

9  
29.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**"EXCAVACIÓN Y TRATAMIENTO DE TALUDES DEL CANAL DE  
LLAMADA DE LA PRESA HIDROELÉCTRICA AGUAMILPA"**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A:  
EDUARDO BECERRIL ROSAS**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. ANGEL RODRIGUEZ VEGA.**



MEXICO, D.F.

1998.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

265903



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

*Vo Bo*  
*J. Man. Cov. Solis*  
*31-AGO-98*

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-107/93

Señor  
**EDUARDO ARTURO BECERRIL ROSAS**  
Presente.

*Vo Bo*  
*C. S. J.*  
*31/III/98*

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

**"EXCAVACION Y TRATAMIENTO DE TALUDES DEL CANAL DE LLAMADA DE LA PRESA HIDROELECTRICA AGUAMILPA"**

- INTRODUCCION
- I . DESCRIPCION DE LA OBRA
- II . EXCAVACION DEL CANAL DE LLAMADA
- III. EXPLOSIVOS
- IV . TRATAMIENTO DE TALUDES
- V . COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 22 de noviembre de 1993.  
EL DIRECTOR

*J. Man. Cov. Solis*  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nl1

*Vo Bo*  
*J. Man. Cov. Solis*  
*7/9/98*  
*Vo Bo*  
*[Signature]*

*Vo. Bo.*  
*[Signature]*  
*31-agosto - 98*

---

---

## **AGRADECIMIENTOS :**

A mis padres que me dieron todo su apoyo cuando más lo necesite.

*Jorge Becerril J.*

*Concepción rosas F.*

A mis hermanos que siempre estuvieron conmigo aconsejándome .

*Alejandra Becerril Rosas.*

*Jorge Becerril Rosas.*

A mi esposa que nunca me dejó solo

*Leticia Acevedo G.*

A todos mis compañeros de generación principalmente a:

*Aáron Cuevas A.*

*Hector Hernández E.*

*Francisco Silva G.*

*Houbert Duarte M.*

A mi director de tesis :

*Miguel Angel Rodríguez V.*

---

---

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO I. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA</b>	<b>11</b>
1. GENERALIDADES	13
1.1. EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO AGUAMILPA	13
1.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO	13
1.3. EL RÍO SANTIAGO	15
1.4. IMPACTO SOCIAL Y ECOLÓGICO	15
2. DATOS DE LA OBRA	21
3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	25
3.1. OBRA DE DESVÍO	25
3.2. OBRA DE CONTENCIÓN	27
3.3. OBRAS DE GENERACIÓN	27
3.4. OBRAS COMPLEMENTARIAS	30
3.5. EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	32
4. DISEÑO DE LA CORTINA	32
5. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN	38
<b>CAPITULO II. EXCAVACIÓN DEL CANAL DE LLAMADA</b>	<b>40</b>
1. INTRODUCCIÓN	41
2. MÉTODOS DE EXCAVACIÓN	41
2.1. EL SISTEMA DE PRECORTE (PRESPLINTING)	42
3. EXCAVACIÓN DE OBRA DE TOMA (ELEV. 333-170)	42
4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA OBRA DE TOMA	43
4.1. EXCAVACIÓN	43
4.2. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACIÓN POR BANCOS	45
4.3. PLANTILLAS DE BARRENACIÓN	46
4.4. EQUIPO	46
<b>CAPITULO III. EXPLOSIVOS</b>	<b>57</b>
1. INTRODUCCIÓN	59
2. TÉCNICAS O PROCEDIMIENTOS DE LOS EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN	60
3. ACCESORIOS PARA VOLADURAS	62
3.1. INICIADORES	62

---

---

---

3.2. MECHA DE SEGURIDAD	62
3.3. IGNITACORD	62
3.4. CORDÓN DETONANTE	62
3.5. DETONANTES	63
3.6. FULMINANTES	63
3.7. ESTOPINES ELÉCTRICOS	63
3.8. ESTOPINES ELÉCTRICOS INSTANTÁNEOS	64
3.9. ESTOPINES ELÉCTRICOS DE RETARDO	64
3.10. MÁQUINAS EXPULSORAS	64
4. VOLADURAS ( MECANISMOS DE ROTURA )	65
5. DISEÑO DE UNA VOLADURA POR EL MÉTODO AMERICANO	69
5.1. VOLADURAS CONTROLADAS	70
5.2. BARRENACIÓN EN LÍNEA, DE LÍMITE O DE COSTURA	70
5.3. VOLADURAS AMORTIGUADAS	71
5.4. VOLADURAS PERFILADAS O DE AFINE	74
5.5. PREFRACTURADO	75
6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN OBRA DE TOMA	76
<b>CAPITULO IV. TRATAMIENTO DE TALUDES</b>	<b>79</b>
1. INTRODUCCIÓN	81
2. ANCLAJE	82
2.1. CÁLCULO DE ANCLAJE	82
2.2. CONDICIONES DE TRABAJOS PARA RECTIFICAR EL ANCLAJE	84
3. DRENES E INYECCIÓN DE ANCLAJE	85
3.1. INYECCIÓN	85
3.2. ARREGLO Y ORIENTACIÓN DE LAS PERFORACIONES	85
3.3. DIÁMETRO DE LAS PERFORACIONES	87
3.4. EQUIPO DE PERFORACIÓN	87
3.5. ANCLAJE DE FRICCIÓN CON LECHADA	88
3.6. PREPARATIVOS Y PROCEDIMIENTOS DE COLOCACIÓN DEL ANCLA	88
3.7. INYECCIÓN DE ANCLAS	88
4. DRENES	89
5. CONCRETO Y MORTERO LANZADO	93
5.1. MORTERO LANZADO	93
5.2. CONCRETO LANZADO	93
5.3. PROCESO DE MEZCLA SECA	93
5.4. PROCESO DE MEZCLA HÚMEDA	93
5.5. PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES DEL CONCRETO Y MORTERO LANZADO	94
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
1. CONCLUSIONES	98
2. RECOMENDACIONES	98
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>99</b>

---

---

---

---

---

---

FALTA PAGINA

No. 8

---

---

## ***INTRODUCCIÓN***

La etapa actual de desarrollo acelerado, la cual se esta generando en todos los campos socioeconómicos del país, nos lleva a realizar nuevas ideas de acuerdo a los procesos de la política hidráulica, teniendo encuentra como objetivo fundamental el enfrentar a las demandas, ya sean internas o externas y las crecientes necesidades de ambos, ya sea aprovechando al máximo y organizadamente los recursos: agua, suelo, equipo o maquinaria disponible y capital.

Por lo tanto corresponde a C.F.E realizar actividades que estén vinculadas al servicio de la sociedad como lo es la energía eléctrica y la cual comprende los siguientes objetivos:

- I) La generación de energía eléctrica
- II) La conducción de la energía eléctrica
- III) La planeación del sistema eléctrico nacional
- IV) La transformación de energía eléctrica
- V) Instalaciones, realización de todas las obras y trabajos los cuales necesiten una planeación, operación y mantenimiento del sistema eléctrico de la nación.

Para lo cual C.F.E. tiene contemplado aprovechar el caudal del Río Santiago, y los recursos de éste, para demostrar que México está desarrollando un gran potencial hidroeléctrico.

FALTA PAGINA

No. **10**

---

---

*CAPITULO I*

*DESCRIPCIÓN*

*DE LA*

*OBRA*

---

---

FALTA PAGINA

No. 12

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. El proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa.**

La realización del proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, es la culminación de una gran cantidad de estudios, análisis y evaluaciones realizadas durante más de 20 años por diversas dependencias gubernamentales.

En el presente trabajo se describen las características generales del proyecto, las estructuras principales, los datos de diseño y los aspectos constructivos, dedicando especial atención al diseño de la cortina, al cual será la más alta del mundo en su tipo, de aluvión-enrocamiento con cara de concreto.

Actualmente en construcción, Aguamilpa generará en promedio 2131 GWH anuales para satisfacer la demanda pico, esto hace que Aguamilpa sea uno de los proyectos más importantes del país. En marzo de 1989 se inició por administración directa la construcción de la obra de desvío y desde diciembre de 1989 la empresa " Ingenieros Civiles Asociados" continúa con los trabajos de obra civil. En marzo de 1991 se firmó el contrato con la asociación SEUTS, la cuál está constituida por las empresas: SIEMENS A.G, ENERGOMACHEXPORT, VOESTALPINE, TECHINT S.A. Y SIEMENS S.A. para el diseño, fabricación, montaje y puesta en servicio del equipo electromecánico.

### **1.2. Ubicación del proyecto.**

El sitio de la cortina se encuentra en la parte central del Estado de Nayarit, en los municipios de Tepic y el Nayar. El acceso al sitio es partiendo de la ciudad de Tepic, por la carretera estatal pavimentada que va a la población Francisco Y. Madero, a la altura del Km. 12 se encuentra la desviación hacia Aguamilpa; el camino esta pavimentado hasta el proyecto, con un desarrollo adicional de 40 Km.(fig. 1).

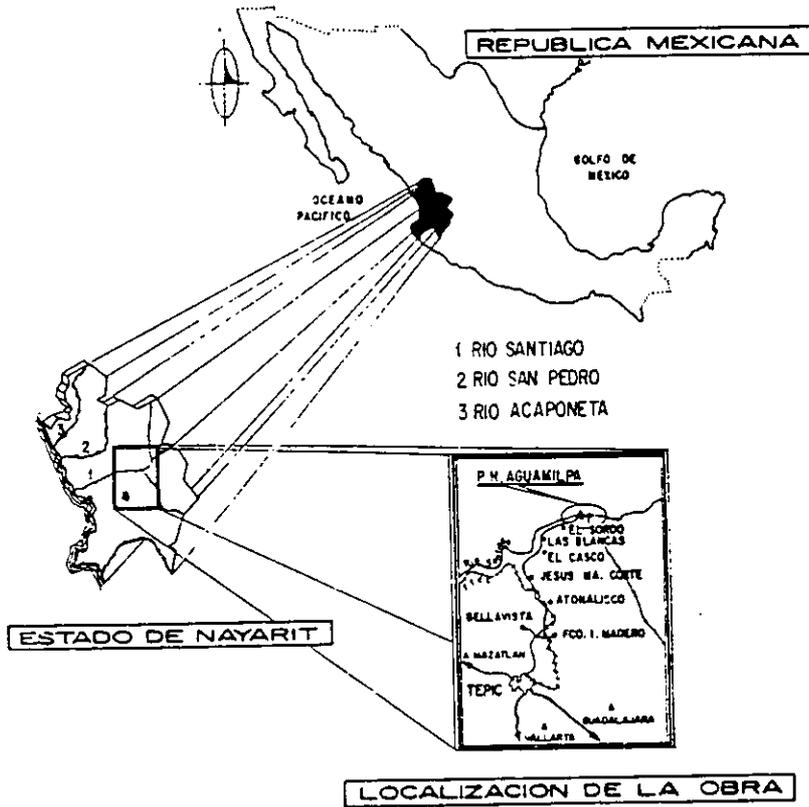


FIGURA 1

---

Las coordenadas geográficas del sitio son : 104 ° 46 ' 29 " de longitud oeste y 21 ° 51 ' 32 " de latitud norte. En el contexto nacional entre las hidroeléctricas Aguamilpa se ubica de acuerdo a las siguientes características. (tabla A). Donde Aguamilpa ocupará el cuarto lugar en potencia instalada, el quinto en generación media anual, el sexto en almacenamiento (después de la amistad) y el tercero en altura de la cortina.

### 1.3. El Río Santiago.

En un país semiárido como México, el Río Santiago es uno de los más importantes, cuenta con un potencial de generación de 11092 GWH anuales, con una capacidad instalada de 4807 KW, distribuidos en 12 proyectos principales (con más de 100 MW) y 15 secundarios; de éstos, sólo cuatro se encuentran en operación, Agua Prieta y Aguamilpa están en construcción y el resto en diversas etapas de estudio desde la identificación hasta factibilidad, como se muestra. (tabla B).

Por lo tanto, Aguamilpa forma parte de un plan global de aprovechamiento del Río Santiago, su ubicación y dimensiones son resultado del mejor esquema adoptado para el Río Santiago en su conjunto. (fig. 2).

### 1.4. Impacto Social y Ecológico.

La Comisión Federal de Electricidad ha dedicado un cuidadoso esfuerzo en los estudios y acciones tendientes a prevenir, disminuir o compensar los impactos negativos de carácter social y ambiental que puedan producirse en la onda de influencia de las obras, de tal modo que el proyecto se convierta en una oportunidad de progreso, desarrollo social, preservación y mejoramiento de las condiciones ambientales en la zona de las obras y su vecindad.

En términos generales los estudios y acciones mencionados se aplican a cuatro zonas principalmente, el corredor Tepic - Aguamilpa, el área del embalse, las zonas de reasentamiento y la región costera.

Los principales aspectos que se cubren son los siguientes:

#### a.) Sociales

- a.1.) Abasto a tiendas rurales.
  - a.2.) Apoyo para la atención médica en el área del embalse.
  - a.3.) Apoyo para programas educativos culturales.
  - a.4.) Fomento de actividades recreativas.
  - a.5.) Capacitación en las áreas de salud, abasto y actividades productivas.
-

---

---

<b>NOMBRE DE LA PRESA</b>	<b>POTENCIA INS. MW</b>	<b>GENERACION MED. ANUAL</b>	<b>ALMACENAM I. EN Hm<sup>3</sup>.</b>	<b>ALTURA (m)</b>
<b>CHICOASEN</b>	<b>1500</b>	<b>2500</b>	<b>1705</b>	<b>251</b>
<b>MALPASO</b>	<b>1080</b>	<b>2800</b>	<b>12960</b>	<b>138</b>
<b>INFIERNILLO</b>	<b>1000</b>	<b>3160</b>	<b>12000</b>	<b>149</b>
<b>AGUAMILPA</b>	<b>960</b>	<b>2131</b>	<b>6950</b>	<b>187</b>
<b>ANGOSTURA</b>	<b>900</b>	<b>2200</b>	<b>18500</b>	<b>147</b>
<b>CARACOL</b>	<b>594</b>	<b>1480</b>	<b>1860</b>	<b>126</b>
<b>PEÑITAS</b>	<b>420</b>	<b>1910</b>	<b>1628</b>	<b>53</b>
<b>VILLITA</b>	<b>300</b>	<b>1180</b>	<b>710</b>	<b>60</b>
<b>ZIMAPAN</b>	<b>290</b>	<b>1292</b>	<b>1426</b>	<b>200</b>
<b>MAZATEPEC</b>	<b>208</b>	<b>790</b>	<b>62</b>	<b>92</b>
<b>TEMASCAL</b>	<b>154</b>	<b>830</b>	<b>13790</b>	<b>76</b>

TABLA A

NUM.	NOMBRE CORRIENTE	VMA Hm <sup>3</sup>	H M	PINS MW	GWH TOTAL	F <sub>p</sub>
1	AGUAMILPA, SANTIAGO	6736	144	960	2131	0.25
2	EL CAJON, SANTIAGO	4347	157	680	14966	0.25
3	LA YESCA, SANTIAGO	4233	117	440	1042	0.27
4	AGUA PRIETA, AGUAS NEGRAS	147	509	480	959	0.25
5	LA MACURA, SANTIAGO	3280	108	290	807	0.29
6	SAN FRANCISCO, SANTIAGO	2395	124	290	624	0.25
7	OCOTAN, ATENCO	1242	254	240	536	0.25
8	EL CORA, SANTIAGO	7434	25	150	406	0.25
9	ARROYO HONDO, SANTIAGO	2429	67	160	3488	0.25
10	EL CIRUELO, ATENCO	753	251	150	317	0.25
11	APOZOLCO, BOLAÑOS	795	199	120	269	0.25
12*	SANTA ROSA, SANTIAGO	2734	71	61	266	0.25
13	EL TULLILLO, ATENCO	597	245	110	249	0.25
14	HUAYNAMOTA, JESUS MARIA.	874	139	90	206	0.25
15	POPOTITA, CAMOTLAN	275	416	85	1994	0.25
16	BOLAÑOS, BOLAÑOS	590	180	80	180	0.25
17	SAN LUIS, BOLAÑOS	399	238	75	161	0.25
18*	COLMILLA, SANTIAGO	1300	127	51	159	0.25
19	JESUS MARIA, JESUS MARIA.	763	105	60	136	0.25
20	AMPL. SANTA ROSA, SANTIAGO	2668	73	45	128	0.43
21	MOYAHUA, JUCHIPILA	297	202	45	102	0.25
22	CAISTRANO, ATENCO	413	107	33	75	0.25
23	HUAZAMOTA, JESUS MARIA	335	130	33	74	0.25
24*	PUENTE GRANDE, SANTIAGO.	1023	72	23	71	0.35
25*	LAS JUNTAS, SANTIAGO	701	63	15	64	0.49
26	MEZQUITIC, CHICO	113	244	21	47	0.25
27	CAMOTLAN, CAMOTLAN	185	1422	20	45	0.25

TABLA B

DONDE:

\*PLANTAS EN OPERACIÓN

VMA= ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL

H= CARGA NETA DE DISEÑO

PINS= POTENCIA INSTALADA

F<sub>p</sub>= FACTOR DE PLANTA

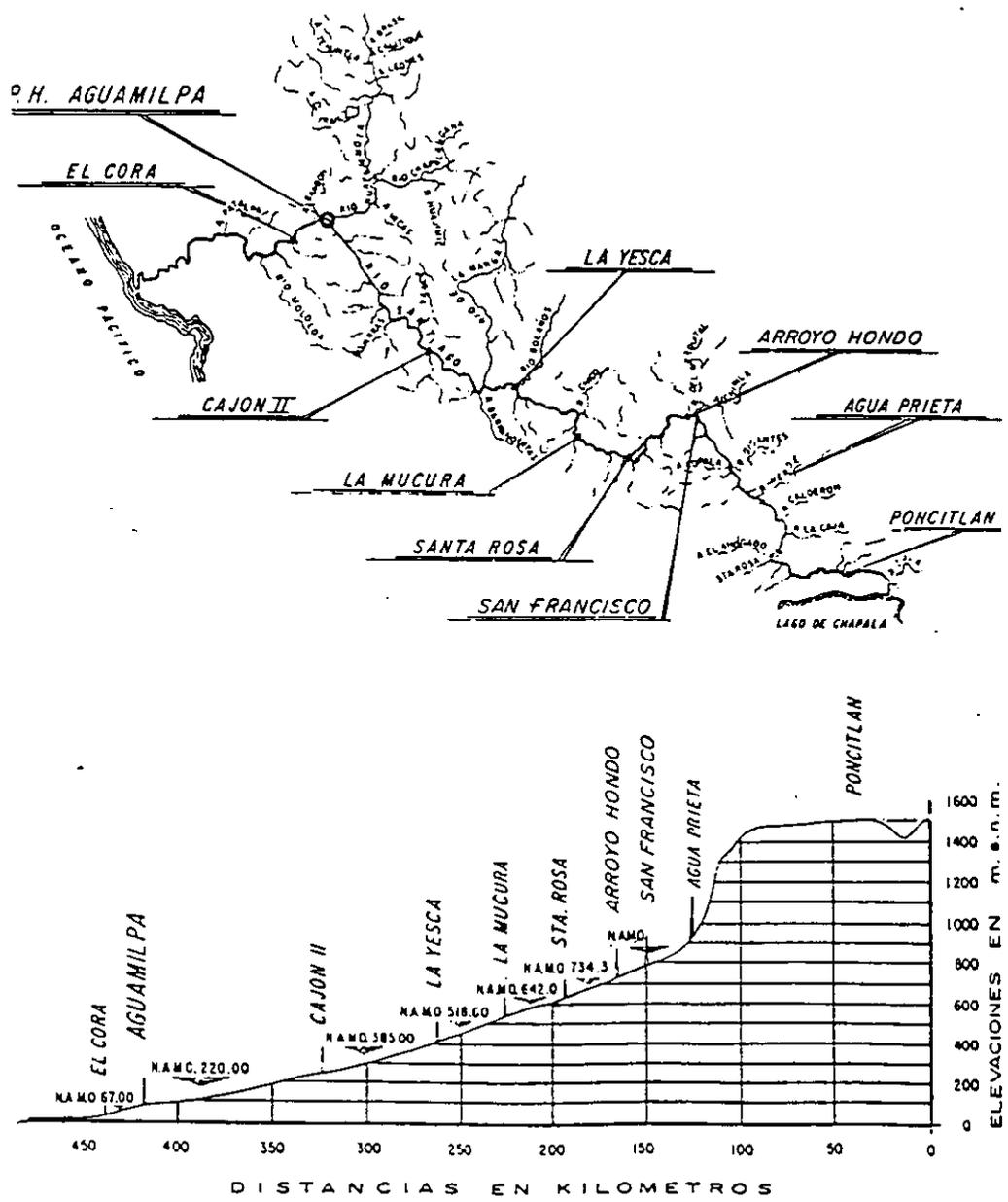


Figura 2.- Desarrollo Hidroelectrico del Rio Santiago

a.6.) Restitución de actividades productivas en los sitios de reacomodo para mejor aprovechamiento de los recursos del hábitat.

b.) Ambientales

b.1.) Divulgación y promoción del cumplimiento de las normas y leyes aplicables en materia ambiental.

b.2.) Reforestación de las áreas afectadas por el desmonte.

b.3.) Monitoreo de la calidad del agua del río.

b.4.) Elaboración de inventarios de la flora y fauna y rescate de especies de interés ecológico.

b.5.) Estudios de predicción de impactos derivados del embalsamiento y de la modificación del régimen de escurrimiento del río así como el diseño de medidas preventivas.

b.6.) Diagnóstico de las condiciones ambientales actuales de la cuenca y promoción de programas de manejo y protección.

b.7.) Exploración y rescate de restos arqueológicos.

b.8.) Acciones de prevención y control de la contaminación ambiental originada por el proyecto.

c.) Beneficios Adicionales. Además de la generación de energía hidroeléctrica, se obtendrán los siguientes beneficios:

c.1.) Control de Avenidas. No existen almacenamientos con capacidad de regularización importante en el Río Santiago, por lo que con frecuencia se presenta inundaciones en la planicie costera del Edo. de Nayarit durante los meses de lluvia. aunque el Río Santiago es el principal causante de daños, los ríos San Pedro, Cañas y Acaponeta también escurren sin control, contribuyendo a inundar la planicie. Actualmente se tienen obras de protección como bordos, espigones y canales de alivio de las tierras y poblados susceptibles de daño que, sin embargo no son suficientes.

Al controlarse el Río Santiago, será más redituable la construcción de protecciones en los otros ríos para dar oportunidad a toda la planicie costera.

c.2.) Aprovechamiento agrícola. La principal actividad de la región es la agricultura. Estando la planicie más segura contra inundaciones podrán incorporarse a riego 75 , 000 hectáreas y garantizar dos ciclos de cultivo al año a las 30, 000 hectáreas que actualmente se aprovechan con un solo temporal.

c.3.) Desarrollo en el área del embalse. La zona de embalse y sus proximidades se encuentran económicamente deprimida debido a la escasez de área planas para agricultura y medios de comunicación de los poblados, aunque en el área inundada no hay más de 1000 habitantes, existen varios poblados cercanos que se beneficiarán mediante el desarrollo de la agricultura y con la derrama económica por la demanda de mano de obra, materiales y servicios para las obras de Aguamilpa.

c.4.) Hidrología. El escurrimiento en el Río Santiago es muy cambiante a la altura de Aguamilpa; el gasto medio en un mes de estiaje puede oscilar entre 8 y 180 m<sup>3</sup>/seg.; y entre 95 y 2000 m<sup>3</sup>/seg. en uno húmedo; el gasto medio anual histórico es de 220 m<sup>3</sup>/seg.

En base a la información de las estaciones hidrométricas y climatológicas en la cuenca del río se determinaron las avenidas máximas para diferentes periodos de retorno; con el criterio de precipitación máxima probable y transposición de ciclones la avenida de diseño para el vertedor, para la obra de desvío se considero que es equivalente a la Tr = 50 años.(tabla C).

AÑO	GASTO	ANO	GASTO
1942	2172	1967	5652
1943	6113	1968	2413
1944	3203	1969	1060
1945	1491	1970	3310
1946	1587	1971	4470
1947	2386	1972	2270
1948	2345	1973	66888
1949	1768	1974	1295
1950	18445	1975	44382
1951	1469	1976	4190
1952	1693	1977	2510
1953	2234	1978	2160
1954	1862	1979	1706
1955	2349	1980	21844
1956	1353	1981	2385
1957	1879	1982	2412
1958	2169	1983	3394
1959	1933	1984	2509
1960	1253	1985	2737
1961	1866	1986	2279
1962	1714	1987	3183
1963	2956	1988	5061
1964	1639	1989	799
1965	3133	1990	5200
1966	3051	1991	5277

TABLA C

c.5.) Geología y Geotecnia. El proyecto hidroeléctrico Aguamilpa se localiza en la parte suroeste de la Sierra Madre Occidental, esta área está caracterizada por rocas volcánicas extrusivas (ignimbritas riódacíticas) del mioceno, intrusionadas por diques de origen diverso.

Las rocas volcánicas extrusivas han sido clasificadas en 3 unidades: la inferior es la unidad Aguamilpa, la intermedia unidad Colorines y la superior unidad Picachos; la primera está formada por ignimbrita masiva en tanto que las otras en tanto que las otras dos presentan pseudoestratificación. La presa será desplantada, en el nivel del plinto, directamente sobre la unidad Aguamilpa, excepto la parte superior del margen derecha que se desplantara en la unidad Colorines; las excavaciones subterráneas principales serán excavadas en la formación Aguamilpa, el canal de llamada de la obra de toma así como la parte superior del vertedero serán excavadas en las unidades Colorines y Picachos.

Las principales características estructurales geológicas detectadas en el sitio corresponden a 6 fallas con orientación general NE - SW, conocidas como sistema Colorines. Cuatro de esta fallas se localizan en la margen derecha y afectan las obras de generación; las otras dos se localizan en la margen izquierda, una de ellas involucra la obra de desvío y el vertedor. Se encuentran también cuatro sistemas principales de fracturas que muestran mayor continuidad horizontal que vertical.

## 2. DATOS DE LA OBRA.

### a.) Hidrología.

Área de la cuenca del Río Santiago	75,651 Km <sup>2</sup>
Área de la cuenca hasta Aguamilpa	73,834 Km <sup>2</sup>
Numero de años de registro	43
Escurrimiento medio anual (1943-1979)	6,948 Hm <sup>3</sup>
Gasto medio anual	220.34 m <sup>3</sup> /s
Uso futuro medio anual aguas arriba	212 Hm <sup>3</sup>
Escurrimiento neto medio anual aprovechable (d - f)	6,736 Hm <sup>3</sup>
Volumen medio mensual escurrido	561 Hm <sup>3</sup>
Gasto medio anual futuro de la simulación del funcionamiento del vaso	231.61 m <sup>3</sup> /s
Gasto medio aprovechado	198.4 m <sup>3</sup> /s
Azolve medio anual en suspensión	8.14 Hm <sup>3</sup>
Azolve medio anual en acarreo	2.78 Hm <sup>3</sup>

## b.) Vaso de almacenamiento

Niveles		
Nivel	Elevación	Capacidad
NAMINO	190 m.s.n.m.	2,965 Hm <sup>3</sup>
NAMO	220 m.s.n.m.	5,540 Hm <sup>3</sup>
NAME	232 m.s.n.m.	6,950 Hm <sup>3</sup>
Capacidad para azolves (piso de toma)		1,650 Hm <sup>3</sup>
Capacidad útil NAMO - NAMINO		2,575 Hm <sup>3</sup>
Cap. para control de avenidas NAME - NAMO		1,410 Hm <sup>3</sup>
Área ocupada por el embalse al NAME		128 Km <sup>2</sup>
Área ocupada por el embalse al NAMO		109 Km <sup>2</sup>

## c.) Obra de Desvío

Gasto máximo de la avenida (máx. Registrada)	6,688 m <sup>3</sup> /s
Gasto máximo de diseño	5,120 m <sup>3</sup> /s
Elevación ataguía aguas arriba	118 m.s.n.m.
Elevación ataguía aguas abajo	80 m.s.n.m.
Diámetro de los túneles (2) sección portal	16 m.
Elevación máxima en el embalse	117 m.s.n.m.

	Túnel 1	Túnel 2
Elevación plantilla de entrada (m.s.n.m.)	64	64
Elevación plantilla de salida (m.s.n.m.)	63	63
Longitud (m)	924	924
Gasto máximo de descarga (m <sup>3</sup> /seg.)	2,630	2,630
Velocidad media máxima (m/s)	11.50	11.50
Obturador de cierre provisional(T-1)	2 de 6 * 14 m.	
Obturador de cierre provisional(T-2)	14 * 14 m., H=38 m.	
Obturador de cierre final ( T-2)	7 * 13 m., H=38 m.	

## d.) Principales cantidades de obra de la Obra de Desvío:

Volumen de ataguía aguas arriba	915,400 m <sup>3</sup>
Volumen de ataguía aguas abajo	227,500 m <sup>3</sup>
Excavación a cielo abierto	270,000 m <sup>3</sup>
Excavación en túnel	472,000 m <sup>3</sup>
Excavación en lumbrera	9,320 m <sup>3</sup>
Concreto reforzado	16,400 m <sup>3</sup>
Concreto en tapones	11,000 m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo	875 Ton.
Acero estructural	555 Ton.
Anclaje	43,550 m.
Barrenación para consolidación y drenaje	7,550 m.
Concreto lanzado	1,120 m <sup>3</sup>
Bordo libre	

Tipo	Enrocamiento aluvi3n
Longitud de la corona	20 m.
Elevaci3n de la corona	117 m.s.n.m.
Elevaci3n de la plantilla	108 m.s.n.m.
Ancho de la plantilla	15 m.
Taludes	1.5:1
Gasto m3ximo de descarga	813 m <sup>3</sup> /s
e.) Cortina	
Tipo de aluvi3n-enrocamiento con cara de concreto	
Elevaci3n de la corona	235 m.s.n.m.
Longitud de la corona	660 m.
Altura total al desplante	185.5 m.
Volumen	12.7 Hm <sup>3</sup>
Desplante del plinto	49.5 m.s.n.m.
Talud aguas arriba	1.5:1
Talud aguas abajo	1.4:1
Bordo libre	3.0 m.
3rea de cara de concreto	136,900 m <sup>2</sup>
Volumen de concreto	68,500 m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo	1,920 Ton.
f.) Obras de excedencia	
Gasto m3ximo de la avenida de dise1o	17,482 m <sup>3</sup> /s
Volumen de la avenida	6,966 Hm <sup>3</sup>
Gasto de dise1o (descarga)	14,900 m <sup>3</sup> /s
Elevaci3n de la cresta	210 m.s.n.m.
Longitud total de la cresta	72 m.
Compuertas (6)	12 * 19.5 m.
Elevaci3n labio superior	229 m.s.n.m.
Ancho de los canales de descarga(2)	42.5 m.
Longitud de los canales(horizontal)	569 m.
Velocidad m3xima	35 m/s.
g.) Principales cantidades de obra de la Cortina:	
Excavaci3n a cielo abierto	5,800,000 m <sup>3</sup>
Concreto en superficies moldeadas	84,900 m <sup>3</sup>
Concreto a tiro directo	53,000 m <sup>3</sup>
Concreto lanzado	7,800 m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo	4,900 Ton.
Anclaje	279,000 m.
Drenaje	18,000 m.
Excavaci3n en galerias	13,600 m <sup>3</sup>
h.) Obras de generaci3n:	

Elevación del piso de la obra de toma	170 m <sup>3</sup>
Dimensión de las compuertas	5.8 * 7.4 m.
Dimensión de la rejillas	19.8 * 18 m.
Conducción a presión: (tubería)	
Diámetro	7.4 m.
Longitud	187 m.
Casa de máquinas:	
Ancho	22.8 m.
Largo	134 m.
Alto	50 m.
Galería de oscilación:	
Ancho	16 m.
Largo	85 m.
Alto	48.5 m.
Túnel de desfogue	Sección portal
Diámetro	16 m.
Longitud	391 m.
Gastos de diseño por unidad	249 m <sup>3</sup> /s
Nivel medio de desfogue (2U)	67.6 m.s.n.m.
Velocidad de giro de las turbinas	150 r.p.m.
Carga bruta máxima	159 m.
Carga neta máxima (al NAMO)	157.3 m.
Carga bruta mínima	120.6 m.
Carga neta mínima(al NAMINO)	119.7 m.
Carga bruta de diseño	146 m.
Carga neta de diseño	144 m.
Generador de (Potencia) - Potencia de cada unidad	
Capacidad instalada,	3 Turbinas tipo Francis
Factor de planta medio anual	
Generación media anual firme	
Generación media anual secundaria	
Nivel de transformadores y subestación	
Dos líneas en primera etapa y una futura	
Longitud hacia la red por Tepic	

## i.) Principales cantidades de obra de las Obras de Generación:

ESTRUCTURA	EXCAVACIÓN (m <sup>3</sup> )	CONCRETO (m <sup>3</sup> )
Conductos a presión	11 400	3 800
Casa de máquinas	86 000	21 000
Túnel de acceso	30 600	1 000
Galería de oscilación	66 000	6 000
Desfogues	111 000	19 000
Túneles auxiliares	35 000	15 000
<b>TOTAL</b>	<b>340 000</b>	<b>47 500</b>

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

#### 3.1. Obra de desvío.

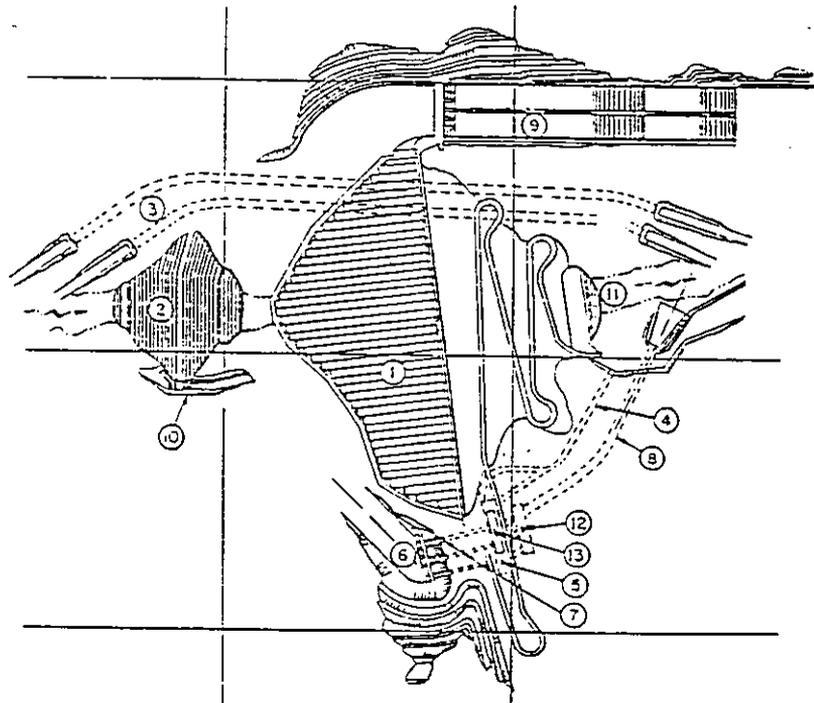
Consta de 2 túneles de sección portal de 16 por 16 metros sin revestir localizados en la margen izquierda del río. El tipo de cortina seleccionado, así como la configuración topográfica del cauce. (fig. 3 y 4).

Ambos túneles se excavaron en roca volcánica extrusiva denominada unidad Aguamilpa. Se revistieron de concreto reforzado los 16m a la entrada, las zonas de transición a la salida del túnel número 2, éste último tramo se debió al caído ocasionado durante la avenida de agosto de 1990.

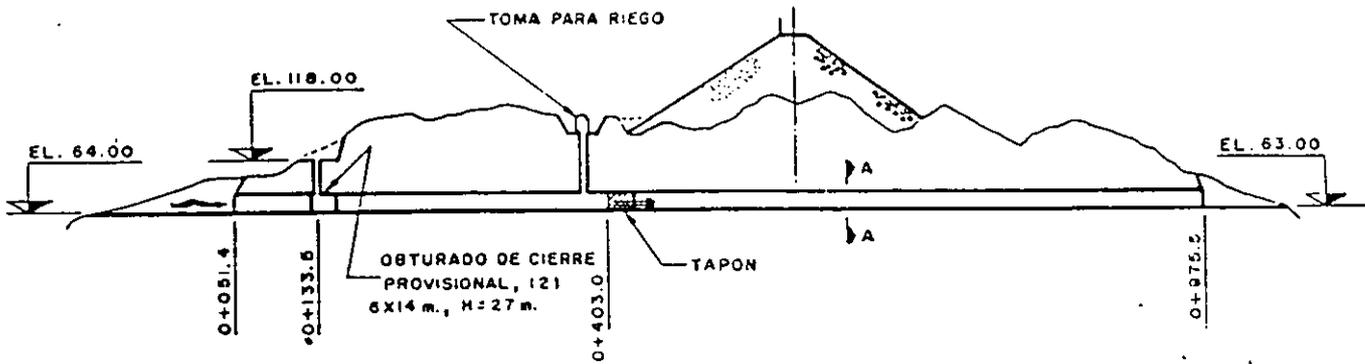
El 14 de Marzo de 1990 empezó a trabajar el túnel número 1 y en Julio de ese mismo año el número 2. En Agosto de 1990 se registró un gasto máximo de descarga de 3 800 m<sup>3</sup>/s, alcanzando el agua, en el embalse, la elevación 102 y un gasto máximo de entrada de 5075 m<sup>3</sup>/s.

## PLANTA GENERAL

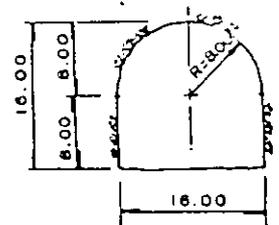
FIG3



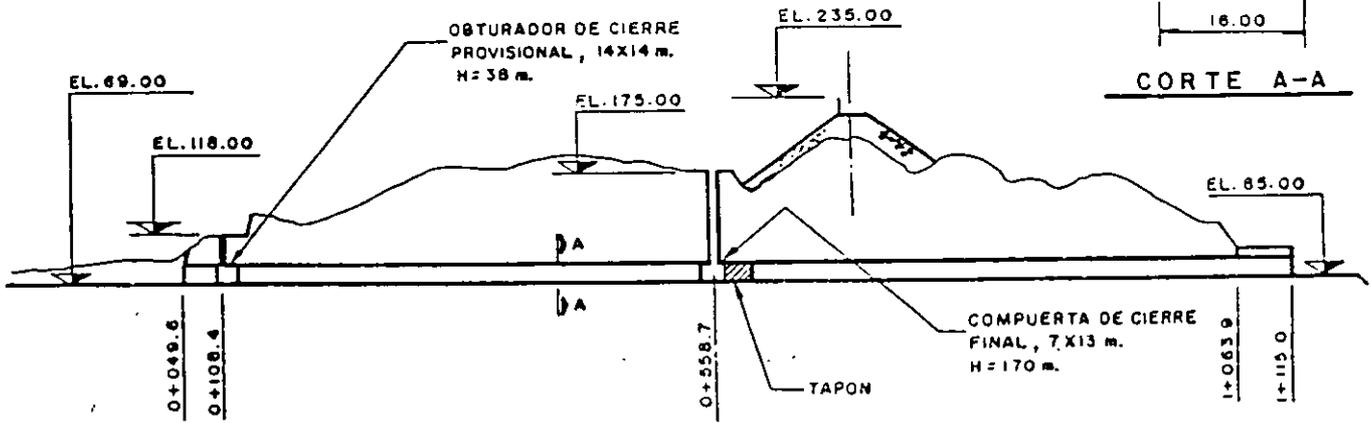
- |                        |                      |                         |
|------------------------|----------------------|-------------------------|
| ① CORTINA              | ⑤ CASA DE MÁQUINAS   | ⑨ OBRA DE EXCEDENCIAS   |
| ② ATAGUIA AGUAS ARRIBA | ⑥ OBRA DE TOMA       | ⑩ CANAL FUSIBLE         |
| ③ TÚNELES DE DESVÍO    | ⑦ TUBERÍAS A PRESIÓN | ⑪ ATAGUIA AGUAS ABAJO   |
| ④ TÚNEL DE ACCESO C.M. | ⑧ TÚNEL DE DESFOGUE  | ⑫ GALERÍA DE OSCILACIÓN |
|                        |                      | ⑬ SUBESTACIÓN           |



TUNEL DE DESVIO Nº 1



CORTE A-A



TUNEL DE DESVIO Nº 2

### 3.2. Obra de Contención.

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

La experiencia mundial en el diseño y construcción de PPC muestra que puede ser bastante confiable en su comportamiento y seguridad, como se puede ver en los casos de las presas más altas de este tipo construidas a la fecha; "Foz do Areia" en Brasil y "Salvajina" en Colombia, con 160m y 148m de altura respectivamente.

En el caso de Aguamilpa, la altura desde el desplante de la losa de pie hasta la corona será de 185.5m, el área de la cara de concreto de 136,000 m<sup>2</sup> y el volumen de materiales de 12.7 Hm<sup>3</sup>.

El volumen de enrocamiento producto de las excavaciones necesarias para las otras estructuras del proyecto es de 6.5 Hm<sup>3</sup> aprovechándolo para conformar la zona 3C de la presa. Para el volumen adicional requerido se usarán gravas naturales de bancos ubicados dentro de los 15 km. aguas abajo de la presa (fig. 5).

### 3.3. Obras de Generación.

La planta Hidroeléctrica contará con 3 unidades generadoras de 320 MW cada una, generando un promedio 2131 GWH anuales. Las estructuras principales que forman las obras de generación son: Canal de llamada a cielo abierto, obra de toma, 3 conductos a presión en túnel; casa de máquinas, galería de oscilación, lumbreras de buses y ventilación, plataforma de transformadores y subestación y túnel de desfogue (fig. 6). A continuación se describen los más importantes.

#### 3.3.1. Conductos a presión.

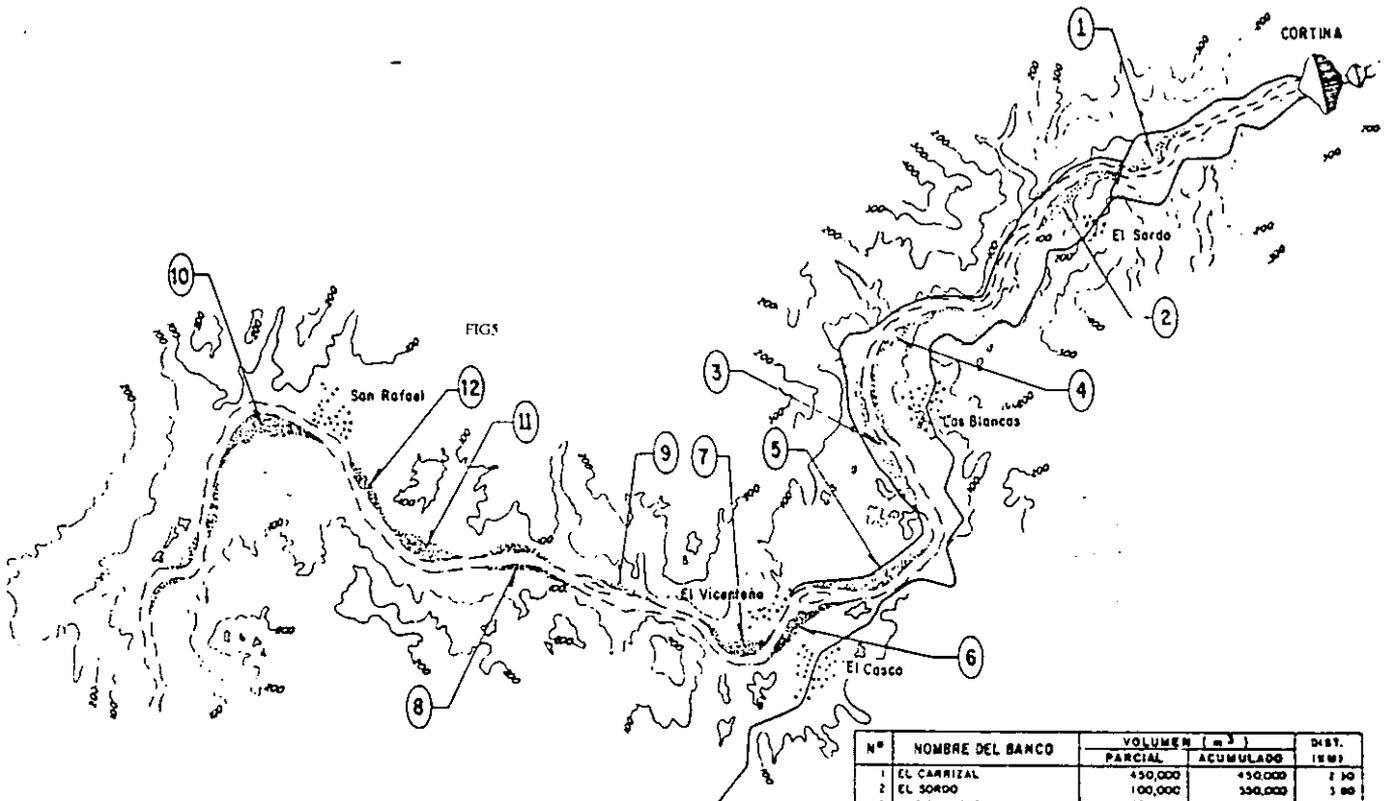
Los conductos se inician a partir de las compuertas de servicio, con sección rectangular de 5.8 \* 7.4 m. y mediante una transición en curva vertical, cambian a sección circular. La zona de transición está revestida de concreto reforzado; la zona con sección circular de 7.4 m. de diámetro con revestimiento metálico, empacada con concreto simple.

Casa de máquinas, en carna, alberga los equipos electromecánicos y de acuerdo a éstos se definen los siguientes pisos; de turbinas, de generadores y de excitadores. Además, se encuentran también las galerías de drenaje, de inspección, de charolas y el cárcamo de bombeo.

Las grúas (2) de casa de máquinas tienen una capacidad de 405140 ton. cada una y acopladas podrán levantar el rotor con un peso de 735 ton. cada una respectivamente.

#### 3.3.2. Galería de oscilación.

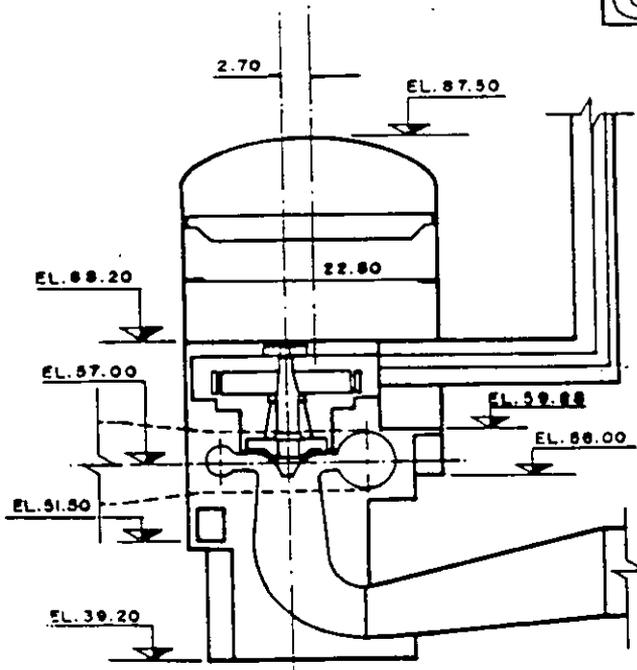
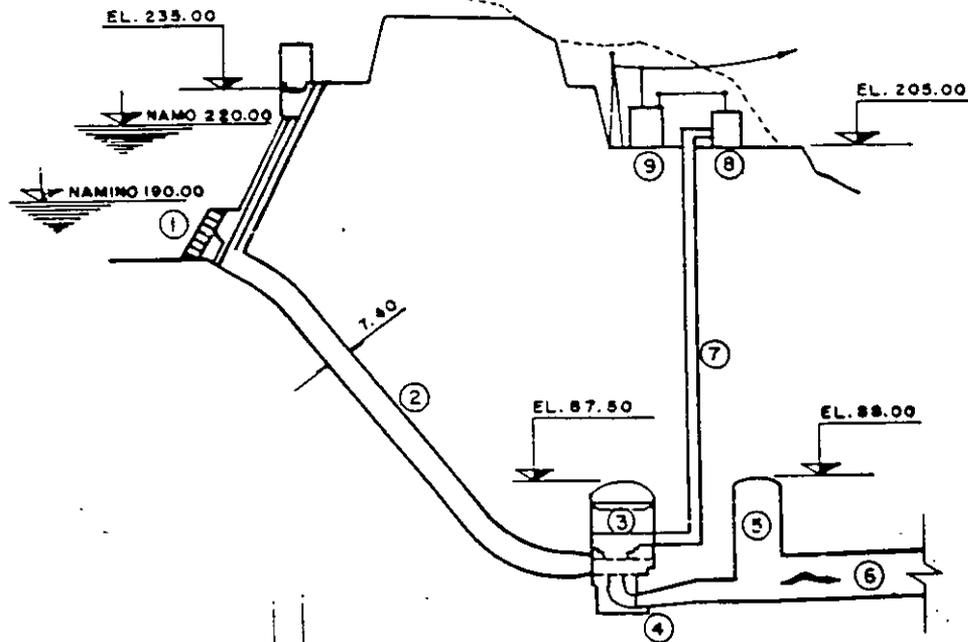
La galería de oscilación amortiguará los efectos de variación de presión ocasionados por los rechazos y toma de carga. Se localiza aguas abajo de los tubos de aspiración.



N°	NOMBRE DEL BANCO	VOLUMEN [ m <sup>3</sup> ]		DIST. [ KM ]
		PARCIAL	ACUMULADO	
1	EL CARRIZAL	450,000	450,000	2.10
2	EL SORDO	100,000	550,000	3.80
3	LAS BLANCAS I	855,000	1,385,000	7.15
4	LAS BLANCAS II	701,000	2,086,000	6.90
5	EL VICENTENO I	1,888,000	3,972,000	0.00
6	EL VICENTENO II	383,000	4,355,000	11.25
7	EL VICENTENO III	756,000	5,111,000	12.00
8	EL TICUIXTLE	515,000	5,626,000	15.00
9	LA RIBENA	245,000	5,871,000	15.80
10	SAN RAFAEL	1,261,000	7,132,000	0.90
11	MÓNICO	430,000	7,562,000	16.00
12	AGUA CALIENTE	198,000	7,760,000	17.10

**BANCOS DE ALUVION**

## OBRAS DE GENERACION



### OBRAS DE GENERACION

- ① OBRA DE TOMA
- ② TUBERIA A PRESION
- ③ CASA DE MAQUINAS
- ④ TUBO DE ASPIRACION
- ⑤ GALERIA DE OSCILACION
- ⑥ TUNEL DE DESFOGUE
- ⑦ LUMBRERA PARA BUSES
- ⑧ TRANSFORMADORES
- ⑨ SUBESTACION

---

En esta galería se tienen las compuertas de desfogue, que aislan al tubo de aspiración cuando se requiera desaguarlo.

La separación entre la galería y casa de máquinas (50 m. entre ejes) obedece a las condiciones geotécnicas del macizo rocoso y esto hizo necesario proyectar un túnel de aspiración que conecta el tubo de aspiración con la galería. En un extremo de la galería se inicia el túnel de desfogue.

### **3.3.3. Desfogue.**

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

### **3.3.4. Obras de excedencia.**

Es un vertedor en el canal a cielo abierto, con un muro separador, con capacidad de 14 900 m<sup>3</sup>/s, la cual se determinó en base a criterios de transposición de ciclones y precipitación máxima probable. (fig. 7).

Consta de 6 vanos de 12 m. de ancho, dividido en 2 canales, uno auxiliar y otro de servicio. La política de operación de compuertas es tal que nos permite regular avenidas con un periodo de retorno de 70 años, sin descargas más de 3000 m<sup>3</sup>/s.

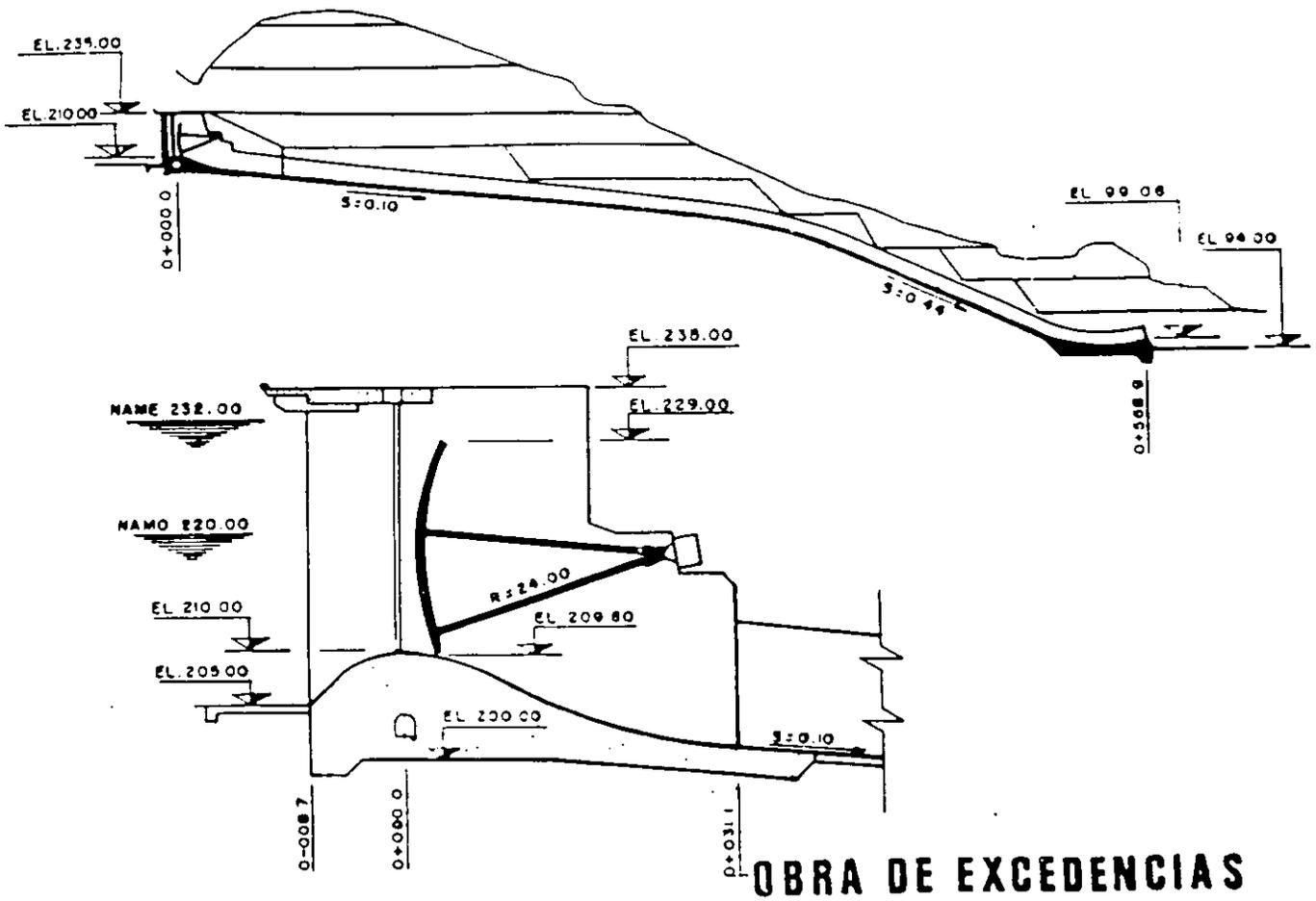
La elevación de la cresta es la 210.00 y el labio de la cubeta de descarga la 99.06 alcanzándose una velocidad mayor de 40 m/s, por lo que se construirán aireadores.

### **3.4. Obras complementarias.**

Se reconstruyó un acceso, de Tepic a la obra de 52 km.; un puente sobre el río Santiago, en doble voladizo con un claro máximo de 102 m; caminos hacia los bancos de materiales y servicios generales como son: clínica, oficinas, talleres, almacenes y campamentos para trabajadores de acuerdo a las necesidades que demanda la construcción.

El número de trabajadores en la obra superará los 5000, de los cuales 400 corresponden a C.F.E. y el resto a contratistas.

FIGURA 7



### 3.5. Equipo electromecánico.

Para el diseño, fabricación, montaje, pruebas y puesta en servicio del equipo electromecánico, la C.F.E. estableció un contrato, bajo la modalidad "llave en mano", con la asociación SEVTS en la cual participan las siguientes empresa

EMPRESA	PAÍS	EQUIPO O SISTEMA
SIEMENS, A.G.	Alemania	Subestación, grúa de c.d.m., equipo adicional
ENERGOMACHEXPOT	U.R.S.S.	Turbinas, generadores
VOEST-ALPINE	Australia	Cmp. y mecanismos
TECHINT, S.A.	México	Montaje de equipo
SIEMENS, S.A.	México	Componentes nacionales

### 4. DISEÑO DE LA CORTINA.

El desarrollo moderno de las presas con caras de concreto (PCC) se ha acelerado en forma importante después de la aparición de los rodillos vibratorios, a partir de 1970.

La construcción de la presa "Cethana" (110m.) en Australia, en 1971, y la terminación de las presas de enrocamiento bien compactado de "Alto Anchicaya" (140m) en Colombia y "Foz de Areira" (160m) en Brasil abrieron las puertas para el desarrollo de las nuevas técnicas y presas más altas durante las últimas dos décadas. (Tabla D).

NUM.	AÑO DE TERMINACION	NOMBRE DE LA PRESA	ALTURA (m)	PAIS
1	1993	AGUAMILPA	186	MEXICO
2	1993	TIANGSHENGIAD	180	CHINA
3	1980	FOZ DO AREIO	160	BRASIL
4	1994	MESSOCHURA	150	GRECIA
5	1985	SALVAJINA	148	COLOMBIA
6	1991	SEGRDO	145	BRASIL
7	1974	ALTO ANCHICAYO	140	COLOMBIA
8	1994	XINGO	140	BRASIL
9	1978	KHAO LAEM	130	TAILANDIA
10	1978	GOLILLAS	125	COLOMBIA
11	1984	SHIRORO	125	NIGERIA
12	1986	CIRATA	125	INDONESIA
13	1986	REECE	122	AUSTRALIA
14	1981	NEVERI	115	VENEZUELA
15	1971	CETHANA	110	AUSTRALIA

TABLA D

---

La Presa de Aguamilpa sigue la tendencias modernas de las presas de aluvión y/o enrocamiento bien compactado desarrolladas durante los últimos 20 años en la construcción exitosa de PCC y una vez terminada será la más alta en el mundo en su tipo.

El excelente comportamiento del aluvión natural compactado y los extensos depósitos localizados cerca del sitio de la presa, determinaron la utilización de este material en el respaldo de aguas arriba de la presa. La porción de aguas abajo se está construyendo con roca proveniente de la excavación obligada en el resto de las estructuras principales.

#### **4.1. El Plinto.**

El plinto la constituye una losa perimetral a la cara de concreto, cimentada en la roca. Esta estructura tiene 2 funciones importantes: el primero, servir de respaldo para consolidar la roca e inyectar la pantalla profunda, permitiendo a su vez, un gradiente hidráulico alto (entre 18 y 20 ) y el segundo, es que forma parte de la junta perimetral, en la cual ocurrirán los desplazamientos relativos más significativos entre la cara y la cimentación.

En el lecho del río, el plinto tiene 9 m de ancho, que corresponde a  $0.05 H$ , la altura del embalse, reduciéndose gradualmente en 1 m este ancho, hasta obtener una dimensión de 5m. en las proximidades de la cresta.

#### **4.2. Cara de concreto.**

El elemento impermeable de la cortina es la cara de concreto. Su función no es estructural y su comportamiento depende de la formación de los materiales de la cortina.

La cara de concreto está dividida en losas longitudinales de 15 m. de ancho. El espesor de la losa es variable de 0.85m. en el fondo del río hasta 0.30 m. a la altura del parapeto.

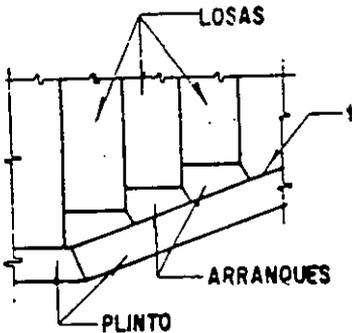
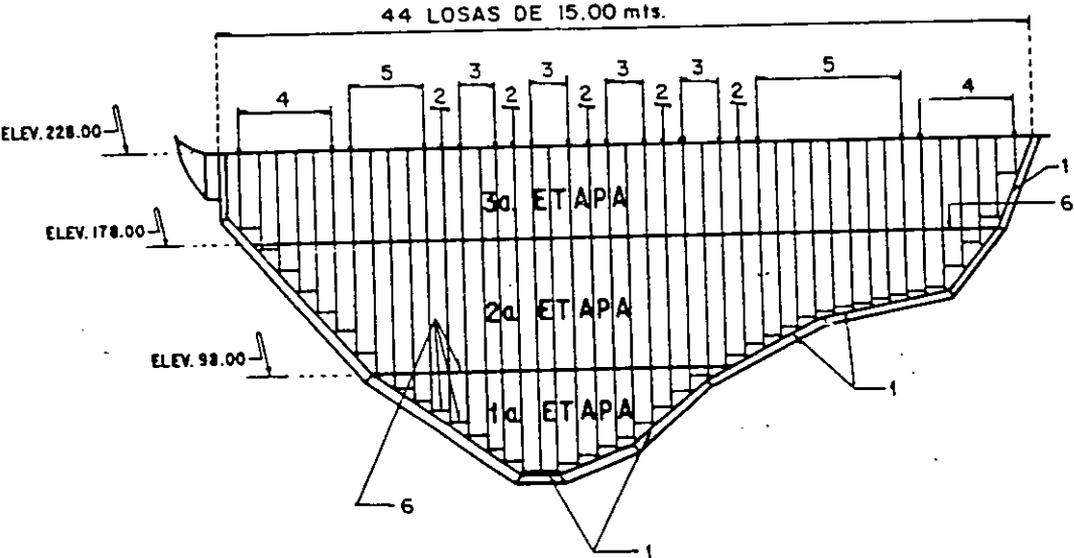
Para calcular el refuerzo de la losa, además de los criterios empíricos usualmente utilizados en este tipo de presas, se aprovechó la experiencia observada en cortinas similares recientes, así como los resultados de análisis estáticos y dinámicos, zonificando la losa en áreas de compresión hacia el centro, utilizándose porcentajes de refuerzo que variaron entre 0.3 y 0.5% de la sección de la losa.

#### **4.3. Juntas.**

Las juntas son aspectos importantes en este tipo de presa ya que garantizan la impermeabilidad de la cara (fig. 10). Para Aguamilpa se tienen principalmente los siguientes tipos de juntas: junta perimetral, vertical y horizontal.

La junta perimetral se localiza entre el plinto y la cara de concreto (tipo 1). El diseño de la junta es el resultado del análisis de comportamiento de estructuras similares en otros países y de ensayos efectuados en los laboratorios de C.F.E.; la componen principalmente: Un sello de cobre, apoyado sobre una banda de PVC; un sello de PVC y un material fino capaz de fluir y sellar; que en este caso consiste en una ceniza volante sobre la junta perimetral, sustituyendo el mastique que ha sido utilizado en las presas Anchicaya, Foz do Areia y Salvajina.

---



---

Las juntas verticales se localizan en cada una de las losas de 15 m. de ancho; hay básicamente 4 tipo de juntas verticales:

- a) Las juntas centrales o de compresión, localizadas en la parte central de la losa, con un sello de cobre inferior (tipo 2 y 3).
- b) Las juntas laterales o de tensión próximas a los estribos, con sello de cobre y PVC, con ceniza volante similar a la junta perimetral (tipo 4).
- c) Las juntas de transición, localizadas entre las laterales y las centrales; en donde se conserva el sello de cobre y la cubierta con ceniza volante (tipo 5).
- d) Junta para absorber las dilataciones térmicas de la cara durante el periodo previo al llenado del embalse, que dejan una pequeña separación rellena de madera entre losas (tipo 2).

#### **4.4. Taludes.**

Debido a que el cuerpo de la cortina no se encuentra saturado y dada la alta permeabilidad y la importante resistencia al corte de los materiales en condiciones drenadas, los taludes adoptados para la presa son de 1.5:1 aguas arriba y de 1.4:1 aguas abajo.

En el talud de aguas abajo se proyectó el camino a obra de toma, con taludes de 2.1:1 pero siempre por fuera de una línea teórica de 1.4:1 que garantiza la estabilidad del cuerpo.

#### **4.55. Materiales de la presa.**

Básicamente el cuerpo de la cortina lo forman 2 tipos de materiales: Aluvión, proveniente de los bancos naturales, procesado de acuerdo a su ubicación dentro de la cortina, y enrocamiento producto de las excavaciones.

Las características del aluvión fueron evaluadas por ensayos en campo y de laboratorio; usándolos para hacer análisis numéricos estáticos y dinámicos para estudiar el comportamiento de la cortina (ver tabla E y fig. 9).

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS VOL. EN H m <sup>3</sup>	COLOCACION	SIMBOLO
CUERPO DE LA CORTINA	TAMAÑO MAXIMO 12 " VOL= 6.15	EN CAPAS DE 0.6 m PESO VOL. > 2.2 T/m <sup>3</sup>	3B
APOYO DE LA CARA DE CONCRETO.	TAMAÑO MAXIMO VOL= 0.39 4"	EN CAPAS DE 0.3 m PESO VOL.>2.1 T/m <sup>3</sup>	2
APOYO DE LA JUNTA PERIMETRAL	TAMAÑO MAXIMO 1 1/2" VOL.=0.08	EN CAPAS DE 0.3 m PESO VOL.>2.1 T/m <sup>3</sup>	2F
ENROCAMIENTO CUERPO DE LA CORTINA	TAMAÑO MAXIMO 1m VOL. 3.899	EN CAPAS DE 1.2 m	3C
PROTECCION DE TALUD AGUAS ABAJO.	TAMAÑO > 1m VOL.=0.19	EMPACADO Y ACUÑADO	4
TRANSICION	MAT. 3B O 3C TAMAÑO MAXIMO 0.6m VOL. 2.04	EN CAPAS DE 0.6m	T
PROTECCION AGUAS ARRIBA	ARENA FINA LIMOSA VOL.=0.03	EN CAPAS DE 0.3 m	1B
PROTECCION DEL MATERIAL 1B.	MATERIAL REZAGA VOL.=0.07	BANDEO EN CAPAS DE 0.4 m	3F

TABLA E

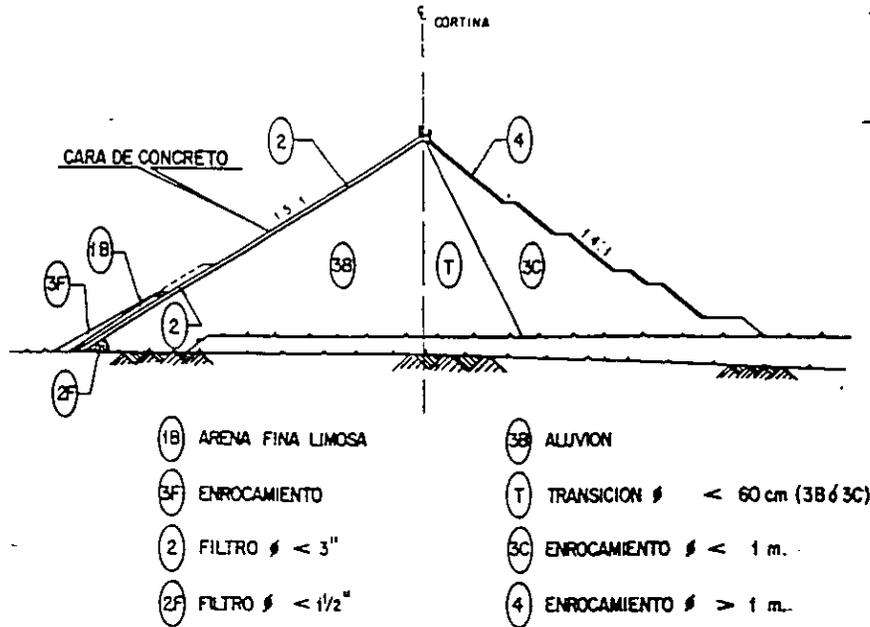


Figura 8 - Descripción de materiales

FIG. 9 TABLA DE MATERIALES			
MATERIAL	ZONA	ORIGEN	OBSERVACIONES
1B	RESALDO DE LA CARA DE CONCRETO	ARENA FINA LIMOSA	TENDIDO EN CAPAS DE 30 CM. (SIN COMPACTAR)
3F	PROTECCION DE MATERIAL 1B	ENROCAMIENTO REZAGA TUNELES MENOR DE 40 CM.	BANDEADO EN CAPAS DE 40 CM.
2	APOYO DE LA CARA DE CONCRETO	BANCOS DE ALUVION	COMPACTADO CON 4 PASADAS DE RLV (W ≥ 10 TON) EN CAPAS DE 20 CM.
2F	APOYO DE LA CARA DE CONCRETO EN CONECTOR CON LA JUNTA PERIMETRAL	BANCOS DE ALUVION	COMPACTADO CON 4 PASADAS DE RLV (W ≥ 5 TON) EN CAPAS DE 30 CM.
3B	ALUVION CUERPO DE LA CORTINA	BANCOS DE ALUVION	COMPACTADO CON 4 PASADAS DE RLV (W ≥ 10 TON) EN CAPAS DE 60 CM.
T	CUERPO DE LA CORTINA 3B & 3C	VER MATERIAL 3B & 3C	COLOCADO Y COMPACTADO EN CAPAS DE 60 CM. CON 4 PASADAS DE RLV (W ≥ 10 TON)
3C	ENROCAMIENTO CUERPO DE LA CORTINA	EXCAVACION DE OBRAS ANEXAS FRAGMENTOS SANDS DIAM. 4 ML.	COMPACTADO CON 4 PASADAS DE RLV (W ≥ 10 TON) EN CAPAS DE 1.20 M.
4	PROTECCION AGUAS ABAJO	EXCAVACIONES DE OBRAS ANEXAS	DIRIGIDO Y SOLUADO MATERIAL SOBRIANTE DE SELECCION DE MATERIAL 3C

#### **4.6. Parapeto.**

Una solución adecuada fue la de doble parapeto diseñado para la presa la cual permitió economizar volumen de enrocamiento y gravas, sin causar variaciones en la altura del bordo libre calculada como protección en caso de crecientes.

### **5. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN**

Las condiciones hidrológicas del lugar impusieron la necesidad de construir la presa en una primera etapa hasta la elevación 140.00, con objeto de proporcionar la mayor seguridad posible durante el segundo periodo de avenidas después del desvío del río, estas condiciones y la disponibilidad de los materiales determinaron construir en varias etapas, con la siguiente estrategia constructiva (fig. 10).

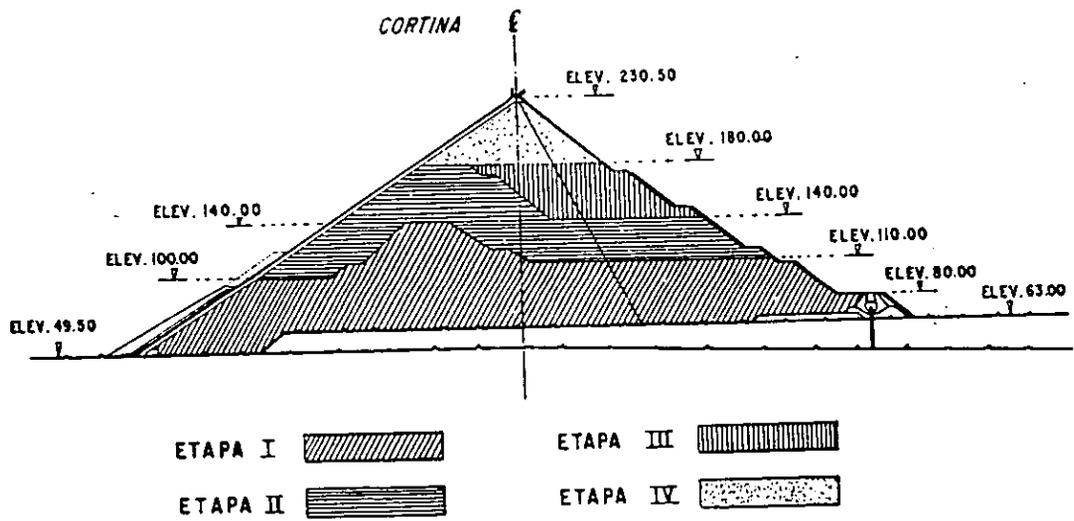
Adelantar la colocación de materiales simultáneamente con la extracción del material de excavación del plinto y del lecho del río.

Crear un sistema de rampas de accesos que faciliten la colocación de materiales y concreto en cualquier época.

Iniciar la colocación de materiales simultáneamente con la extracción del material de excavación del plinto y del lecho del río.

Utilizar el material proveniente de las excavaciones de las estructuras y de los bancos de gravas en forma directa, eliminando en lo posible la necesidad de almacenamiento, especialmente para los enrocamientos.

Proporcionar una infraestructura de apoyos (plantas, bandas transportadoras y acopios de grava) que faciliten la colocación futura de materiales dentro de la presa.



- Etapas de construccion

---

---

*CAPITULO II*

*EXCAVACIÓN DEL*

*CANAL DE LLAMADA*

---

---

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La mayor parte de los proyectos que se construyen en la actualidad exigen excavación. La cantidad varia desde unos cuantos m<sup>3</sup> para cimientos y zanjas para tuberías, hasta millones de m<sup>3</sup> para las grandes presas con diques de tierra. Usualmente es una operación relativamente simple el determinar la velocidad a la que va a ser manejado por los hombres o por las máquinas de excavar. Los factores que afectan su cuantificación en la producción son: trabajos y administración.

- a) **Factores de trabajo.-** Los factores de trabajo incluyen: el tipo de material; la cantidad de agua que exista, el clima, la libertad con que los hombres y equipos pueden operar en la obra, tamaño de la obra; distancia a que hay que acarrear, condición del camino de acarreo, etc. Es difícil para el constructor el cambiar las condiciones del trabajo.
- b) **Factores de administración.-** Los factores de administración comprenden: la organización del trabajo, mantener una buena moral entre los trabajadores, seleccionara y usar métodos y equipos apropiados, tener cuidado del servicio a los equipos, y otros. Estos factores están bajo el control del constructor.

## **2. MÉTODOS DE EXCAVACIÓN.**

Los métodos de excavación varían desde el excavado a mano y pala para pequeños trabajos, hasta el empleo de máquinas zanjadoras, palas mecánicas, dragas o cangilones de arrastre, cucharones de quijadas, excavadores jalados por tractores, bulldózer, cargadores elevados, taladradoras y pontones de grúa. Algunos materiales, como la roca, son tan duros que es necesario perforar y aflojarlos con explosivos antes de poder excavarlos.

Dentro de la construcción de la obra de la P.H. Aguamilpa, las excavaciones son para obtener enrocamiento, ya sea de obra de toma, obras de excedencia, casa de máquinas, etc., las cuales van a servir para la formación de la cortina y serán de 2 tipos:

- 1) No existiendo líneas de proyecto establecidas, tales como: bancos de agregados, aluvión, etc.
- 2) Excavación en la cual se deben respetar las líneas de proyecto establecidas, tales como banco de obras de excedencias, banco de plataforma de subestación, etc.

Para las excavaciones del tipo 2, el contratista tomó precauciones para respetar las líneas de proyecto de dichas estructuras.

Las excavaciones en estas estructuras se harán con taludes de 0.5:1 y cortes máximos de 25m.; con bermas de 6m.

Será obligatoria la aplicación del sistema de precorte en el perímetro de excavación definitiva.

La profundidad de los barrenos para el precorte no excederá de 9m. a menos que la C.F.E. autorice una profundidad mayor.

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

---

### **2.1. El Sistema de Precorte (Presplintting).**

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

### **3. EXCAVACIÓN DE OBRA DE TOMA (ELEV. 333-170)**

La Obra de toma es una estructura que pertenece a obras de generación el cual consiste en un canal de llamada, excavado a cielo abierto y en curva (fig. 1).

Las primeras actividades por ejecutar antes de iniciar la excavación propiamente dicha, son: trabajos de desmonte en las zonas donde se ubicarán las obras, se utilizará un tractor para remoción y se procederá a transportar el desperdicio a los sitios que la C.F.E. determine.

La capa de tierra vegetal se desplantará con tractor y se removerá formando montes para su inmediato retiro cargando a unidades de transporte para su acarreo fuera de los sitios de trabajo. (estos trabajos de acarreo y carga se efectuaron por medio de cargadores y yucles).

Se han considerado que será necesario construir brechas de acceso, que son caminos provisionales para llegar a las diferentes elevaciones en el proceso de excavación; caminos que serán definitivos posteriormente y también caminos de construcción; dichos caminos deberán ser anchos y con las pendientes adecuadas para permitir la circulación conveniente de los vehículos de construcción previstos para estos accesos; se contará con la señalización indicada por la C.F., dándoles mantenimiento y conservación durante el tiempo programado para la terminación de los trabajos; en la planeación de la colocación de materiales en la cortina, se observa la vialidad que se ha previsto adecuadamente.

La etapa inicial de construcción de la obra de toma, consiste en la excavación del canal de llamada; el proyecto contempla un volumen por excavar de 986,000 m<sup>3</sup> a cielo abierto, dichas excavaciones se harán con taludes de 0.50:1 y cortes máximos de 25m. dejando bermas con un ancho de 6 m.

Prácticamente toda excavación se ejecutará en roca por lo que se ha previsto utilizar perforadoras sobre orugas (Track-Drill y/o Hidrotrack), compresoras portátiles en la perforación, debiendo calcular la plantilla de barrenación que se utilizará, de acuerdo al material por excavar, del diámetro de los barrenos, de la altura del banco que se tendrá en las voladuras y del tipo de explosivos que se utilizarán en la carga de la barrenación.

Para esto tenemos que se llevará a cabo por banqueos de 9 m. iniciando aproximadamente, en la Elev. 235, se ejecutaran los trabajos hasta llegar al nivel 215 en donde se dejará la primera berma contemplada en el proyecto; posteriormente hasta la elevación 195 y así sucesivamente hasta terminar la excavación a nivel de piso de proyecto

del canal en la elevación 170. La secuencia de operación consiste básicamente en lo siguiente: se realiza primeramente la barrenación hasta la profundidad prevista, se procede a la carga de la misma con la cantidad de explosivos necesarios y calculados, ejecutando la voladura. Durante todo el proceso descrito anteriormente se tomarán todas las precauciones y medidas de seguridad recomendadas para el manejo de los explosivos y artificios.

Antes de realizar la voladura, se despejará todo el área de influencia que se cubren de actividades que se están realizando, para evitar posibles accidentes; estos trabajos serán auxiliados con personal perteneciente al departamento de seguridad existente en la obra.

Para lograr una correcta definición de las caras en los cortes, se hará uso del precorte, que es la barrenación especificada a 9 m. de profundidad, con una separación entre barrenos de 0.7 m., estos barrenos se cargarán con los explosivos calculados para obtener fracturamiento a lo largo de las paredes que delimitan la excavación de la obra de toma, para la barrenación se utilizarán las perforadoras sobre orugas y compresores portátiles; se tiene programado extraer 98,600 m<sup>3</sup>/mes con el equipo de barrenación siguiente: 3 perforadoras sobre orugas barrenando para excavación, 2 perforadoras sobre orugas barrenando para precorte, 5 perforadoras de piso para perfilar banquetes y afines de los pisos de proyecto y 6 compresores portátiles de 600 Pcm, así como una perforadora rotaria en el núcleo de la excavación.

La roca ya fragmentada, se amontonará con el empleo de un tractor, procediéndose a mover con cargadores neumáticos a camiones de volteo pesados (Yucles) para transportar el material a los sitios previstos por la C.F.E.

Todas las actividades que contempla el proyecto contando la excavación del canal de llamada de la obra de toma, serán ejecutadas con el equipo adecuado y el personal calificado, para garantizar el cumplimiento de los trabajos a entera satisfacción de la C.F.E. en el tiempo establecido.

#### **4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA OBRA DE TOMA**

##### **4.1. Excavación.**

- A) Camino de acceso.
- B) Procedimiento de excavación por bancos.
- C) Plantillas de barrenación.
- D) Equipo.

- Descripción -

A) Para proteger a la excavación, se localizarán caminos de acceso para poder extraer el material de los diferentes niveles de acuerdo con el proyecto y transportarlos a la cortina para su colocación.

Los accesos se harán a los siguientes niveles:

- 1) Del centro de gravedad de la cortina al nivel 88 hasta la elevación 170 de la obra de la obra a partir del cual, se continuarán los siguientes caminos.
- 2) Caminos de acceso a elevación 190 de la obra de toma.
- 3) Caminos de acceso a elevación 210 de la obra de toma.
- 4) Caminos de acceso a elevación 235 de la obra de toma.
- 5) Caminos de acceso a elevación 260 de la obra de toma.
- 6) Caminos de acceso a elevación 285 de la obra de toma.
- 7) Brecha de penetración a la elevación 315.

El camino núm. 1 tendrá un desarrollo de 1200 m. aproximadamente y una pendiente máxima de 8%, para llegar a la elevación 170, a partir del cual, se continuarán el resto de los caminos ya mencionados.

Para la construcción de caminos de acceso se efectuarán las siguientes actividades:

- a) Localización, trazo y nivelación.
- b) Brecha de penetración.
- c) Terracerías, cortes y terraplenes.
- d) Obras de drenaje.
- e) Revestimiento.

El equipo requerido para efectuar estas actividades es:

- 4 Tractores modelo D8N.
- 5 Track-drill
- 5 Compresores 600 PCM.
- 6 Perforadoras de piso
- 1 Motoconformadora.
- 1 Pipa de agua.

---

---

#### 4.2. Procedimiento de excavación por bancos.

Se efectuarán los trabajos de desmonte. Este trabajo se efectuará con tractor y se transportará con tractor a los sitios que indique C.F.E. para su depósito.

Una vez desmontada la zona, se procederá al retiro del material para descubrir la roca y proceder a la preparación de los bancos sobre todo en las zonas de precorte y de banqueo inicial.

La excavación de la obra de toma consiste en extraer un volumen aproximado de 923,000 m<sup>3</sup> a cielo abierto para lo cual los taludes están inclinados con pendiente de 0.5:1 y cortes máximos de acuerdo a las banquetas de proyecto de 25m.

##### 1er. Banqueo.-

El primer banqueo se efectuará a partir de la elevación 315 aproximadamente, de donde se hará en precorte a nivel 285 que constituye el primer banco.

Este banco tendrá una brecha de penetración para colocar el equipo correspondiente superior y a su vez el equipo de perforación y en la parte inferior un camino a elevación 285 donde se extraerá el material producto de la excavación.

##### 2do. Banqueo.-

El segundo banqueo se hará a partir de la elevación 285 y constituye el volumen de roca comprendido entre esa elevación y la 260, dejando sin excavar la banqueta a la elevación 285.

Como este banco está muy definido de 25m. de altura, se hará el precorte de toda la longitud y el banqueo en dos etapas: la primera a elevación 271m. y la segunda a elevación 260.

##### 3er. Banqueo.-

Este banqueo será excavado a partir de la elevación 260 y se excavará a elevación 235 de donde se extraerá el material producto de la excavación.

También en este banqueo se manejaran bancos de 14 y 11m. respectivamente por lo que la excavación se hará de elevación 260 a elevación 246 a elevación 235.

El precorte se hará de toda la longitud del banco, de elevación 260 a elevación 235.

##### 4to., 5to., 6to Banqueos.-

El cuerpo principal del canal de llamada se hará en 3 banqueos siendo los siguientes:

El 4to. de elevación 235 a Elev. 210, altura 25 m.

El 5to. de elevación 210 a Elev. 190, altura 20 m.

A su vez estos banqueos se manejaran en 2 etapas de 14 y 11m. para el primero; 11 y 9m. para los restantes.

---

---

### 4.3. Plantillas de barrenación.

Las plantillas proyectadas para la explotación de los bancos de 3.0 por 4.0 m. con barrenación de 3.5 pulg. de diámetro con una separación entre barrenos de 0.7 m.

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

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

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

Las líneas de barrenos tienen separación entre sí de 0.7m. dependiendo también de la carga de explosivos que contengan y la separación entre barrenos en una línea es de 1.5 a 2.0m., también dependiendo de la carga de explosivos que se contengan estos barrenos. La cantidad de carga se determina de acuerdo a la profundidad del barreno, al tipo de roca (dureza), al tipo de estructura y a las condiciones en que se encuentre el frente, es decir que se pueden correr riesgos de destrucción de instalaciones o de la misma estructura.

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

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

Cuando comienza la barrenación para la excavación de banqueo puede hacerse simultáneamente la barrenación para anclase de igual forma cuando se inicia la carga de explosivos, se puede trabajar en la colocación o inyección de anclaje. La única actividad que en ocasiones no puede realizarse simultáneamente es el rezagado, pues las condiciones de espacio y maniobra lo impiden.

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

### 4.4. Equipo.

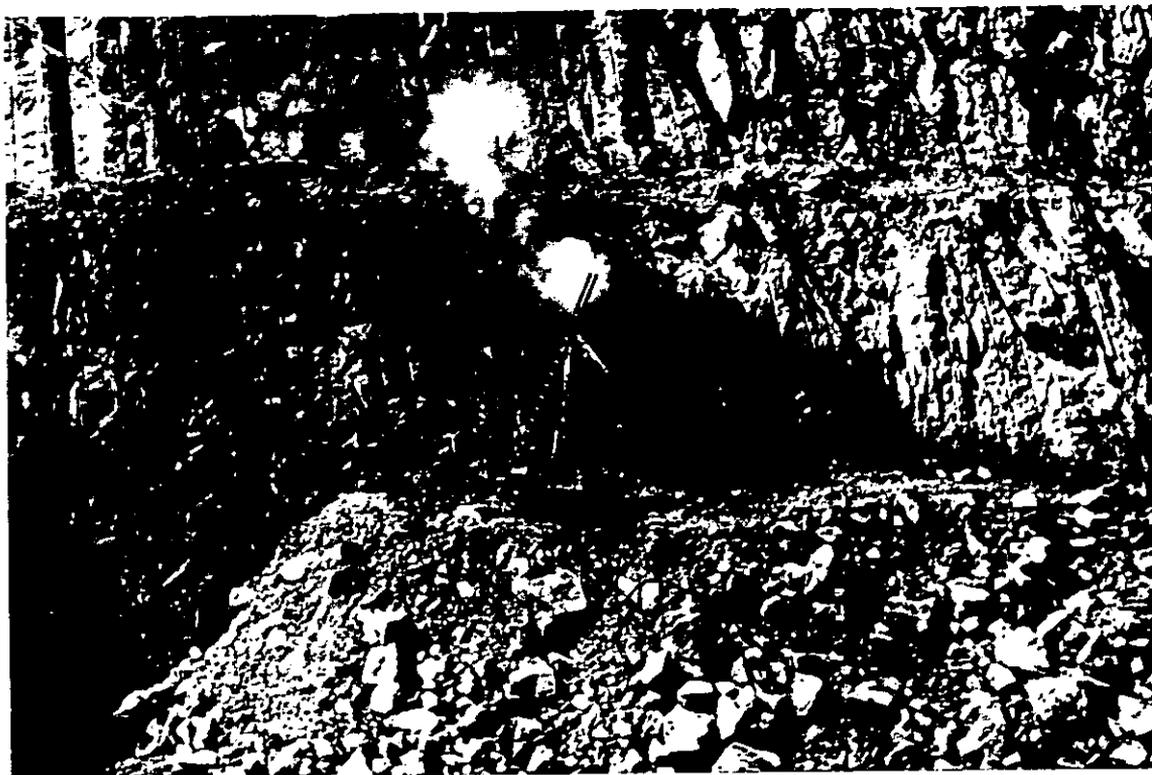
El equipo que será utilizado para los trabajos de:

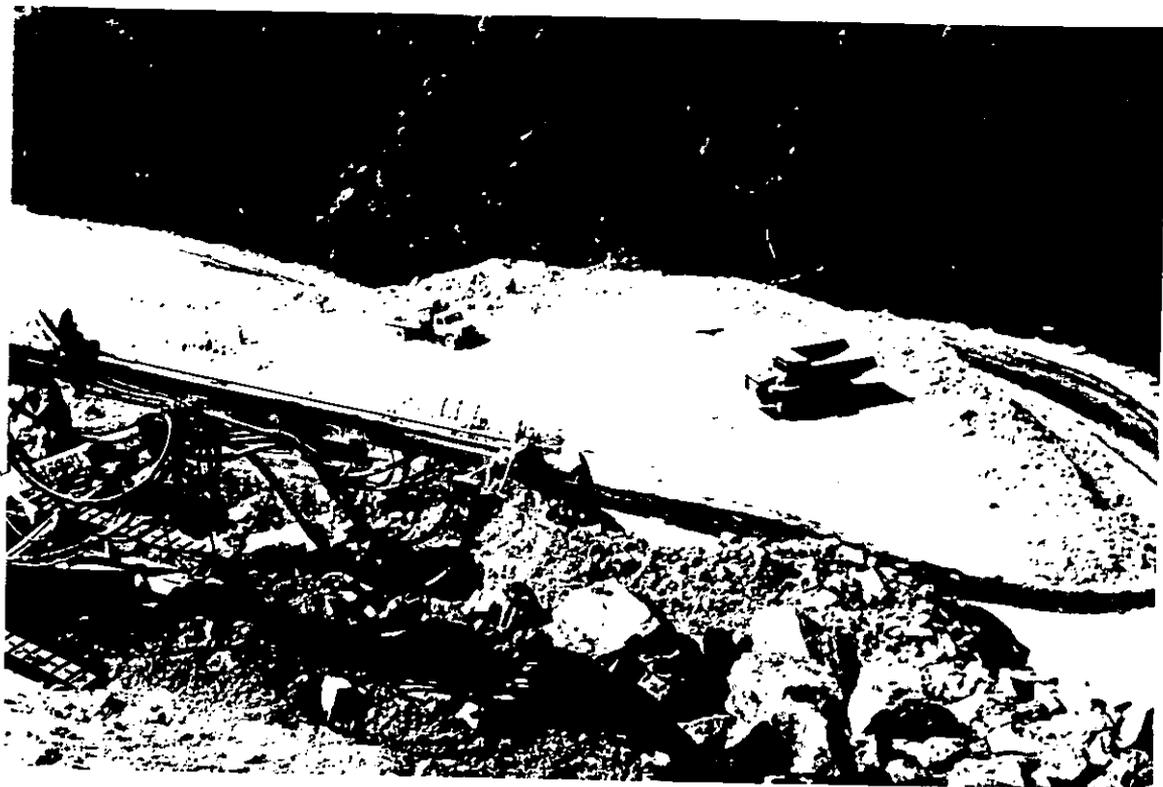
- Excavación y precorte
  - 3 Track-drill con martillo de fondo.
  - 3 Compresores 750 pcm de alta presión.
- Tratamientos
  - 2 Track-drill

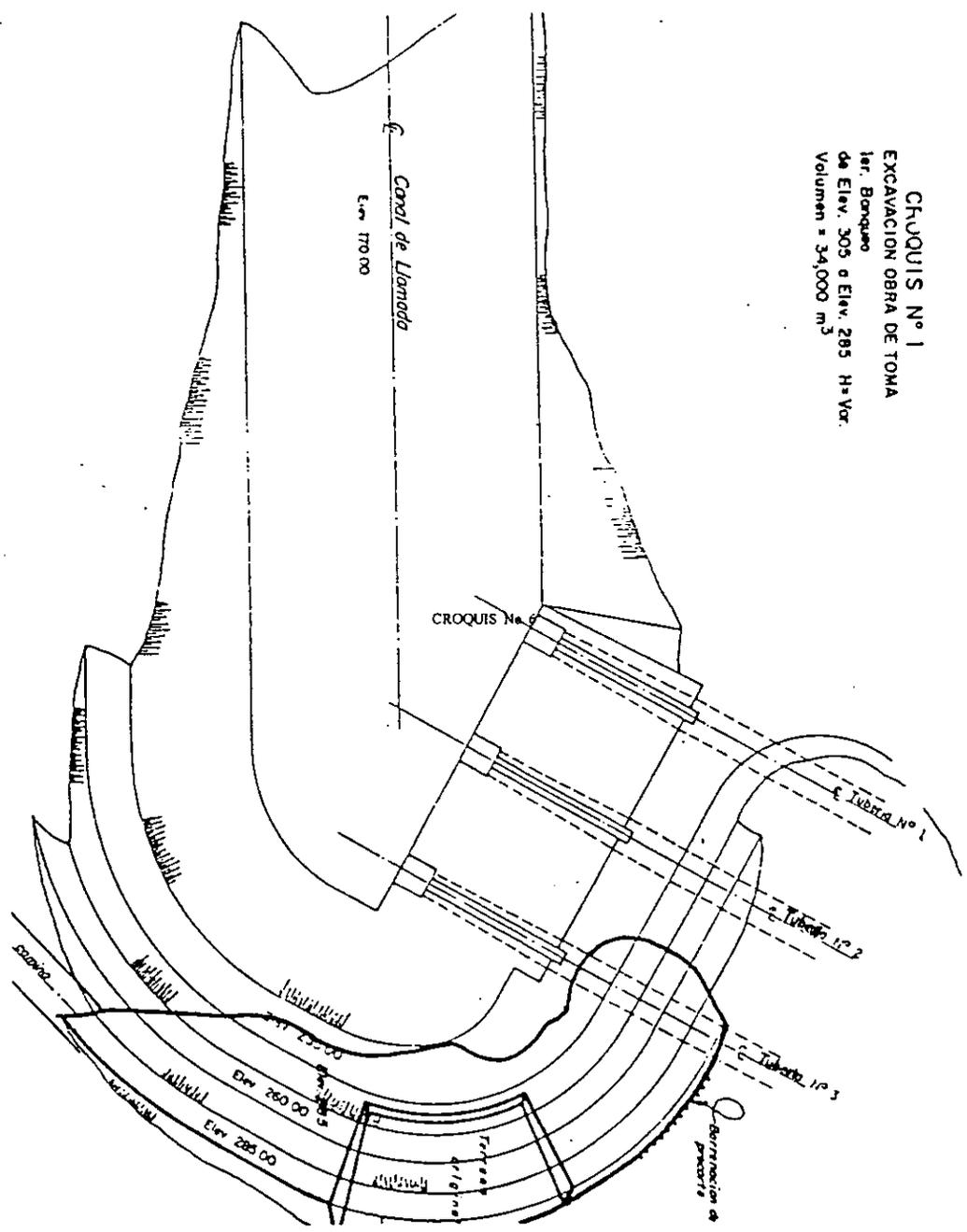
- 3 Compresores 600
- 1 Lanzadora aliva 250.
  
- Carga y acarreo del material
  - 1 Pala DH30
  - 1 Cargador 988
  - 7 Camiones F.C R-35



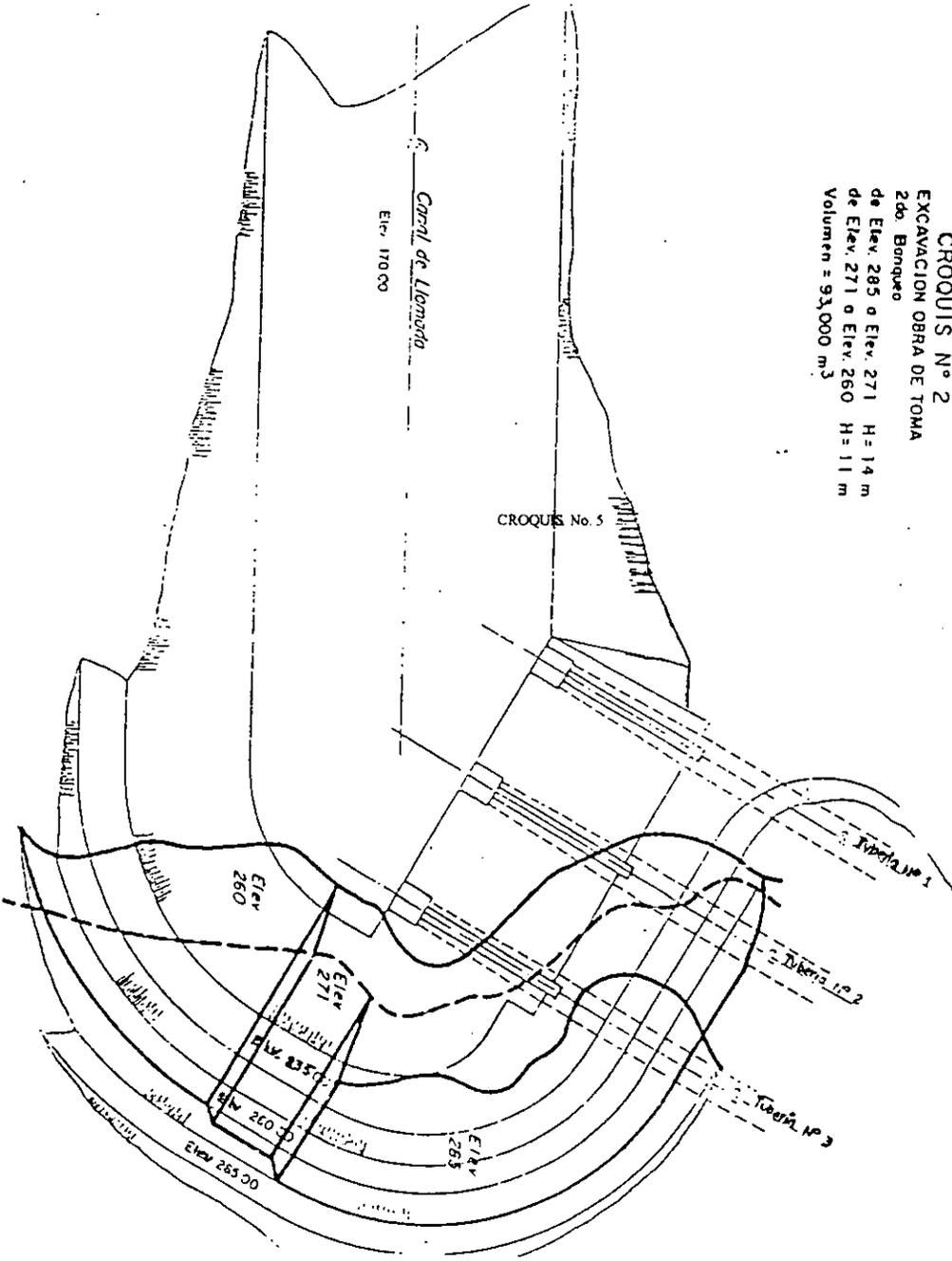
FOTO



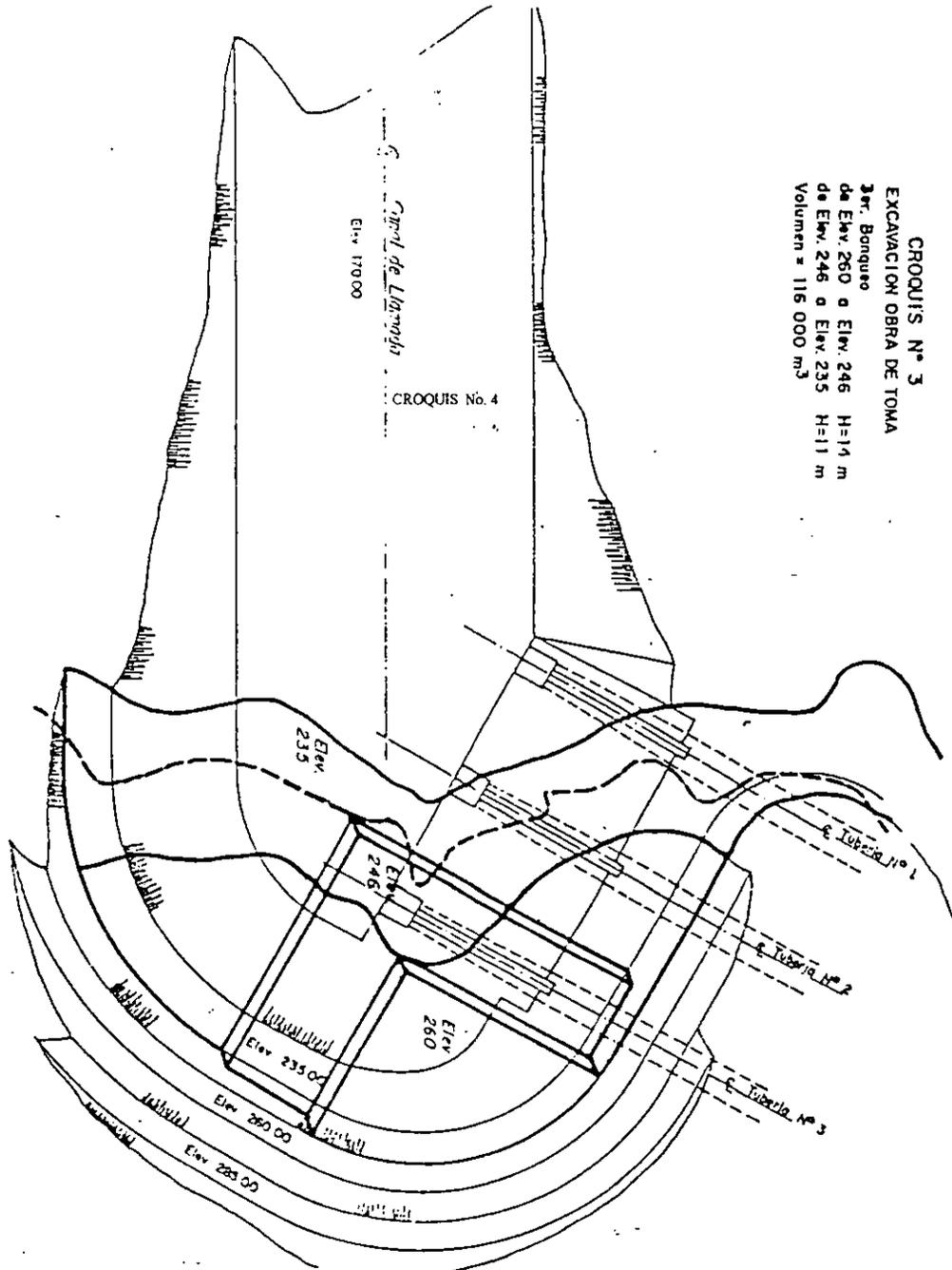


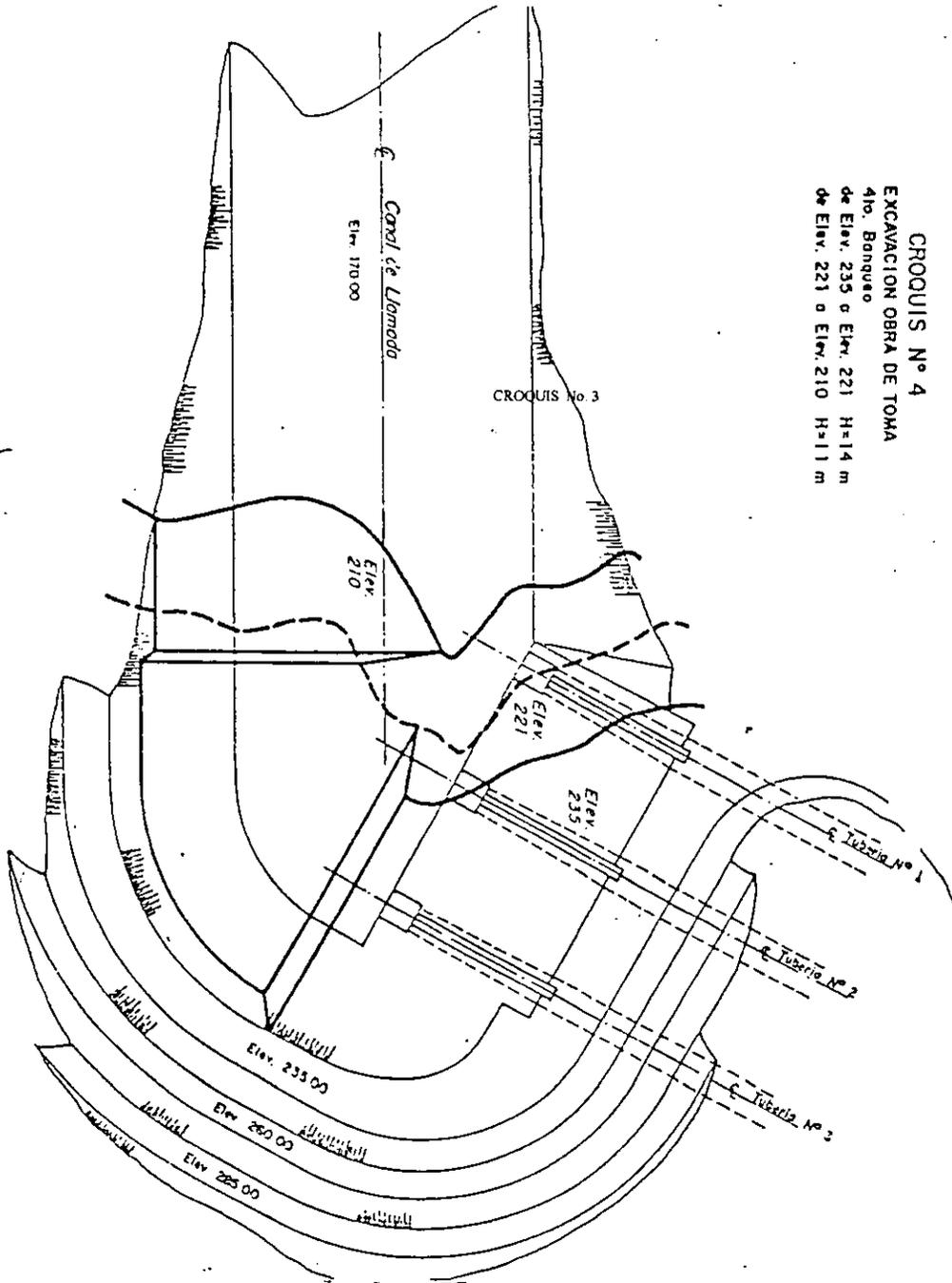


CHUQUIS No 1  
EXCAVACION OBRA DE TOMA  
1er. Banqueo  
de Elev. 305 a Elev. 285 H=Voz.  
Volumen = 34,000 m<sup>3</sup>

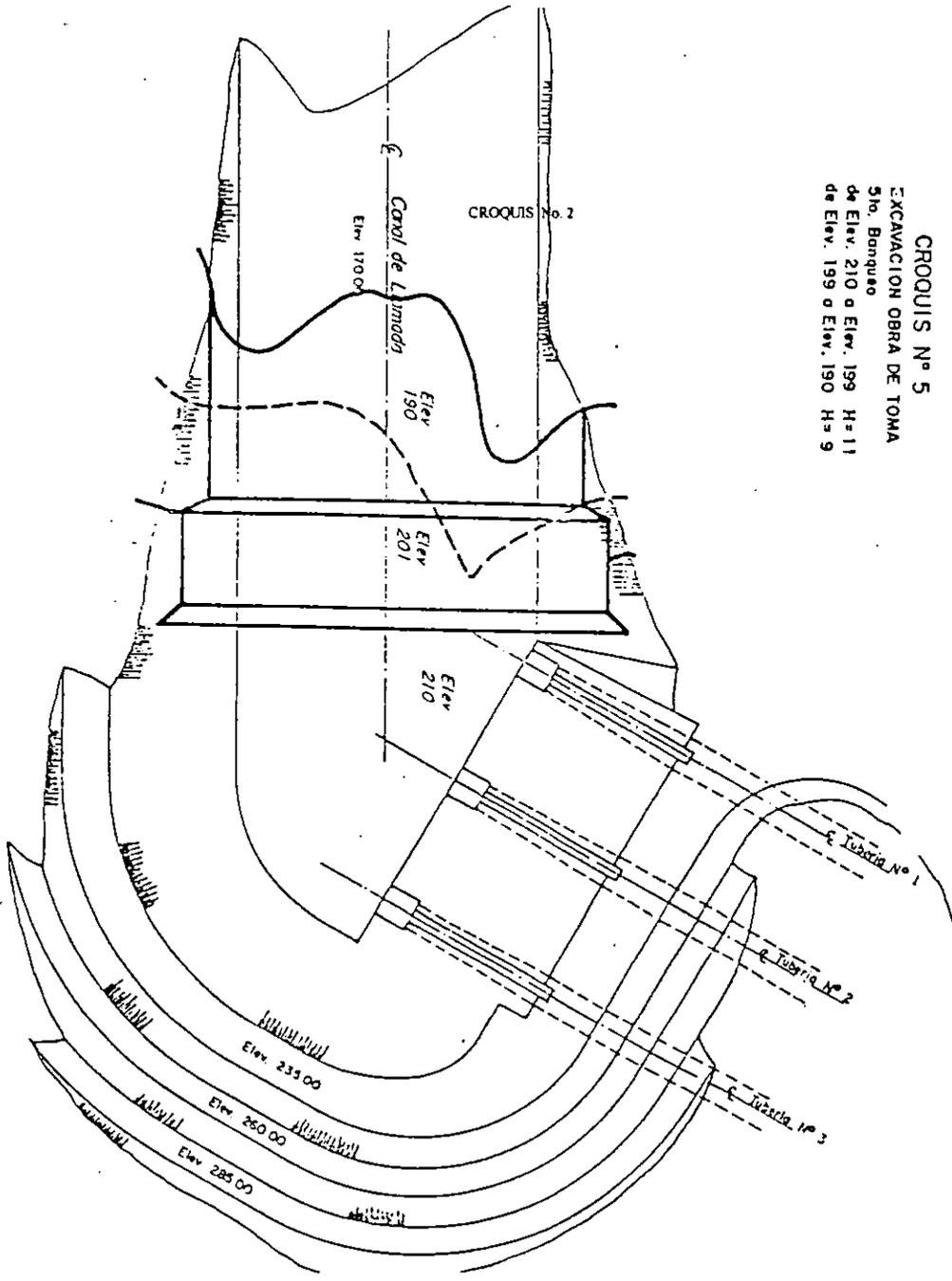


**CROQUIS No. 2**  
EXCAVACION OBRA DE TOMA  
2do. Banqueo  
de Elev. 285 a Elev. 271 H = 14 m  
de Elev. 271 a Elev. 260 H = 11 m  
Volumen = 93,000 m<sup>3</sup>

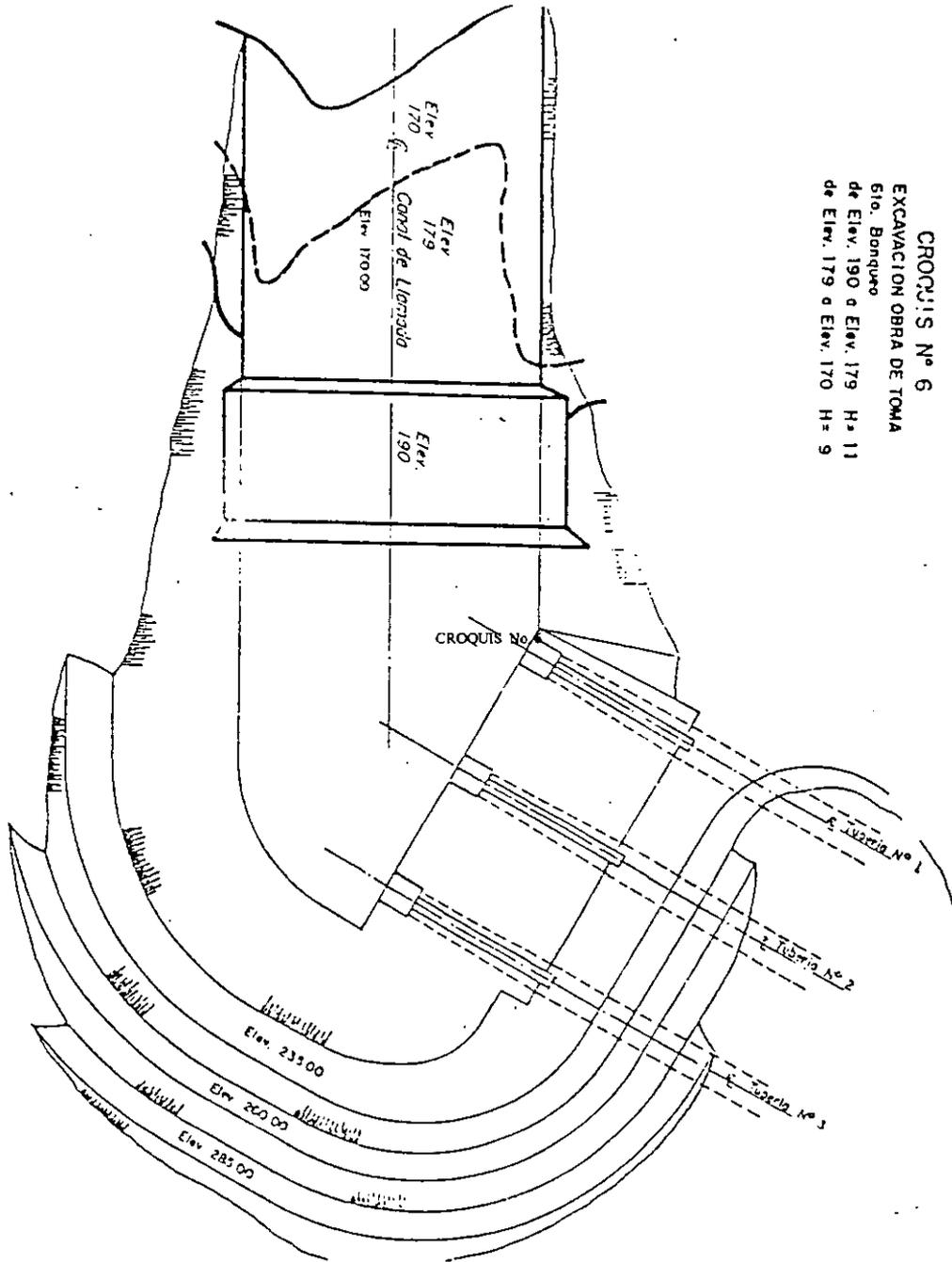




CROQUIS No. 4  
EXCAVACION OBRA DE TOMA  
4to. Banqueo  
de Elev. 235 a Elev. 221 H=14 m  
de Elev. 221 a Elev. 210 H=11 m



CROQUIS No. 5  
EXCAVACION OBRA DE TOMA  
5to. Banqueo  
de Elev. 210 a Elev. 199 H= 11  
de Elev. 199 a Elev. 190 H= 9



CROQUIS No. 6  
EXCAVACION OBRA DE TOMA  
Elev. Bonqueo  
de Elev. 190 a Elev. 179 H = 11  
de Elev. 179 a Elev. 170 H = 9



---

---

*CAPITULO III*

*EXPLOSIVOS*

FALTA PAGINA

No. 58

---

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química; capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión como en el caso de la pólvora o por causa de un golpe, impacto, fricción, etc., en cuyo caso recibe el nombre de detonación, así los explosivos que estallan se le llaman explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y nitratos de amonio.

Cuando esta violenta transformación en gases ocurre en lugar cerrado, como puede ser en un barreno de un manto de roca, se producen presiones muy elevadas que fracturan la roca.

La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre.

La técnica moderna usada para voladura de roca nos da facilidades de ejecutar proyectos que antes no tenían solución técnica o económica.

Algunos ejemplos en los que se utilizan las voladuras son los túneles para agua, alcantarillado, drenajes, a cielo abierto, etc.

La técnica de voladuras de rocas se ha desarrollado rápidamente en los últimos 40 años a tal grado que podemos decir que la mayor técnica usada en nuestros días corresponde a la de los 15 últimos años. El problema de excavar en roca es muy antiguo, originalmente se calentaba la roca con leña, enfriándose con agua fría produciéndose un agrietamiento y con la ayuda de marros y cuñas se extraía la roca fisurada. Este método se usó aproximadamente hasta el año 1870, aún después de la introducción de la pólvora negra para voladuras.

Otro método usado en la antigüedad fue picada varios agujeros en la hilera y clavar cuñas de madera seca, al agregar agua sobre éstas, se hinchaban, produciendo el rompimiento de la roca.

Los explosivos hicieron su aparición como herramienta de trabajo en la minería en año 1627, cuando Kaspar Weill efectuó un disparo con pólvora negra en Hungría.

Posteriormente, en 1866 al mezclar Alfred Nobel nitroglicerina con Kieselguhr (tierra porosa para hacer la mezcla más manejable) se obtuvo la primera dinamita, en la cual se iniciaba a base de un estopín que tenía fulminato de mercurio como agente explosivo.

Fue hasta hace pocos años (1957), que se empezaron a usar explosivos sin nitroglicerina en E.U.A., se trata del nitrato de amonio mezclado con Fuel Oil (ANFO) en forma cristalina o en granos. Este tipo de productos con algunas variantes y los modernos explosivos licuados siguen siendo insustituibles hasta la fecha para el trabajo subterráneo, en minas, canteras y en voladuras a cielo abierto, ya que tiene excelentes características de manejo y seguridad.

Los fines que se persiguen al emplear explosivos son desprender la roca y fragmentarla al tamaño adecuado.

## 2. TÉCNICAS O PROCEDIMIENTOS DE LOS EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN.

Actualmente los explosivos se usan para la construcción de diversas obras civiles como presas, sistemas de riego, redes de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, sistemas de drenaje, vías de comunicación, cimentaciones de estructuras, canales, túneles y muchas otras. Se puede notar que las principales finalidades de la excavación en roca para la construcción de obras de ingeniería civil, son para alojar estructuras, eliminar obstáculos y obtener materiales para la construcción.

En todos los casos, el proceso de explotación de roca está formado por tres etapas: extracción, carga y acarreo.

La extracción consiste en separar un fragmento de roca de un banco ó corte, haciendo uso de explosivos o escarificadores (arados).

Cuando se hace con explosivos se produce una voladura.

La roca extraída puede ser graduada o sin graduar, en el primer caso existen requerimientos de tamaño, en el segundo no. El tamaño puede estar limitado por el uso a que se destine la roca, por ejemplo:

- Para trituración.- La limitación está dada por la abertura de la quebradora primaria, aquí se pide un tamaño máximo.
- Para enrocamiento.- Por el proyecto, especificaciones y el equipo de carga y acarreo. En escolleras se pide un tamaño para que la roca no sea movida por el oleaje.
- Para cortes y pedraplenes.- Por el equipo de carga y acarreo o la capacidad de los tractores.

Ya que empresas muy poderosas se han dedicado al estudio de los explosivos, corresponde al constructor obtener el mayor partido posible de los explosivos industriales y así cooperar al constante adelanto de los procedimientos de la construcción, ya que estos son una expresión objetiva de la evolución constante de la humanidad.

Las nomenclaturas y unidades en el diseño de voladuras son las siguientes:

- $A'$  = Pata o berma, distancia del barreno al frente (m)
- $A_R$  = Pata real (m)
- $A_T$  = Pata teórica (m)
- $b$  = Sobrebarrenación (m)
- $B$  = Separación entre barrenos (m)
- $B_B$  = Barrenación especificada (metros de barrenación/m<sup>3</sup> de roca)
- $C_C$  = Carga de columna (Kg.)
- $C_F$  = Carga de fondo (Kg.)
- $C_T = Q$  = Carga de fondo (Kg.)
- $d$  = Densidad del explosivo (esta cantidad es adimensional, relativa al peso del mismo volumen de agua, también puede usarse en Kg./m<sup>3</sup> o gr./cm).
- $f$  = Diámetro del barreno (pulgadas ó m.)
- $h$  = Altura del barreno (m)

$L_{CC}$  = Longitud de carga de columna (m)

$L_{CF}$  = Longitud de carga de fondo (m)

$q$  = Carga especificada de explosivos (Kg. de explosivo/ $m^3$  de roca)

$q_c$  = Carga de columna por metro de barreno (Kg./m.) (método sueco)

$q_f$  = Carga de fondo por metro de barreno (Kg./m.) (método sueco)

$Q = C_T$  = Carga total del barreno (Kg.).

$T$  = Longitud del tapón del barreno (taco/m.).

$V$  = Volumen, casi siempre el volumen tributario de un barreno ( $m^3$ )

Para seleccionar un explosivo adecuado en una situación determinada, es indispensable tener en cuenta su costo y sus propiedades. Deberá escogerse aquel que proporcione la mayor economía con los resultados deseados.

Para esto se tiene la siguiente tabla con las propiedades de los explosivos y el uso sugerido.

TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACIONES	USO
DINAMITA NITROGLISERINA	NITROGLISERINA		ALTA	BUENA	EXCESO DE GASES	TRABAJOS A CIELO ABIERTO
EXTRA	NITROGLISERINA Y AMONIACO	20 A 60 %	ALTA	REGULAR	EXCESO DE GASES	TRABAJOS A CIELO ABIERTO
GRANULADA	AMONIACO	25 A 65 %	BAJA	MUY ALTA	EXCESO DE GASES	TRABAJOS A CIELO ABIERTO (CANTERAS)
GELATINA	AMONIACO	30 A 75 %	MUY ALTA	DE BUENA A EXCELENTE	DE MUY POCOS GASES A NULOS	SISMOLOGIA TRABAJOS SUBMARINOS Y SUBTERRANEOS.
ANPO	AMONIACO		ALTA	NINGUNA	MUY POCOS GASES	TRABAJOS A CIELO ABIERTO Y SUBTERRANEO.
HIDROGELES	AMONIACO	40 A 75 %	MUY ALTA	EXCELENTE	MUY POCOS GASES.	TRABAJOS A CIELO ABIERTO Y SUBTERRANEO.

SELECCIÓN DE PROIEDADES DE LOS EXLOSIVOS MAS COMUNES EN CONSTRUCCION.

---

---

### 3. ACCESORIOS PARA VOLADURAS

Los estopines o accesorios para voladuras son los dispositivos o productos empleados para cebar la carga explosiva, suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión, llevar una onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra y los necesarios para probar las conexiones y disparar los explosivos, para que pueda llevarse a cabo una adecuada voladura.

Para obtener los mejores resultados en voladuras, se deben seleccionar los accesorios tan cuidadosamente como los explosivos.

A continuación se darán nombres y definiciones de algunos accesorios utilizados para voladuras:

**3.1. Iniciadores.** Los iniciadores son productos que dan principio o inician una explosión, éstos son: mecha de seguridad, ignitacord y el cordón detonante.

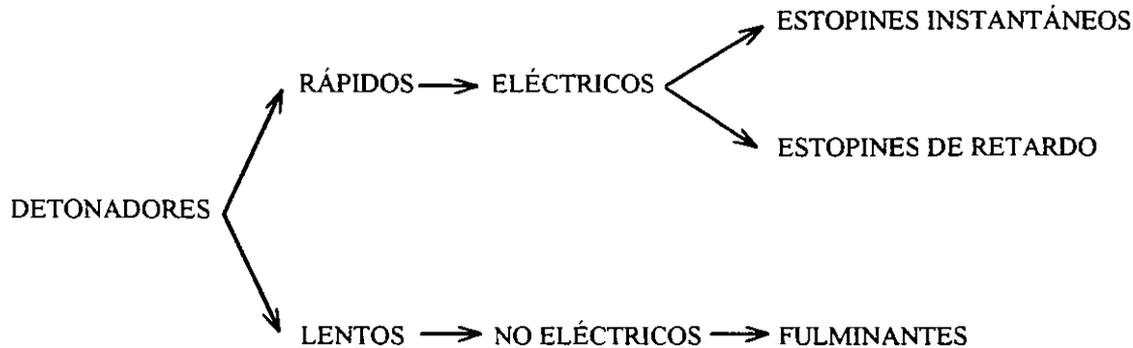
**3.2. Mecha de seguridad.** La mecha de seguridad es el medio a través del cual es transmitida la flama a una velocidad continua y uniforme, para hacer estallar el fulminante o a una carga explosiva.

**3.3. Ignitacord.** El ignitacord es un cordón incendiario que arde a una velocidad uniforme con una vigorosa flama exterior. Tiene un diámetro muy pequeño, 1.5 mm.; y consiste en un núcleo de termita en polvo (mezcla que produce elevadas temperaturas) recubierto de entorchados textiles.

**3.4. Cordón detonante.** Se puede describir como una cuerda flexible, formada por varias capas protectoras y un núcleo del explosivo conocido como pentrita, que es muy difícil de encender pero tiene la sensibilidad suficiente para iniciar la explosión con detonadores (fulminantes o estopines), o por medio de la energía detonadora de algún explosivo de alta potencia. Su velocidad de detonación es de 6,700 m/s. La fuerza con la que estalla es suficiente para hacer detonar explosivos violentos continuos dentro de un barreno, de modo que, si se coloca en el barreno, actúa como agente iniciador a lo largo de la carga explosiva como lo muestra la siguiente figura. El cordón detonante se usa para disparar múltiples barrenos grandes en la superficie ya sea verticales u horizontales, siendo ilimitado el número de los barrenos que pueden dispararse de esta forma.

En México los cordones detonantes más usados son el primacord y el E-cord, sus principales diferencias son los granos de pentrita y su grado de protección. El primacord se usa dentro del barreno para asegurar la detonación del explosivo; el E-cord en la superficie para hacer detonar los tramos de primacord de los barrenos. Esto se hace por ser más económico el E-cord. (ver siguiente figura.)

**3.5. Detonantes.** Los detonantes son dispositivos que sirven para disparar una carga explosiva. Pueden ser eléctricos y no eléctricos. (estopines y fulminantes respectivamente).



**3.6. Fulminantes.** Los fulminantes o cápsulas detonantes son casquillos metálicos cerrados en un extremo en el cual contienen una carga explosiva de gran sensibilidad, por ejemplo fulminato de mercurio. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de la mecha de seguridad. En la siguiente figura se muestra una mecha ensamblada a un fulminante.

El fulminante desgraciadamente tiene una función muy limitada dentro de la construcción, ya que se utiliza en moneos y voladuras muy pequeñas (moneo, es volver a tronar rocas que en la primera voladura resultaron del tamaño mayor que el especificado):

**3.7. Estopines eléctricos.** Los estopines eléctricos son fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar con corriente eléctrica. Con ellos pueden iniciarse al mismo tiempo varias cargas de explosivos de gran potencia, controlando con precisión el momento de la explosión, lo que no sucede con los fulminantes por la variación de la velocidad de combustión de la mecha. Un estopín eléctrico está formado por un casco metálico cilíndrico que contiene varias cargas de explosivos. La energía eléctrica es llevada hacia el estopín mediante alambres de metal con aislamiento de plástico, los se introducen al estopín a través de un tapón de hule o plástico. El tapón colocado en el extremo abierto del casco del estopín forma un cierre hermético resistente al agua. Los extremos de los alambres son unidos dentro del fulminante por un alambre de corta longitud y diámetro muy pequeño llamado filamento, el cual queda en contacto con la carga de ignición del estopín. Cuando se aplica corriente eléctrica se pone incandescente el filamento y el estopín denota. Los estopines que tienen más alta potencia son los que tienen mayor cantidad de carga detonante generalmente los estopines usados son los del Núm. 6, raramente son del núm. 8 .

---

**3.8. Estopines eléctricos instantáneos.** Los estopines tienen una carga de ignición, una carga primaria y una carga detonante. Su castillo es de aluminio y tiene 2 alambres de cobre calibre 20 ó 22, generalmente uno rojo y el otro amarillo. Estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.

**3.9. Estopines eléctricos de retardo.** Los estopines eléctricos de retardo, también llamados de tiempo son similares a los instantáneos, con la diferencia de que tienen colocados entre el filamento y la carga de detonación un elemento de retardo el cual contiene pólvora lenta. Estos estopines tienen una etiqueta de color que muestra el número del periodo de retardo, además para su identificación.

Los iniciadores han evolucionado también, los estopines Ms y Acudet Mark V, reúnen grandes características de seguridad y precisión de disparo para lugares con riesgo de estática se han diseñado iniciadores Ms y de tiempo activados mediante un cordón detonante de carga pequeña  $0.3 \text{ g/R}$  aproximadamente.

En 1922 se introdujeron los estopines electrónicos de retardo, con un retardo de medio segundo; hasta 1954 se dieron a conocer los estopines de retardo milisegundos; estas con retardo entre 10 y 100 milisegundos en los intervalos significaron un avance muy importante en el desarrollo de las voladuras; hasta ahora se sigue trabajando para afinar los métodos de desintegración de la roca.

Hay tres tipos de estopines eléctricos de acuerdo con su tiempo de disparo instantáneo. Ms ó milisegundos y acudet, son casi iguales existiendo diferencias en el tipo y cantidad de pólvora en el elemento de retardo el estopín eléctrico esta formado por un casquillo de aluminio de longitud variable de acuerdo al tiempo de disparo, un par de alambres de cobre unidos en el interior por medio de un puente, tres tipos de pólvoras diferentes sellado al dispositivo por un tapón de hule y un shunt que conserva los alambres en corto.

Cuando se aplica una corriente eléctrica a través del puente, este se calienta y enciende la pólvora de ignición iniciándose así un proceso irreversible que culmina con la explosión del detonador.

Los estopines de retardo "Ms" son los más ampliamente usados en canteras, trabajos a cielo abierto y proyectos de construcción.

Estopines de retardo Mark V. se utilizan principalmente en trabajos subterráneos como; túneles, galerías, pozos, etc.

**3.10. Máquinas explosoras.** Las máquinas explosoras suministran la corriente necesaria para disparar los estopines eléctricos. Estas son de dos tipos básicos: de "generador" y de "descarga de condensador", ambos tipos son de una construcción robusta y soportan servicio duro por periodos prolongados.

Para la construcción son recomendadas las explosoras de descarga de condensador, ya que estas se consideran como las maquinas más eficientes y confiables para el encendido en voladuras. Sus principales características son:

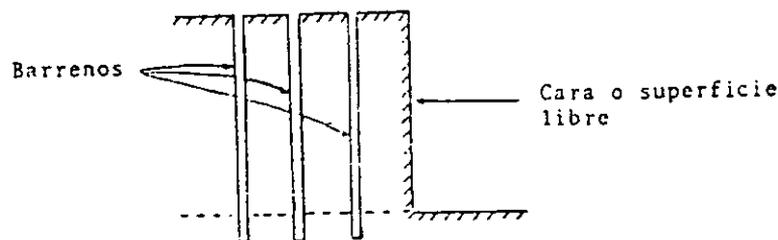
- a) Poseen una capacidad de detonación de estopines extremadamente alta.
- b) Proporcionan gran seguridad ya que no disparan hasta alcanzar su voltaje de diseño, el cual es señalado por la luz del foco piloto.
- c) Los botones de carga y disparo así como los condensadores quedan en "corto circuito" hasta que se necesiten.
- d) La ausencia de partes dotadas de movimiento y la eliminación del factor humano que intervienen en las explosoras mecánicas. También se cuentan con: instrumentos de pruebas, galvanómetro, multímetro, reostato y mallas o redes.

#### 4. VOLADURAS ( MECANISMOS DE ROTURA )

Debido a que el conocimiento del mecanismo de rotura de las rocas permitirá una mejor comprensión del fenómeno, se ha considerado necesaria su explicación.

Después de algunas milésimas de segundo de haberse iniciado la explosión de un barreno se libera la energía química del explosivo, transformándose este sólido en un gas caliente a enorme presión, que al estar encerrado en el barreno, puede alcanzar y aún sobre pasar los 100,000 Bares (100,000 kg./m<sup>2</sup>). Como la roca es menos resistente a la tensión que a la compresión las primeras grietas se forman principalmente bajo la influencia de los esfuerzos de tensión, dando como resultado grietas radiales.

Durante este primer periodo de agrietamiento no hay prácticamente rotura. El barreno ha sido ligeramente ensanchado a poco menos que el doble de su diámetro, por quebramiento y formación plástica. En una voladura, generalmente se tiene en el frente una cara libre de roca paralela a los barrenos. (ver sig. fig.)



Cara libre en una voladura de roca. (Elevación).

Cuando las ondas de compresión se reflejan contra ella, se originan fuerzas de tensión que pueden producir un descostramiento de parte de la roca próxima a la superficie.

Estas dos primeras etapas del proceso de desprendimiento de la roca, agrietamiento radial y descostramiento son originadas por la onda de choque, sin embargo, la onda de choque no es la que provoca el desprendimiento de la roca, pues la energía que proporciona es mínima en comparación con la necesaria para que esto ocurra.

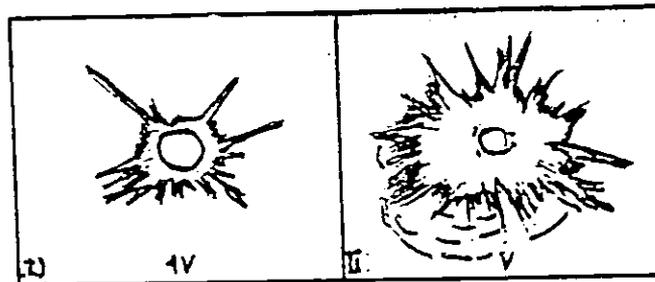
En la tercera y última etapa, bajo la influencia de la presión de los gases del explosivo se extienden las primeras grietas radiales y la superficie libre de la roca ceder y es lanzada hacia adelante.

Cuando la superficie frontal se mueve hacia adelante se descarga la presión y aumenta la tensión en las grietas primarias que se inclinan oblicuas hacia afuera. Si la pata o berma no es demasiado grande, muchas de estas grietas se extienden hasta la superficie libre, teniendo lugar el desprendimiento completo de la roca.

Para lograr el máximo efecto por barreno y la cantidad de carga, el ángulo de fractura del material deberá ser igual o mayor a  $135^{\circ}$  ya que así, se consigue una salida natural, pero si el ángulo es menor, el material que da con la configuración completa de las grietas puede estudiarse si se hacen explosiones en modelos experimentales a escala en plexiglás (placa transparente). Experimento de Langerfors.

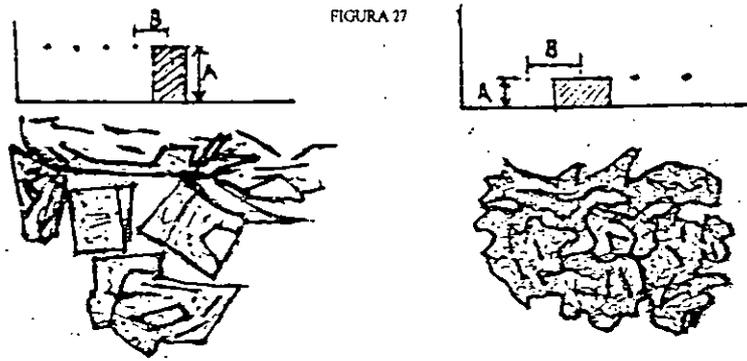
Con carga insuficiente las grietas no se desarrollan totalmente, pero puede verse como algunas a un ángulo de  $110^{\circ}$ . De lo anterior se concluye que la magnitud de la carga explosiva influye en el tamaño de las grietas, sin embargo es importante evitar sobre cargas para obtener la menor tensión posible en la roca residual.

Un barreno lleno de explosivos origina grandes grietas al detonar, pero éstas pueden ser casi suprimidas, si con la misma carga se reduce la presión ejercida sobre las paredes del barreno, incrementando su diámetro. De esta manera, sólo se forman unas pocas grietas de longitud muy semejante como se muestra (fig. 1).



Con una misma carga se obtiene mucha más grietas cuando ésta llena totalmente el barreno. En (I) el volumen del barreno es cuatro veces mayor que en (II) pero las cargas fueron las mismas.

En voladuras se debe de tomar en cuenta, la gran importancia que tiene la relación espaciamento pata con respecto a la fragmentación de la roca. Experimentalmente se obtuvieron las ilustraciones de la (fig. 2 ), en el caso, a) se muestra una distribución de barrenos cuya relación espaciamento - pata es ( $B/A = 0.5$  y en b) una en la cual  $B/A = 2$ ; en ambos casos se tiene el mismo valor  $A * B$  por barreno, es decir la misma carga y longitud de perforación por volumen de roca a volar. También se muestra la diferencia en la fragmentación del material, conseguida de una forma tan simple como modificar la distribución de los barrenos. Si observamos detenidamente la (fig. 2) se llegará a la conclusión de que al aumentar la relación  $A/B$  aumenta su fragmentación.



Para una buena voladura no basta seleccionar correctamente el explosivo, ya que es necesario conocer también el método de aplicación más indicado para cada clase de trabajo, obteniéndose con ello una máxima eficiencia, al cual se traduce en menor costo de obra; generalmente los resultados óptimos en voladuras se adquieren a través de la experiencia.

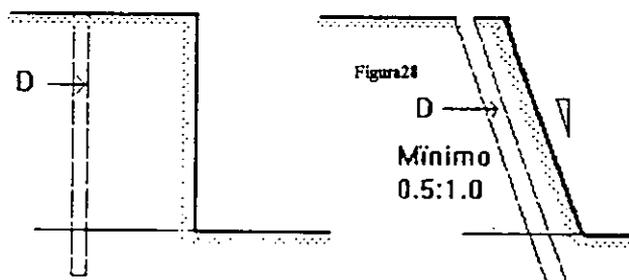
Los objetivos de una voladura, que se deben tener en cuenta desde su diseño so principalmente:

- 1) **La roca debe tener la granulometría deseada.** Esto se refiere a los tamaños de los fragmentos de roca, muchas veces están limitados por ciertos factores tales como la clase y tamaño del equipo de excavación y acarreo, la abertura o boca de la trituradora primaria o simplemente por el uso al que se va a destinar el material. En nuestro caso este material será llevado a la cortina para la capa de enrocamiento.
- 2) **Consumo mínimo de explosivos para fracturar la roca.** El tipo de explosivo a usar deberá ser aquel que tenga un menor costo por  $m^3$  de roca volada. Ya elegido el explosivo, se procurará usar el mínimo de explosivos en la carga de los barrenos que produzca los resultados requeridos, esto redundará en el aspecto económico de la voladura.

- 3) **Mínima barrenación posible.** Se debe lograr una distribución adecuada de los barrenos procurando tener una longitud de barrenación mínima, lo que conducirá a ahorrar tiempo y recursos, influyendo también en la economía de la voladura.
- 4) **Mínima proyección de la roca.** Se entiende como proyección al lanzamiento de fragmentos de roca al aire, procedentes de la voladura. Es conveniente que las proyecciones de roca sean mínimas, pues son productos de un uso inútil de la energía del explosivo y además pueden ocasionar daños.
- 5) **Fracturación mínima de la roca no volada.** Debe evitarse lo más posible las fracturaciones de roca atrás de la línea de corte o proyecto. Cuando un explosivo se usa apropiadamente, consume mayor parte de su energía en forma útil, ya sea fracturando la roca o moviéndola de lugar para evitar trabazones entre sus fragmentos. Sin embargo, el resto de la energía se consume inútilmente, proyectando rocas, lo cual es muy peligroso. El control de la energía se puede llevar a cabo mediante el tamaño de los agujeros de perforación, las separaciones entre los mismos y por el tipo de explosivo. Es importante hacer notar que todas las cifras anotadas, en voladuras son aproximadas, se intentan sólo como una guía general y como una base para comenzar a hacer pruebas en cada caso particular. Para abrir un banco se hacen pequeñas voladuras hasta formar el frente del banco (vertical o inclinado).

Luego se perforaron los barrenos (D) paralelos al frente (fig. 3) éstos se llenan con explosivos dejando una parte vacía para formar un tapón (taco) que confine los gases de la explosión. El taco no debe ser de papel, cartón o cualquier sustancia combustible, generalmente se forma con suelo arcillo-arenosos o limosos compactados. Finalmente se hace la conexión y el disparo eléctrico de la voladura.

#### MUESTRA ESQUEMÁTICA. DE UN FRENTE DE BANCO



Muestra esquemática de un frente de banco vertical y uno inclinado.

---

---

### 5. DISEÑO DE UNA VOLADURA POR EL MÉTODO AMERICANO

El método americano creado por "Du Pont" parte de las siguientes reglas:

- 1) La carga especificada o sea la carga por  $m^3$  de la roca fragmentada, será la misma independientemente del tamaño de la voladura.
- 2) La carga especificada necesaria para una voladura puede variar de 0.2 a 0.6 kg. de explosivos por  $m^3$  de roca.
- 3) La berma o pata es igual a 40 veces el diámetro del barreno,  $A=40$
- 4) La separación entre barrenos es aproximadamente 1.3 veces la berma,  $B= 1.3 A$ .
- 5)  $B/h =$  relación que varía de 0.005 a 0.0125
- 6) La sobre barrenación es 0.3 de la pata o sea 0.3 A.
- 7) La carga total del barreno es igual a la suma de la carga de columna y la carga de fondo,  $CT = CF + Cc$ , se distribuirá de acuerdo a la siguiente fig.
- 8) La carga de fondo del barreno debe de ser 2.7 veces mayor que la carga de columna.
- 9) La longitud de carga ya sea de fondo o de columna, se obtiene dividiéndola respectivamente entre los kilogramos de explosivo por metro lineal de columna para una densidad dada.
- 10) Para voladuras de varias hileras, conviene reducir la distancia entre barrenos después del frontal según  $A_1 = A - 0.05 h$ .

---

---

### 5.1. Voladuras controladas.

Los consumidores de explosivos han buscado y ensayado muchas maneras para reducir el exceso de rompimiento o sobre excavación de las voladuras. Por razones de seguridad, el rompimiento excesivo es inconveniente tratándose de taludes, bancos, frentes o pendientes inestables; es también económicamente inconveniente cuando la excavación excede la "Línea de pago" (implica concreto extra y los taludes fracturados requieren un mantenimiento costoso).

En voladuras controladas se utilizan varios métodos para reducir el exceso de rompimiento; sin embargo, todos tienen un objetivo común: disminuir y distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca más allá de la línea misma de excavación.

Por muchos años la barrenación en línea fue el único proceso utilizado para controlar el rompimiento excesivo. La barrenación en línea o de límite simplemente consiste de una serie de barrenos en línea, vacíos, a corta distancia unos de otros, a lo largo de la línea misma de excavación, proporcionando así un plano de debilidad que la voladura puede romper con facilidad.

Estos procedimientos difieren del principio de la barrenación en línea, esencialmente, en que algunos o todos los barrenos nos disparan con cargas explosivas relativamente pequeñas, debidamente distribuidas. La detonación de estas pequeñas cargas tienden fracturar la roca entre los barrenos, permitiendo mayores espaciamientos que en el caso de la barrenación se reducen y en muchos casos se logra un mejor control del exceso de rompimiento.

### 5.2. Barrenación en línea, de límite o de costura -

La voladura con barrenación en línea involucra una sola hilera de barrenos de diámetro pequeño, poco espaciados, sin carga y a lo largo de la línea misma de excavación o de proyecto.

Esto provoca un plano de menor resistencia, que la voladura primaria pueda romper con mayor facilidad. También origina que parte de las ondas de choque creadas por la voladura sean reflejadas, lo que reduce la fracturación y las tensiones en la pared terminada.

#### Aplicación:

Las perforaciones de la barrenación en línea generalmente son de 1½ "a 3" de diámetro y se separan de 2 a 4 veces su diámetro a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos mayores de 3" se usan poco en este sistema pues los altos costos de barrenación no pueden compensarse suficientemente con mayores espaciamientos.

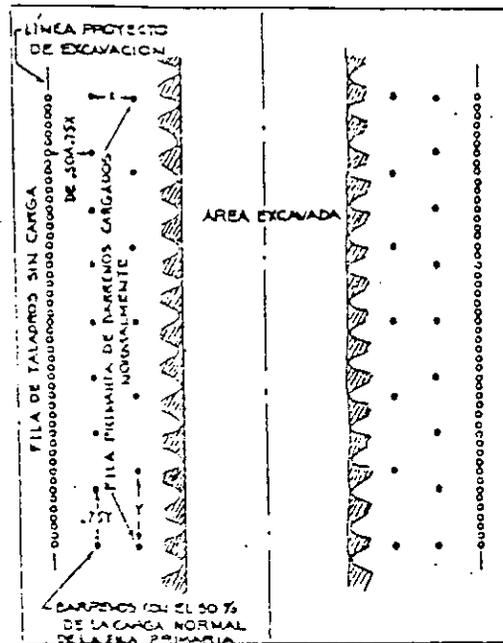
La profundidad de los barrenos dependen de su buena alimentación.

Para obtener buenos resultados, los barrenos deben quedar en el mismo plano. Cualquier desviación en ellos, al tratar de barrenar más profundamente, tendrá un efecto desfavorable en los resultados.

Para barrenos de  $1\frac{1}{2}$  "a 3" de las profundidades mayores a 9m. son raramente satisfactorias.

Los barrenos de las voladuras directamente adyacentes a los de la barrenación en línea, se cargan generalmente con menos explosivos, así como a menor esparcimiento que los otros barrenos.

La distancia entre las perforaciones de la barrenación en línea y los más próximos, cargados, es usualmente del 50 al 75% de la pata usual (fig. 4).



Plantilla típica del procedimiento de barrenación en línea.

Los mejores resultados con la barrenación en línea se obtienen en formaciones homogéneas en donde los planos de estratificaciones, juntas, fallas y hendeduras son mínimas.

### Trabajos subterráneos.-

La aplicación de la teoría del sistema de barrenado en línea, esto es, utilizando solamente barrenos vacíos, es muy limitada en trabajos subterráneos, generalmente se usan barrenaciones cerradas, pero siempre cargadas aunque ligeramente. A este procedimiento hemos preferido llamarle voladura perfilada y será descrito posteriormente.

### 5.3. Voladuras amortiguadas.-

Las voladuras amortiguadas a veces denominada como voladura para recortar, lajear o desbastar, se introdujo en el Canadá hace varios años. Al igual que la barrenación en línea, la voladura amortiguada implica una sola fila de barrenos a lo largo de la línea proyecto de excavación.

Las cargas para voladuras amortiguadas deben ser pequeñas, bien distribuidas, perfectamente retocadas y se harán explotar después de que la excavación principal ha sido despejada.

Al ser volada la par, el taco amortigua la vibración dirigida hacia la pared terminada, reduciendo así al mínimo la fractura y las tensiones en esta pared. Disparando los barrenos de amortiguamiento a pequeños intervalos, la detonación tiende a cortar la roca entre ellos dejando una superficie uniforme y con un mínimo de sobre excavación, obviamente, a mayor diámetro de barreno, se obtiene mayor amortiguamiento.

#### Aplicación:

**Trabajos a cielo abierto.-** La pata o berma y el espaciamiento variarán de acuerdo con el diámetro de los barrenos que se hagan. La tabla A muestra una guía de patrones y cargas para diferentes diámetros de barrenos. Nótese que los números mostrados cubren un campo promedio debido a las variaciones que resultan del tipo de formación de roca por volarse. Con este procedimiento los barrenos se cargan con cartuchos enteros o fraccionados atados a líneas de Primacord a manera de rosario, usándose generalmente cartuchos de 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" de diámetro por 8" de largo, colocándose a 1 ó 2 pies de separación centro a centro.

Para efectos de un amortiguamiento máximo las cargas deben colocarse dentro del barreno tan próximo como sea posible a la pared correspondiente al lado de la excavación (fig. 5).

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADEAS	ESPACIAMIENT EN METROS (1)	BERMA EN METROS (2)	CARGA EXPLOSIVA EN Kg/m (1) Y (2)
2 - 2 ½	0.90	1.20	0.12 - 0.40
3 - 3 ½	1.20	1.50	0.20 - 0.75
4 - 4 ½	1.50	1.80	0.40 - 1.0
5 - 5 ½	1.80	2.00	1.0 - 1.5
6 - 6 ½	2.00	2.50	1.5 - 2.20

**TABLA A**

CARGAS Y PLANTILLAS PROPUESTAS PARA VOLADURAS AMORTIGUADAS. EL NUMERO (1) INDICA QUE DEPENDE DE LA NATURALEZA DE LA ROCA, LAS CIFRAS ANOTADAS SON PROMEDIOS. EL NUMERO (2) INDICA QUE EL DIAMETRO DEL CARTUCHO DEBERA SER IGUAL O MENOR QUE LA MITAD DEL DIAMETRO DEL BARRENO.

El retardo mínimo entre la explosión de los barrenos amortiguadores proporciona la mejor acción de corte entre barreno y barreno; por lo tanto, normalmente se emplean líneas troncales de primacord. En donde el ruido y la vibración resulten críticos, se pueden obtener buenos resultados con estopines de retardo Ms.

La profundidad máxima que puede volarse con éxito por este método, depende de la precisión del alineamiento de los barrenos. (Con barrenos de diámetro a mayor profundidad). Las desviaciones de más de 6" del plano de los barrenos proporcionan generalmente malos resultados. Se han hecho voladuras con éxito usando barrenos de amortiguamiento hasta de 90 pies de profundidad.

Cuando se realizan voladuras por amortiguamiento en áreas curvas o en esquinas, se requiere menores espaciamientos que cuando se vuela una sección recta. Pueden también utilizarse ventajosamente taladros-guia cuando se vuelan caras lineales. En esquinas de 90°, una combinación de varios procedimientos para voladuras controladas (barrenación en líneas, precorte, etc.), dará mejores resultados que la voladura amortiguada simple. (fig. 6).

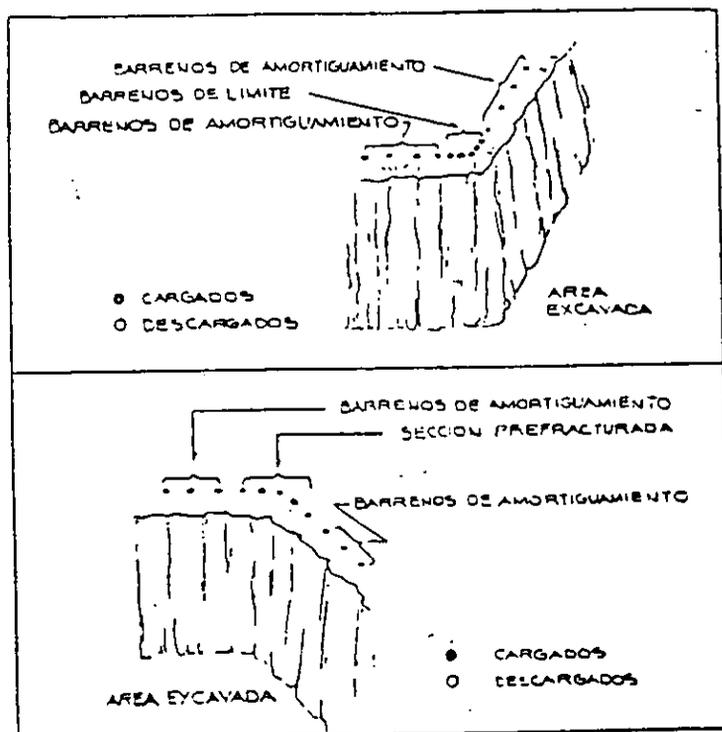


Fig. 56 Voladuras amortiguadas en frentes en esquina o en rincón combinadas con otro método de voladura controlada.

---

**Ventajas:** La voladura amortiguada ofrece ciertas ventajas, tales como; mayores espaciamentos entre barrenos para reducir los costos de perforación, mejores resultados en formaciones no consolidadas, y un mejor alineamiento obtenido con barrenos de gran diámetro permite perforar barrenos más profundos.

#### **5.4. Voladuras perfiladas o de afine.-**

Puesto que el uso de este método en trabajos al descubierto es prácticamente idéntico a los de la voladura amortiguada, se tratará sobre su aplicación solamente en trabajos subterráneos.

El principio básico de la voladura de afine es el mismo que el de la voladura amortiguada: se hacen barrenos a los garlo de los límites de la excavación y se cargan con poco explosivo para eliminar el banco final. Disparando con un mínimo de retardo entre los barrenos, se obtiene un efecto cortante que proporciona paredes lisas con un mínimo de sobre excavación.

#### **Aplicación:**

**Trabajos subterráneos.-** En frentes subterráneos, en donde la roca del techo y de los contrafuertes se derrumba y desmorona por falta de consolidación del material, el exceso de rompimiento es común debido a la acción triturante y al sacudimiento de las voladuras. Empleando el método de la voladura perfilada o de afine con cargas ligeras y bien distribuidas en los barrenos perimetrales, se requieren menos soportes, resultando una menor sobre excavación. Aún en formaciones homogéneas más duras, este método proporciona techo y paredes más lisas y más firmes.

La voladura perfilada en trabajos subterráneos utiliza barrenos perimetrales en una relación aproximadamente de  $1\frac{1}{2}''$  a  $1''$ , entre el ancho de la berma (Y) y el espaciamiento (X) usando cargas ligeras, bien distribuidas, disparadas en el último periodo de retardo de la voladura. Estos barrenos son los últimos en dispararse para asegurar que la roca fragmentada se desplace lo suficiente para ofrecer el máximo desahogo a los barrenos de la voladura perfilada. Este franqueo permite la libre remoción del banco final, produciendo menos fracturas más allá del límite de la excavación.

Las cargas pequeñas bien distribuidas en los barrenos perimetrales usan plantillas y retardos convencionales, han producido regularmente resultados satisfactorios. La Tabla B proporciona las plantillas recomendadas y las cargas en libras por pie, para voladuras perfilada.

Puesto que no es conveniente ni práctico atar cargas a las líneas de primacord en barrenos horizontales, la voladura perfilada se realiza cargando a carril cartuchos de explosivos de baja densidad de pequeños diámetros para obtener tanto cargas pequeñas como su buena distribución a lo largo del barreno.

Tabla B. Cargas y espaciamiento para voladuras perfiladas.

DIÁMETRO DEL BARRENO EN "	ESPACIAMIENTO EN METROS (1)	BERMA EN METROS (1)	CARGA EXPLOSIVA kg/m (1)
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> - 1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.60	0.90	0.20 - 0.40
2	0.70	1.10	0.20 - 0.40

El número (1) indica que depende de la naturaleza de la roca. Las cifras anotadas son promedios.

### 5.5. Prefracturado.-

El prefracturado, también llamado precorte o pre-ranurado comprende una fila de barrenos a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos son generalmente del mismo diámetro (de 2" a 4"), en la mayoría de los casos, todos cargados. El prefracturado difiere de la Barrenación en Línea, de la voladura amortiguada y de voladura perfilada, en que sus barrenos se disparan antes que cualquier barreno de los de alguna sección de la excavación principal inmediata.

La teoría de prefracturado en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en barrenos adyacentes, la suma de esfuerzos de tensión procedente de los barrenos rompe la pared de roca intermedia y origina grietas entre los barrenos. Con cargas y espaciamientos adecuados, la zona fracturada entre los barrenos se constituirá en una angosta franja que la voladura principal puede romper con facilidad. El resultado es una pared lisa que casi no produce sobre excavación.

El prefracturado en trabajos a cielo abierto, los barrenos se cargan de manera similar a los barrenos para voladuras amortiguadas, esto es, se forman cargas "en rosario" de cartuchos enteros a partes de cartuchos, de 1" o 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" de , por 8" de largo espaciados de 1 a 2 pies centro a centro. Como en las voladuras amortiguadas, los barrenos se disparan generalmente en forma simultánea, usando línea troncal de primacord. Si se disparan líneas demasiado largas se pueden retardar algunos tramos con estopines Ms o Conectores primacord Ms.

En roca sin consolidación alguna, los resultados se mejoran utilizando barrenos guía o de alivio (sin carga), entre los barrenos cargados, provocando así el corte a lo largo del plano deseado. Aún en formaciones más consistentes, los barrenos guía colocados entre los cargados, dan mejor resultado que aumentando la carga explosiva por barreno.

La profundidad que puede prefracturarse de una sola vez, nuevamente depende de la habilidad para mantener un buen alineamiento de los barrenos. Las desviaciones mayores a 6" del plano de corte deseado, darán resultados negativos, generalmente la máxima profundidad que puede utilizarse para barrenos de 2" a 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> de sin una desviación considerable en el alineamiento, es de 50 pies.

La longitud de una voladura para prefracturar es ilimitada. En la práctica, sin embargo el disparar muy adelante de la excavación primaria puede traer problemas, pues las características de la roca pueden cambiar y la carga ser causa de un exceso de fractura en las zonas más débiles. Llevando el prefracturado adelante únicamente a la mitad de la voladura principal. Los conocimientos que se van obteniendo con las voladuras principales a la roca, pueden aplicarse a los disparos de prefracturado subsecuentes. Por lo consiguiente se tiene

que las cargas se pueden modificar si es necesario, y que se corre un menor riesgo que si se dispara el total de la línea de excavación antes de avanzar con las voladuras principales.

El prefracturado puede realizarse simultáneamente a la voladura principal retrasando sus barrenos con retardadores Ms, de manera que los barrenos de prefracturado estallen primero que los de la voladura principal.

El prefracturado tiene las siguientes ventajas:

- Aumento en el espaciamiento de los barrenos - reducción de costos de barrenación.
- No es necesario regresar a volar taludes o paredes después de la excavación principal.

## 6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN OBRA DE TOMA.

Dentro de la obra, para las explosiones con objeto de la excavación del canal de llamada, se tiene que de acuerdo a los estudios geológicos de la zona, por parte de C.F.E., se definió el control de voladuras, en el cual se definió lo siguiente:

Durante el proceso de banqueo del corte entre las bermas 310 a la 295 se ha venido observando aperturas de fracturas preexistentes y fracturamiento inducido por vibraciones superiores permisibles a la roca como consecuencia de voladuras con pocos intervalos de tiempo, con la finalidad de dañar lo menos posible la roca de los taludes terminados, se recomendó que las vibraciones se controlen con intervalos de explosivo detonado en un solo tiempo de acuerdo a la siguiente tabla.

ZONA	DISTANCIA MINIMA AL TALUD TERMINADO (m)		CARGA DE EXPLOSIVOS EN UN SOLO TIEMPO (KG.)
	DE	A	
I	0	10	30
II	10	30	120
III	> 30		330

En vista de que los taludes presentaban grandes fracturas, se decidió, por instrucciones previamente estudiadas por el Laboratorio de Geología de la C.F.E., lo siguiente:

El resultado de la revisión del control de voladuras tomando en cuenta las condiciones de la macrocuña en la bocatoma soportada con anclaje que actualmente se encuentra en proceso, en este análisis de diseño no fue considerado el sismo y supresión interna, en el pasado estudio se tomaron en cuenta las siguiente condiciones:

- Se consideró que no fueron confinadas las voladuras.
- Debe precortarse el talud antes de los últimos banqueos.

Bajo las condiciones antes señaladas deben ajustarse las cargas de explosivos detonadas en un solo tiempo como sigue:

### ZONA I Y II talud derecho y frontal

DISTANCIA MÍNIMA AL TALUD TERMINADO (m)		CARGA DETONANTE EN UN SOLO TIEMPO (kg.)
DE	A	
0	10	30
	> 10	120

### ZONA III Y IV bocatoma y talud izquierdo

DISTANCIA MÍNIMA AL TALUD TERMINADO (m)		CARGA DETONANTE EN UN SOLO TIEMPO (kg.)
DE	A	
0	10	20
	> 10	100

De acuerdo a esto y con lo explicado dentro del procedimiento constructivo del capítulo II referente a excavación del canal de llamada, se mencionó que las plantillas utilizadas para la explotación de los bancos es de 3.0 \* 4.0 m. con barrenaciones de 3.5" de diámetro, con una separación de 70 cm. por barreno y para el precorte se utilizaran el mismo método, de acuerdo a las instrucciones anteriores.

Como complemento, se tiene que las cargas especificadas fueron calculadas y estudiadas por el laboratorio de mecánica de rocas por parte de C.F.E., obteniendo los resultados ya mencionados.



---

---

**ESTO TIPO NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## ***CAPITULO IV***

***TRATAMIENTO***

***DE TALUDES***

FALTA PAGINA

No. 80

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Al efectuar las explosiones para llevar a cabo la excavación, por lo general se produce un fracturamiento de la roca, esto provoca una disminución de la resistencia de la misma en la superficie que queda expuesta, por lo cual es necesario colocar un sistema de soporte que logre el equilibrio en esa zona.

El objetivo primordial de los elementos de soporte en las excavaciones, es proporcionar una mayor estabilidad a la roca permitiendo que se trabaje con seguridad, evitándose desprendimientos de ésta en la zona de construcción.

El sistema de soporte actúa sobre el sistema de esfuerzos cruzados por la excavación, integrándose al sistema de fuerzas reaccionarias contra la roca produciendo una presión interior estabilizadora.

Los sistemas de soporte se dividen en dos grupos los cuales son:

- 1) Primarios o Temporales. Su función es mantener la estabilidad de la excavación durante la construcción.
- 2) Secundarios o Definitivos. Con estos además de dar protección, se logra el acabado final a la excavación.

Para hacer el diseño del sistema de soporte se basó en más conocimientos empíricos que científicos, ya que el comportamiento de la roca no es predecible siendo importante la intervención y la experiencia de los diseñadores.

Existen varias características que debe cumplir un sistema de soporte, una de ellas, es que debe ser compatible con los métodos de construcción, es decir, deben ser simples, ligeros, fáciles y rápidos de colocar, de manera que no interfieran en el avance de la excavación.

La magnitud del lapso de tiempo en que se puede soportar una excavación sin sufrir ninguna alteración en su estabilidad, sin haberse colocado el sistema de soporte, dependerá de la naturaleza de la roca en que se trabaja. En éste lapso de tiempo la estructura de la roca sufre un proceso de aflojamiento o desintegración progresiva al rededor de la cavidad, si se permite que continúe éste proceso, el material caerá a la excavación.

Los costos de los sistemas de soporte de las excavaciones dependen del tipo de roca; para roca fracturada representa un 50% del costo total de la excavación, mientras que para roca sana varia entre el 10 y 20% del costo total de la excavación. Como consecuencia de los altos porcentajes que representan estos sistemas, es necesario efectuar un estudio a fondo, previo a la excavación de la naturaleza de la roca que se trabajará, para poder hacer una adecuada selección del sistema de soporte a utilizar durante un proceso de excavación, entre estos elementos de soporte que existen en la actualidad podemos mencionar los siguientes:

- a) Anclaje.
- b) Drenes e inyección de anclaje.
- c) Concreto y mortero lanzado.

Estos al ser colocados con oportunidad evitan desplazamientos y aflojamientos en la roca fracturada.

## **2. ANCLAJE.-**

El ancla es una barra de fierro corrugado que trabaja a tensión, quedando fijo un extremo dentro de la roca en un barreno perforado previamente, de diámetro y longitud adecuada al tipo de ancla que se colocará, según a las sollicitaciones a que quedará sujeto.

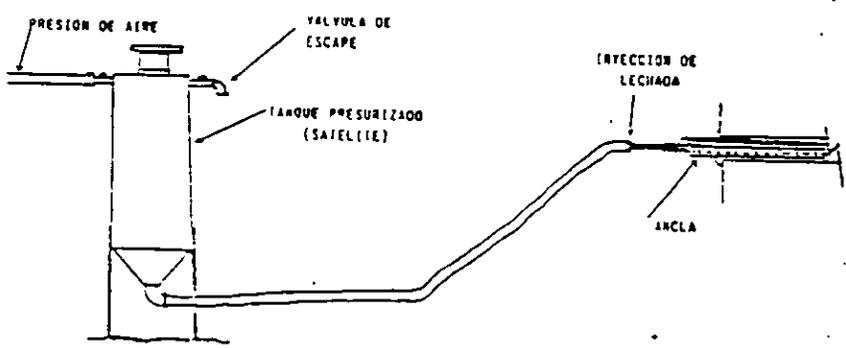
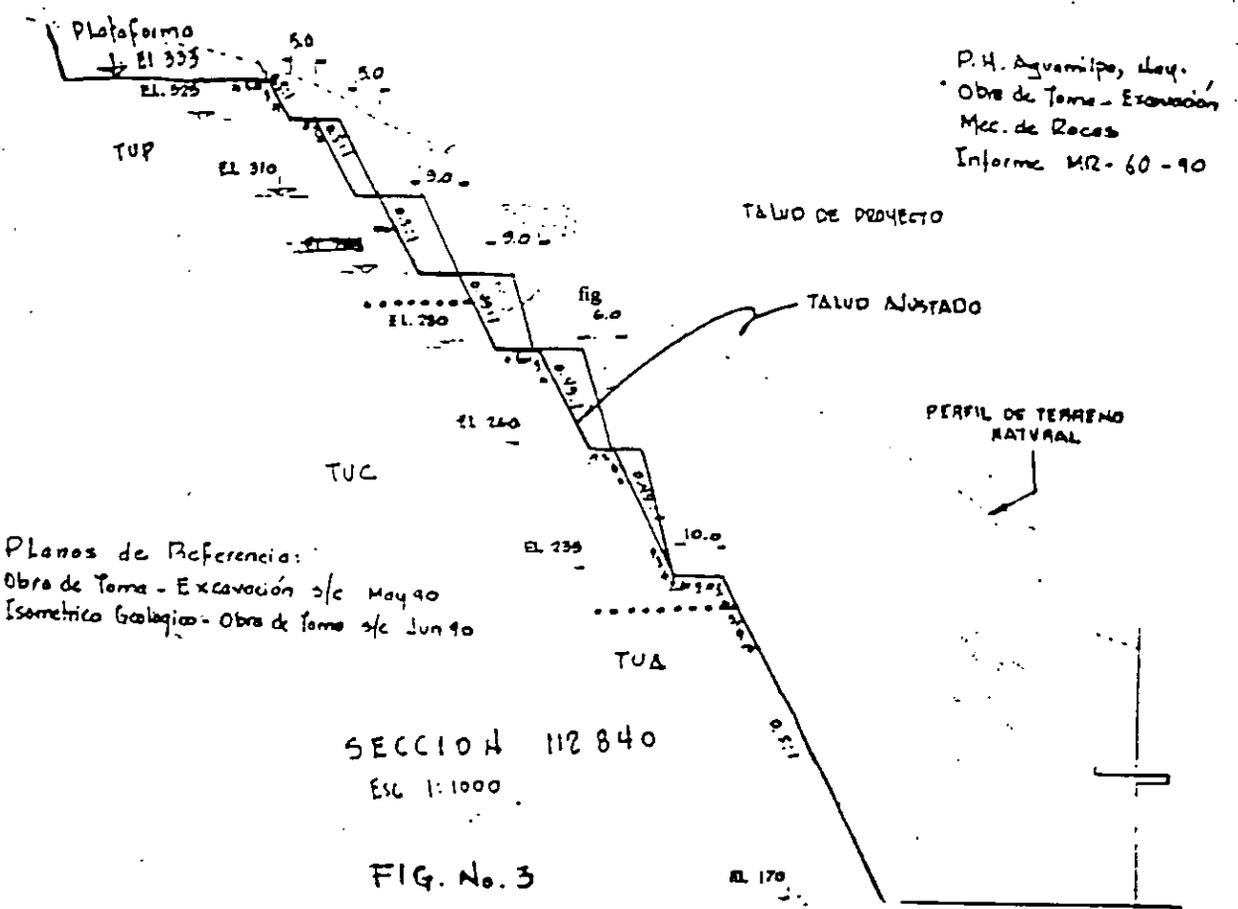
Se define como; elemento de soporte temporal relativamente nuevo. Este sistema consiste en comprimir la roca antes de que empiece a sufrir deformaciones, su objetivo principal es hacer que la roca forme parte del elemento de soporte, es decir que se autosoporte a excepción de cuando las anclas soporten fragmentos de roca, para que esto suceda las anclas deberán colocarse inmediatamente después de abrir la excavación.

El anclaje y el concreto lanzado al ser colocados con oportunidad, evita desplazamientos y aflojamiento en la roca fracturada.

Para el cálculo de un sistema de anclaje, no existe un procedimiento generalizado, esto se debe a la diversidad de tipos de roca, a los cuales debe analizarse un mecanismo de falla, con éste dato y conociendo la capacidad de resistencia de las anclas se determina el número de éstas, que son necesarias para el patrón de barrenación que se usará con el fin de determinar el tipo de anclaje y e más adecuado, por lo que se deben observar las siguientes reglas.

### **2.1. Cálculo de anclaje:**

- 1) Conocer las características del terreno por medio de ensayos en la obra y las medidas en el laboratorio.
- 2) Determinar los esfuerzos que hay que soportar.
- 3) Determinar los sistemas mecánicos ficticios a utilizar.
- 4) Efectuar el cálculo y escoger el tipo de ancla (tensión o fricción).
- 5) Efectuar medidas periódicas para verificar el anclaje.



---

**2.2. Condiciones de trabajos para rectificar el anclaje:**

- 1) Colocar al anclaje lo más cerca a los frentes de ataque.
- 2) Diámetro de los barrenos para el anclaje
- 3) Colocación correcta de las extremidades del ancla.
- 4) Longitud del ancla para apoyo de ésta en macizos estables.
- 5) Separación correcta entre anclas, dependiendo de la capacidad de cargas de estas.
- 6) La fatiga del ancla ó tirante metálico, debe ser tal que no exista peligro de ruptura, ni deformación.

Durante el proceso de excavación, para la utilización de los taludes definitivos de la Planta Hidroeléctrica Aguamilpa, se están utilizando totalmente anclas de fricción, las cuales están constituidas por una capa de mortero, la cual llena todo el hueco del barreno y las fisuras que tenga la roca, entre más sean las fisuras, mayor será la unión entre mortero y roca.

Para determinar la resistencia en las anclas de fricción, se utiliza la prueba de extracción, que consiste en jalar la varilla por medio de un gato hidráulico de la posición inicial en que fue colocada. Esta prueba permite establecer la resistencia de la varilla, considerando que la colocación e inyección han sido ejecutadas adecuadamente.

Anteriormente el estudio para obtener las dimensiones del ancla estaba basado en reglas empíricas producto de las experiencias logradas en excavaciones.

Las dimensiones se toman en base a fracciones de las medidas de la excavación,  $\frac{1}{3}$  y  $\frac{1}{2}$  de la máxima longitud para la dimensión de la longitud, de manera similar, para la separación y diámetro en las varillas de las anclas, los más usuales varían entre 1" y 1 $\frac{1}{2}$ ".

Estos datos los proporciona el laboratorio de mecánica de rocas por medio de información, las cuales se presentan a partir de la elevación 333 para el tratamiento de cada uno de los taludes hasta la elevación 170 el cual comprende el canal de llamada.

Se realizó la excavación desde la elevación 333 para la estabilización de los taludes ya que se tenía pensado que el canal de llamada empezaría desde la berma 260 y no desde la 235 en la que está actualmente. Se tuvieron problemas por la mala calidad de roca que se encontraba.

---

### **3. DRENES E INYECCIÓN DE ANCLAJE**

#### **3.1. Inyección.**

En los macizos rocosos, las inyecciones de mezclas o lechada se utilizan para reducir la permeabilidad y aumentar la resistencia y el módulo elástico (inyecciones de consolidación).

Para alcanzar una buena inyección, que tenga todos los requerimientos para poder inyectarse, en un ancla se debe rellenar los huecos del medio en tratamiento con un líquido (lechada o mezcla, la cual consiste en una mezcla de cemento; arena y agua) que se solidifica con el tiempo, el cual puede ser una suspensión (lechada de cemento) o una solución (productos químicos, como la resina).

Tenemos que el campo de aplicación es el de las obras que requieren un emplazamiento en macizos rocosos o suelos aluviales que sea impermeable o poco deformable, como son las presas, túneles, canales, torres, pilas de puentes, etc. para tener un buen rendimiento se debe realizar un estudio del terreno por inyectar.

Ya que esto nos definirá el método de inyección y la naturaleza de la lechada por inyectar, es necesario determinar la porosidad y el estado del medio así como su permeabilidad. También la inyección tiene como objetivo rellenar los espacios entre placa de acero y concreto, también consolidar e impermeabilizar la roca, por medio de inyecciones de consolidación.

Un macizo rocoso con una permeabilidad inferior a 3 unidades Lugeon (absorción de 3 litros por minuto y por metro lineal de perforación sometida a una presión de inyección de 10 kg./cm), no requiere tratamiento de inyección. Para presas de más de 30m. de altura se debe establecer como límite de permeabilidad para tratamiento una unidad Lugeon.

El estudio de la porosidad, el estado de fisuración y la permeabilidad de los macizos rocosos se lleva a cabo mediante pozos, galerías y zanjas.

Debido a que este procedimiento es costoso y su ejecución lenta, es frecuente recurrir a perforaciones, con obtención de núcleos para sustituir o completar la información requerida. En el proyecto del canal de llamada se utilizaron una perforadora propiedad de C.F.E. la cual para llegar a un cierto nivel, previamente estudiado por geología, para obtener datos importantes de la roca y poder diseñar el tipo de anclaje que se efectuará.

#### **3.2. Arreglo y Orientación de las perforaciones.-**

A mayor fisuración, mayor puede ser la separación de los taladros e inversamente; esto se debe a la mejor penetración a través de fisuras grandes y numerosas. Por otra parte, para lograr una pantalla impermeable continua a mayor separación de barrenos, mayor cantidad de mortero será necesario inyectar. Es por esto que es preciso determinar el volumen de mortero y la longitud de barrenación que represente el costo mínimo.

También la magnitud de la presión de rechazo, puede hacerse intervenir en la determinación de la separación de las perforaciones, pero el problema se complica por que a mayor separación es necesaria mayor presión de rechazo. La solución teórica es prácticamente imposible. La determinación de la separación óptima mediante ensayos de campo es factible pero tratada y costosa, sin embargo, el procedimiento del cierre por etapas permite fijar la separación de los taladros de una manera empírica.

El método del cierre por etapas para construir una pantalla impermeable consiste en inyectar una primera etapa de perforaciones en línea recta con una separación determinada, 24m. por ejemplo, después una segunda etapa de inyección en posiciones intermedias, quedando a 12m. de distancia de las primera etapa, luego de una tercera etapa en los puntos medios del espaciamiento entre las perforaciones de las primeras 2 etapas, y así sucesivamente hasta que los consumos sean insignificantes.

Cuando el macizo está muy fracturado para lograr una barrera impermeable, pueden ser necesarias tres líneas de perforaciones. Las 2 extremas se inyectan inicialmente y al final se realiza la línea central en la que pueden aplicarse mayores presiones debido a que está confinada por las 2 primeras. Con frecuencia, las pantallas impermeables en roca se realizan en galerías que se excavan con ese propósito.



La separación entre las filas de perforaciones desde las galerías sólo pueden realizarse a diferentes inclinaciones y hacia aguas abajo (en el de presa). La separación que nos resulta de tal modo que su densidad en la proximidad de la galería es considerable.

Esto es muy importante en cuanto al volumen de lechada absorbida, por que alrededor de la galería después de inyectar los primeros barrenos, los subsecuentes casi no tienen absorción. Generalmente se efectúa una sola fila de perforaciones, solamente en casos particulares, por ejemplo, en la cimentación de presas de altura excepcional se realizan varias filas en este caso la separación entre filas será radial.

El método del cierre progresivo por etapas en el tratamiento en forma de tapete, se realiza mediante cuadrículas de barrenos, por ejemplo, en la que los barrenos de la segunda etapa quedan confinados en los de la primera y finalmente si es necesario, se realiza una tercera etapa cuyos barrenos quedan entre los de la primera y segunda.

Después de 3 etapas se procede a la perforación e inyección de barrenos adicionales en las zonas de altos consumos.

Se pueden realizar perforaciones con cualquier inclinación e incluso de abajo hacia arriba pero de una longitud limitada excepcionalmente a más de 50m. Se sabe que en barrenaciones a rotación la desviación puede ser del 2 al 3% y bastante mayor con otros sistemas de perforación, en consecuencia, las galerías para inyección generalmente tienen por objeto reducir la longitud de las perforaciones de manera que no sobrepasen entre 80 y 100m. Bajo el nivel del río es perfectamente posible tratar la roca a una profundidad mayor, en algunos casos, más de 200m. y la eficiencia se garantiza por las presiones mayores empleadas a mayor profundidad.

### **3.3. Diámetro de las Perforaciones.-**

Para evitar la decantación de los sólidos dentro de la perforación que taponan las fisuras de la parte inferior del barreno, deben emplearse diámetros pequeños que obligan inyectar a altas presiones; estas presiones no son más que aparentes ya que a unos cuantos centímetros de las paredes de la perforación la presión e las fisuras es mucho menor.

Por otra parte, si se utilizan lechadas estables la decantación disminuirá notablemente y un diámetro mayor en la perforación, económicamente permisible, será más eficiente debido a que será mayor la superficie de penetración de lechada y mayor el número de fisuras atravesadas.

### **3.4. Equipo de Perforación.-**

Con 2 los tipos de máquinas de perforación más utilizados: el de percusión y el de rotación. Dentro de las máquinas de percusión se incluyen las de rotopercusión que combinan percusión y rotación. Estas últimas son las más utilizadas actualmente.

Las máquinas de percusión perforan con martillo neumático. Existen máquinas en las que la acción del martillo se comunica a la broca por medio de la tubería de perforación, otras, cuentan con martillo de fondo y la acción se aplica directamente a la broca, en algunas máquinas (tipo BBR4) los recortes son eliminados mediante el aire y el agua de perforación, en otras (Tipo Stenwick), únicamente con aire.

Las máquinas de rotación perforan con flujo continuo de agua para sacar los recortes fuera del barreno. El rendimiento de las máquinas de percusión es mayor que el de los de rotación.

Existen desventajas al perforar con cualquiera de estos tipos de máquinas: en las de rotación los recortes son muy finos y pueden taponar las fisuras finas al penetrar con el agua del lavado de barrenos; y en las de percusión, aunque los recortes son más gruesos, pueden introducirse en las fisuras debido a la presión del aire de perforación o con el agua del lavado de los barrenos.

### 3.5. Anclaje de fricción con lechada.-

Perforación y lavado de barrenos; para esto se utilizó la barrenación Track-drill, Ingersoll-Rand.

Para la perforación se utilizó un diámetro compatible con la varilla que consistía en:

VARILLA Ø	PERFORACIÓN MÍNIMA Ø
1"	2 1/2"
1 1/2 "	3 "

Durante la barrenación y posterior a ella, se lavó con agua a presión toda la longitud de mismo, hasta recuperar el agua limpia libre de residuos de perforación.

### 3.6. Preparativos y procedimientos de colocación del ancla.

- 1) En las anclas se colocaron tres centradores ó separadores, los cuales consisten en alambón de  $\frac{1}{4}$ ", de 10cm. de longitud, colocados alrededor del ancla y espaciados a cada 1.5 y 2m. en varillas de  $1\frac{1}{2}$ " y 1" de diámetro respectivamente.
- 2) A todo lo largo del ancla se instaló una manguera flexible de  $\frac{3}{8}$ " con la finalidad de desalojar aire y permitir el retorno de la mezcla garantizando el llenado de todo barreno, además se colocó una manguera de poliducto de 35 cm. de longitud. Introducido aproximadamente 10 cm. dentro del barreno y el resto en el exterior.
- 3) Después de colocado el ancla se procedió al calafateo con mortero seco en el brocal de barreno, dejando libre las mangueras de inyectado y testigo .

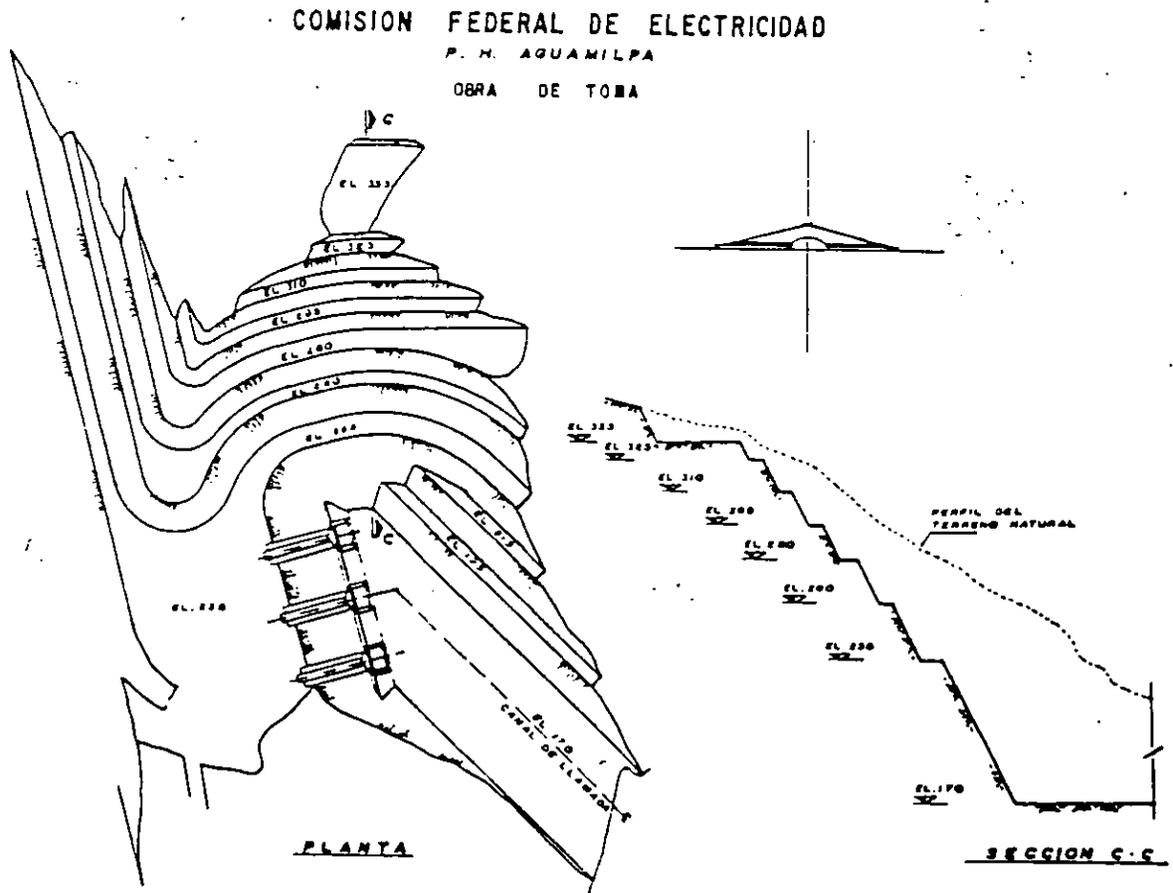
### 3.7. Inyección de anclas.

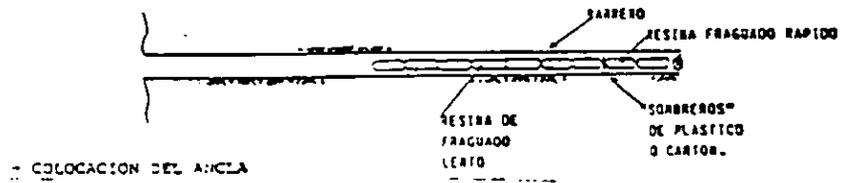
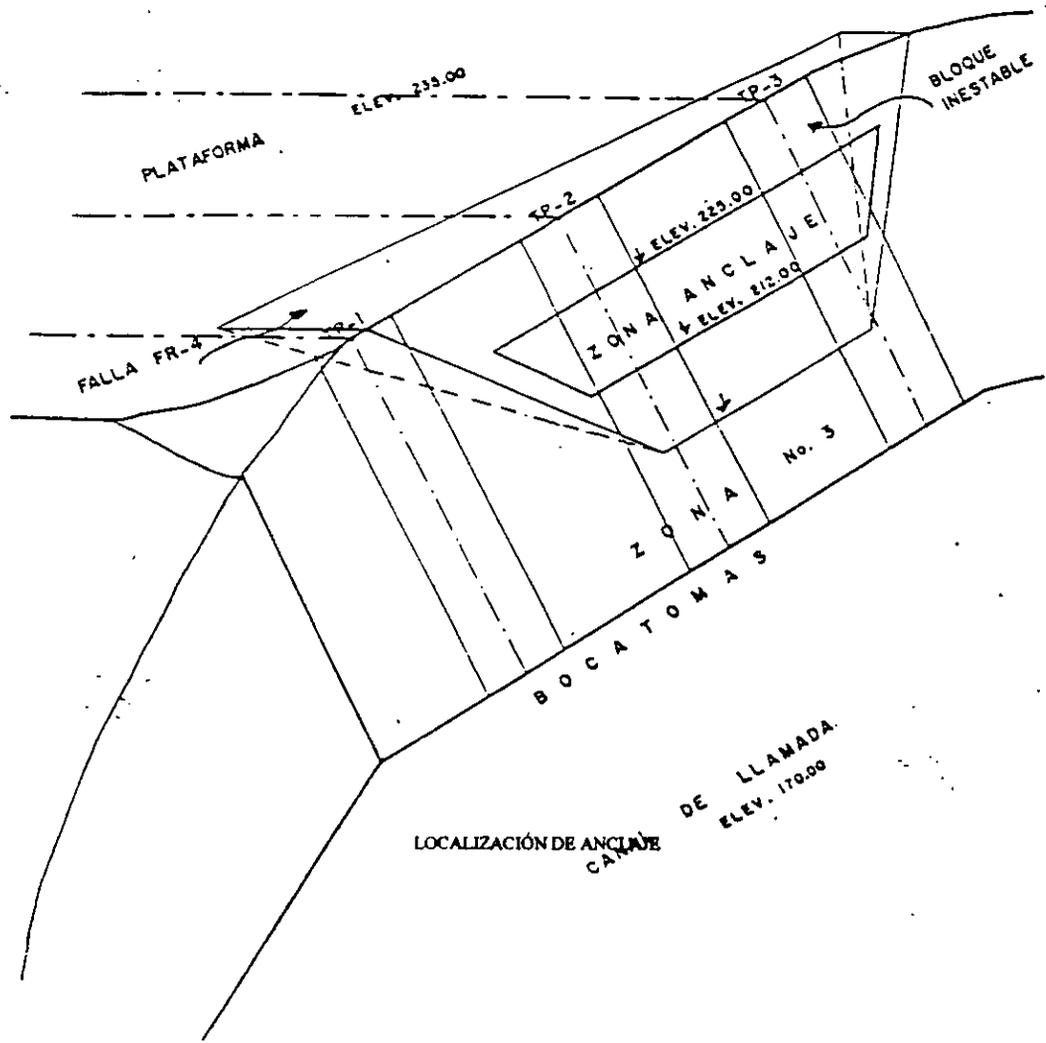
Después de la preparación de la lechada, se procedió al inyectado del ancla utilizando un tanque presurizado, dejando fluir la mezcla por el poliducto, verificando la salida de aire y mezcla por la manguera flexible hasta el llenado total, dándose un doblez y amarre del poliducto y manguera para evitar el retorno de la mezcla. Debe asegurarse por lo menos una presión de inyectado de 5 Kg./cm. en el tanque presurizado (satélite).

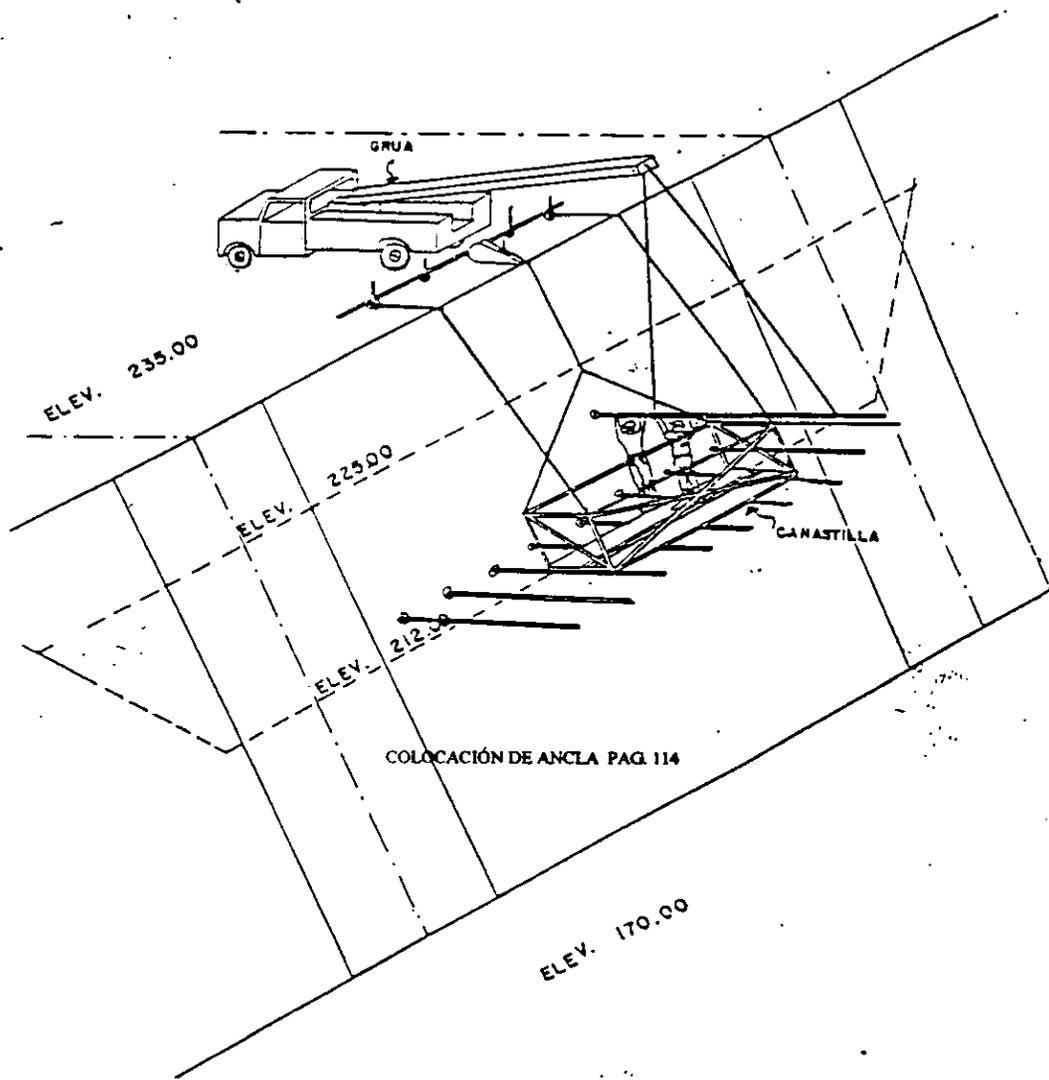
**4. DRENES.-**

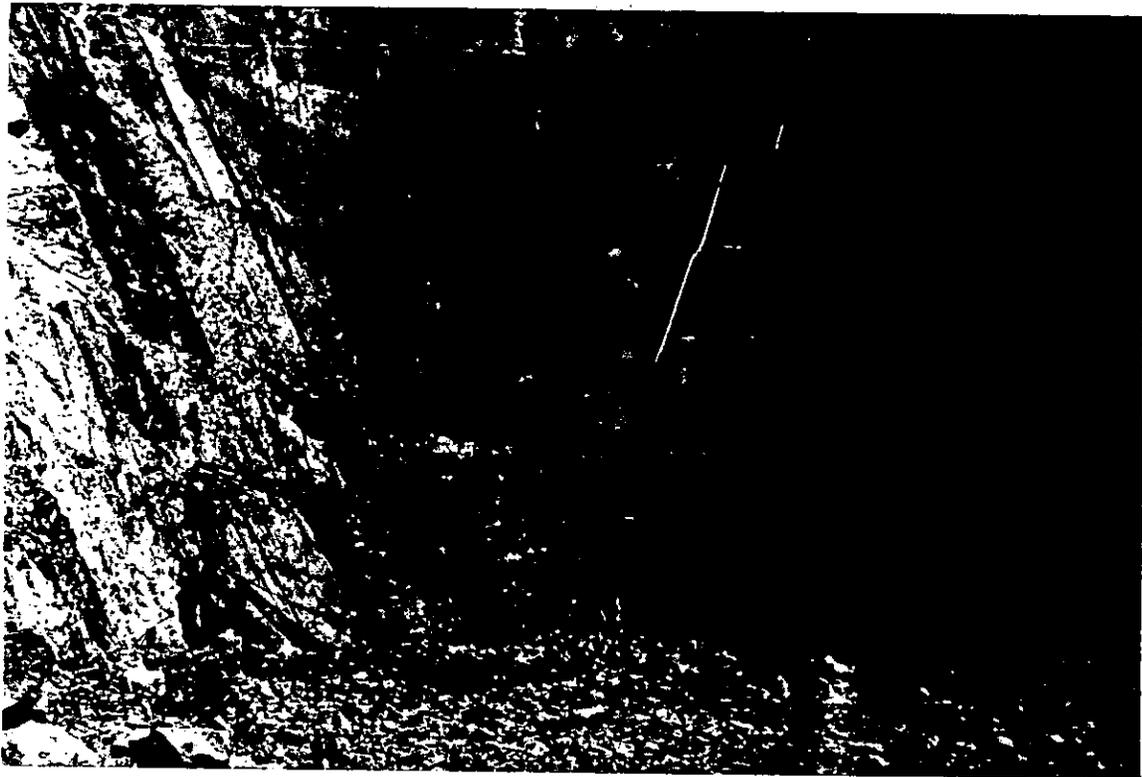
La colocación de drenes en las paredes de la excavación es con la finalidad de evitar las presiones hidrostáticas sobre el concreto lanzado, estos se usan cuando el terreno es permeable y hay filtraciones. Estos drenes se hacen utilizando tubos de PVC de 30 cm. de longitud y 1 1/2" a 2" de y se fijan en la malla procurando dejar un espaciamiento entre ellos de 6m. aproximadamente (los cuales se indican por parte del laboratorio de mecánica de rocas perteneciente a C.F.E.).

PLANTA  
OBRA DE TOMA









---

## 5. CONCRETO Y MORTERO LANZADO.

En esta parte de la tesis se describen las normas que deberán seguirse para la aplicación de mortero y concreto lanzado con el fin de proteger superficies de roca contra la erosión e intemperismo, prever soporte en zonas de alto fracturamiento o alteración en macizos de roca; permitiendo la regularización de superficies de roca sobre las que deban apoyarse otros materiales.

**5.1. Mortero Lanzado.-** Es una mezcla de agua, cemento, aditivo acelerante y agregados pétreos bien graduados, no mayores de  $\frac{1}{4}$ " (6.3 mm.) que se conduce neumáticamente y que, mediante la fuerza controlada del aire a presión, se proyecta a través de una boquilla sobre la superficie de aplicación a fin de obtener un recubrimiento de mortero compacta y resistente.

**5.2. Concreto Lanzado.-** Es aplicable la definición anterior, sólo que el tamaño de agregado máximo en este caso será  $\frac{3}{4}$ " (19 mm.).

De una forma más amplia decimos que el concreto lanzado es un mortero ó concreto. Transportado a través de una manguera y proyectada neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie.

La fuerza con que es despedido produce un impacto sobre la superficie quedando el material compactado.

Normalmente el material fresco colocado tiene un revenimiento cero y se sostiene por si mismo sin escurrirse, su aplicación puede ser de forma simple ó reforzado con malla de alambre se aplica en todo tipo de suelos con excepción de suelos arcillosos de alta plasticidad y arenas sueltas.

Para el lanzado de morteros y concretos existen dos procedimientos que son el de mezcla seca y mezcla húmeda.

**5.3. Proceso de mezcla seca.-** Es aquel en el que el agua se incorpora en la boquilla por donde se proyecta la mezcla de cemento y agregado hecha previamente "en seco" (se permite un bajo grado de humedad en el agregado durante el mezclado), el aditivo acelerante en polvo se adiciona en la mezcla de cemento y agregado, si es líquido, al agua.

**5.4. Proceso de mezcla húmeda.-** En éste, se mezclan previamente el cemento, agua, agregados y aditivos produciendo una revoltura de consistencia plástica que se conduce y proyecta neumáticamente.

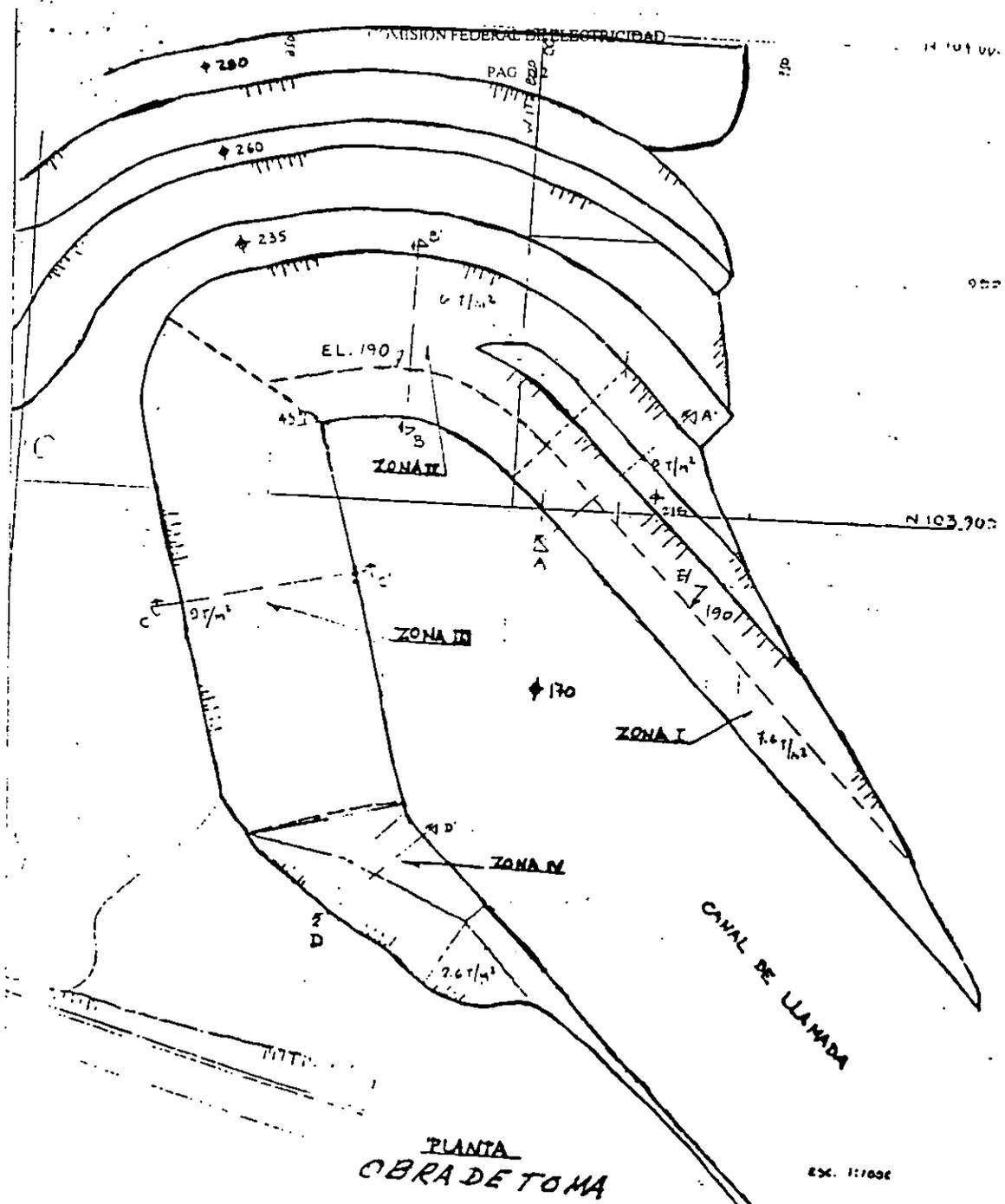
El objetivo principal del concreto y mortero lanzado consisten en la generación de una resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de las fracturas ó juntas de unión y las ventajas que tienen como elemento de soporte son las siguientes:

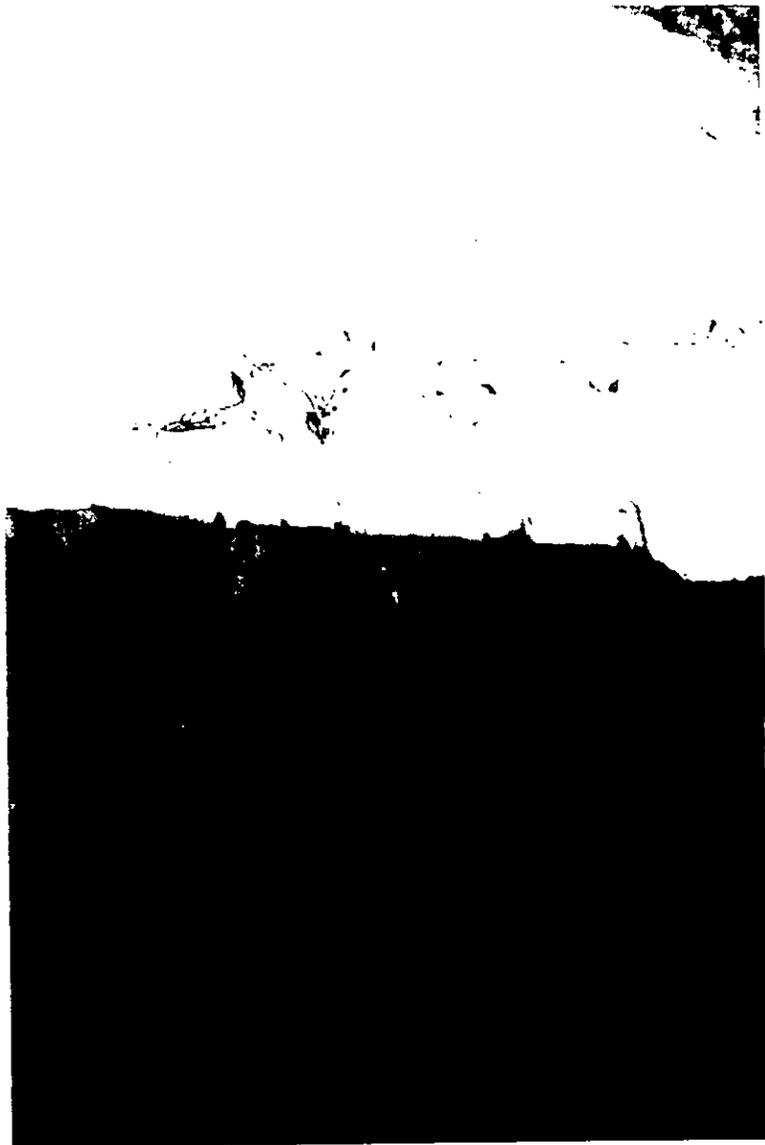
- Su aplicación es relativamente rápida y con gran flexibilidad.
- El equipo es fácil de maniobrar.
- Es relativamente económico.

Su aplicación impide la penetración de agua dentro de la roca así como de aire y vapores de agua dentro de las fisuras rellenas de arcilla de roca.

#### **5.5. Propiedades más importantes del concreto y mortero lanzado.-**

- Esfuerzo a la tensión (superior a  $50 \text{ kg/m}^2$ ).
- Esfuerzo a la compresión ( $250\text{-}350 \text{ kg/m}^2$ ).
- Adherencia superior al concreto normal.
- Contracción al secado, ligeramente mayor que la del concreto ordinario.
- La durabilidad y porosidad son buenas.
- Deformabilidad, es muy alta cuando se esta aplicando pero similar a la del concreto ordinario cuando se ha endurecido.





***CAPITULO V***

***CONCLUSIONES***

***Y***

***RECOMENDACIONES***

---

---

## **1. CONCLUSIONES**

Las excavaciones a cielo abierto se han incrementado notablemente para la construcción de diferentes tipos de obras como son presas, caminos, puertos, etc.; en la ejecución de éste tipo de trabajos, es recomendable usar siempre la barrenación de gran diámetro.

La excavación de roca con empleo de explosivos trae como consecuencia el uso de equipo de barrenación como son Track-drill, compresores, equipo de carga y acarreo, así como otros implementos utilizados al realizar una voladura.

La elección del equipo tiene un papel muy importante en el proceso de excavación, la cual estará basada en un adecuado programa de ejecución de obra, un conocimiento básico del equipo de construcción, y así como de la zona donde se ejecutará la obra; en ocasiones se deberá considerar el equipo con que cuenta la empresa aunque no sea el más apropiado para dicho trabajo, pero que usándolo adecuadamente resulta más económico que comprar equipo nuevo o rentarlo.

Debemos estar conscientes que para lograr un buen rendimiento de trabajo dependerá del buen mantenimiento de la maquinaria y su uso adecuado en cada trabajo desarrollado, así como una buen operación.

## **2. RECOMENDACIONES.**

Dentro del tratamiento de taludes, se trató como parte de un objetivo la inyección de anclas o de anclaje, dentro del cual se tenía que la roca presentaba varias fisuras por donde se llegaba a filtrar el mortero inyectado, teniendo con ello un gran desperdicio del mismo al efectuar dicho trabajo, para esto se recomienda la inyección por periodos o en intervalos cortos.

Se recomienda que para obtener un mejor fracturamiento de la roca, las pruebas de detonación a realizar, se hagan en campo y no en laboratorio, ya que no se presentan las mismas condiciones de ellas en todas partes, y por lo tanto, esto generaría mayores costos dentro de la obra.

Se recomienda tener un equipo y medidas de seguridad al efectuarse los trabajos de detonación en toda construcción pesada, para evitar accidentes del personal que labora en ella.

---

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ALCARÁZ LOZANO, FEDERICO  
EXPLOTACIÓN DE LAS ROCAS.
  
- APUNTES DE LA DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA,  
FACULTAD DE INGENIERÍA. EXPLOSIVOS  
U.N.A.M.
  
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES PROCEDENTES  
DE EXCAVACIÓN.  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN ELÉCTRICAS.
  
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES TRATAMIENTO DE MACIZOS  
ROCOSOS.  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN ELÉCTRICAS.
  
- PEURIFOY, R.L.  
MÉTODOS DE PLANEACIÓN Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN.  
EDITORIAL DIANA