carril y el lanzado de concreto en la Bóveda de la Casa de Máquinas



Banqueo de la elev 967.50 a la elev 962.00. Obsérvense los "noneles" o retardadores (cables color amarillo y color naranja) y el explosivo "Tovex" 700 (cartuchos color blanco).



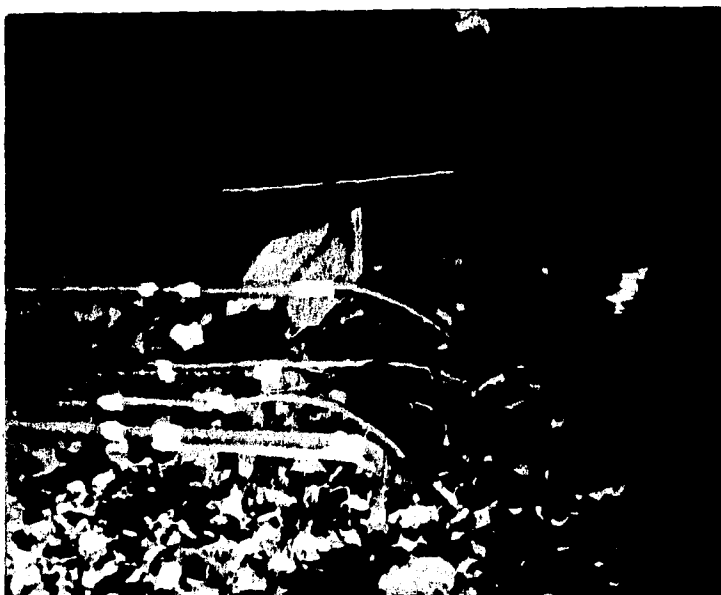
Iniciación del explosivo
con cordón detonante
Primacord Reforzado.



Rezagado del material producto de la voladura utilizando "Payloader"



Banqueo de la elev. 962.00
a la elev. 955.50. Obsérvese
la Barrenación para ban-
queo y la Barrenación para
anclaje



Habilitación del Anclaje. Obsérvense las mangueras de purga o respiración (transparente) y la manguera de Inyección (color verde)



Excavación de la Casa de Máquinas terminada (elev 948.20). Vista desde el Timpano Derecho (Al fondo de la Casa de Maquinas)



Medición de los Extensómetros de Barra



**Excavación de la Casa
de Máquinas terminada
(elev. 948.20). Vista
desde el Timpano
Izquierdo (Entrada de
la Casa de Máquinas).**

III.2.- PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION.

La excavación de las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores, así como de sus Túneles Auxiliares (Túnel de Acceso, Tubería de Presión, Socavón No. 7, Túnel Galería de Cables y Ventilación, Túneles de Desfogue), dio inicio en mayo de 1991. (Fig. No. 14).

Conforme se avanzó en la excavación se fueron colocando los soportes correspondientes, sin que se hayan producido derrumbes o caídos de roca durante todo el proceso de excavación.

El proceso de la excavación de las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores se muestra en la Fig. No 15, con las siguientes fases:

- I.- Excavación de la Bóveda de Casa de Máquinas de la elev. 985.10 a la elev. 976.50, niveles de clave y Trabe Carril respectivamente.
 - a) Excavación de una faja central de 6.0 m. de altura por 8.0 m de ancho.
 - b) Excavación de dos fajas laterales de 9.0 m. de ancho, para completar la sección total de 24.0 m.
 - c) Banqueo desde la elev. 979.00 hasta la elev. 976.50 (Nivel Trabe Carril).
- II.- Excavación del cuerpo de la caverna de Casa de Máquinas a partir de la Trabe Carril (elev. 976.50), hasta el nivel de los Fosos para Turbinas (elev. 948.20)

- a) Banqueo de la elev 976.50 a la elev. 974.00.
- b) Banqueo de la elev. 974.00 a la elev. 967.50.
- c) Banqueo de la elev. 967.50 a la elev. 962.00.
- d) Banqueo de la elev. 962.00 a la elev. 955.50.
- e) Excavación de Fosos para Turbinas de la elev. 955.50 a la elev. 948.20.
- f) Excavación de una Trinchera para Ventilación de la elev. 955.50 a la elev. 948.20.

III - Excavación de la Sala de Transformadores de la elev. 978.50 a la elev. 967.50, niveles de clave y piso respectivamente.

- a) Excavación de la Bóveda de la elev. 978.50 a la elev. 973.50.
- b) Banqueo de la elev. 973.50 a la elev. 967.50.

Descripción de los trabajos efectuados durante el proceso de excavación.

Las actividades para la excavación de la caverna de Casa de Máquinas iniciaron con la excavación del Socavón No.7 (Ramal Norte), hasta llegar al eje de Casa de Máquinas, dicho socavón fue excavado con fines de exploración geológica, quedando ubicado en la Bóveda de Casa de Máquinas.

La Bóveda de Casa de Máquinas se comenzó a excavar con un Túnel de 6.0 m de altura por 8.0 m de ancho, de la elev. 985.10 a la elev. 979.00 siguiendo el procedimiento que se enuncia a continuación. (Fig. No. 18).

- a) Excavación de una faja central hacia el Timpano Derecho con las dimensiones del túnel mencionado.
- b) Excavación de la faja central hacia el Timpano Izquierdo.

- c) Voladuras hasta alcanzar la Pared Aguas Arriba.
- d) Ampliación de la sección a 16.0 m. de ancho , hacia el Timpano Derecho en la Pared Aguas Arriba, simultáneamente con la realización de voladuras para alcanzar la Pared Aguas Abajo.
- e) Ampliación de la sección a 16.0 m. hacia el Timpano Izquierdo en la Pared Aguas Abajo.
- f) Ampliación de la sección a 24.0 m. (sección completa), en dirección del Timpano Derecho sobre la Pared Aguas Abajo.
- g) Ampliación de la sección a 24.0 m. en dirección del Timpano Izquierdo sobre la Pared Aguas Arriba

A continuación se realizó el banqueo de la elev. 979.00 a la elev. 976.50, y en forma coordinada se inicio el siguiente banqueo de la elev. 976.50 a la elev. 974.00. El retiro de la rezaga producto de estos banqueos se efectuó por el Socavón No. 7 (Ramal Norte), para lo cual se formó un sistema de rampas (Fig. No. 16). Simultáneamente a estos banqueos se procedió a la excavación del Túnel de Acceso definitivo a Casa de Maquinas (elev. 967.50).

Para iniciar el siguiente banqueo de la elev. 974.00 a la elev. 967.50 (Fig. No. 17), se formó una “piquera” (excavación tipo lumbrera), desde el Timpano Izquierdo en la elev. 974.00 hacia el Túnel de Acceso (elev. 967.50), con la finalidad de tener una rampa para poder extraer la rezaga por dicho túnel, y así poder suprimir las rampas que se tenían hacia el Socavón No. 7.

Con el fin de darle continuidad al arco de la Bóveda de Casa de Máquinas en las intersecciones con el Socavón No.7 y sus cruceros, (en total 4 zonas, Fig. No. 14), se colocaron tapones de concreto de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ en el interior de los cruceros en una longitud de 4.0 m.

Una vez que se terminó de excavar la rampa para poder rezagar por el Túnel de Acceso, se realizó el banqueo de la elev. 974.00 a la elev. 967.50, iniciando con voladuras a todo lo ancho de Casa de Máquinas, pero debido a la presencia de la zona "Pilares de Roca" (Figs. No 15 y No 19), el departamento de Mecánica de Rocas tuvo que restringir la carga de explosivo detonada por tiempo a 10 kg. como máximo, disminuyendo el volumen excavado, debido a que se redujo el numero de barrenos utilizados por tiempo, de dos o a veces tres, a solamente un barreno por tiempo. Siguiendo con este banqueo, se continuo excavando en dirección del Timpano Derecho, mediante una franja central de 11.0 m. de ancho por 6.50 m. de altura, para continuar posteriormente el banqueo por las franjas laterales.

Cuando la excavación de la Casa de Máquinas se encontraba en la elev. 967.50, estaba por concluirse la excavación de la Sala de Transformadores (Figs. No 15 y No 19), la cual se realizo en las siguientes tres etapas; En primer lugar, la excavación de media sección de Bóveda de 6.0 m. de ancho por 5.0 m. de altura, en su Pared Aguas Arriba de la elev. 978.50 a la elev. 973.50. Posteriormente la sección restante a Bóveda completa en la Pared Aguas Abajo y finalmente el banqueo de la elev. 973.50 a la elev. 967.50..

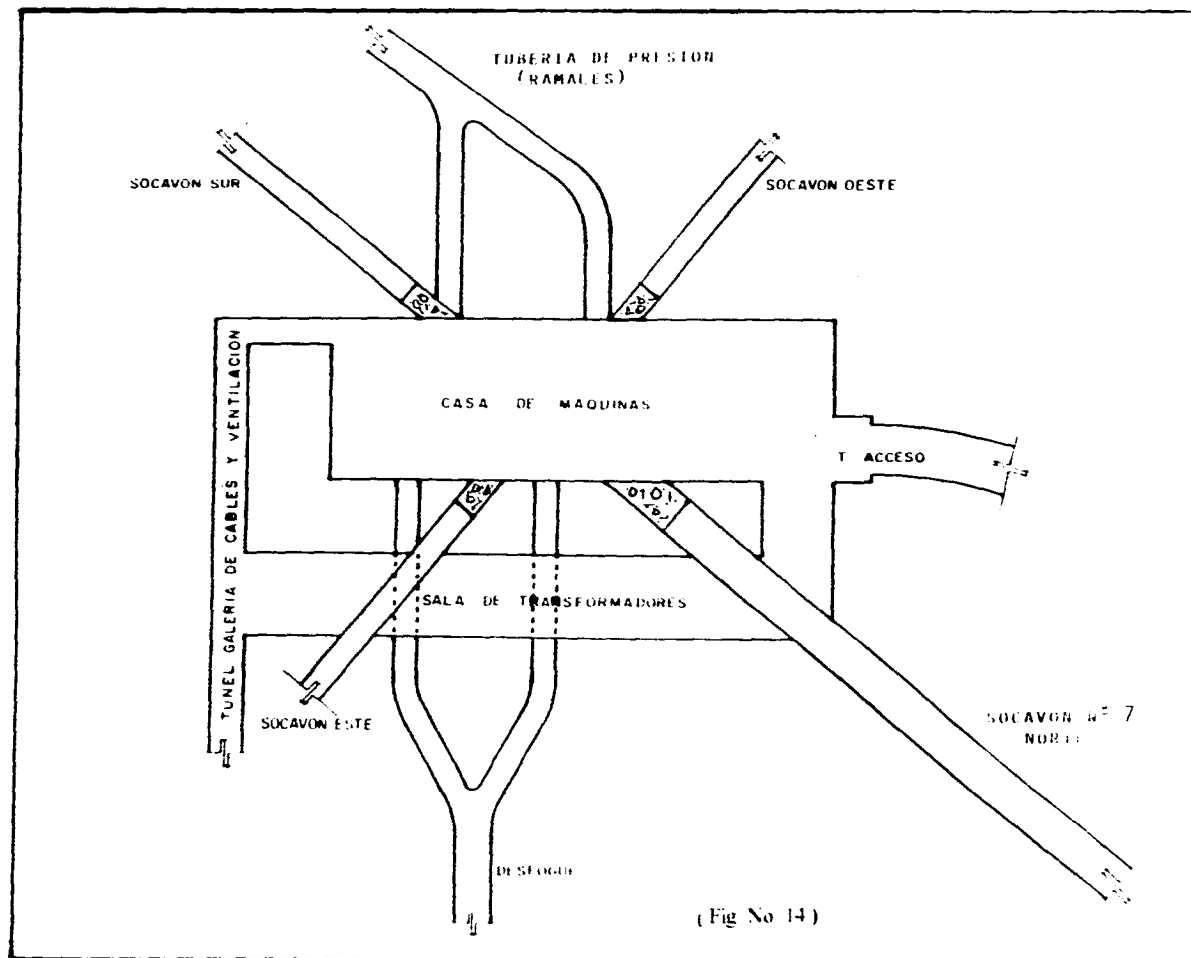
Después de que se concluyó el banqueo a la elev. 967.50 en Casa de Máquinas, se inicio el banqueo a la elev. 962.00, pero como se tenia que iniciar con un precorte a todo lo ancho de Casa de Máquinas en el cadenamamiento 0+016, de la elev. 967.50 a la elev. 959.50 (Fig. No. 21), se realizó un levantamiento por parte de la Residencia de Geologia, donde se informó que la estructura geológica (estratificación y fracturamiento), de la masa rocosa delimitaba bloques de roca con posibilidad de salida hacia la excavación, razón por la cual se colocaron anclas verticales en el cadenamamiento 0+015 de 1 1/2" Ø, de 12.0 m. de longitud, separadas a cada 1.50 m. e inyectadas con mortero de cemento de $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$.

La secuencia del banqueo de la elev. 967.50 a la elev. 962.00 fue la siguiente: **Primero la realización de una rampa conforme se avanzaba la excavación sobre la Pared Aguas Arriba en dirección del Timpano Derecho, esta rampa se utilizó para rezagar el material por el Túnel de Acceso. A continuación se siguió excavando hasta llegar al Timpano Derecho, y por ultimo se completo el banqueo sobre la Pared Aguas Abajo, del Timpano Derecho hacia el Timpano Izquierdo (Fig. No. 20)**

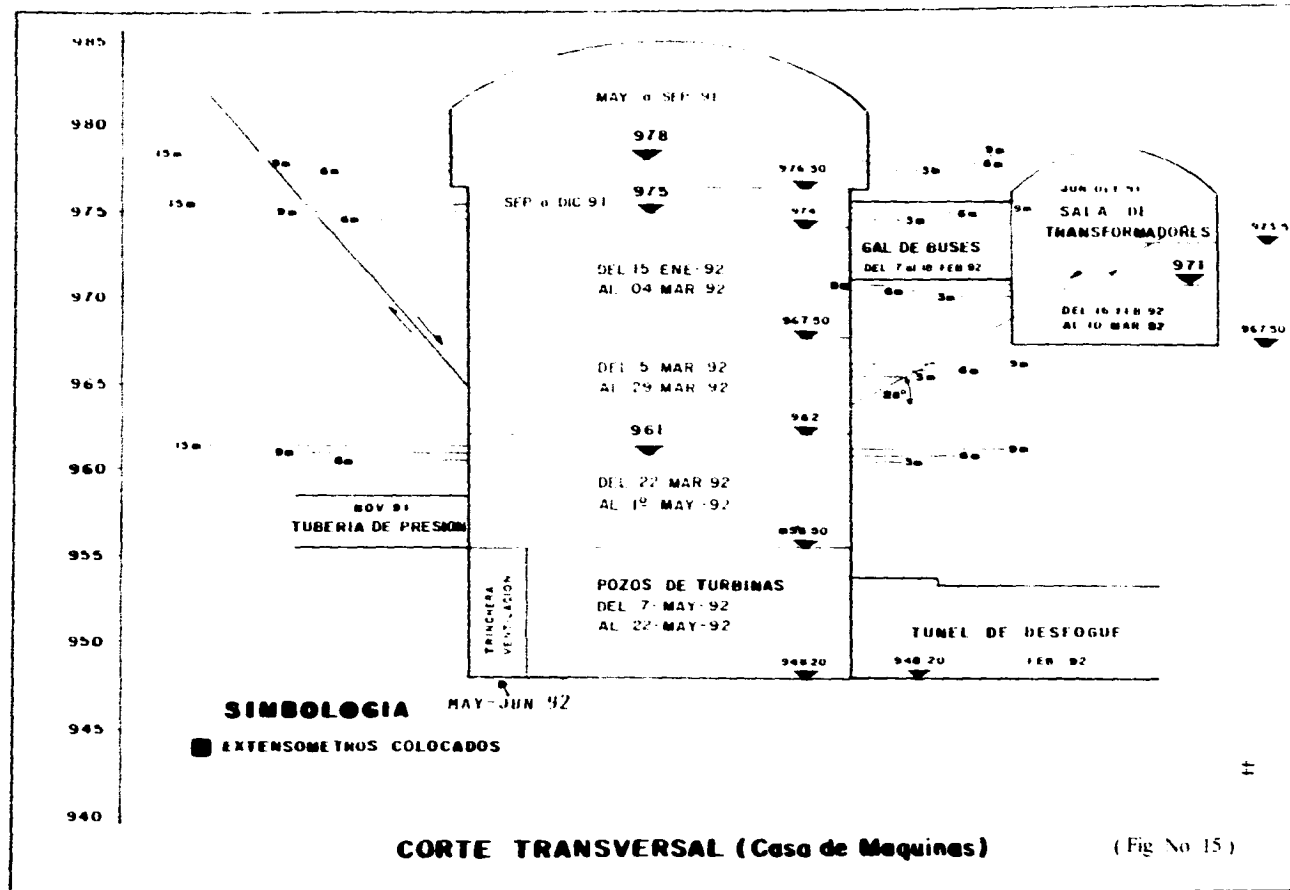
Para llevar a cabo el siguiente banqueo de la elev. 962.00 a la elev. 955.50 se realizó una “piquera” (excavación tipo lumbrera), en dirección de la Tubería de Presión en su Ramal 2, elev. 955.50 (Figs. No.17 y No.21), la cual ya estaba excavada hasta su intersección con la Casa de Máquinas y así poder rezagar por dicho Ramal el material producto de este banqueo. Como se ilustra en las Figs. No.21 y No.22, la excavación se llevó del Timpano Derecho hacia el Timpano Izquierdo, iniciando por la Pared Aguas Abajo y terminando por la Pared Aguas Arriba.

Una vez que se tuvo el piso de la excavación en la elev. 955.50, se realizaron dos “piqueras” en la Pared Aguas Abajo hacia los Ramales del Túnel de Desfogue elev. 948.00 (Figs. No.16 y No.23), con la finalidad de poder rezagar desde ahí el material producto de las voladuras de los Fosos para las Unidades y para la Trinchera de Ventilación. En seguida se realizó la excavación de los Fosos hasta la elev. 948.00 en tres etapas para evitar dañar a la roca (Fig. No.23). En seguida, para poder excavar la Trinchera de Ventilación (elev. 948.00), fue necesario romper la Pared del Foso No.2 hacia Aguas Arriba en una sección de 4.0 m. Al concluirse los trabajos en la Trinchera de Ventilación, se detectaron bloques inestables entre los Fosos para las Unidades y la Trinchera de Ventilación, razón por la cual se tuvieron que retirar dichos bloques y reponerse con concreto simple para garantizar la seguridad de la zona.

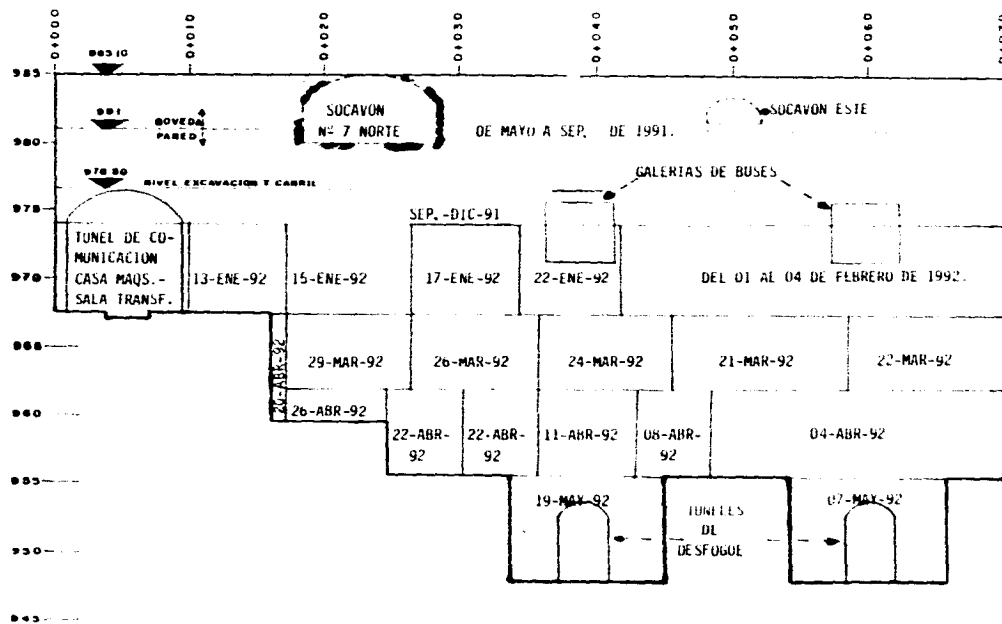
EXCAVACIONES EN LA ZONA DE CASA DE MAQUINAS



LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS Y AVANCE DE EXCAVACIONES



SECUENCIA DE EXCAVACION.



VISTA FRONTAL - PARED AGUAS ABAJO (Casa de Máquinas)

(Fig No 16)

1992

JANVIER A SEPTEMBRE DE 1991

SEPTEMBRE A DICIEMBRE DE 1991

04-MAR-92 03-MAR-92 02-MAR-92 22-ENE-92 17-ENE-92 15-ENE-92 13-ENE-92 11-ENE-92

14-MAR-92 13-MAR-92 12-MAR-92 10-MAR-92 09-MAR-92 05-AL 08-MAR-92

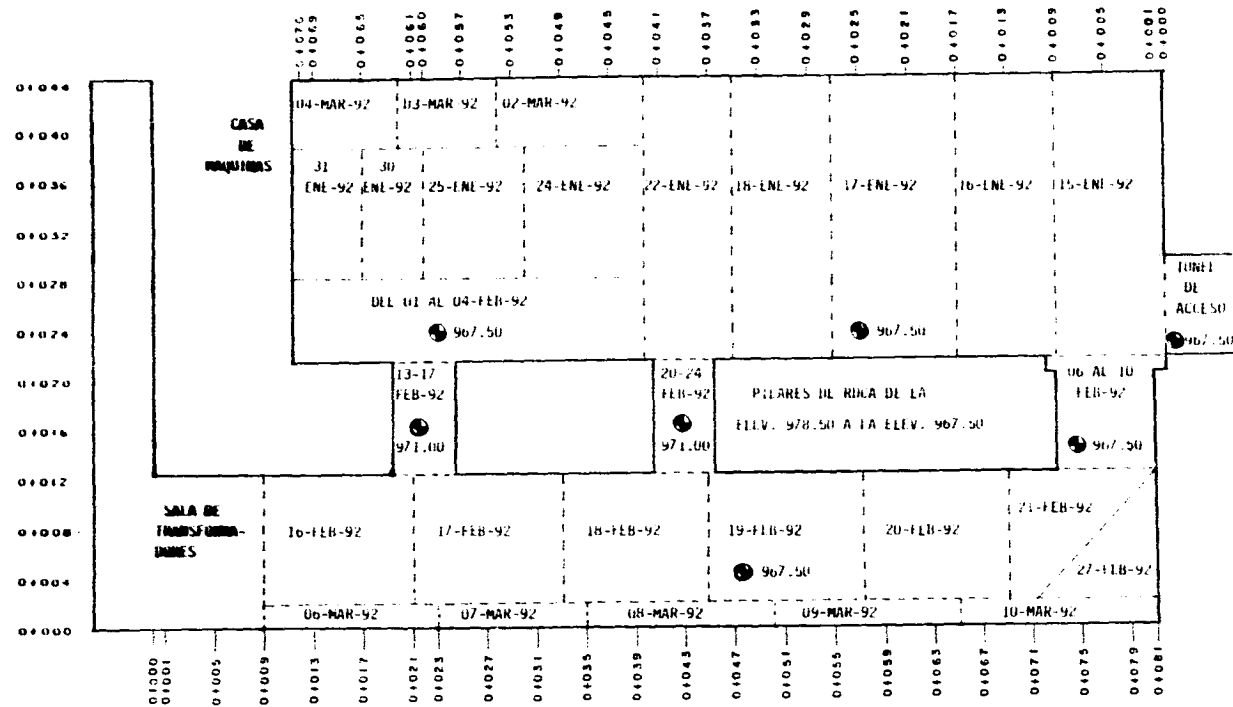
12-ABR-92 31-MAR-92 26-MAR-92 27-MAR-92 22-MAR-92 21-MAR-92 20-MAR-92 26-ABR-92

26-ABR-92 29-ABR 26-ABR-92 01-MAY-92 01-MAY-92 11-MAY-92 26-ABR-92

25-MAYO-92 AL 11-JUN-92

(Fig. No. 17)

SECUENCIA DE EXCAVACION



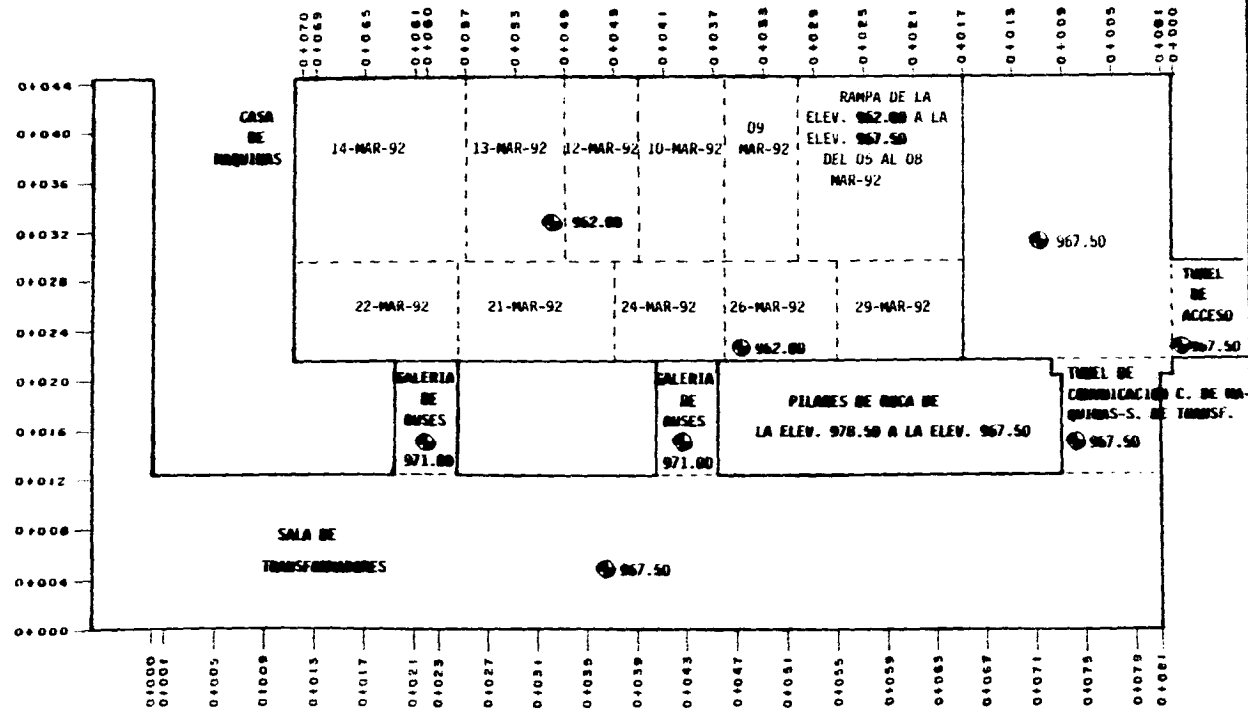
EL BANQUEO EN CASA DE MAQUINAS
ES DE LA ELEV. 974.00 A LA ELEV. 967.50

ESC. 1:400

EL BANQUEO EN LA SALA DE TRANSFORMADORES
ES DE LA ELEV. 973.50 A LA ELEV. 967.50

(Fig No. 19)

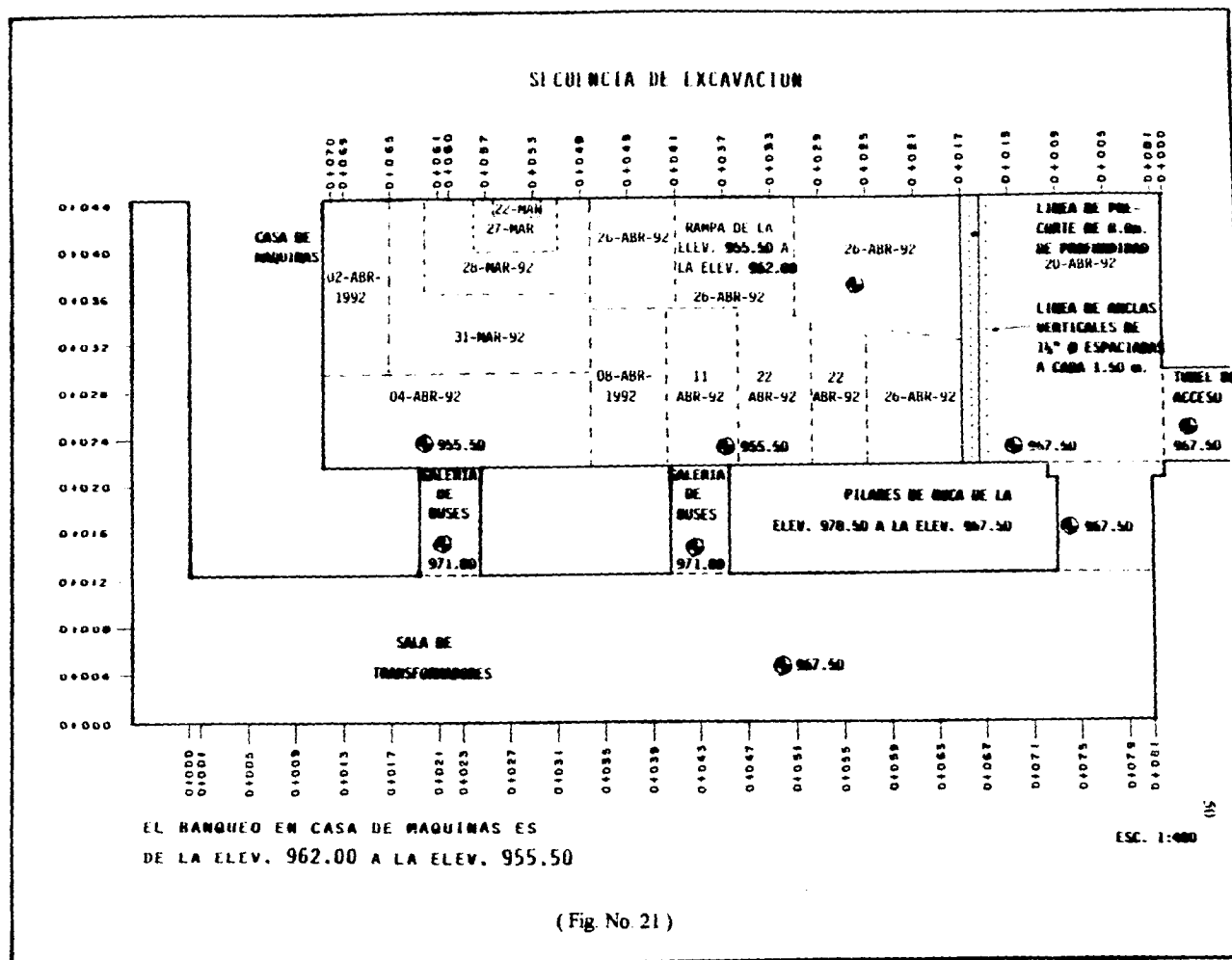
SECUENCIA DE EXCAVACION



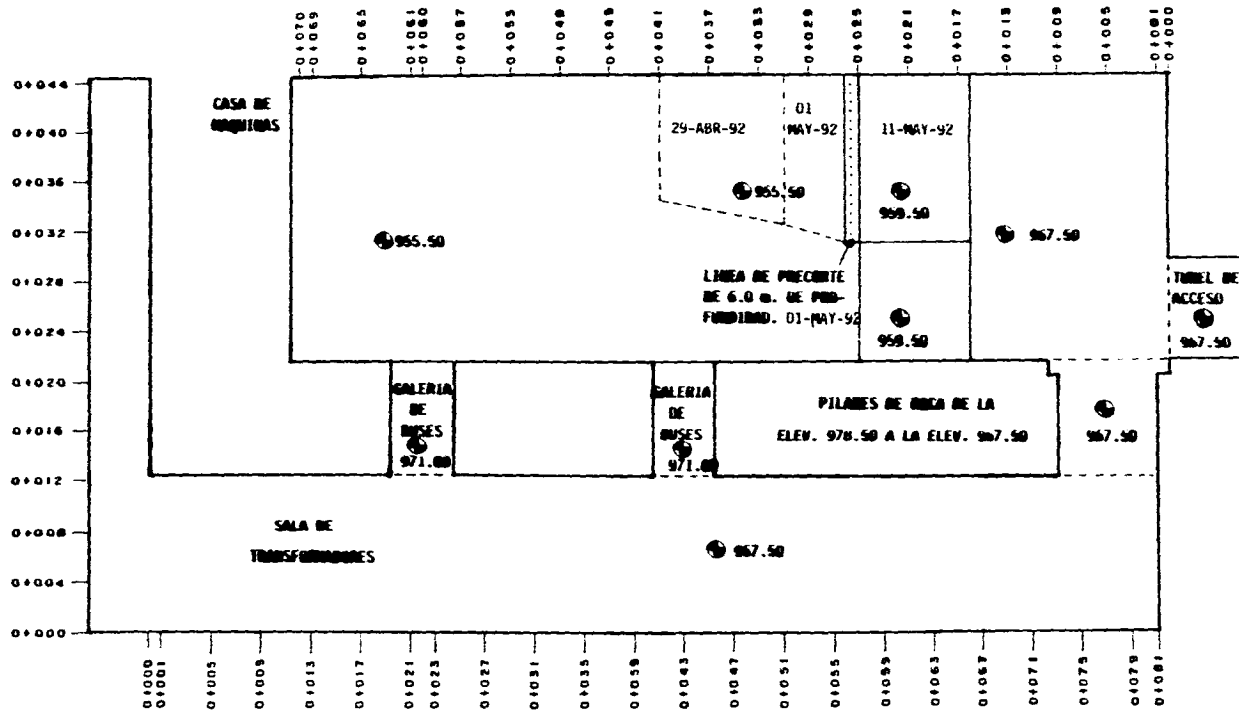
EL BANQUEO EN CASA DE MAQUINAS ES
DE LA ELEV. 967.50 A LA ELEV. 962.00

47
ESC. 1:400

(Fig. No. 20)



SECUENCIA DE EXCAVACION



EL BANQUEO EN CASA DE MAQUINAS ES
DE LA ELEV. 962.00 A LA ELEV. 955.50

ESC. 1:400

51

(Fig No 22)

LOS FOSOS PARA LA INSTALACION DE LAS TURBINAS Y LA TRINCHERA DE VENTILACION SE EXCAVARON DE LA ELEV. 955.50 A LA ELEV. 948.00

ESC. 1:000

52

(Fig. No. 23)

III.3.- USO Y CONTROL DE EXPLOSIVOS.

Los explosivos, son artículos esenciales para la minería, así como también lo son en numerosos aspectos de la industria de la construcción, convirtiéndose en una de las herramientas fundamentales con que dispone la humanidad en la actualidad.

Los explosivos son un arma segura y controlable si se usan con conocimiento de causa y con el debido cuidado, por lo que se hace necesario contar con un grupo especializado en el manejo de explosivos para evitar accidentes y tener óptimos resultados (los cuales en su mayoría se obtienen con la experiencia).

Al hablar de obtener los mejores resultados de una voladura, nos referimos a producir el máximo de material excavado sin descuidar ciertos requerimientos como :

- a) Tamaño de la Roca.
- b) Sobre-excavaciones.
- c) Restricciones en el Uso de Explosivos.

a) **Tamaño de la Roca.-** En este punto nos referimos a que el tamaño de la roca va a estar limitado de acuerdo al equipo de carga y acarreo, a la capacidad de los tractores; y si el material se va a triturar, entonces se limitará a la abertura de la quebradora primaria.

b) **Sobre-excavaciones.-** Por razones de seguridad y económicas el rompimiento excesivo es inconveniente. En cuanto a seguridad, nos provoca zonas inestables, y económicamente, cuando la excavación excede la “línea de pago”, se le denomina “sobre-excavación”, y no es pagada a la contratista.

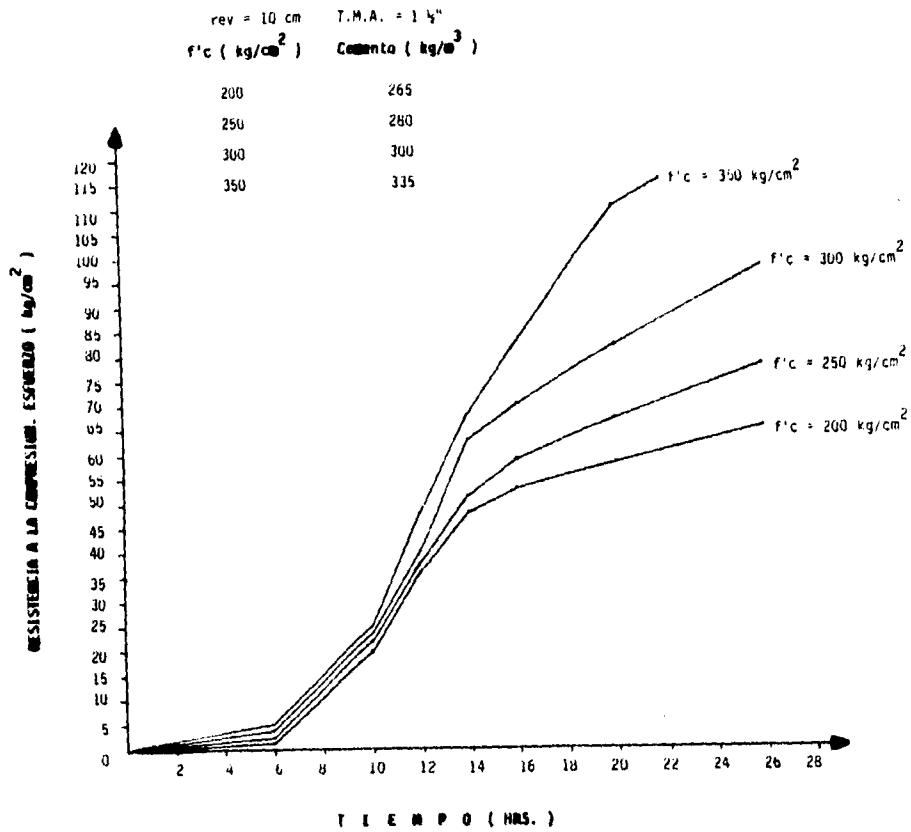
La “línea de pago”, en la construcción está referida a la “línea de proyecto”, las cuales se definen a continuación:

- Línea “A” ó línea de proyecto, es aquella línea considerada en el diseño de los revestimientos de concreto, por lo tanto la línea de excavación no deberá sobresalir de la línea “A”. En caso contrario tendrá que realizarse una voladura de perfilamiento.
- Línea “B” ó línea de pago, es la línea teórica que define las áreas con las que se estimarán las secciones de excavación y de revestimiento de concreto.

La separación entre las líneas “A” y “B”, siempre será de 20 cm.

c) **Restricciones en el uso del explosivo.** Como la excavación de las cavernas de La Casa de Máquinas y de La Sala de Transformadores se alternó con la colocación de concretos hidráulicos, y con la finalidad de evitarle daños tanto al concreto como a la roca debido a las vibraciones producidas por las detonaciones, se tomaron las siguientes medidas:

- 1.-No realizar voladuras entre 10 y 14 horas después de concluir cualquier colado, ya que el concreto se encuentra en una etapa donde adquiere mayor endurecimiento, como se muestra en la Fig. No. 24. Esta indicación también se aplicó a los morteros de inyección del anclaje.
- 2.-Entre 0 y 2 horas después de concluir un colado o inyección no hubo restricción en la cantidad de explosivo detonado.



GRAFICA DE RESISTENCIAS ADQUIRIDAS DE ESPECIMENES PROBADOS
 A EDADES TEMPRANAS DE DIFERENTES MEZCLAS.

(Fig. No. 24)

3.-Entre 2 y 10 horas, después de haber concluido cualquier colado o inyección, se permitió una vibración permisible de 0.5 in/seg., la cuál se obtiene con la siguiente tabla:

Distancia (m.)	Carga Máxima de Explosivo Detonada en un solo Tiempo (kg.)
-------------------------	---

10	0.07
20	0.56
30	1.90
35	3.02
40	4.50
45	6.41
50	8.80
55	10.00

4.-Después de 14 horas de haber concluido cualquier colado o inyección se permitió un incremento de carga con relación a la distancia entre la voladura y el colado, de acuerdo a la siguiente tabla.

Distancia (m.)	Carga Máxima de Explosivo Detonada en un solo Tiempo (kg.)
-------------------------	---

4	0.14
8	1.00
12	3.50
14	5.60
16	8.30
17	10.00

5.-En todo el procedimiento de excavación de las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores no se permitió detonar más de 10 kg de explosivo en un solo tiempo.

6.-Uso de explosivos en los Túneles de Buses (Zona de Pilares de Roca).

Como los Túneles de Buses quedaron ubicados en la zona de los “Pilares de Roca” (Figs. No. 15, 16 y 19), comunicando La Casa de Máquinas con La Sala de Transformadores, y debido a la alta concentración de esfuerzos que hubo en estos Pilares, se tuvo que aplicar el siguiente procedimiento para no provocar sobre-excavaciones, ni el desarreglo geológico estructural.

6.1.-Haber colocado al menos dos líneas perimetrales de anclaje alrededor de los túneles, de la Casa de Máquinas como de la Sala de Transformadores. Dicho anclaje debía tener por lo menos 7 días de inyectado.

6.2.-La cantidad máxima de explosivo detonado por tiempo que se permitió fue de 5 kg.

6.3.-Abrir primero un túnel piloto y posteriormente completar la sección de 5.0 m. de ancho por 4.50 m. de altura con voladuras de post-corte.

6.4.-El avance por voladura fue de 1.0 m.

6.5.-Por último, se colocó de inmediato el anclaje indicado desde el interior de los túneles.

III.A.- SELECCION DEL EXPLOSIVO

En la excavación de la Casa de Máquinas se utilizaron Hidrogeles como explosivo, porque entre sus propiedades tenemos que producen pocos gases tóxicos, son resistentes al agua y tienen la potencia necesaria para desarrollar el trabajo. Los Hidrogeles utilizados, comercialmente se conocen como Tovex 100 y Tovex 700.

CARACTERISTICAS	TOVEX 100	TOVEX 700
Potencia	40 %	60 %
Diámetro	1" - 1 ¼"	1 ½" - 3"
Densidad	1.10 gr / cc.	1.18 gr / cc.
Velocidad	4050 m / seg.	4800 m / seg.
Resistencia al Agua	Excelente.	Excelente.
Gases Tóxicos	Minimos.	Minimos.
Uso	Perfilamiento.	Banqueos.

Para la iniciación del explosivo descrito líneas arriba se utilizó Primacord Reforzado, el cual, es un cordón detonante que se puede describir como una cuerda flexible y muy resistente con un núcleo de un explosivo llamado Pentrita. Cuando a su vez, el Primacord se inicia con un fulminante, la explosión se propaga a lo largo del Primacord a una velocidad de 7200 m / seg.

La ventaja de utilizar Primacord como iniciador, sobre los fulminantes y estopines eléctricos, es que es menos sensible y por lo tanto, menos susceptible a ser detonado accidentalmente por algún impacto o alguna corriente eléctrica extraña.

La secuencia de detonación se llevó a cabo por medio de disparos de retardo. Con esta técnica, las detonaciones de los barrenos se retrasan una fracción de segundo, ofreciéndonos las siguientes ventajas sobre los disparos instantáneos :

- Reducción de la vibración del terreno.
- Mejor fragmentación del material producto de la voladura.
- Menor rompimiento atrás del plano de los barrenos de perfilamiento.

El tipo de retardador que se utilizó, se conoce como "nonel" y consta de un fulminante con un cable de 5.0 m. de longitud. Según el color del cable se sabe si el tiempo de retardo está dado en segundos o en milisegundos.

Existen dos colores de dicho cable, el color anaranjado nos indica que el tiempo de retardo está dado en milisegundos y se le conoce como "ms". El otro color de cable es amarillo y este nos indica que el tiempo de retardo está dado en segundos y se le denomina "lp".

En un extremo, el nonel trae una etiqueta, la cuál varia de color de acuerdo al tiempo de retardo, y un pasador doblado en "U", para conectarse al Primacord. En el otro extremo se encuentra colocado el fulminante de retardo.

Cuando el barreno tiene una longitud mayor a los 5.0 m. del nonel, entonces tenemos que añadirle cordón detonante Primacord para asegurarnos que el fulminante quede hasta el fondo del barreno, debido a que el fulminante se introduce y fija al primer bombillo de explosivo que entra al barreno.

TIEMPOS DE RETARDO

Número	Tiempo de Retardo en milisegundos "ms" (cable color naranja)	Número	Tiempo de Retardo en segundos "lp" (cable color amarillo)
1	25	1	0.2 *
2	50	2	0.4 *
3	75	3	0.6 *
4	100	4	1.0
5	125	5	1.4
6	150	6	1.8
7	175	7	2.4
8	200 *	8	3.0
9	250	9	3.8
10	300	10	4.6
11	350	11	5.5
12	400 *	12	6.4
13	450	13	7.4
14	500	14	8.5
15	600 *	15	9.6

* Nota : Como se observa tenemos los siguientes números equivalentes :

Números Equivalentes	Milisegundos (ms)		Segundo (lp)
8 ms = 1 lp	200	=	0.2
12 ms = 2 lp	400	=	0.4
15 ms = 3 lp	600	=	0.6

Deberemos tener cuidado de no repetir tiempos en nuestra plantilla de carga de explosivos, para evitar detonar más carga al mismo tiempo.

III.3B.- PLANTILLAS DE BARRENACION Y CARGA.

Durante todos los banqueos se utilizó la técnica de precorte con barrenos separados a cada 60 cm. Estos barrenos se cargaron con una densidad que fue variando de 0.5 kg / m. hasta llegar a 0.9 kg / m., por presentar mejores resultados. El explosivo empleado fue el Tovex 100 en su presentación 1 x 8 (1" de diámetro por 8" de longitud), con un peso de 120 gr. por bombillo.

El patrón de barrenación de producción empleado fue de 1.8 m. x 1.8 m. en cuadrícula. El explosivo usado fue el Tovex 700 en su presentación 2 x 16 (2" de diámetro por 16" de longitud), con un peso de 1.0 kg por bombillo.

En la barrenación de producción (banqueos), se utilizaron factores de carga que variaban de 0.42 a 0.50 kg / m³, con una densidad de carga entre 1.55 y 1.80 kg / m.

A continuación se presentan algunas plantillas de barrenación y carga usadas en la excavación de la Casa de Máquinas de este proyecto.

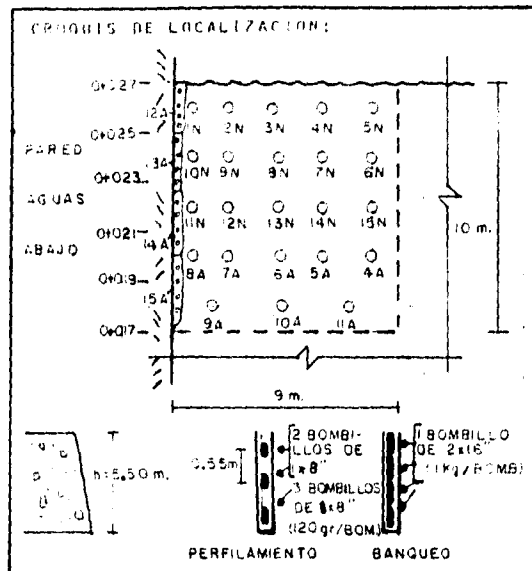
TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD SUBDIRECCION TECNICA GEL X 1		62
P. H. ZIMAPAN NGO.		CASA DE MAQUINAS MECANICA DE RUEDAS CONTROL DE EXPLOSIVOS

FRONTE: CASA DE MAQUINAS.	FECHA: 29-MARZO-92
TIPO DE YULANPA: BANQUEO 967.50 - 962.00	INSPECTOR:
E. CANTIDAD DE BARRERACION Y CARGA EJEMPLO I.	TURNO: PRIMERO.



Observaciones : _____

VOLUMEN EXCAVADO

= 10.0 x 9.0 x 5.5 = 495.0 m³

CANTIDAD DE EXPLOSIVO= 207.0 kg.

FACTOR DE CARGA

F.C. = 207.0/495.0

F.C. = 0.42 kg/m³

NOTA: EN LA PLANTILLA LA LETRA "M" SIGNIFICA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ES "ms" Y LA LETRA "A" SIGNIFICA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ES "lp".

Nº Tiempo	Nº bnos. X Tiempo	Explosivo X Barrero en - (kg)	Carga X Tiempo (kg)
BANQUEO: 9 BOMBILLOS DE 2x16" (1 kg)/BANQUEO			
1N	1	9.0 kg	9.0 kg
2N	1	9.0	9.0
3N	1	9.0	9.0
4N	1	9.0	9.0
5N	1	9.0	9.0
6N	1	9.0	9.0
7N	1	9.0	9.0
8N	1	9.0	9.0
9N	1	9.0	9.0
10N	1	9.0	9.0
11N	1	9.0	9.0
12N	1	9.0	9.0
13N	1	9.0	9.0
14N	1	9.0	9.0
15N	1	9.0	9.0
4A	1	9.0	9.0
5A	1	9.0	9.0
6A	1	9.0	9.0
7A	1	9.0	9.0
8A	1	9.0	9.0
9A	1	9.0	9.0
10A	1	9.0	9.0
11A	1	9.0	9.0
TOTAL	23		207.0kg.
PERFILAMIENTO: 21 BOMBILLOS (1 kg) (20 gr)			
12A	4	2.5 kg	10.0 kg
13A	4	2.5	10.0
14A	4	2.5	10.0
15A	4	2.5	10.0
TOTAL	16		40.0

Inspector

AREA DE ORIGEN



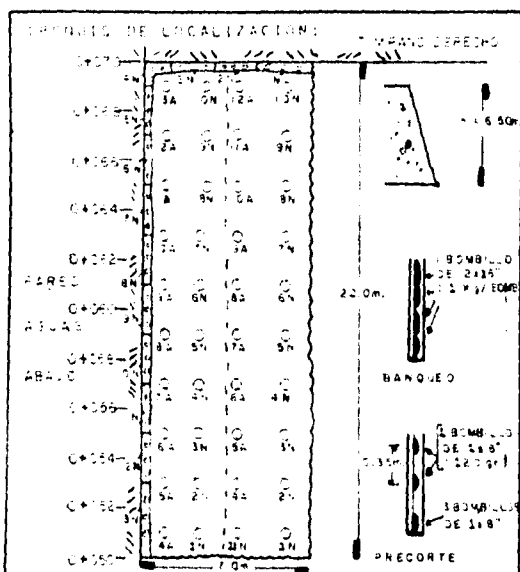
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBDIRECCION TECNICA ASISTENTE

63

P. H. ZIMAPAN HGO.

CASA DE MAQUINAS
MECANICA DE HERRAS
CONTROL DE EXPLOSIVOS

LUGAR: CASA DE MAQUINAS	FECHA: 04-ABRIL-92
BANQUEO 962.00 - 955.50	ESCALA: 1:100
PROYECTO: CONTROL DE EXPLOSIVOS EJEMPLO 2	ENCUADRE: PRIMERO



Nº Tiempo	Nº Dnos. X Tiempo	Explosivo X Barreno en - (kg)	Carga X Tiempo (kg)
MECHA 1 PRECORTE			
19	BOMBILLOS DE 1x8" (120 grs)/ BARRENO.		
1N	3	2.3 kg	6.9 kg
2N	3	2.3	6.9
3N	3	2.3	6.9
4N	3	2.3	6.9
5N	3	2.3	6.9
6N	3	2.3	6.9
7N	3	2.3	6.9
8N	3	2.3	6.9
9N	3	2.3	6.9
10N	3	2.3	6.9
11N	3	2.3	6.9
12N	3	2.3	6.9
13N	3	2.3	6.9
TOTAL	39	BARRENOS	
CANTIDAD DE EXPLOSIVO =			89.7kg.
CONTINUA...			

Observaciones:

LA VOLADURA SE REALIZO CON 3 MECHAS O CANUELAS DE DIFERENTE LONGITUD.

VOLUMEN EXCAVADO

VOL. EXC. = $7.0 \times 20.0 \times 6.5 = 910.0 \text{ m}^3$.

CANTIDAD DE EXPLOSIVO = $200 + 200 = 400.0 \text{ kg}$.

FACTOR DE CARGA

F.C. = $400/910$

F.C. = 0.44 kg/m^3

NOTA: EN LA PLANTILLA LA LETRA "M" SIGNIFICA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ES "ms" Y LA LETRA "A" SIGNIFICA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ES "tp".

Inspector



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBDIRECCION TECNICA DEL Y.C.

64

P. H. ZIMAPAN HGO.

CASA DE MAQUINAS
MECANICA DE PICAS
CONTROL DE EXPLOSIVOS

PRENTE: CASA DE MAQUINAS.	FECHA: 04-ABRIL-92
TIPO DE VOLADURA: BANQUEO 962.00 - 955.50	INSPECTOR:
PLANTILLA DE BARRINACION Y CARGA. EJEMPLO 2 CONT.	TURNO: PRIMERO.

CRONIS DE LOCALIZACION:

Observaciones : _____

NOTA: EN LA PLANTILLA LA LETRA "M" SIGNIFICA QUE
EL TIEMPO DE RETARDO ES "ms" Y LA LETRA "A"
SIGNIFICA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ES "1p".

Nº Tiempo	Nº bnos. X Tiempo	Explosivo X Barrido en - (Kg)	Carga X Tiempo (Kg)
MECHA	2	BANQUEO	
10	BOMBILLOS DE 2x16" (1 kg)/BARRIDO		
10	1	10.0	10.0
20	1	10.0	10.0
30	1	10.0	10.0
40	1	10.0	10.0
50	1	10.0	10.0
60	1	10.0	10.0
70	1	10.0	10.0
80	1	10.0	10.0
90	1	10.0	10.0
100	1	10.0	10.0
110	1	10.0	10.0
120	1	10.0	10.0
5A	1	10.0	10.0
6A	1	10.0	10.0
7A	1	10.0	10.0
8A	1	10.0	10.0
9A	1	10.0	10.0
10A	1	10.0	10.0
11A	1	10.0	10.0
12A	1	10.0	10.0
TOTAL	20	BARRIDOS	
CANTIDAD DE EXPLOSIVO =			200 Kg.
CONTINUA			

Inspector

FALLA DE ORIGEN

SECRET

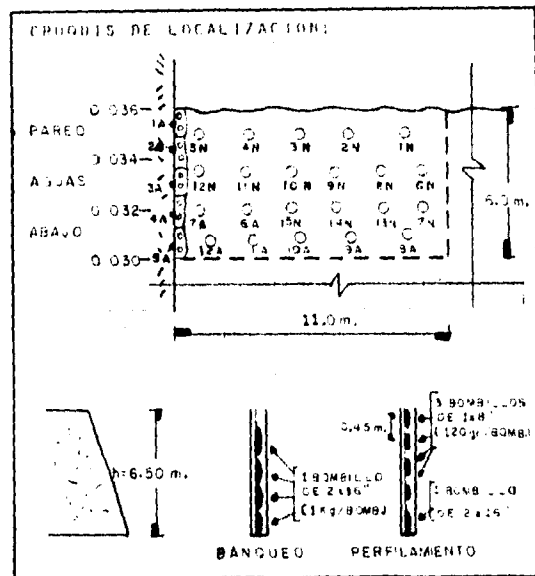


COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBDIRECCION TECNICA DE EXPLOSION

P. A. ZIMAPAN HGO.

CASA DE MAQUINAS
MECANICA DE PULCAS
CONTROL DE EXPLOSION

UBICACION: CASA DE MAQUINAS.	FECHA: 22-ABRIL-92
TURNO DE VOLADURA: BARRUEO 962.00 - 955.50	INSPECTOR:
PLANTILLA DE BARRINACION Y CARGA: EJEMPLO 3.	TURNO: SEGUNDO



OBSERVACIONES:

VOLUMEN EXCAVADO
VOL. EXC. = 6.0 x 11.0 x 6.5 = 429.0 m ³
CANTIDAD DE EXPLOSIVO = 214.0 kg.
FACTOR DE CARGA:
F.C. = 214.0 / 429.0
F.C. = 0.50 kg/m ³

NOTA: EN LA PLANTILLA LA LETRA "M" SIGNIFICA QUE
EL TIEMPO DE RETARDO ES "ms" Y LA LETRA "A"
SIGNIFICA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ES "1p".

Nº Tiempo	Nº Barril	Explosivo X Barril en - (kg)	Carga X Tiempo (kg)
BARRUEO: BOMBILLOS DE 2x16* (1 kg.) / 2x16*			
1B	1	9.0 kg.	9.0 kg.
2B	1	10.0	10.0
3B	1	10.0	10.0
4B	1	10.0	10.0
5B	1	10.0	10.0
6B	1	10.0	10.0
7B	1	9.0	9.0
8B	1	10.0	10.0
9B	1	10.0	10.0
10B	1	10.0	10.0
11B	1	10.0	10.0
12B	1	10.0	10.0
13B	1	9.0	9.0
14B	1	10.0	10.0
15B	1	10.0	10.0
6A	1	10.0	10.0
7A	1	10.0	10.0
8A	1	8.0	8.0
9A	1	9.0	9.0
10A	1	10.0	10.0
11A	1	10.0	10.0
12A	1	10.0	10.0
TOTAL	22		214.0 kg
PERFILAMIENTO: 1 BOMBILLO DE 2x16* (1kg).			
+ 33 BOMBILLOS DE 1x8* (120 grs.) / BARRIL			
1A	2	5.0 kg.	10.0 kg.
2A	2	5.0	10.0
3A	2	5.0	10.0
4A	2	5.0	10.0
5A	2	5.0	10.0
TOTAL	10		50.0 kg

Inspector

III.4.- SISTEMAS DE SOPORTE DE LA ROCA .

Al hacer excavaciones subterráneas de grandes magnitudes en roca, es necesario realizar levantamientos geológicos, estudios de Geofísica, análisis de estabilidad de la roca, y establecer sistemas de soporte y estabilidad que nos aseguren la excavación. Así como conocer las características geométricas de la misma.

La Casa de Máquinas de este proyecto se alojó en una caverna que tuvo las siguientes características geométricas: 70 m. de largo, 22 m. de ancho y 37 m. de profundidad. Teniendo una cobertura de roca de 200 m. en promedio.

Con la información anterior aunada a los levantamientos geológicos, se procedió a realizar los análisis de estabilidad de la roca, obteniéndose como resultado la instalación de los siguientes sistemas de soporte:

- Anclaje.

- Concreto Lanzado.

Otro sistema de estabilidad, indispensable en toda obra de construcción, que se implementó, fue el **Sistema de Drenaje**. Ya que dicho sistema nos libera la presión hidrostática que pudiera ejercerse sobre la excavación.

III.4A.- ANCLAJE

Al efectuar las explosiones para llevar a cabo una excavación, se produce un fracturamiento en la roca, que provoca una disminución de la resistencia en la superficie que queda expuesta. Por lo que se hace necesario colocar un sistema de soporte que logre el equilibrio de dicha zona.

El anclaje es un sistema, que básicamente consiste en comprimir a la roca antes de que empiece a sufrir deformaciones.

El principio general del anclaje, es hacer que la roca forme parte de la estructura de soporte, es decir, que sea capaz de autosoportarse y de soportar la correspondiente carga de roca, a excepción de cuando las anclas soportan fragmentos sueltos de roca. Para que lo anterior suceda efectivamente, las anclas deberán colocarse inmediatamente después de abrir la excavación.

El anclaje debe colocarse lo más cercano al frente de excavación, tratando de reducir el tiempo que permanece sin soporte la zona excavada, ya que entre mayor sea este tiempo, aumentará el riesgo de provocarse un “ caído “ o desprendimiento que ponga en peligro la estabilidad de la excavación.

No existe un procedimiento generalizado para calcular un sistema de anclaje, esto se debe a la diversidad de tipos de roca. Y para cada tipo debe analizarse su mecanismo de falla. Conociendo la capacidad de las anclas, y su mecanismo de falla, se determina el número de anclas que son necesarias para proporcionar la estabilidad de la roca.

El ancla es una varilla de acero corrugado, que debido a su manera de trabajar se puede dividir en dos grandes grupos:

- a) Ancas que tengan un dispositivo de anclaje en un extremo y en el otro un dispositivo rígido que permita mantener una tensión suficiente para producir un esfuerzo de compresión en la roca intermedia. Generalmente dicho dispositivo consiste en una placa y una tuerca.
- b) Ancas que se encuentran alojadas en barrenos cementados o inyectados ya sea con mortero o con resina epóxica , las cuales trabajan a fricción con las primeras deformaciones de la roca. En este tipo de anclaje, el mismo es proporcionado por la adherencia que se genera entre las paredes del barreno , el mortero o resina, y el ancla.

Tipos de Ancas Utilizadas

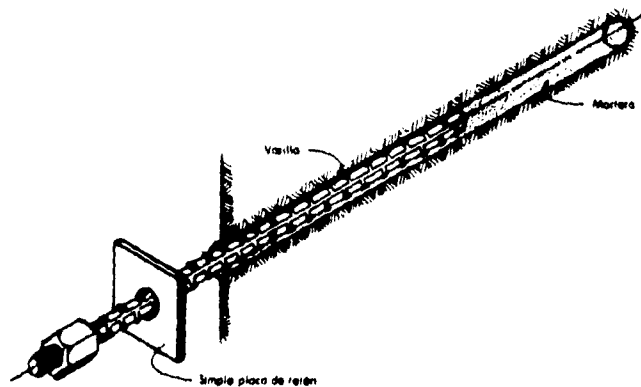
En este proyecto se utilizaron dos tipos de anclas de fricción:

- Ancas inyectadas con mortero.
- Ancas colocadas con resina epóxica.

III.4A.1.- ANCLAS INYECTADAS CON MORTERO

Este tipo de anclaje consiste en inyectar mortero dentro de un barreno, el cual contiene el ancla (en esta obra se utilizaron varillas de acero corrugado). La inyección del mortero establece la unión entre el ancla y la roca, convirtiendo a la primera en una parte integrante del macizo rocoso, y protege al ancla de la corrosión.

Estas anclas no se pueden tensar, por lo tanto se tienen que instalar antes de que se presenten deformaciones importantes en la roca, en ocasiones se puede añadir una placa de retén con una tuerca, pero como refuerzo muy ligero. (Fig No. 25).



(Fig No 25)

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE ANCLAS INYECTADAS CON MORTERO

- 1.- Se amaciza el terreno, retirando con barras de acero , posibles fragmentos de roca que pudieran quedar inestables después de las detonaciones
- 2.- Una brigada de topografía marca la plantilla de barrenación para el anclaje.
- 3.- **Realización de la barrenación:**
La barrenación se realizó con “Track Drill”, este equipo trabaja con aire y utiliza barras de 3.0 m. de longitud que se pueden acoplar para lograr la barrenación a la profundidad indicada. El rendimiento con esta maquinaria es de 3.0 m. de barrenación en 20 minutos, lo que nos produce un rendimiento horario de 9.0 m.
Para la ejecución de este tipo de anclaje, es necesario que el diámetro del barreno, sea por lo menos una pulgada mayor que el diámetro del ancla, para asegurar la adherencia entre el ancla, el mortero y la roca.
- 4.- **Lavado de los barrenos.**
Con el mismo equipo usado para la barrenación, se procede al lavado de los barrenos.
- 5.- **Preparación del anclaje.**
Antes de introducir el anclaje, se le hace una preparación que consiste en:
 - a) Verificar que el ancla este limpia, sin óxidos y que sea del diámetro y longitud indicadas en el proyecto.

- b) Soldarle separadores, con el fin de que el ancla no este en contacto con el barreno, y que al momento de realizar la inyección se asegure que el mortero quede entre el barreno y el ancla

A las anclas que se colocaron en la Casa de Máquinas se les soldaron cuatro separadores de varilla del # 2, de 15 cm. de largo, espaciados a cada 2.50 m.

- c) Colocación de manguera de $\frac{1}{2}$ " Ø.

A ésta manguera se le llama de inyección y se coloca de tal manera que al introducir el ancla, dicha manguera queda colocada aproximadamente 40 cm. adentro del barreno y otros 40 cm. afuera de él.

Por dicha manguera se inyecta el mortero en el barreno.

- d) Colocación en manguera de $\frac{1}{4}$ " Ø.

Esta manguera se conoce como de purga o de respiración y va colocada a todo lo largo del ancla, quedando unos 80 cm. afuera del barreno.

Por esta manguera debe salir el mortero que se está inyectando, para estar seguros que el ancla está bien inyectada.

- 6.- Se introduce el ancla en el barreno.

- 7.- Ya introducida el ancla , se procede a colocar en el brocal del barreno un tapón de mezcla arena-cemento, a la cuál se le agrega un aditivo acelerante de fraguado. A esta actividad se le conoce como calafateo, el cuál nos evita que se salga el mortero debido a la presión que se va a aplicar al momento de la inyección.

8 - Se procede a la inyección del ancla

Esta operación consiste en hacer penetrar el mortero a presión dentro del barreno. En la Casa de Máquinas de éste proyecto se utilizaron “satélites” como equipos de inyección, los cuales básicamente, son depósitos que tienen acondicionada una manguera por donde se les aplica aire a presión y otra por donde viaja la mezcla de inyección hacia el barreno, y levantan una presión de aproximadamente 4 kg / cm^2 .

El mortero que se fabricó para la inyección del anclaje tuvo un $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$, con la siguiente dosificación:

Cemento	50 kg.	
Arena	20 kg.	Malla No. 16 (3 % máximo de finos).
Agua	27 lt.	

9.- Verificación de la resistencia del anclaje.

Por último se realizan pruebas de extracción de anclas a los 28 días, usando gatos hidráulicos.

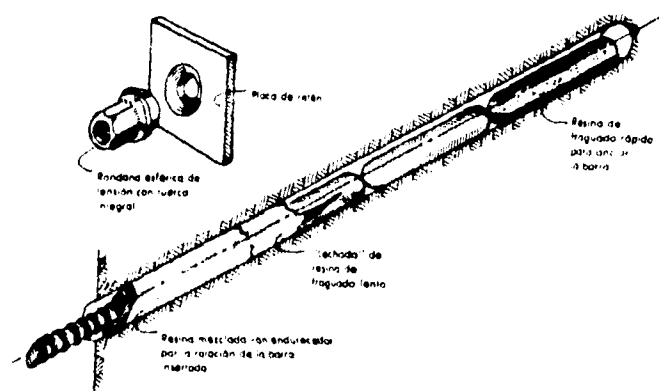
El sistema de anclaje inyectado con mortero, fue el que se utilizó principalmente en las cavernas de la Casa de Máquinas y de la Sala de Transformadores.

III.4A.2.- ANCLAS COLOCADAS CON RESINA EPOXICA

Este sistema de anclaje consiste en colocar dentro del barreno cartuchos de resina, hasta llenarlo por completo y luego insertar el ancla con un movimiento rotatorio

Los cartuchos de resina están compuestos por resina y por un catalizador (endurecedor), separados entre sí, los cuáles se mezclan durante la inserción del ancla para obtener el anclaje requerido.

Las anclas colocadas con este sistema se pueden o no tensar según se especifique. El anclaje se logra colocando hasta el fondo del barreno un cartucho de resina de fraguado rápido y luego completando el barreno con cartuchos de resina de fraguado lento. La tensión se logra si aplicamos la misma después de que fragüe el cartucho de fraguado rápido y antes de que los de fraguado lento endurezcan. En caso de no aplicar la fuerza de tensión, tendremos una ancla trabajando por fricción. (Fig. No. 26).



(Fig. No. 26)

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE ANCLAS COLOCADAS CON RESINA EPOXICA.

- 1.- Se amaciza el terreno, retirando con barras de acero posibles fragmentos de roca que pudieran estar inestables después de las detonaciones.
- 2.- Una brigada de Topografía marca la plantilla de barrenación para anclaje.
- 3.- Realización de la barrenación. El equipo utilizado fue "La Perforadora de Pierna".
Debido a que el diámetro de las anclas colocadas con este sistema fue de 1", tenemos por especificación que como el diámetro del cartucho es de 1 9/16 " , el diámetro del barreno debería ser de 1 7/8 ". Dicha especificación se basa simplemente en que al sumar las áreas del ancla y del cartucho, debemos obtener el área del barreno. Todo esto con el fin de asegurarnos de que el barreno quede completamente lleno.
- 4.- Se introducen los cartuchos de resina necesarios para llenar el barreno.
- 5.- Colocación de las anclas dentro del barreno.
Las anclas son de varilla corrugada de $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$, con su extremo interior en forma de cuña para facilitar su instalación.
Conforme el ancla va entrando se le aplica un movimiento rotatorio con la misma perforadora de pierna. Con esta maniobra se van activando los cartuchos de resina con su catalizador (endurecedor) y una vez que ha entrado por completo el ancla en el barreno se sigue rotando de 10 a 20 segundos, y por último se deja fija el tiempo necesario para que fragüen los cartuchos de fraguado lento.

6 - Colocación de placa de acero

Después de que ha fraguado la resina, se le coloca al ancla en su extremo exterior una placa de acero de 15 cm. x 15 cm. x ½ " de espesor, para apoyo contra la roca

Debido a la experiencia obtenida en otros proyectos, se ha demostrado la conveniencia de colocar dicha placa.

7.- Verificación de la resistencia del anclaje.

Por último se realizan pruebas de extracción de las anclas con gatos hidráulicos.

La aplicación de éste sistema de anclaje, tuvo lugar tanto en la bóveda como en las paredes laterales del Túnel de Comunicación de Casa de Máquinas con la Sala de Transformadores y en las Galerías de Buses. (Por las Galerías de Buses se transporta la electricidad generada en la Casa de Máquinas hacia los Transformadores) Las zonas mencionadas anteriormente, están alojadas en un Pilar de Roca de 9.0 m. de ancho que quedó entre la Pared Aguas Abajo de La Casa de Máquinas y la Pared Aguas Arriba de La Sala de Transformadores. (Figs. No. 27 y 30).

El patrón de anclaje en las Galerías de Buses fue en cuadrícula 2 m. x 2 m., de 3 m. de longitud y 1 " Ø, y en el Túnel de Comunicación fue en cuadrícula 2 x 2 m., de 6 m de longitud y 1 " Ø. Ambos con placa de acero de 15 x 15 cm. x ½ " de espesor, para apoyo contra la roca.

La ventaja del anclaje colocado con resina , sobre el inyectado con mortero, es que es muy sencillo y rápido de instalar, aunque por otro lado su costo es mayor y tienen un tiempo de almacenamiento limitado, sobre todo en climas cálidos.

III.4A.3.- ANCLAJE EN LAS CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES.

El patrón de anclaje que se colocó en las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores (Fig. No. 27) fue el siguiente:

A) ANCLAJE EN CASA DE MAQUINAS.

El anclaje en la Bóveda se realizó con anclas de 1" Ø y 9.0 m. de longitud con un patrón de 2 x 2 m. en tresbolillo. Este anclaje se cerró del cadenamamiento 0+003 al 0+031 y del eje Q al V como se muestra en la Fig. No. 28, debido a que la estructura geológica de dicha zona se presentó formando cuñas con salida hacia la excavación.

En la Pared Aguas Arriba el anclaje tuvo diferentes longitudes:

De la elev. 981.00 a la 967.00 la longitud fue de 12.0 m.

De la elev. 965.00 a la 959.00 la longitud fue de 9.0 m.

De la elev. 957.00 a la 949.00 la longitud fue de 6.0 m.

El patrón fue de 2 x 2 m. en tresbolillo ascendentes 15°, de 1" Ø, exceptuando el anclaje en las elevaciones 976.65 y 977.40. Porque en esta zona es donde está alojada la trabe carril y debido a los esfuerzos a que estarán sometidas dichas anclas se les cambió el diámetro a 1 ½", en cuadrícula a cada 2 m. (Fig. No. 29).

El anclaje en la Pared Aguas Abajo se realizó con diferentes longitudes como se indica a continuación:

De la elev. 981.00 a la 969.00 la longitud fue de 9.0 m. y 1 ½ " Ø.

De la elev. 967.00 a la 957.00 la longitud fue de 12.0 m. y 1 ½ " Ø.

De la elev. 955.00 a la 945.00 la longitud fue de 9.0 m. y 1 ½ " Ø.

El patrón fue de 2 x 2 m. en cuadrícula (Fig. No. 30)

Las variaciones en longitud y diámetro de anclaje en ambas paredes de Casa de Máquinas se debieron a las condiciones geológicas presentadas en el capítulo III.5 (Estructuras Geológicas Relevantes).

En el Tímpano Derecho, como en el Tímpano Izquierdo, el anclaje se colocó con el patrón de 2 x 2 m. en tresbolillo, 6 m. de longitud y 1" de diámetro. (Fig. No. 31).

B) ANCLAJE EN SALA DE TRANSFORMADORES.

En la Bóveda, el anclaje tuvo una longitud de 6 m., 1 " de diámetro, colocado en tresbolillo a cada 2 m. (Fig. No. 32).

En la Pared Aguas Arriba, el anclaje fue de 1 ½ " de diámetro, 9 m. de longitud, en cuadrícula a cada 2 m.

Con el anclaje de esta pared, aunado al realizado por Casa de Máquinas en su Pared Aguas Abajo, tenemos que el anclaje en el Pilar, a todo lo largo de la Pared Aguas Arriba de la Sala de Transformadores se cerró de 2 m. a 1 m. de separación, con lo que se logró darle mayor estabilidad al Pilar, el cuál solamente tiene 9 m. de ancho (Fig. No. 33).

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

79

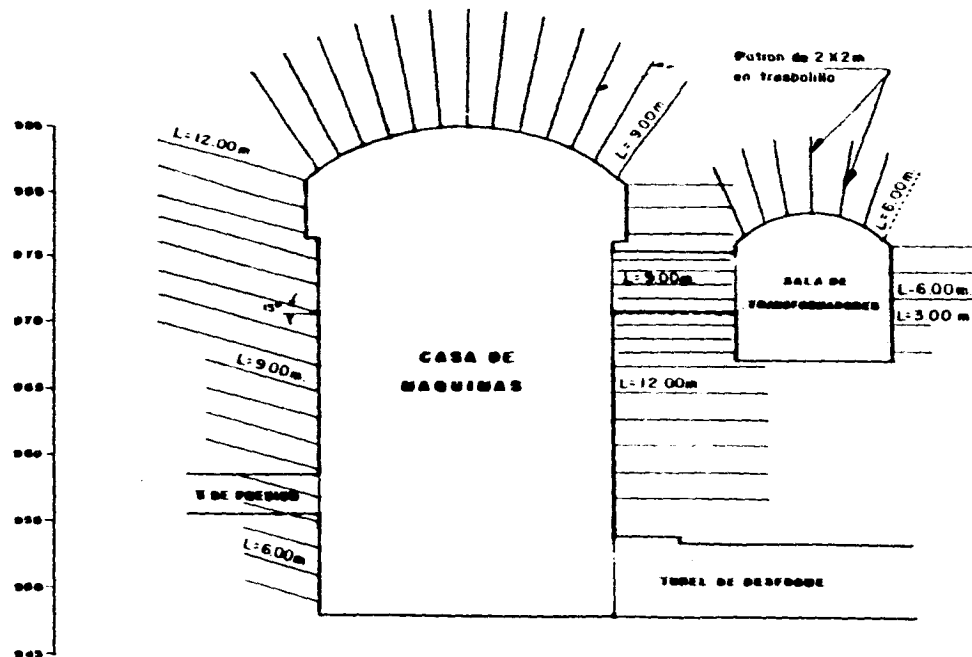
El anclaje en la Pared Aguas Abajo se colocó de 6 m. de longitud de la elevación 976.00 a la 972.00 y de 3 m. de longitud en las elevaciones 970.00 y 968.00, en tresbolillo 2 x 2 m. y 1" de diámetro (Fig. No. 34).

Tanto en el Tímpano Derecho como en el Tímpano Izquierdo, el anclaje fue idéntico, teniendo un patrón de 2 x 2 m. en tresbolillo, de 1" de diámetro (Fig. No.35), variando su longitud de la manera siguiente:

De la elev. 978.00 a la elev. 974.00 la longitud es de 6.0 m.

De la elev. 972.00 a la elev. 968.00 la longitud es de 3.0 m.

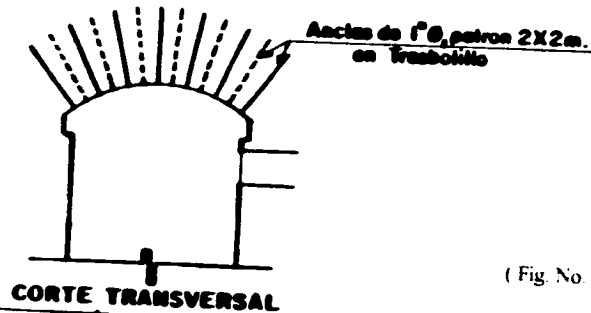
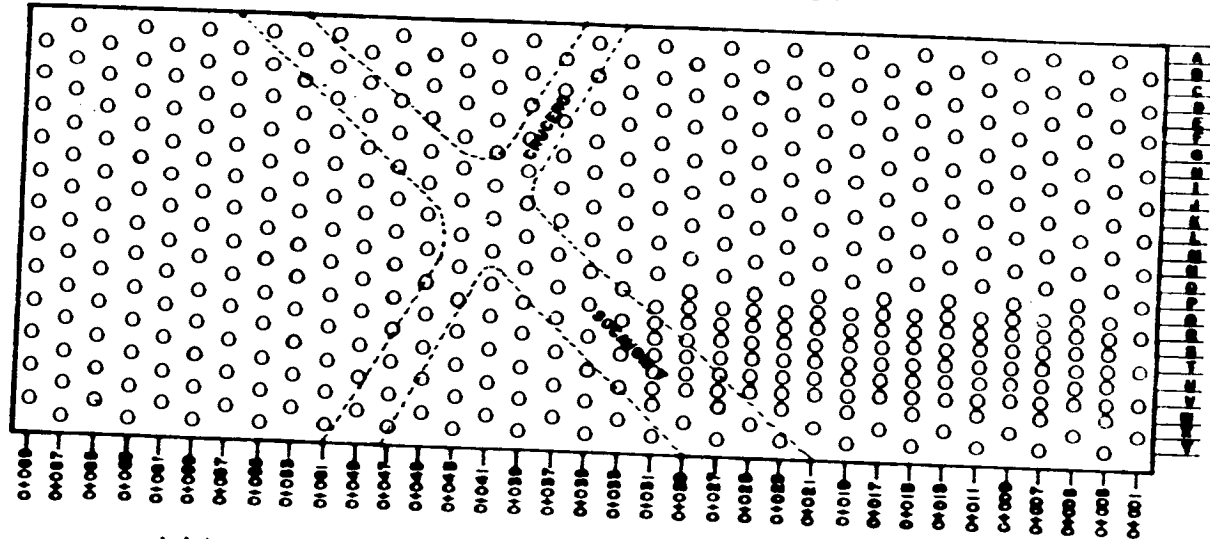
**ANCLAJE EN CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS
Y GALERIA DE TRANSFORMADORES**



CORTE TRANSVERSAL

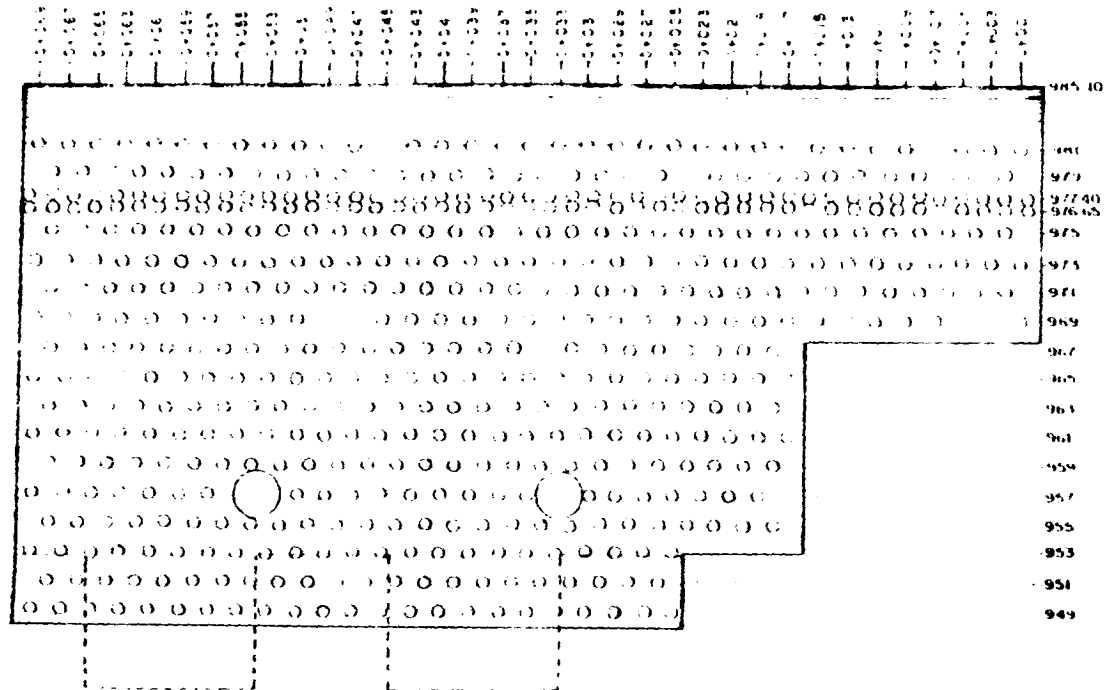
(Fig. No 27)

CASA DE MAQUINAS **PLANTA DEL ANCLAJE DE LA BOVEDA**



(Fig. No. 28)

CASA DE MAQUINAS
ANCLAJE DE PARED AGUAS ARRIBA



VISTA FRONTAL PARED AGUAS
ARRIBA

(Fig No. 29)

CASA DE MAQUINAS
ANCLAJE DE PARED AGUAS ABAJO

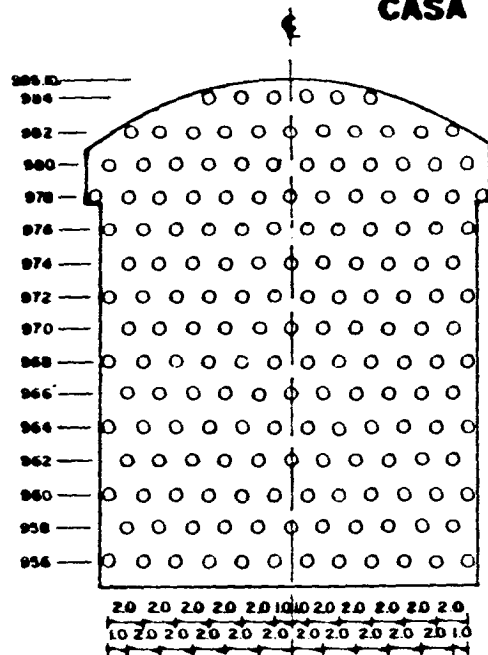
VISTA FRONTAL PARED AGUAS ABAJO

(Fig No 30)

(Fig No 30)

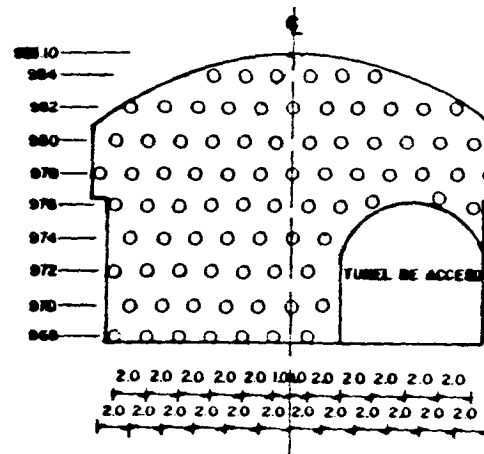
2

CASA DE MAQUINAS



Anclaje

TIMPANO DERECHO



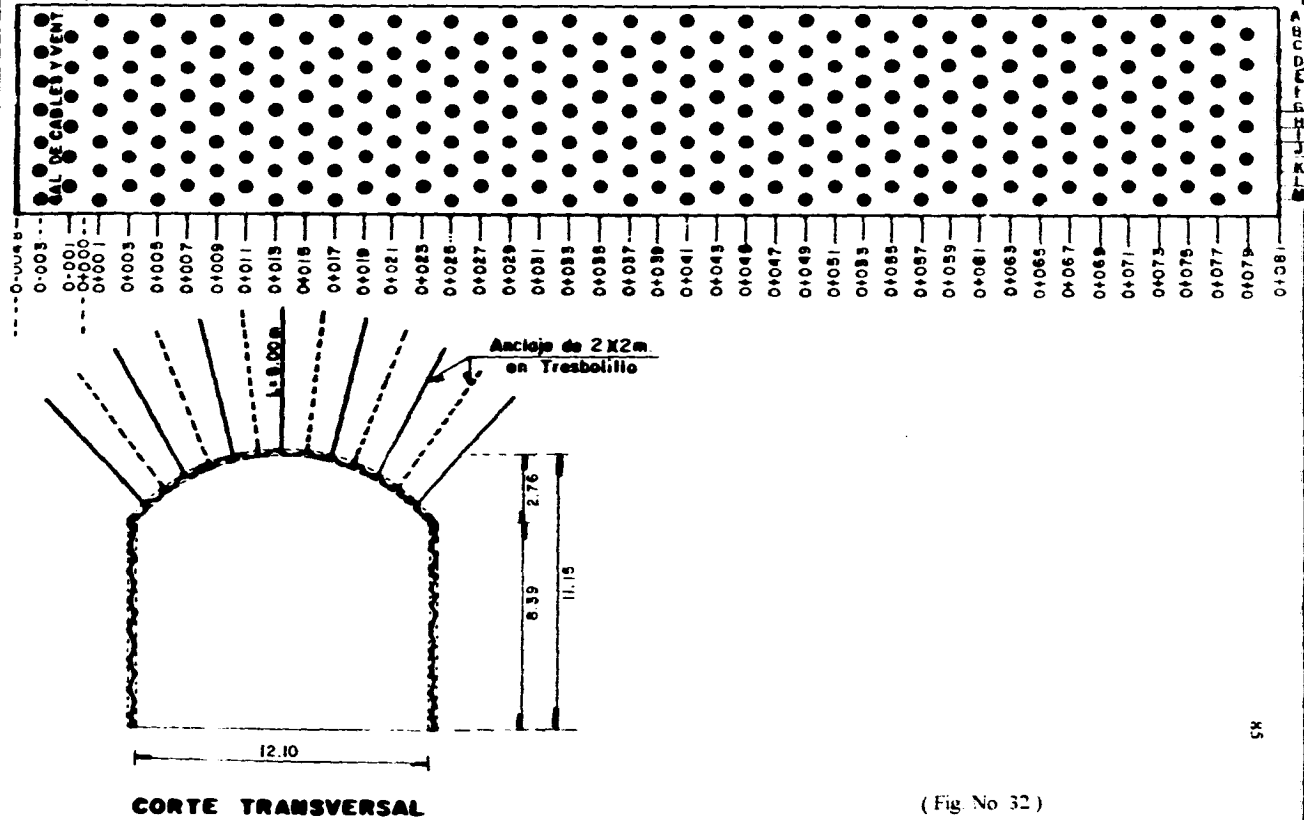
Anclaje

TIMPANO IZQUIERDO

(Fig. No. 31)

SALA DE TRANSFORMADORES

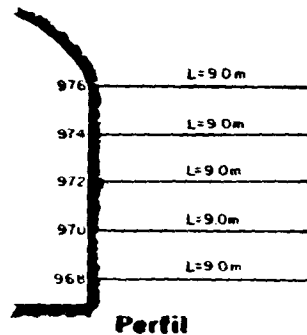
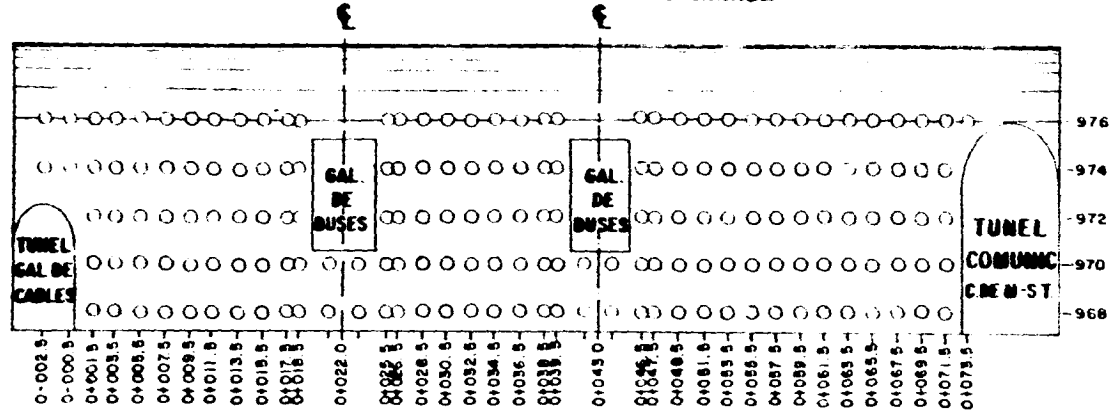
PLANTA DEL ANCLAJE DE LA BOVEDA



(Fig No 32)

SALA DE TRANSFORMADORES

ANCLAJE EN PARED AGUAS ARRIBA

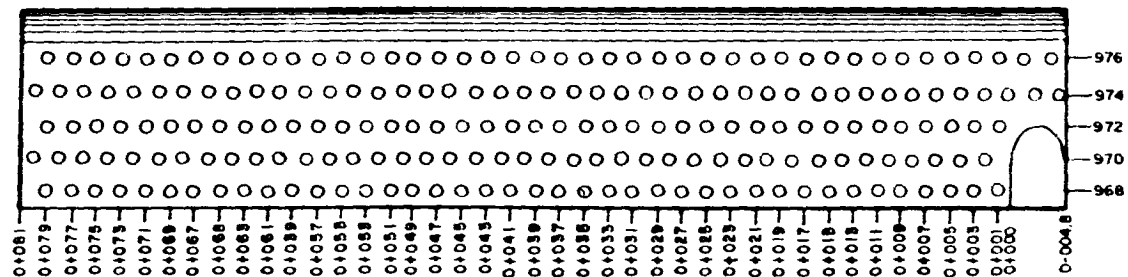


PARED AGUAS ARRIBA "ANCLAJE"

(Fig. No. 33)

SALA DE TRANSFORMADORES

PARED AGUAS ABAJO



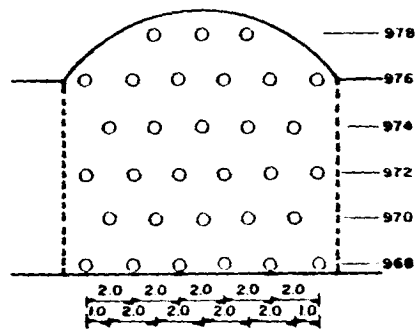
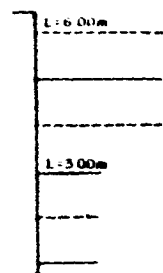
Ancloje

(Fig. No. 34)

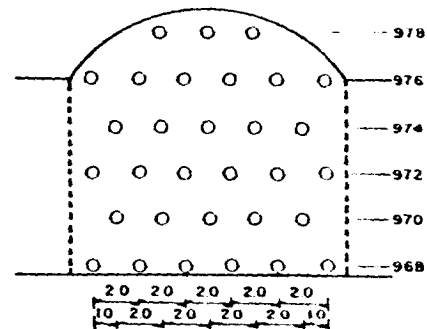
SALA DE TRANSFORMADORES

ANCLAJE

PERFIL



TIMPANO IZQUIERDO



TIMPANO DERECHO

(Fig. No. 35)

III.4B.- DRENAJE.

La Pantalla de Drenaje nos ayuda en la estabilidad de la excavación, porque logra el abatimiento de cargas hidrostáticas que actúan sobre la roca. Dicha Pantalla, no es más que una serie de perforaciones en la roca que se desea drenar, estos barrenos deben revisarse periódicamente y reperforarse cuando se taponen por depositación de materiales.

III.4B.1.- BARRENACION DEL DRENAJE.

Este procedimiento consiste solamente en que una brigada de Topografía marque el lugar donde se barrenarán los drenes de acuerdo al proyecto, y posteriormente realizar la barrenación con el diámetro y longitud indicados.

Para la barrenación de los drenes se utilizaron “Track Drills”, con los cuales se pueden realizar barrenos de diferentes longitudes, porque tienen la facilidad de acoplar barras de 3.0 m. de longitud.

III.4B.2.- PANTALLA DE DRENAJE EN LAS CAVERNAS DE CASA DE MÁQUINAS Y SALA DE TRANSFORMADORES.

La Pantalla de Drenaje que se implementó en las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores (Fig. No. 36), fue la siguiente:

A) PANTALLA DE DRENAJE EN CASA DE MÁQUINAS .

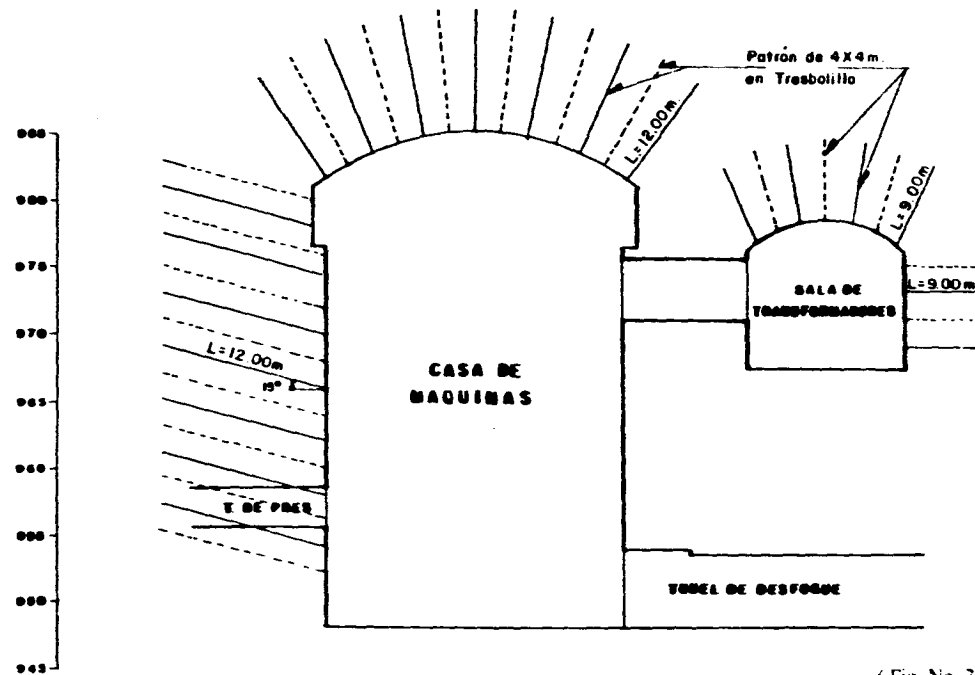
El drenaje en la Bóveda consistió en barrenos de 2 ¼ " de diámetro y 12 m. de longitud, con patrón de 4 x 4 m. en tresbolillo (Fig. No. 37).

En la Pared Aguas Arriba, el drenaje se llevó a cabo con drenes de 3" de diámetro y una longitud de 12 m; con una inclinación de 15 ° ascendentes en tresbolillo con un patrón de 4 x 4 m. (Fig. No. 38).

En la Pared Aguas Abajo no se efectuó drenaje por no ser necesario en la zona del pilar, porque se drenaron ambas bóvedas, tanto la de La Casa de Máquinas como la de La Sala de Transformadores.

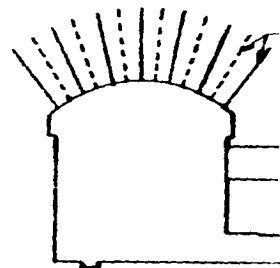
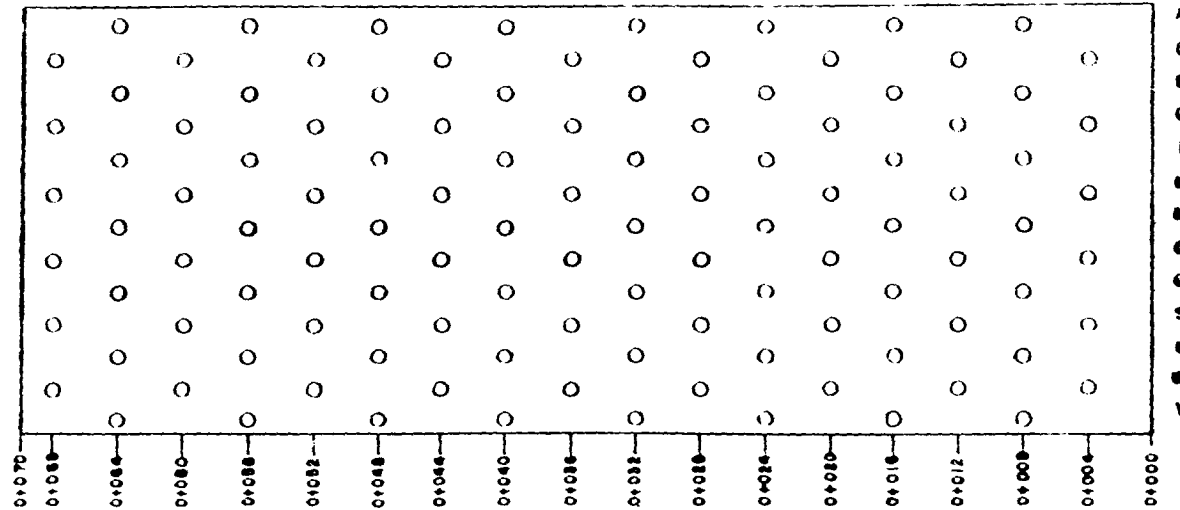
En el Timpano Derecho, como en el Timpano Izquierdo, el drenaje tuvo un patrón de 4 x 4 m. en tresbolillo de 9 m. de longitud y 2 ¼ " de diámetro (Fig. No. 39).

**DRENAJE EN CAVERNAS DE CASA DE MAQUINAS
Y GALERIA DE TRANSFORMADORES**



(Fig No 36)

CASA DE MAQUINAS PLANTA DEL DRENAJE DE LA BOVEDA

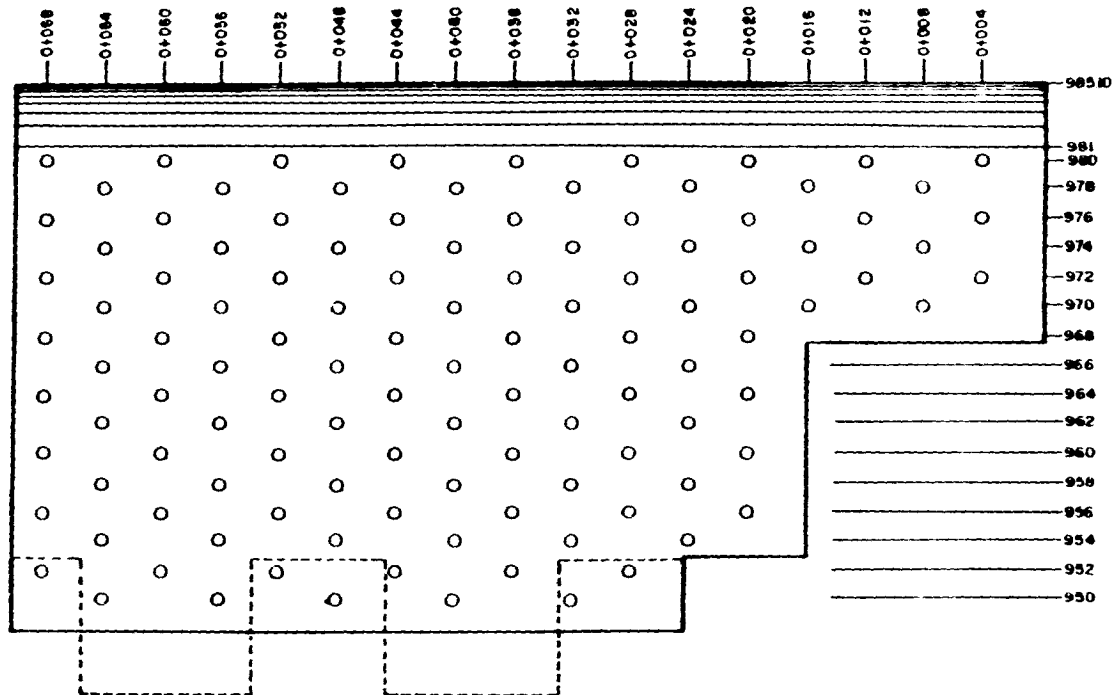


Drenos de 2 1/2" por 4m.
en Trenchbolle.

(Fig. No 37)

CORTE TRANSVERSAL

CASA DE MAQUINAS **PARED AGUAS ARRIBA**

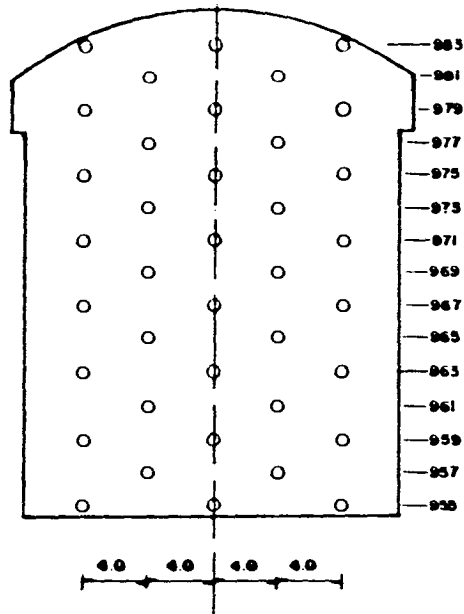


VISTA FRONTAL PARED AGUAS ARRIBA

Drenaje

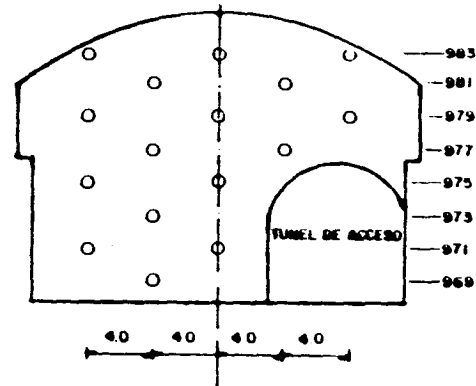
(Fig No. 38)

CASA DE MAQUINAS



Drenaje

TIMPANO DERECHO



Drenaje

TIMPANO IZQUIERDO

(Fig No 39)

B) PANTALLA DE DRENAJE EN LA SALA DE TRANSFORMADORES.

En la Bóveda el drenaje fue de una longitud de 9.0 m. y 2 ¼ " de diámetro, en tresbolillo, con un patrón de 4 x 4 m. (Fig. No. 40)

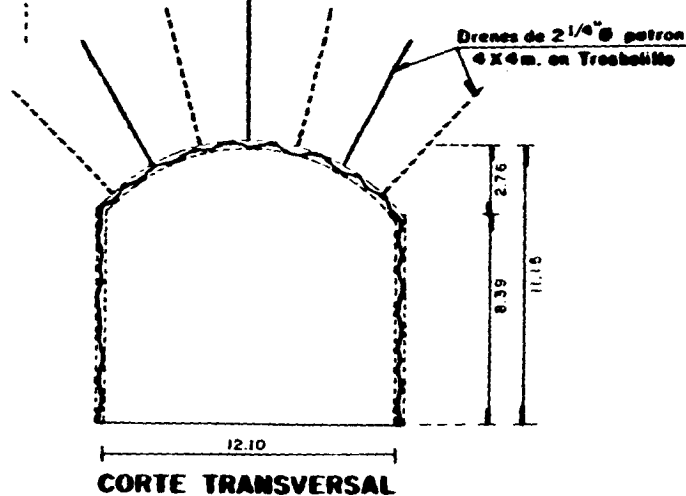
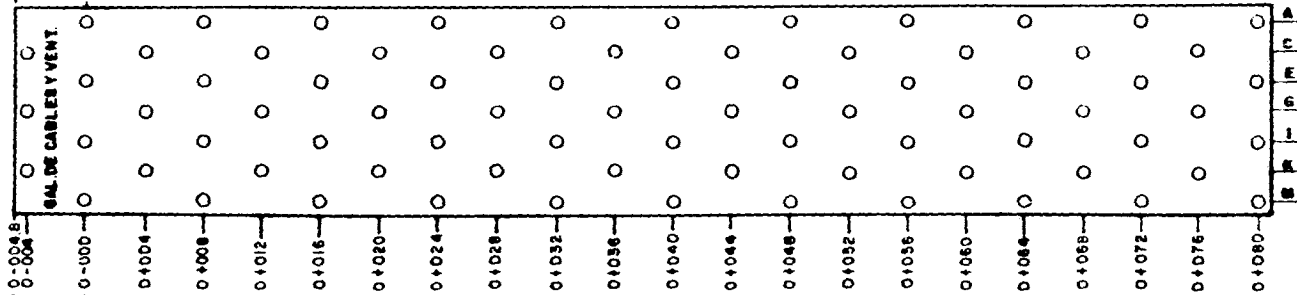
En la Pared Aguas Arriba , al igual que en la Pared Aguas Abajo de la Casa de Máquinas, no se efectuó drenaje por no ser necesario, ya que se drenaron ambas bóvedas.

El drenaje en la Pared Aguas Abajo tuvo 9.0 m. de longitud, en tresbolillo a cada 4.0 m. y 3" de diámetro (Fig. No. 41)

El drenaje fue idéntico tanto en el Timpano Derecho como en el Timpano Izquierdo, de 9.0 m. de longitud, con una inclinación ascendente de 10 ° , en tresbolillo con un patrón de 4 x 4 m. y 2 ¼ " de diámetro (Fig. No. 42).

En la Fig. No. 43 se muestra una tabla que contiene un resumen del anclaje y drenaje ubicados en las cavernas de Casa de Máquinas y Sala de Transformadores.

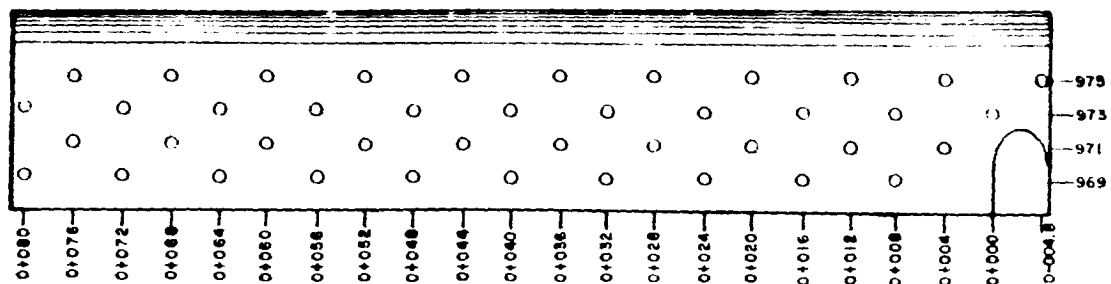
SALA DE TRANSFORMADORES **PLANTA DE LA BOVEDA**



Drenaje

(Fig No. 40)

SALA DE TRANSFORMADORES **PARED AGUAS ABAJO**

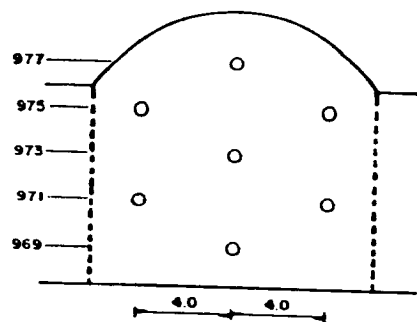


Drenaje

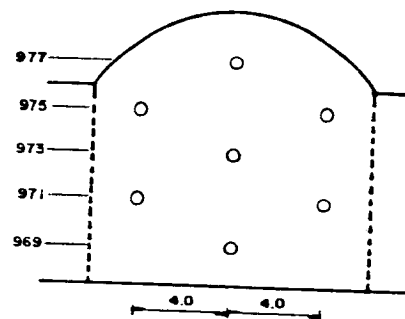
(Fig No 41)

SALA DE TRANSFORMADORES

DRENAJE

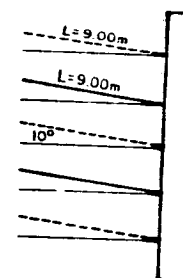


TIMPANO IZQUIERDO



TIMPANO DERECHO

PERFIL



(Fig. No. 42)

TRATAMIENTO DE LA ROCA EN CAVERNAS

CONCEPTO	ANCLAJE	DRENAJE
	No. TOTAL EJECUTADO	No. TOTAL EJECUTADO
CASA DE MAQUINAS	1.- Bóveda	102
	2.- Muros	
	a) Aguas Arriba	107
	b) Aguas Abajo	----
	c) Tímpano Derecho	34
	d) Tímpano Izquierdo	<u>16</u>
	Sub-Total	157
TOTAL	1642	259
SALA DE TRANSFORMADORES	1.- Bóveda	63
	2.- Muros	
	a) Aguas Arriba	----
	b) Aguas Abajo	42
	c) Tímpano Derecho	7
	d) Tímpano Izquierdo	<u>7</u>
	Sub-Total	56
TOTAL	705	119
SUMA DE TOTALES	2347	378

(Fig. No. 43)

III. 4C.- CONCRETO LANZADO.

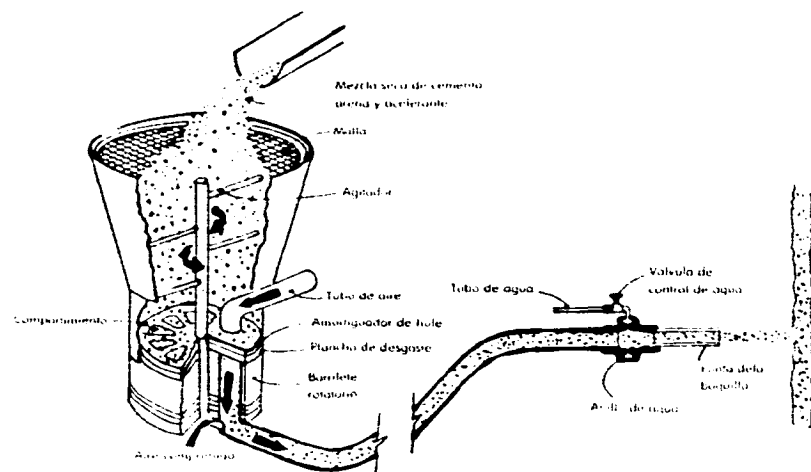
El concreto lanzado es un elemento de soporte durante el proceso de excavación, que se define como mortero o concreto conducido a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. También se le denomina "gunita".

La diferencia que existe entre la "gunita" y el concreto lanzado está en el tamaño máximo del agregado, ya que para la "gunita" es de 5 mm. y para el concreto lanzado puede ser hasta de 30 mm.

Existen dos maneras de aplicar el concreto lanzado, que son : el de "mezcla seca" y el de "mezcla húmeda", en el primero el agua se incorpora en el chiflón y en el segundo se le agrega el agua en la planta dosificadora.

En este proyecto se aplicó el concreto lanzado en forma de mezcla seca, como se muestra en la Fig. No. 44.

El objeto del concreto lanzado es el de mantener el equilibrio de la roca alrededor de la excavación, reforzando su capacidad de autosoporte, más bien que tratar de reemplazar o reproducir las propiedades de soporte de la roca que se extrajo al realizar la excavación.



OPERACION CARACTERISTICA DE CONCRETO LANZADO CON MEZCLA SECA

(Fig. No. 44)

III.4C.1.- FUNCIONES DEL CONCRETO LANZADO

La principal función del concreto lanzado es la de prevenir el aflojamiento de la masa rocosa basándose en sus características, (revenimiento cero y gran adhesión), generando una resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de las fracturas o juntas de unión.

Una capa de concreto lanzado de 15 a 20 cm. constituye un soporte estructural, ya sea en forma de un anillo cerrado o de un elemento en forma de arco.

Al introducirse el concreto lanzado con fuerza en las juntas abiertas, las fisuras y las irregularidades de la superficie de la roca, cumple la misma función de liga que la del mortero en un muro de mampostería.

El concreto lanzado impide la filtración del agua a través de las juntas y de las fisuras de la roca y, por lo tanto, evita la socavación o erosión de los materiales de relleno de las juntas.

Por último, el concreto lanzado evita que penetren el aire y los vapores de agua en las fisuras rellenas de arcilla, ocasionando que la arcilla se hinche y propicie la caída de la roca.

III.4C.2.- CONTROL DE CALIDAD.

La calidad del concreto lanzado depende de los materiales empleados, de la dosificación y equipo con que se elabora su mezcla, así como del método de colocación. En este último punto, la parte fundamental consiste en la habilidad del lanzador para manejar la boquilla.

Para obtener un buen control de la calidad del concreto lanzado tendremos que realizar una revisión de los puntos que a continuación se mencionan :

- a) Control de Materiales.
- b) Control de la Producción.
- c) Inspección Previa al Lanzado.
- d) Inspección Durante el Lanzado.
- e) Inspección Posterior al Lanzado.

A) CONTROL DE MATERIALES.

Los materiales de los que se constituye el Concreto Lanzado son los siguientes:

- Cemento Portland.
- Agregados.
- Agua.
- Aditivos.
- Aire.
- Refuerzo del Lanzado.

Las características que deben reunir cada uno de los materiales, se describen a continuación :

- Cemento Portland.- Su control se verifica realizando los siguientes pasos:

- Pedido.
- Muestreo.
- Ensaye.
- Resultado.
- Carta de calidad. (Norma ASTM-C-150).

- Agregados.- La arena y la grava deben reunir los siguientes requisitos:

Arena:

- Su módulo de finura debe ser $M.F = 2.6 \pm 0.2$.
 - La pérdida por lavado no deberá ser mayor del 5% para agregado natural y del 7% para agregado manufacturado (triturado).
- El porcentaje está referido al material que pasa la malla # 200.
- No deberá estar contaminada por material mayor a 4.6 mm.

Grava:

- Deberá tener una buena curva granulométrica.
 - No deberá estar contaminada por material mayor a 9.5 mm. (3/8 "), ni menor a 4.6 mm
- Agua.- El agua para mezclado y el curado, deberá ser limpia y libre de sustancias que puedan ser dañinas al concreto o al refuerzo, también deberá suministrarse a una presión de 4 kg./cm², (para mezclas secas).
- Aditivos.- En general deben ser acelerantes instantáneos para proporcionar un fraguado rápido, lo que nos da resistencia para poder realizar voladuras cercanas a las pocas horas de aplicado. En Casa de Máquinas se efectuaron voladuras a las 2 horas de colocado, sin presentarse problemas en el lanzado. La proporción que se uso de aditivo fue de 8-12 litros de Guncrete QP-500 por metro cúbico de concreto lanzado.
- Aire.- Deberá ser suministrado por un compresor a una presión que oscile entre 2 y 4 kg./cm².
- Refuerzo del lanzado.- La malla soldada se utiliza en el concreto lanzado para resistir esfuerzos estructurales o de temperatura. Dicha malla debe ser fijada a la roca con grapas de varilla de 3/8 " de diámetro.

B) CONTROL DE LA PRODUCCION.

Como en cualquier trabajo, para poder obtener un adecuado control de la producción, deberemos tener especial cuidado de los costos directos.

En el caso del concreto lanzado tendremos que revisar los siguientes puntos:

- Dosificación de la mezcla.
 - Equipo.
 - Personal Calificado.
-
- Dosificación de la Mezcla - La dosificación debe elaborarse con materiales aprobados mediante su carta de calidad y fabricar la mezcla en una planta de mezclado central con el sistema de pesado de materiales.
 - Equipo.- Tenemos que verificar que todo el equipo esté en buen estado, tanto físico como mecánico y que esté bien calibrado para no tener fallas que nos afecten la producción.
 - Personal.- Debemos contar con personal calificado para manejar todo el equipo con que contamos, y de particular importancia es la habilidad del lanzador para determinar la relación agua-cemento, ya que ésta se determina en el chiflón al momento de efectuar el lanzado (para el caso de mezcla seca).

C) INSPECCION PREVIA AL LANZADO.

La inspección que se debe realizar para poder dar inicio a la actividad del lanzado de concreto es la siguiente :

- Verificar que el equipo de lanzado, (clasificadora, mezcladora, lanzadora, manómetros, compresor, bomba, mangueras, boquilla y equipo de andamiaje), se encuentre en condiciones aceptables de operación.
- Realizar pruebas al personal para asegurarnos que esté capacitado y sea suficiente.
- La superficie que va a recibir el concreto lanzado tendrá que someterse a un amacize efectivo para reducir el riesgo de concreto lanzado “ falso“, producido al aplicarlo sobre rocas sueltas.
- La malla electrosoldada deberá estar anclada a la roca con grapas de varillas del No. 3, se traslapará como mínimo un cuadro y se mantendrá libre de polvo, óxido, grasa y aceite.
- Colocar dos maestras (varillas cortas), como mínimo por cada m², en toda el área que será cubierta por el concreto lanzado.
- Tratar las juntas de construcción (a 45 °).
- Tener alumbrado y ventilación adecuada.
- Por último, previo a la colocación del concreto lanzado, la roca o concreto endurecido será humedecido para lograr una mejor adhesión.

D) INSPECCION DURANTE EL LANZADO.

La inspección durante el lanzado de concreto se basa principalmente en la supervisión del trabajo del operador de la boquilla, verificando los siguientes puntos:

- Durante la ejecución del lanzado de concreto, el operador de la boquilla mantendrá ésta en posición perpendicular a la superficie, y a una distancia entre 0.8 m. y 1.2 m. (La distancia óptima para obtener un mínimo de rebote es de 1.0 m.).
- El operador de la boquilla deberá manipularla de tal manera que le de movimientos circulares muy pequeños. Dicha operación se realiza para evitar tener compactaciones y espesores desiguales.
- Verificar que las presiones del aire y del agua se mantengan dentro de los rangos de operación establecidos. (Entre 2 y 4 kg / cm².).
- Verificar que se cumpla con el recubrimiento mínimo. En este proyecto este requerimiento fue de 2 cm. y se logra observando que se cubran las maestras.

E) INSPECCION POSTERIOR AL LANZADO.

Una vez que se ha terminado el lanzado, debemos revisar los siguientes conceptos para poderlo dar como aceptado.

- Verificación de espesores.
- Recubrimiento de la malla.
- Acabado.
- Segregación.
- Uniformidad.
- Marcación de defectos de lanzado y métodos de reparación.
- Curado (Membrana o chiflón de agua). Debe iniciarse a las 2 ó 3 horas de finalizado el lanzado.
- Reparación y terminado de defectos de lanzado (Preparación de juntas de construcción).
- Extracción de núcleos para ensaye (Para verificar espesor y resistencia $f'c = 200 \text{ kg / cm}^2$).

III.4C.3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA COLOCACION DEL CONCRETO LANZADO.

Cuando necesitamos colocar concreto lanzado en algún frente de trabajo, sabemos de antemano que tenemos la gran ventaja de que se puede aplicar de una manera muy rápida para poder soportar toda la periferia de una excavación subterránea, ya sea excavada con maquinaria o con explosivos.

Tiene, además una gran flexibilidad para aplicarse en cualquier momento y traslaparse con otras actividades del proceso de excavación, con lo cual se logran importantes ahorros de tiempo en el ciclo de trabajo.

El lanzado de concreto, se utilizó en las bóvedas de La Casa de Máquinas y de La Sala de Transformadores después de la colocación de las anclas. Esta combinación nos dio como resultado que el anclaje conectara los bloques grandes de roca inestable debido al sistema geológico de fallas, y que el concreto lanzado, reforzado con malla, sostuviera los fragmentos pequeños, proporcionándonos de esta manera la estabilidad requerida.

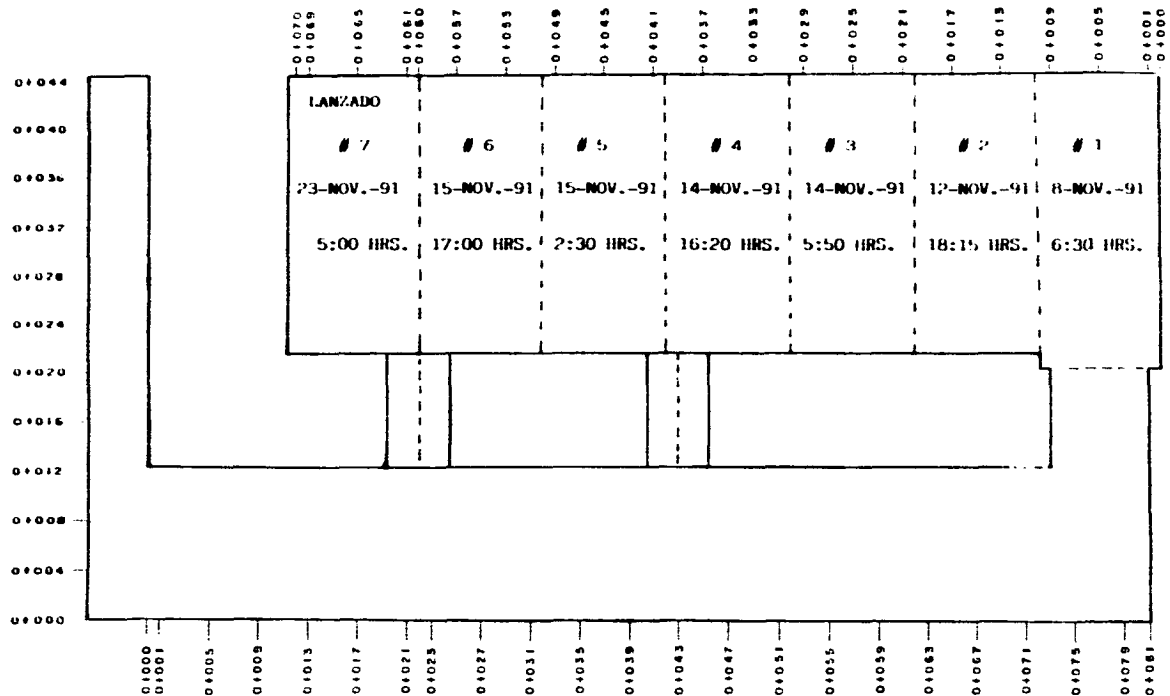
El revestimiento con concreto lanzado se realizó mediante el proceso de mezcla seca (pesado de materiales) en las bóvedas de la Casa de Máquinas y de la Sala de Transformadores, en tres etapas con el procedimiento que se describe a continuación:

- 1.- Una primera capa de concreto lanzado de 3 cm. de espesor, con la finalidad de uniformizar la roca. (Figs. No. 45 y No. 47).

- 2.- En la segunda etapa se colocó malla electrosoldada, conocida como mallalac en tramos de 6 m. x 2.50 m., y una capa de concreto lanzado con un espesor de 7 cm. (Figs. No. 46 y No. 48).
- 3 - Por último, una tercera capa en la cuál se colocó nuevamente malla electrosoldada y una capa de concreto lanzado con un espesor de 5 cm. (Figs. No. 47 y No. 49)

Cabe hacer mención que antes de colocar el concreto lanzado, se debe tener la sección de la excavación lo más parecida a la de proyecto. En caso de que falten cortes pequeños, entonces se "peina", (un "peine" es una voladura de perfilamiento), y se amaciza la zona a tratar.

Finalmente en la Fig. No. 50, se presenta un resumen de la dosificación de los lanzados de concreto.



LANZADO DE CONCRETO EN BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS

ELEV. INFERIOR 981.00

1^a CAPA DE 3 CM. DE ESPESOR SIN MALLA

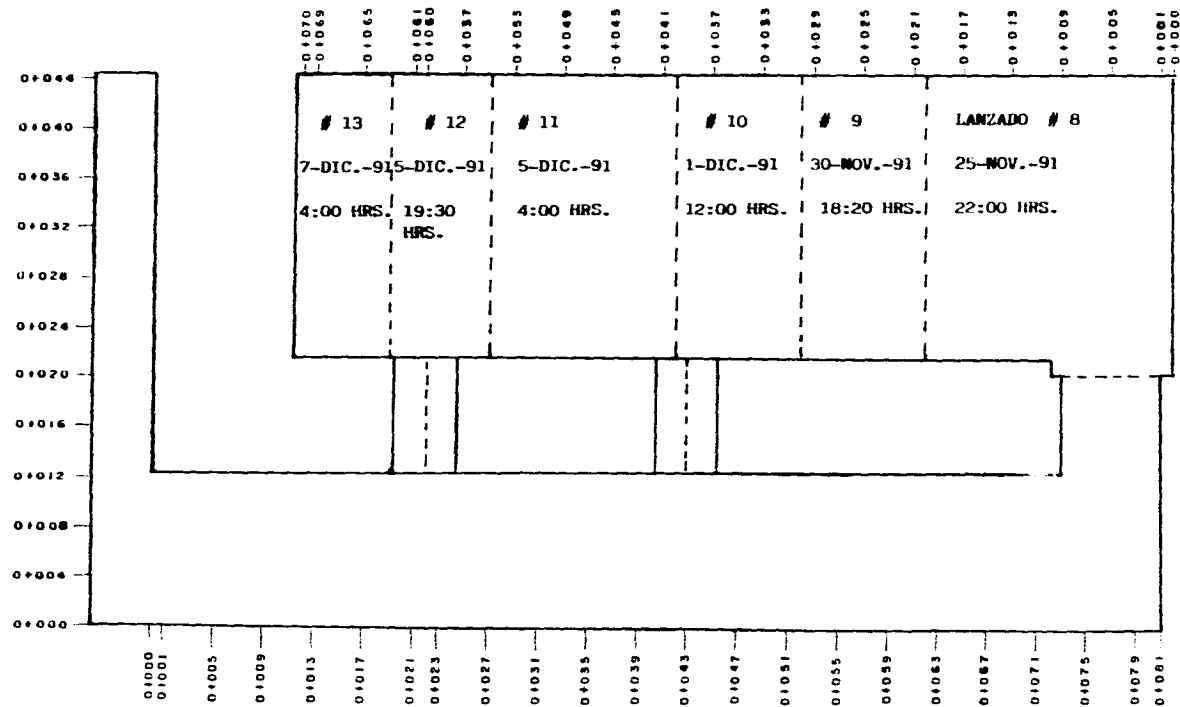
ELEV. SUPERIOR 985.00

f'c 200 Kg/cm² T.M.A. 3/8" ADITIVO GUMCRET 8 l/m³

(Fig No 45)

NOTA: LA FECHA CORRESPONDE A LA TERMINACION DEL CONCRETO LANZADO

ESC. 1:400



LANZADO DE CONCRETO EN BOVEDA DE CASA DE MAQUINAS
 2a. CAPA DE 7 CM DE ESPESOR CON MALLALAC
 $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$ T.M.A. 3/8" ADITIVO GUNCRET 8 l/m³

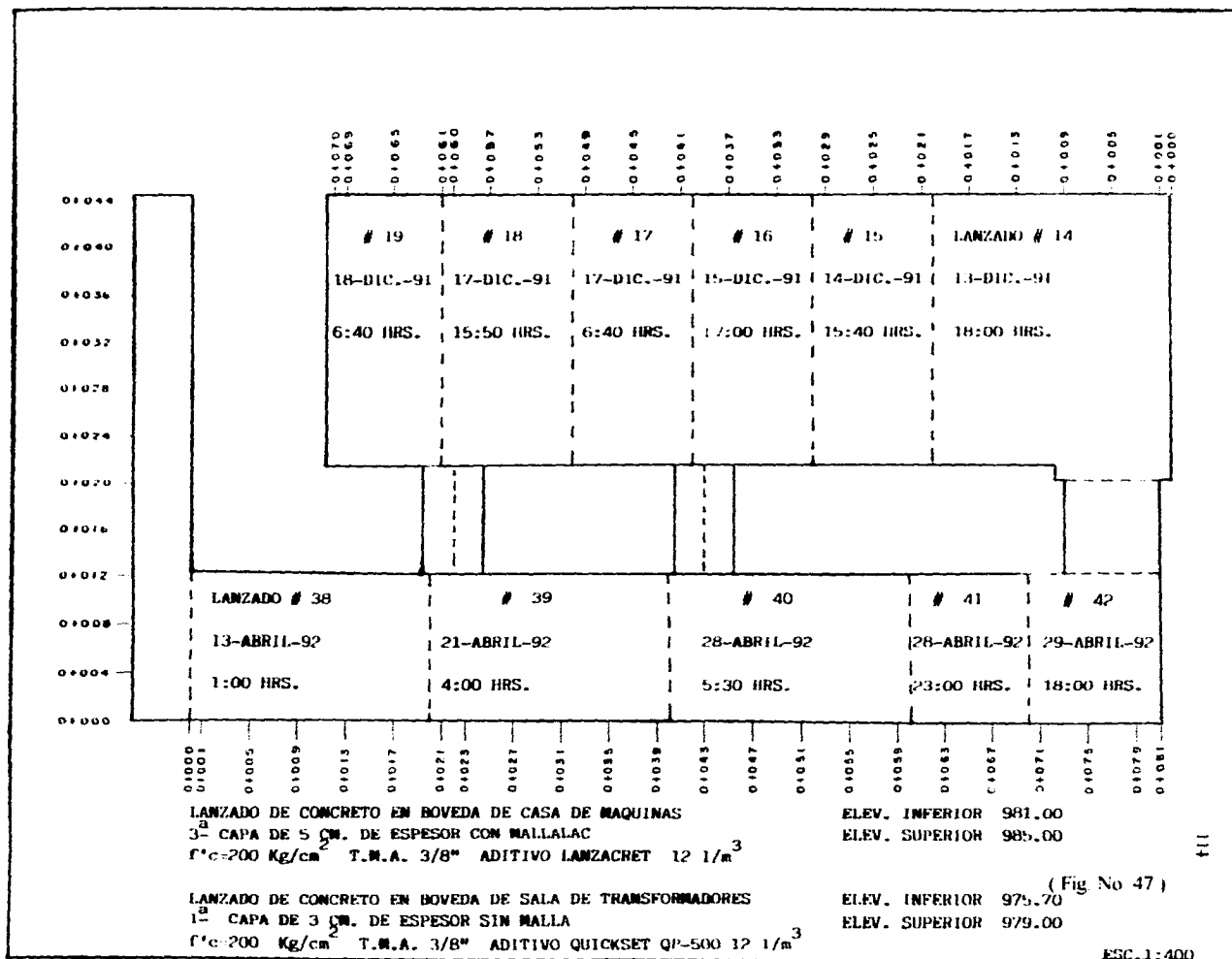
ELEV. INFERIOR 981.00
 ELEV. SUPERIOR 985.00

11

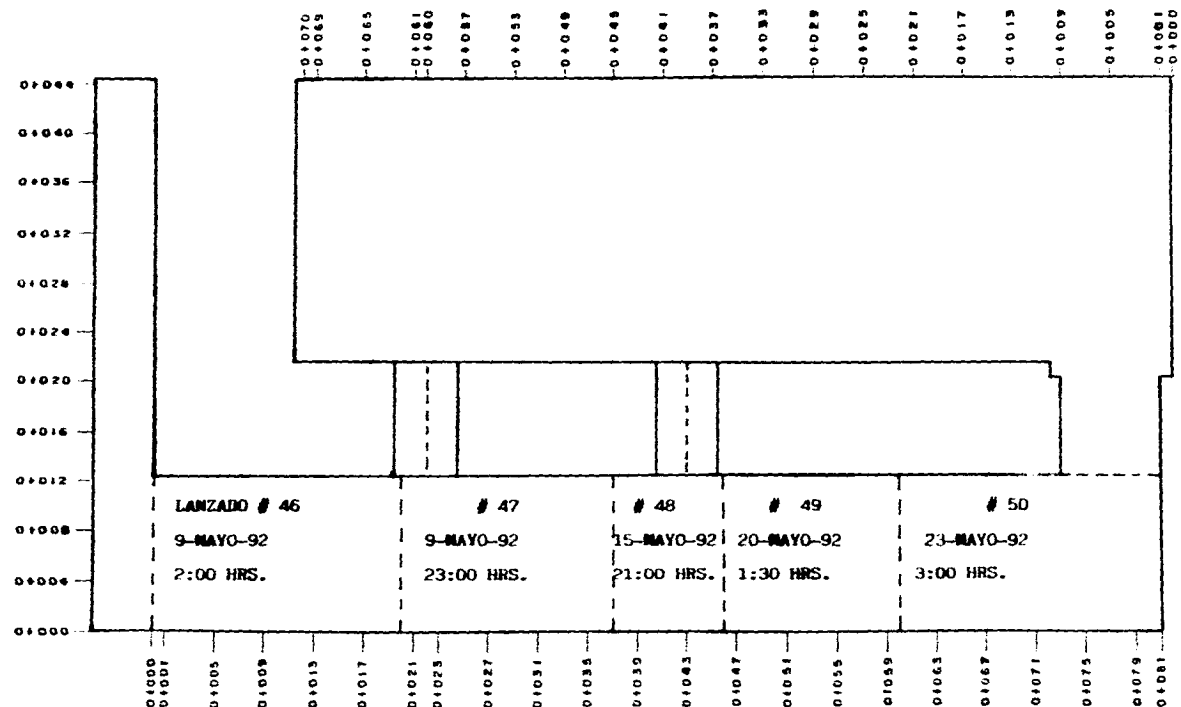
NOTA: LA FECHA CORRESPONDE A LA TERMINACION DEL CONCRETO LANZADO

(Fig No 46)

ESC. 1:400



NOTA: LA FECHA CORRESPONDE A LA TERMINACION DEL CONCRETO LANZADO



LANZADO DE CONCRETO EN BOVEDA DE SALA DE TRANSFORMADORES
 2^a CAPA DE 7 CM. DE ESPESOR CON MALLALAC
 $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$ T.M.A. 3/8" ADITIVO QP-500 12 l/m³

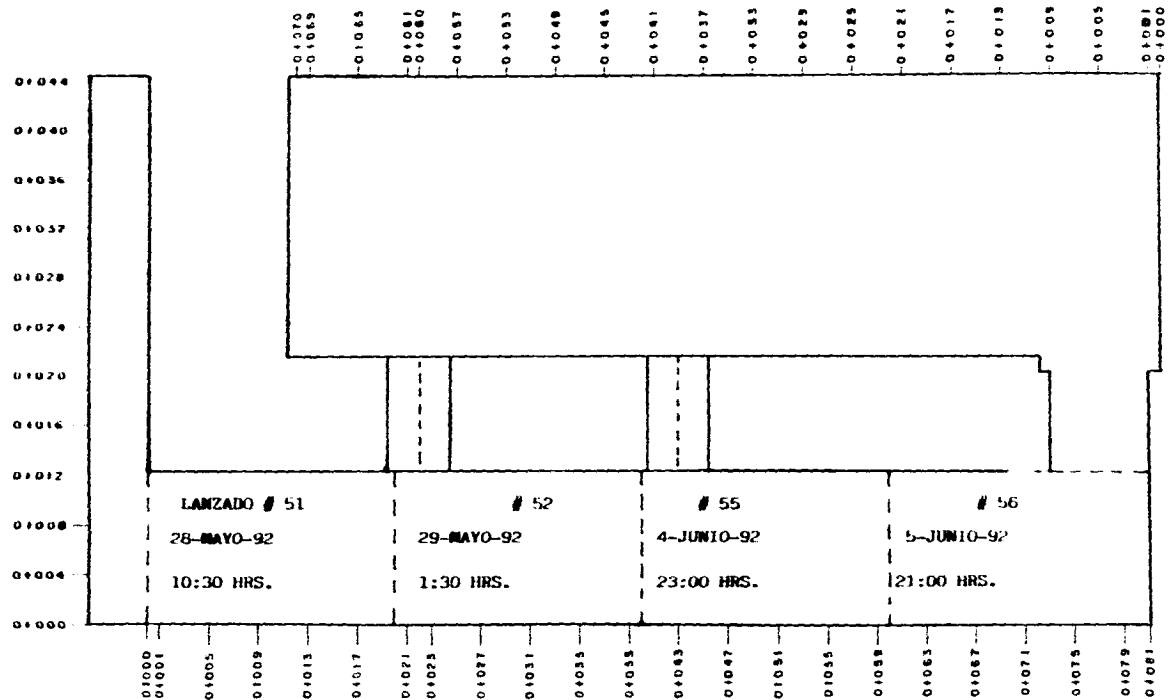
ELEV. INFERIOR 975.70
 ELEV. SUPERIOR 979.00

111

(Fig No 48)

NOTA: LA FECHA CORRESPONDE A LA TERMINACION DEL CONCRETO LANZADO

ESC. 1:400



LANZADO DE CONCRETO EN BOVEDA DE SALA DE TRANSFORMADORES

3^a CAPA DE 5 CM. DE ESPESOR CON MALLALAC

f'c-200 Kg/cm² T.M.A. 3/8" ADITIVO QUICKSET QP-500 12 l/m³

ELEV. INFERIOR 974.70

ELEV. SUPERIOR 979.00

9/1

(Fig No 49)

ESC. 1:400

NOTA: LA FECHA CORRESPONDE A LA TERMINACION DEL CONCRETO LANZADO

DOSIFICACION DE LOS LANZADOS APLICADOS EN LA BÓVEDA DE CASA DE MAQUINAS POR m³.

LANZADO		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10
CEMENTO	Kg.	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
ARENA	Kg.	1138	1116	1116	1143	1143	1107	1117	1101	1100	1100
GRAVA	Kg.	733	711	711	709	709	709	711	727	727	727
AGUA	L.	102	145	145	121	121	157	145	146	146	146
ADITIVO	L.	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CONCRETO COLOCADO	m ³ .	20.32	27.2	15.2	10.0	12.0	12.0	18.8	115.04	33.6	28.0
CONCRETO DESPERDICIADO	m ³ .	5.68	8.8	3.8	6.0	4.0	3.0	7.7	49.96	14.4	12.0
CONCRETO FABRICADO	m ³ .	26.0	36.0	19.0	16.0	15.0	15.0	26.5	165.0	48.0	40.0

LANZADO		# 11	# 12	# 13	# 14	# 15	# 16	# 17	# 18	# 19
CEMENTO	Kg.	400	400	400	400	400	400	400	400	400
ARENA	Kg.	1168	1224	1168	1115	1115	1304	1320	1266	1308
GRAVA	Kg.	730	740	730	730	730	545	544	543	550
AGUA	L.	89	99	89	136	136	132	117	86	95
ADITIVO	L.	8	12	8	12	12	12	12	12	12
CONCRETO COLOCADO	m ³ .	67.8	43.4	30.45	101.67	42.0	50.4	19.3	13.3	32.2
CONCRETO DESPERDICIADO	m ³ .	31.2	18.6	13.05	48.33	18.0	21.6	8.7	6.7	13.8
CONCRETO FABRICADO	m ³ .	99.0	62.0	43.5	150.0	60.0	72.0	28.0	20.0	46.0

DOSIFICACION DE LOS LANZADOS APLICADOS EN LA BOVEDA DE LA SALA DE TRANSFORMADORES POR M³

LANZADO		# 38	# 39	# 40	# 41	# 42	# 46	# 47	# 48	# 49
CEMENTO	Kg	450	450	450	450	450	450	450	450	450
ARENA	Kg	985	985	985	1003	988	988	981	995	995
GRAVA	Kg	783	783	783	784	784	784	780	790	790
AGUA	l	148	148	148	104	173	143	153	130	130
ADITIVO	l	12	12	12	12	12	12.6	12.6	12.6	12.6
CONCRETO COLOCADO	m ³	32.0	9.84	12.5	12.0	8.4	36.08	33.02	22.14	19.2
CONCRETO DESPERDICIAO	m ³	8.0	2.16	5.5	8.0	7.6	7.92	10.98	4.86	4.8
CONCRETO FABRICADO	m ³	40.0	12.0	18.0	20.0	16.0	44.0	44.00	27.00	24.0

LANZADO		# 50	# 51	# 52	# 55	# 56
CEMENTO	Kg	450	450	450	450	450
ARENA	Kg	990	988	1059	995	1005
GRAVA	Kg	785	784	795	788	793
AGUA	l	145	144	111	133	125
ADITIVO	l	12.6	11.7	12.6	12.6	12.6
CONCRETO COLOCADO	m ³	35.6	24.18	29.25	34.4	33.58
CONCRETO DESPERDICIAO	m ³	6.4	6.82	9.75	6.6	6.42
CONCRETO FABRICADO	m ³	42.0	31.00	39.00	41.0	40.0

(Fig. No 50) (Continuación)

III.5.- INSTRUMENTACION.

La instrumentación es una disciplina que auxilia a la Mecánica de Rocas, en el conocimiento del comportamiento del macizo rocoso durante el desarrollo de una obra en sus diferentes etapas de excavación, construcción y operación.

Durante la etapa de excavación ayuda a detectar los movimientos del macizo rocoso originados por esta misma, estos movimientos son producto de las voladuras y por la liberación de esfuerzos.

En la etapa de construcción es posible conocer la efectividad de los sistemas de soporte aplicados al macizo rocoso.

Durante la operación de la obra, el control del comportamiento del macizo rocoso en relación con las actividades de la obra, es de gran importancia y se realiza como medida preventiva y de seguridad hasta el término de la vida útil de la obra.

En la Casa de Máquinas de este proyecto, la instrumentación consistió principalmente en la instalación de extensómetros de barra, cuyo objetivo es medir los desplazamientos del macizo rocoso.

Dicho extensómetro es un instrumento muy usado en este tipo de obras por su facilidad de colocación y medición, además de que tiene buena resistencia al ambiente subterráneo.

El extensómetro de barra está constituido por una barra de acero y un cabezal de apoyo, donde se coloca un micrómetro para realizar la medición

La barra de acero se forma con tubería de 3 m. de largo y $\frac{3}{4}$ " de diámetro. Para obtener la longitud del extensómetro se acoplan las barras que sean necesarias. La barra se fija al barreno por medio de un expansor, quedando ésta libre a todo lo largo del barreno.

El cabezal de bronce se instala en el exterior sobre un dado de concreto.

La medición se realiza con un micrómetro, cuya precisión es de centésimas de milímetro. Los desplazamientos se registran midiendo la separación entre el cabezal y la barra (Fig. No. 51).

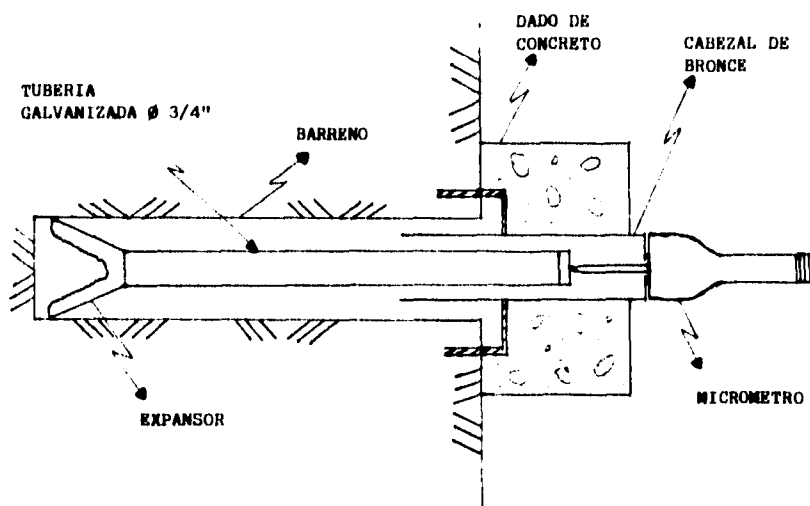


Fig No 51 - EXTENSOMETRO DE BARRA.

III.5A.- UBICACION DE EXTENSOMETROS.

De acuerdo con la información geológica obtenida en la zona de Casa de Máquinas, y con el fin de conocer el comportamiento de la roca tanto en su bóveda como en sus paredes, se realizó el proyecto de instrumentación de esta caverna a base de extensómetros de barra de longitudes variables entre 3 m. y 15 m. En la Fig. No. 52 se muestra el proyecto general de instrumentación.

En la Bóveda se instalaron cuatro grupos de extensómetros de 3, 6 y 9 m. de longitud cada uno, ubicados en zonas donde las condiciones de estabilidad de la roca se presentaban en estado desfavorable. En la Fig. No. 53 se indica la localización donde quedaron instalados.

En la Pared Aguas Arriba se tenía proyectado instalar nueve grupos de extensómetros de 6, 9 y 15 m. de longitud cada uno como se muestra en la Fig. No. 54, pero debido a las condiciones geológicas que se fueron presentando durante la excavación, se optó por eliminar el grupo No. 7, quedando ocho grupos distribuidos de la siguiente manera:

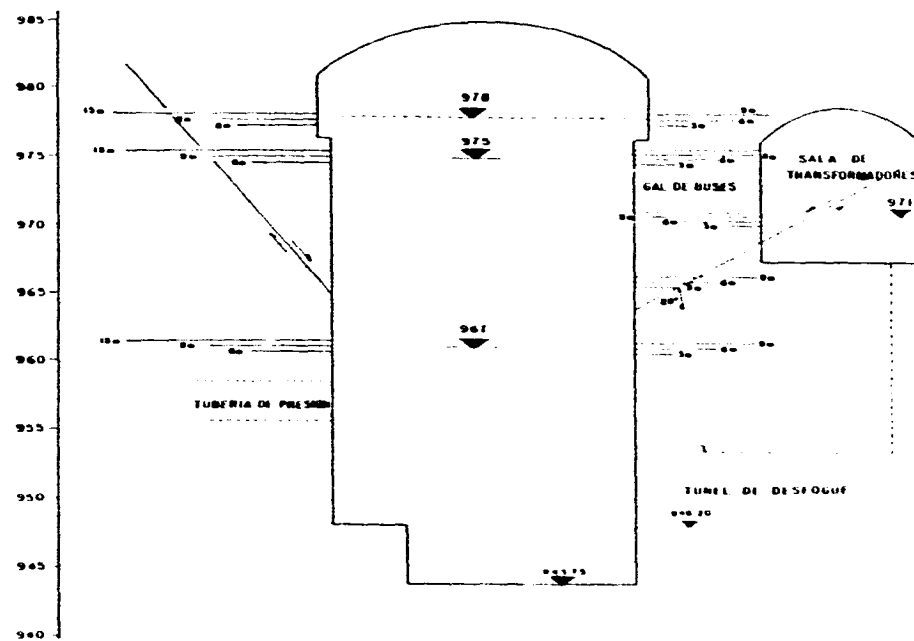
GRUPO	ELEVACION	CADENAMIENTO	ACCESO
1	978.00	0+016	Trabe Carril Elev. 976.50
2	978.00	0+045	Trabe Carril Elev. 976.50
3	978.00	0+060	Trabe Carril Elev. 976.50
4	975.00	0+017	Canastilla sujeta de Trabe Carril.
5	975.00	0+044	Canastilla sujeta de Trabe Carril.
6	975.00	0+060	Canastilla sujeta de Trabe Carril.
7	Eliminado.		
8	961.00	0+036	Escalera Marina.
9	961.00	0+060	Escalera Marina.

Como se mencionó anteriormente (Capítulo III.5.-Estructuras Geológicas Relevantes), en la Pared Aguas Abajo (zona de pilares de roca), se encontró que tanto la estratificación como una falla geológica buzaban hacia la excavación , esta condición combinada con el fracturamiento ocasionó que la roca en esta zona se encontrara en condiciones desfavorables de estabilidad.

Con el fin de monitorizar el comportamiento de este Pilar de Roca, se proyectó el sistema de instrumentación que se indica en la Fig. No. 55. El cual está constituido por 14 grupos de extensómetros de 3, 6 y 8.50 m. de longitud cada uno, quedando distribuidos de la manera siguiente:

GRUPO	ELEVACION	CADENAMIENTO	ACCESO
1	978.00	0+060	Trabe Carril Elev. 976.50
2	978.00	0+050	Trabe Carril Elev. 976.50
3	978.00	0+039	Trabe Carril Elev. 976.50
4	978.00	0+023	Trabe Carril Elev. 976.50
5	975.00	0+050	Canastilla sujeta de Trabe Carril.
6	975.00	0+023	Canastilla sujeta de Trabe Carril.
7	965.00	0+060	Escalera Marina.
8	967.00	0+050	Escalera Marina.
9	968.00	0+039	Escalera Marina.
9 bis	968.00	0+035	Escalera Marina.
10	970.00	0+027	Escalera Marina.
11	971.00	0+015	Escalera Marina.
12	961.00	0+060	Escalera Marina.
13	961.00	0+039	Escalera Marina.
14	Eliminado.		

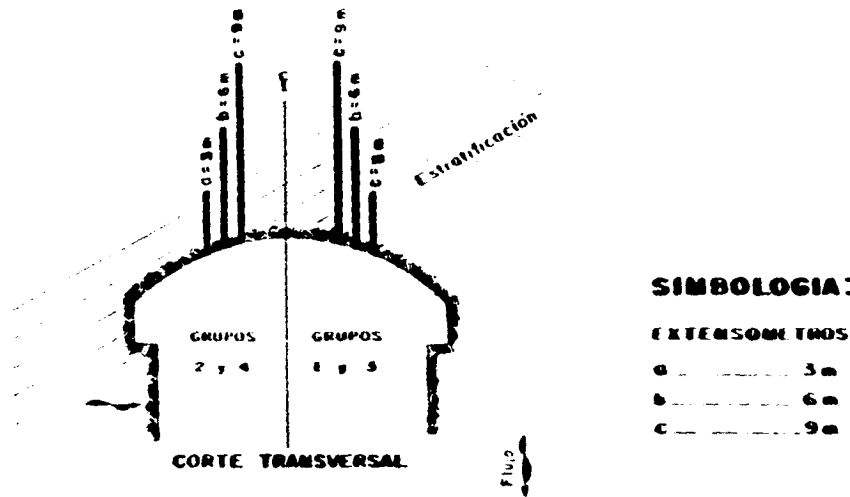
LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS



CORTE TRANSVERSAL (Casa de Máquinas)

(Fig No 52)

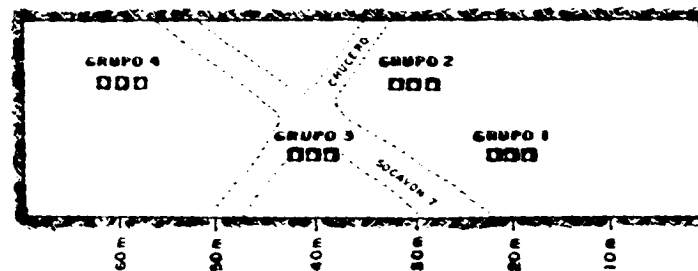
LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS EN BOVEDA



SIMBOLOGIA:

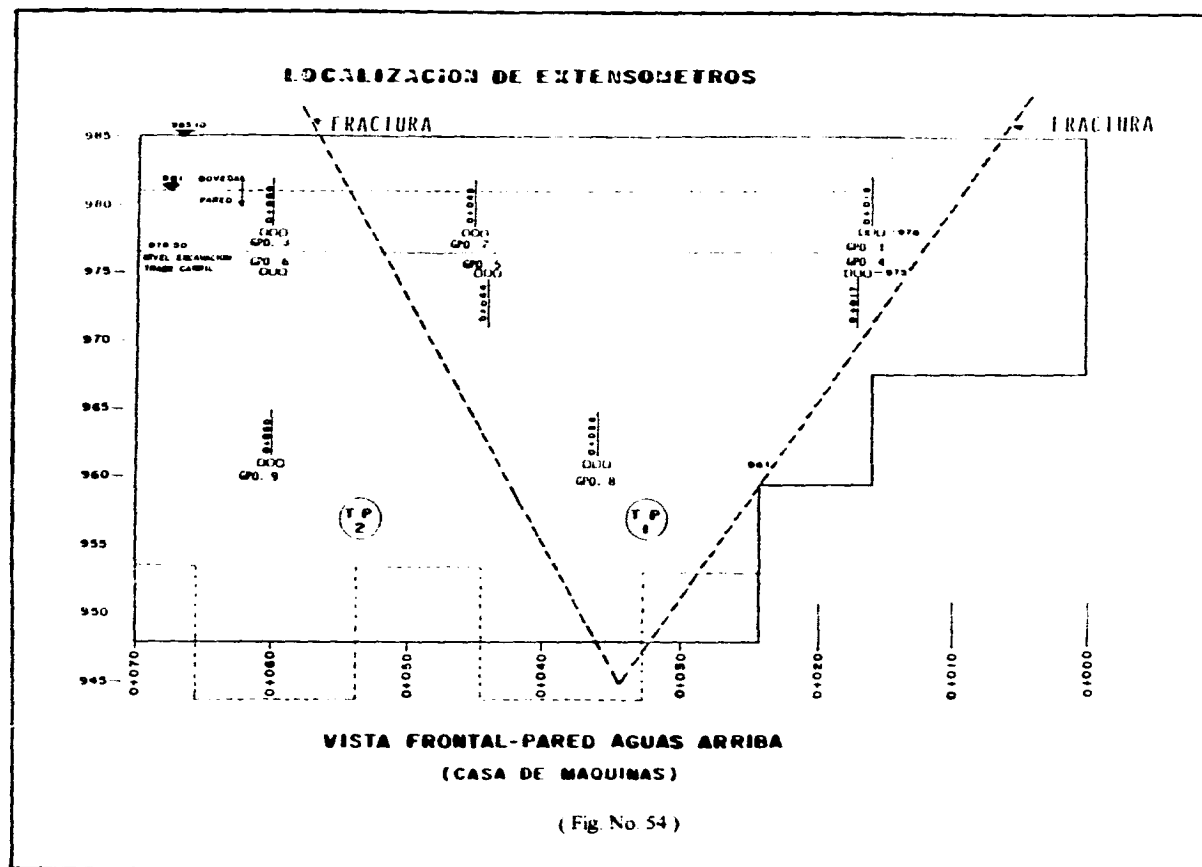
EXTENSOMETROS

- a 3m
- b 6m
- c 9m

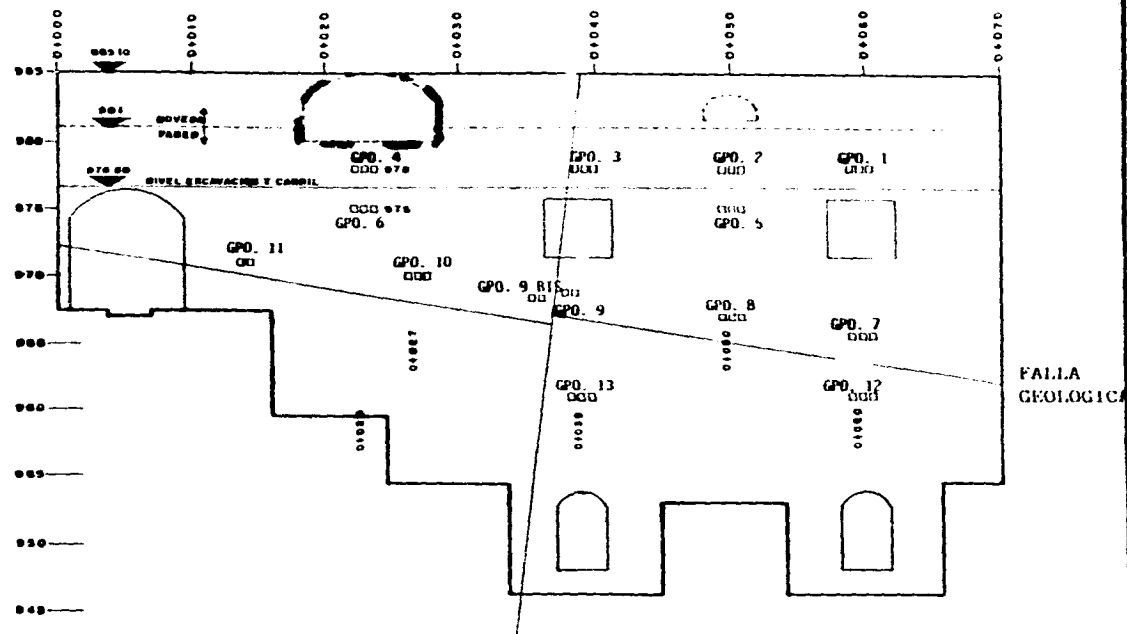


Plano de la Bóveda de Cese de Máquinas

(Fig No 53)



LOCALIZACION DE EXTENSOMETROS



VISTA FRONTAL - PARED AGUAS ABAJO (Cosa de Máquinas)

(Fig No 55)

III.5B.- PROCEDIMIENTO DE COLOCACION DE EXTENSOMETROS.

El procedimiento de instalación de extensómetros es el que se describe a continuación:

- 1.- Una brigada de Topografía marca los lugares donde se perforarán los barrenos para la colocación de los extensómetros de acuerdo al proyecto de instrumentación.
- 2.- Se barrena a las longitudes indicadas con un diámetro de 2 ¼ ".
- 3.- Ya realizados los barrenos, se procede a un amacize local para protección de los instrumentistas.
- 4.- Colocación de andamiaje para poder alcanzar la zona donde se instalará el extensómetro.
- 5.- Se introduce y fija el extensómetro por medio de un expansor metálico.
- 6.- Se fija el cabezal de bronce con barrenos cortos de 15 cm. aproximadamente (Ver Fig. No. 51). El cabezal tiene al centro una perforación por donde entra la punta del micrómetro.
- 7.- Se realiza el colado del dado de concreto, para protección del cabezal.
- 8.- Por último realizamos la primer medición, a partir de la cual comenzaremos a registrar los desplazamientos de la roca.

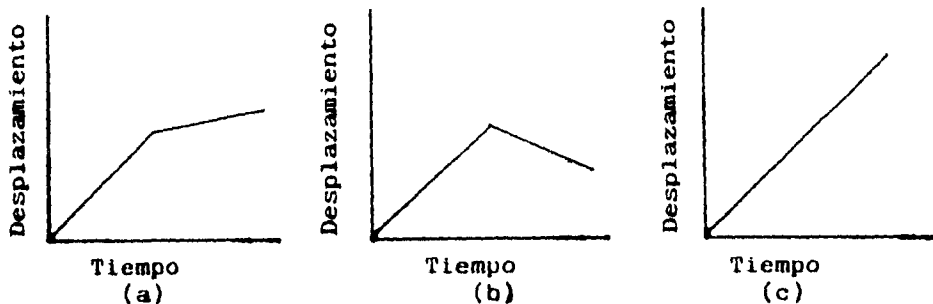
Es importante hacer notar que la instalación de la instrumentación debe realizarse conforme avanza la excavación para no interferir con la misma. Esto se debe, a que colocando los extensómetros conforme avanzan los banqueos, resulta menos difícil alcanzar los sitios de trabajo (utilizando menos tubería de andamiaje), y por lo tanto el tiempo de instalación es menor.

Ya colocados los extensómetros, estos se empiezan a medir con sus dificultades iniciales, porque aunque ya se describió el tipo de acceso, dicho acceso se coloca cuando ya se terminó la excavación.

En un principio la medición se llevó a cabo por medio de una canastilla que se descolgaba desde la Trabe Carril, elev. 976.50 (Figs. No. 54 y 55). El riesgo y la dificultad de esta manera de medición, estaba en que dicha canastilla era soportada por dos instrumentistas, mientras otro en la canastilla realizaba la medición.

La información de campo se procesa en gabinete, realizando gráficas (Desplazamiento-Tiempo). Para lograr una buena interpretación de dichas gráficas, es necesario estar bien enterados sobre las actividades de trabajo que se estén realizando cercanas al sitio instrumentado, así como de la actividad sísmica del lugar.

Existen tres posibilidades en el cambio de pendiente de las gráficas (Desplazamiento-Tiempo).

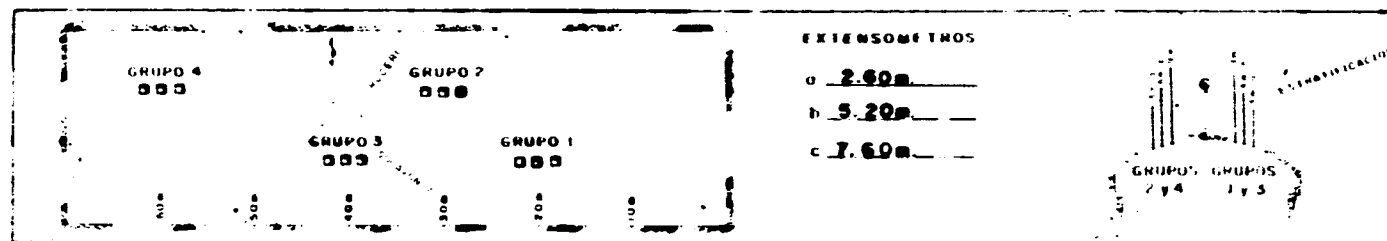
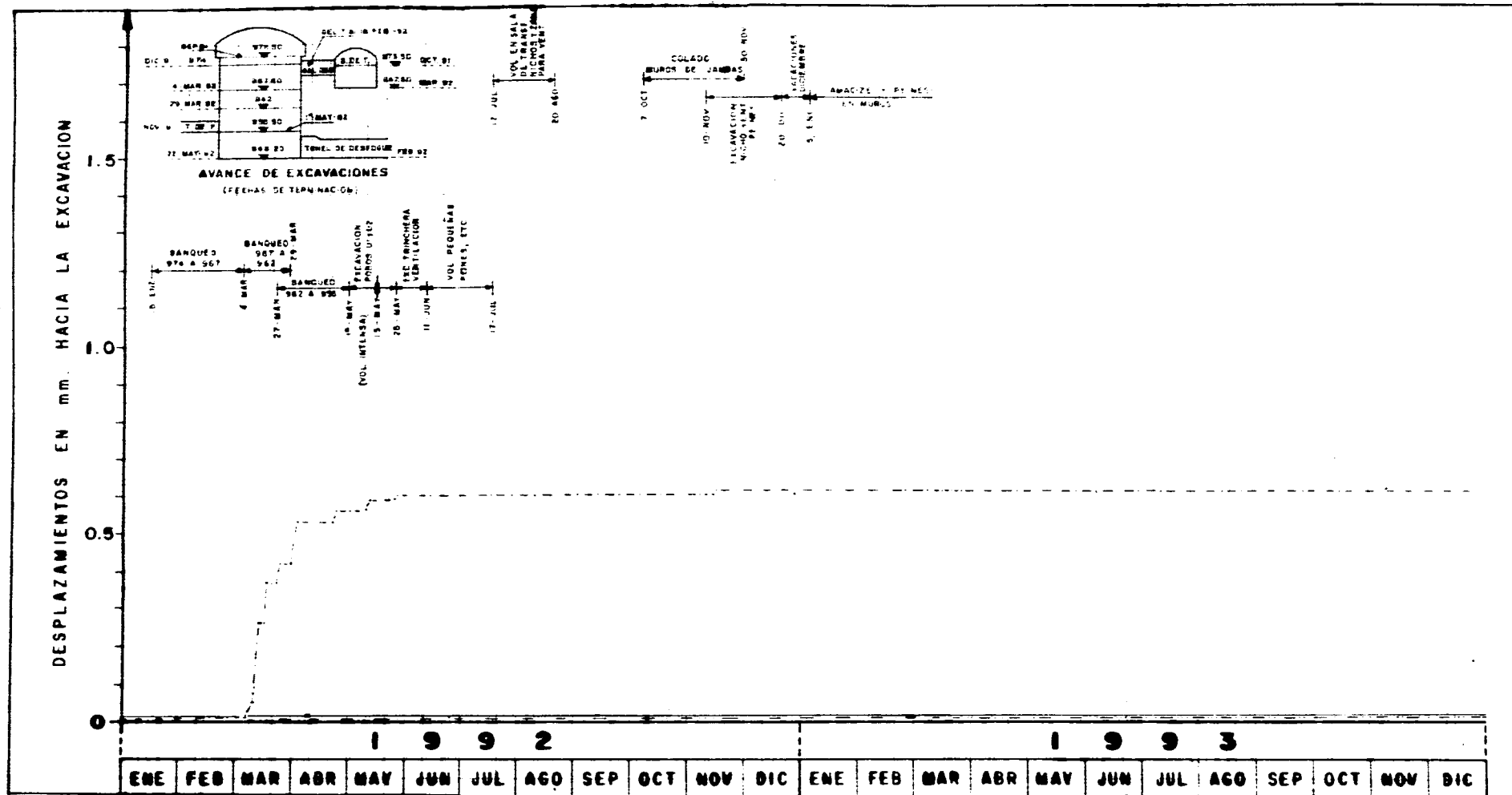


En la gráfica (a), el cambio de pendiente indica que existe una tendencia a la estabilidad.

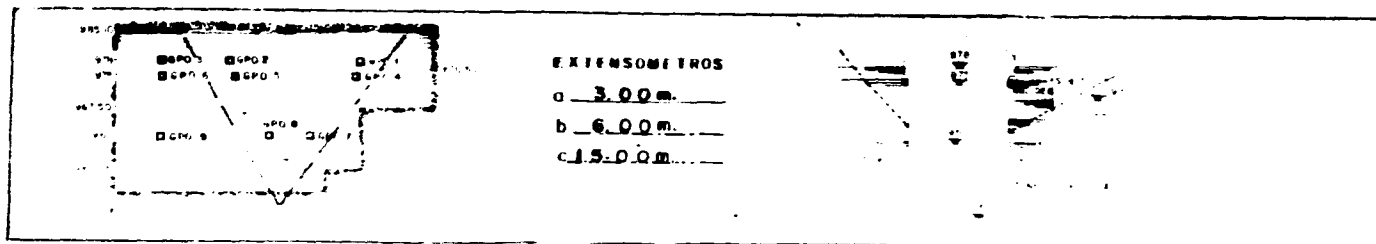
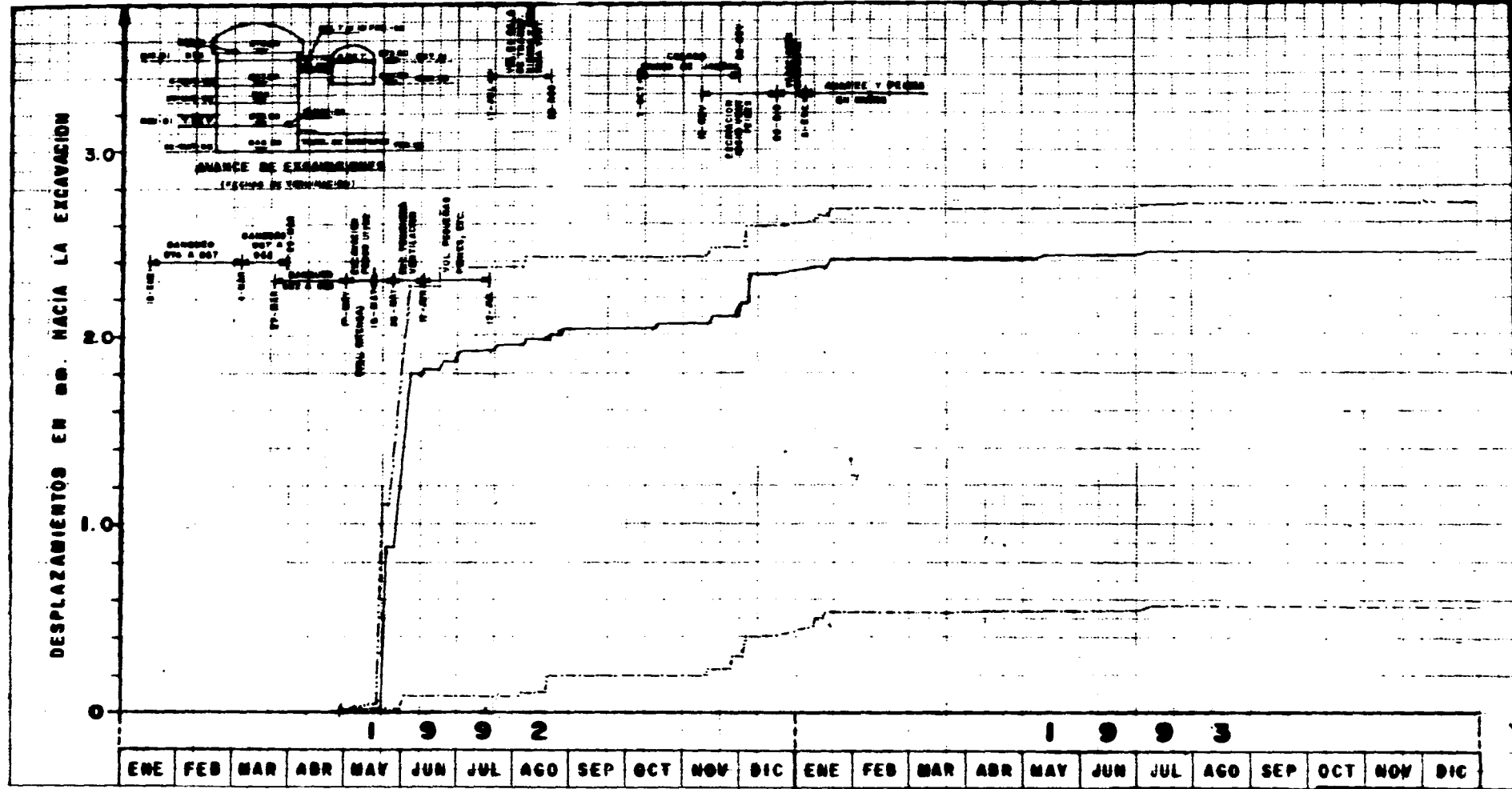
En la gráfica (b), una de las razones de este cambio pudiera ser el acomodamiento del macizo rocoso.

En la gráfica (c), la pendiente ascendente indica que los movimientos son cada vez más intensos, y por lo tanto tenemos que aumentar los sistemas de soporte hasta que se logre la estabilidad de la roca.

20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525
 526
 527
 528
 529
 530
 531
 532
 533
 534
 535
 536
 537
 538
 539
 540
 541



P.H. ZIMAPAN
MECANICA DE MOGAS CASA DE MAQUINAS
Instrumentacion en Bouda
EXTENSOMETROS IN HAKKA
GRIFFITHS — I



H ZIMAPAN
MECANICA DE ROCAS CASA DE MAQUINAS
Instrumentacion en Pared Aguas Arriba
EXTENSOMETROS DE BAYNA
C. 10000000

Ahora, conociendo la interpretación de las gráficas (Desplazamiento-Tiempo), se presentan las mismas de los grupos de extensómetros que presentaron los desplazamientos máximos, tanto de la Bóveda (Grupo # 1), como de la Pared Aguas Abajo (Grupo # 10), y de la Pared Aguas Arriba (Grupo # 8).

Durante la excavación no hubo problemas de deslizamientos, puesto que los movimientos fueron prácticamente nulos hasta el 12 de mayo de 1992, siendo del orden de 0.2 mm.

Posteriormente, una voladura intensa realizada el 13 de mayo de 1992 en el camino al Pozo de Oscilación, produjo vibraciones tales que los extensómetros registraron desplazamientos entre 0.7 y 6.2 mm. De esta fecha, a la terminación de la excavación de La Casa de Máquinas en junio del mismo año, se siguieron registrando desplazamientos variables entre 0.2 y 2.2 mm.

Desde junio de 1992 y hasta diciembre de 1993 se registraron pequeños desplazamientos puntuales en algunos extensómetros de 0.1 mm. como máximo, que no indican tendencia al desplazamiento, por lo que se consideran estables los Pilares de Roca, así como el total de la excavación.

IV.- CONCLUSIONES.

Al tomar la decisión de ejecutar el proyecto de una obra determinada, se tienen que realizar estudios preliminares (levantamientos topográficos, geológicos, geofísicos, hidrológicos, etc.), en la zona donde se piensa construir y así determinar la factibilidad de dicho proyecto.

Cuando se lleva a cabo el proyecto, se debe tener la conciencia de que éste, habrá de ir sufriendo modificaciones conforme avance; principalmente por problemas de procedimiento constructivo y a cambios obligados por las fallas geológicas que se presenten en la roca del lugar. Todo esto no detectado en los estudios preliminares.

Es necesario tener datos topográficos a detalle para poder diseñar las estructuras principales del proyecto (Cortina, Obra de Desvío, Vertedor, Obra de Toma, Túnel de Conducción, Pozo de Oscilación, Tubería de Presión y Casa de Máquinas), así como caminos de acceso y obras auxiliares.

También es indispensable tener la Topografía confiable y siempre en proceso de actualización según el avance del proyecto en general y para cada obra en particular, ya que dependerá del control topográfico la culminación con éxito de los trabajos que se estén realizando; porque en túneles de gran longitud y con programas de excavación muy agresivos, se requiere del ataque simultáneo de dos o más frentes, los cuales deben comunicarse con mucha precisión.

Al diseñar la plantilla de barrenación y aplicarla en el frente o túnel correspondiente, es muy importante que en base a las voladuras efectuadas y a los resultados obtenidos se ajuste dicha plantilla para tratar de mejorar los siguientes aspectos :

- Tener el mayor avance por voladura.
- Que la sección excavada resulte geoméricamente lo más apegada a la sección de proyecto, para no tener peines ni sobre-excavaciones y por lo tanto, evitarnos un costo adicional
- Que el tamaño de la roca resultante de la excavación este de acuerdo al equipo de carga y acarreo con que se cuente.

Referente al anclaje, debe llevarse lo más cerca posible del frente de excavación, y si la zona excavada presenta condiciones muy desfavorables para su estabilidad, se debe suspender la excavación hasta que quede totalmente terminado el anclaje.

La dirección y sentido del anclaje debe supervisarse para que se ejecute de acuerdo a lo proyectado, con el propósito, de que las anclas trabajen con las condiciones calculadas, que dependerán de la carga por soportar y de la estratigrafía del lugar.

Las anclas deben inyectarse a la mayor prontitud posible para que trabajen inmediatamente, ayudando al macizo rocoso contra las voladuras posteriores.

Deberemos estar al pendiente en todo el proceso de excavación, si la roca presenta signos de humedad o filtraciones de agua, para proceder de inmediato a la barrenación de drenes, con la finalidad de liberar la presión hidrostática que pueda poner en peligro la estabilidad de la excavación.

En lo que respecta al concreto lanzado, tenemos que asegurarnos de la habilidad del operador de la boquilla (lanzador), y de la calidad de los materiales empleados, así como verificar que la roca donde se va a aplicar el lanzado este bien amacizada para evitar tener caídos, que puedan causar inestabilidad y daños, tanto humanos como de maquinaria.

Es de suma importancia tener siempre actualizada toda la información de la instrumentación colocada, porque así sabremos el comportamiento y la magnitud de los movimientos que se produzcan en el macizo rocoso (antes, durante y después de la excavación), para poder estar en condiciones de aplicar medidas correctivas si el caso lo amerita y dar seguridad a las estructuras construidas o en proceso de construcción.

Los levantamientos geológicos siempre en proceso de actualización, son una actividad de importancia vital durante el desarrollo de la construcción de una obra, y la comunicación y colaboración entre Ingenieros Geólogos e Ingenieros Civiles, son armas fundamentales en la solución de problemas de tipo geotécnico que se presenten en la obra.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **ARANA G.S.** Tesis Profesional "Geotecnia en el Proyecto Hidroeléctrico El Caracol, Gro." UNAM 1984.
- 2.- **BELLO A.** "Soporte de Excavaciones Subterráneas con Anclas de Fricción."
- 3.- **C.F.E.** "Archivo de la Residencia de Geología del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, Hgo."
- 4.- **C.F.E.** "Archivo de la Residencia de Mecánica de Rocas del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán. Hgo."
- 5.- **C.F.E.** "Manual de Diseño de Obras Civiles (Geotecnia) 1980." Tratamiento de macizos rocosos. Procedimiento de excavación.
- 6.- **DUPONT.** "Manual Para Uso de Explosivos."
- 7.- **HOEK E./ BROWN E.T.** "Excavaciones Subterráneas en Roca."
- 8.- **LANGFORS J.** "Técnica Moderna de Voladura de Rocas."
- 9.- **MORENO F.** "Sistemas de Soporte de Excavaciones Subterráneas en Roca."
- 10.- **MORENO G.** "Esfuerzos en Túneles."
- 11.- **RESENDIZ / MARSHALL.** "Presas de Tierra y Enrocamiento."
- 12.- **RYAN T.F.** "Concreto Lanzado."