

21  
2eje

CARLOS ALBERTO REYES RIOS

TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE LA CARA DE CONCRETO  
EN LA CORTINA DE LA PRESA  
HIDROELECTRICA  
AGUAMILPA

AGUAMILPA - NAYARIT



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

INGENIERIA CIVIL  
Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán  
Universidad Nacional Autónoma de México

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1 9 9 4



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

P.I.C.- 052/94

SR. CARLOS ALBERTO REYES RIOS  
ALUMNO DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA CIVIL.  
P R E S E N T E .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 6 de abril de 1992, me complace notificarle que esta Jefatura del Programa tuvo a bien asignarle el siguientes tema de tesis: "CONSTRUCCION DE LA CARA DE CONCRETO EN LA CORTINA DE LA PRESA HIDROELECTRICA AGUAMILPA, NAYARIT", el cual se desarrollo como sigue:

INTRODUCCION.

- I- GENERALIDADES,
- II- ESTUDIOS PRELIMINARES,
- III- LA PRESA AGUAMILPA,
- IV- CONSTRUCCION DE LA CARA DE CONCRETO,
- V- ANALISIS DE COSTOS,
- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Asi mismo fue designado como asesor de tesis el ING. PEDRO LUIS BENITEZ ESPARZA.

Pido a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la ley de profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar exámen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título de trabajo realizado, esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad de enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPERANTO"  
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 17 DE MARZO DE 1994.

ING. CARLOS ROSALES ACUTLAR  
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL



ENEP-AC. T...  
JEFATURA 052  
PROGRAMA DE INGENIERIA

CRA\*chs

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1 GENERALIDADES</b>	<b>3</b>
Localización del Proyecto	4
El río grande de Santiago	6
Aspectos sociales, ambientales y beneficios marginales	9
<b>2 ESTUDIOS PRELIMINARES</b>	<b>11</b>
Estudios preliminares	12
Estudios de la SRH	
Estudios de la CFE	
Hidrología	14
Datos climatológicos e hidrométricos	
Estudio de avenidas	
Azolves	
Geología y Geotécnia	19
Geología regional	
Tectónica	
Sismicidad	21
Geología de la boquilla	22
Características del macizo rocoso	23
Materiales de construcción	24

### 3

#### LA PRESA AGUAMILPA

La Presa Aguamilpa	27
Selección del tipo de presa	
Aguamilpa dentro de la evolución de las PECC	
Presas modernas de enrocamiento con cara de concreto	28
Taludes	31
Materiales de la presa	
Parapetos	33
Análisis sísmico de la presa	34
Descripción de las Obras	36
Infraestructura	
Puente de cruce del río Santiago	
Obra de desvío	40
Obras de contención	
Obras de generación	44
Obras de excedencias	
Datos principales del proyecto	50
Ubicación	
Hidrología	
Vaso de almacenamiento	51
Obra de desvío	
Obra de contención	52
Obras de excedencias	
Obra de toma	
Obras de generación	53
Volúmenes de Obra	54
Túneles de desvío del río	
Atagüa aguas arriba	
Cortina	
Obra de toma de casa de máquinas	55
Tubería a presión de casa de máquinas	
Casa de máquinas	
Galería de oscilación	56
Túneles de desfogue de casa de máquinas	
Obra de excedencias	
Vaso de almacenamiento	56

# 4

## CONSTRUCCIÓN DE LA CARA DE CONCRETO

Planeación	58
Estrategia constructiva de la presa	59
Etapas de construcción	60
Etapa I	61
Etapa II	65
Etapa III	69
Etapa IV	
Producción y colocación de materiales de la presa	71
Grava-arena	
Enrocamiento	72
Materiales 2 y 2F	73
Plinto	75
Construcción del Plinto	77
Juntas	80
Comportamiento de las PECC	
Junta perimetral	82
Estudios para la junta perimetral	
Resultados	85
Características de los materiales de las juntas	86
Juntas verticales	88
Juntas horizontales	94
Tratamiento de las juntas constructivas	
Cara de concreto	99
Características	
Armado de losas	
Losas de arranque	102
Construcción	103

Procedimiento constructivo para deslizado de las losas de la cara de concreto aguas arriba	113
Aspectos generales	
Descripción del equipo	115
Cimbra deslizando	
Equipo hidráulico	
Cimbra lateral	118
Cajas de castañas	
Plantilla de concreto	119
Acero de refuerzo	
Banda de cobre	124
Colado de las losas	124
Montaje de la cimbra lateral	
Instalación de la cimbra deslizando	
Producción, suministro y control del concreto	128
Colado general	
Maniobra de la cimbra al final del colado	129
Descimbrado lateral	
Curado del concreto	
Contingencias comunes en el deslizado y sus soluciones	132
Descarrilamiento de la cimbra	
Avería de un gato en el deslizado	
Maquinaria	133
Plantilla de personal	134
Programa y estado actual de las obras	138

## **5**     **ANÁLISIS DE COSTOS**

Análisis de costos	144
Descripción de conceptos de obra. ( obras de contención )	145
Conceptos, cantidades de obra, Precios unitarios y monto total	156
<b>Conclusiones</b>	161
<b>Bibliografía</b>	163

El Proyecto Hidroeléctrico de Aguamilpa forma parte de un plan global de aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santiago. Su finalidad principal es la producción de energía eléctrica en operación conjunta con otras plantas, previstas a lo largo del río y con factores de planta bajos para atender los picos de consumo.

El embalse de Aguamilpa amortiguará los picos de avenidas, para proteger las obras de riego existentes aguas abajo y la planicie costera.

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

Actualmente en construcción, Aguamilpa generará en promedio 2,130 GWH anualmente para satisfacer principalmente la demanda pico. Esto hace que Aguamilpa sea uno de los proyectos más importantes del país.

El presente trabajo describe algunos de los antecedentes, características generales de diseño, planeación y procedimientos constructivos de la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, dedicando mayor espacio a la construcción de la cara de concreto en la cortina.

El desarrollo moderno de las presas con cara de concreto data de 1970. Hasta la fecha se han construido muchas presas con cara de concreto usando enrocamiento compactado, gravas compactadas o una combinación de ambos materiales. Aguamilpa sigue las tendencias modernas que se han desarrollado durante los últimos veinte años en la construcción exitosa de las PECC (Presas de Enrocamiento con Cara de Concreto).



Aguamilpa es la presa más alta en su tipo y después de su terminación será una de las más importantes, especialmente por su diseño moderno y métodos constructivos. La investigación del comportamiento de las juntas perimetrales entre los distintos tipos de losas, y el análisis dinámico de las deformaciones, realizadas por la Comisión Federal de Electricidad en su laboratorio de ingeniería experimental, han contribuido a mejorar el diseño de esta presa y ofrecer nuevas ideas para futuros desarrollos.

La ejecución se ha confiado al mayor grupo de la construcción de América Central, ICA (Ingenieros Civiles Asociados) con sede en la Ciudad de México. En la ejecución de este proyecto trabajarán unos 3500 hombres. La administración de la obra se encuentra en la ciudad de Tepic, mientras que la dirección técnica se instala en el mismo lugar de la obra.

El proyecto Hidroeléctrico de Aguamilpa, representa una de las obras más ambiciosas de México. En conjunto con otras medidas, deberá mejorar la infraestructura del país y fortalecer la economía. La efectividad de este paquete de medidas, puede constatarse sobre el actual crecimiento en resurgimiento sobre la región.

**1**

**GENERALIDADES**

## **Localización del Proyecto**

---

La identificación de Aguamilpa como sitio probable para la construcción de la presa se realizó hace más de cuarenta años.

Aguamilpa se ubica sobre el Río Santiago, en la parte occidental de México. El sitio previsto para la cortina se encuentra en la parte central del Estado de Nayarit, al NNE de la ciudad de Tepic, sus coordenadas geográficas son: 21° 50' 32" de latitud norte y 104° 46' 29" de longitud oeste.

El acceso al sitio, partiendo de la ciudad de Tepic, se efectúa por la carretera estatal que va de Francisco I. Madero, hasta la desviación hacia Aguamilpa en el Km. 12, y continuando por un camino pavimentado hacia el lugar de acceso a las obras, con un desarrollo adicional de 40 km., es decir, Aguamilpa se encuentra a 52 km. de Tepic.

---

REPUBLICA MEXICANA

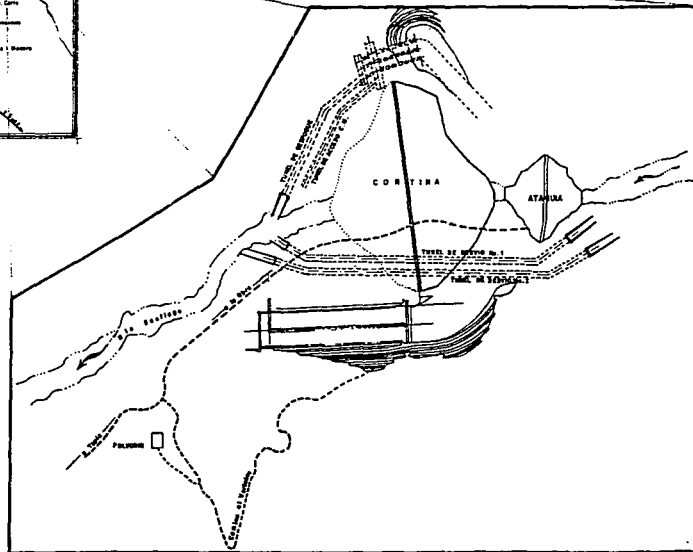
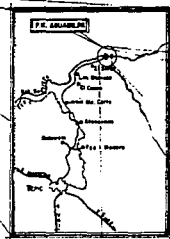
P. H. AGUAMILPA fig. 1

ESTADO DE NAYARIT

LOCALIZACION DE LA OBRA

LOCALIZACION

- 1 RIO SANTIAGO
- 2 RIO SAN PEDRO
- 3 RIO ACAPONETA



El río más importante del interior mexicano, es el Río Grande de Santiago. El río cuyo nacimiento se encuentra en las tierras altas de Toluca y que recibe un primer nombre de Río Lerma, en sus mil kilómetros de recorrido hasta desembocar en el Pacífico, debe vencer bastantes obstáculos. Hasta ahora provocaba bastantes inundaciones en la zona del litoral. En los próximos años de construcción deberá embalsarse el Santiago al NNE de la ciudad de Tepic, El nuevo pantano deberá amortiguar los picos de estas avenidas.

En un país semiárido como México, el Río Santiago es uno de los más importantes y cuenta con un potencial de generación de 11,092 GWH anuales distribuidos en doce proyectos principales con más de 100 MW, y quince secundarios; de éstos, sólo cuatro se encuentran en operación, Aguaprieta y Aguamilpa en construcción y el resto, en diversas etapas de estudio desde identificación hasta factibilidad. En la tabla (1), se muestra el potencial hidroeléctrico del Río Santiago, derivados de los proyectos que marcan su recorrido.

Así pues, Aguamilpa forma parte de un plan global de aprovechamiento del Río Santiago; su ubicación y dimensiones son el resultado del mejor esquema adoptado para el río en su conjunto. En la figura (2) se representa el Sistema Hidrológico del Río Santiago.

tabla 1.0

POTENCIAL HIDROELECTRICO DEL RIO SANTIAGO

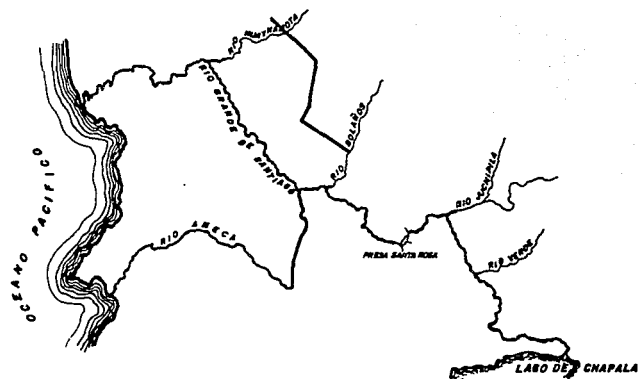
NUM	NOMBRE	CORRIENTE	VHM (m)	A (m)	P-INS (MW)	GENERACION TOTAL (GWH)	Fp
1	Aguamilpa	Santiago	6736	144	960	2131	0.25
2	El Cojon	Santiago	4347	157	880	1498	0.25
3	La Yesca	Santiago	4233	117	440	1042	0.27
4	Agua Prieta	Agua Negras	147	509	480	959	0.25
5	La Macura	Santiago	3280	108	290	807	0.29
6	San Francisco	Santiago	2395	124	290	824	0.25
7	Ocotan	Atenco	1242	254	240	636	0.25
8	El Cora	Santiago	7434	25	150	406	0.20
9	Arroyo Hondo	Santiago	2429	87	160	348	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	81	266	0.50
13	El Tulillo	Atenco	597	245	110	249	0.25
14	Huaynamota	Jesús María	874	139	90	206	0.25
15	Popotita	Camotlán	275	416	85	194	0.25
16	Bolaños	Bolaños	590	180	80	180	0.25
17	San Luis	Bolaños	399	238	75	161	0.25
18	Cojimitla *	Santiago	1300	127	51	169	0.36
19	Jesús María	Jesús María	763	105	80	136	0.25
20	Ampl. Santa Rosa	Santiago	2668	73	45	128	0.43
21	Moyahua	Juchipila	297	202	45	102	0.25
22	Capistrano	Atenco	413	107	33	75	0.25
23	Huaynamota	Jesús María	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	Camotlán	Camotlán	185	142	20	45	0.25

\* PLANTAS EN OPERACION  
VHM = Ecuirrimiento Medio Anual  
A = Carga Neta de Diseño  
P-INS = Potencia Instalada  
Fp = Factor de Planta

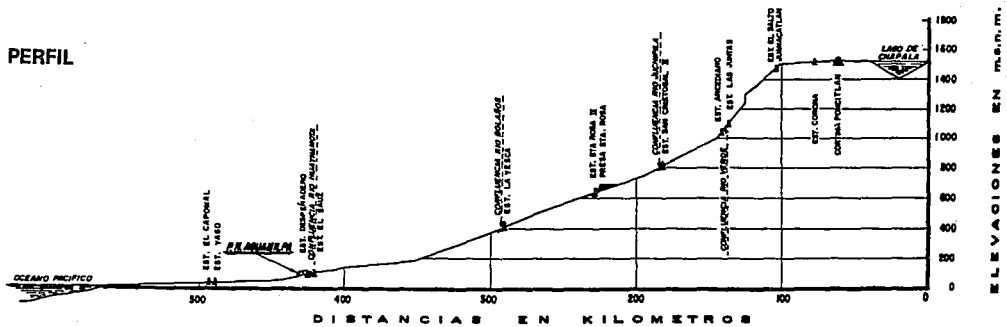
NUMERO DE PROYECTOS = 27  
POTENCIA INSTALADA TOTAL = 4807 MW  
GENERACION TOTAL = 11092 GWH

# SISTEMA HIDROLOGICO RIO SANTIAGO

figura (2)



## PERFIL



## ***Aspectos Sociales, Ambientales y Beneficios Marginales***

---

La Comisión Federal de Electricidad, ha dedicado un esfuerzo y cuidado especial en los estudios y acciones tendientes a eliminar, disminuir o compensar los impactos negativos de carácter social y ambiental que pueden producirse en la zona de influencia de las obras, de tal modo que el proyecto se convierta en una oportunidad de progreso, desarrollo social, de preservación y de 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 de embalse, las zonas de reasentamiento y la zona costera. Los principales aspectos cubiertos son los siguientes:

### **Sociales**

- a) Abasto a tiendas rurales
- b) Apoyo para la atención médica en el área del embalse
- c) Apoyo para programas educativos y culturales
- d) Fomento de actividades recreativas
- e) Capacitación en las áreas de salud, abasto y actividades productivas

### **Ambientales**

- a) Divulgación y promoción del cumplimiento de las normas y leyes aplicables en materia ambiental
- b) Monitoreo de la calidad del agua del río
- c) Elaboración de inventarios de flora y fauna y rescate de especies de interés ecológico
- d) Estudios de predicción-impactos derivados del embalsamiento y de la modificación del régimen de escurrimiento del río y medidas preventivas
- e) Diagnóstico de las condiciones ambientales actuales de la cuenca y promoción de programas de manejo y protección
- f) Exploración y rescate de vestigios arqueológicos



## **Beneficios Marginales**

### **Control de Avenidas**

No existen almacenamientos con capacidad de regulación importante en el Río Santiago, por lo cual, con frecuencia se presentan inundaciones en la planicie costera del Estado de Nayarit durante los meses de lluvia. Aunque el Río Santiago es el principal causante de los daños, los ríos San Pedro y Acaponeta (fig. 1) también escurren sin control y contribuyen 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 seguridad a toda la planicie costera.

### **Aprovechamiento Agrícola**

La principal actividad de la región es la agricultura; estando la planicie más segura contra inundaciones podrán incorporarse a riego 75,000 nuevas hectáreas y garantizar dos ciclos de cultivo al año a las 30,000 hectáreas que actualmente se aprovechan en uno de temporal.

### **Desarrollo en el Área del Embalse**

La zona del embalse y sus proximidades se encuentran económicamente deprimidas, debido a la escasez de áreas planas para agricultura y de medios de comunicación de los poblados; aunque en el área que será inundada no hay más de 1,000 habitantes, existen varios poblados cercanos que se beneficiarán al poderse comunicar a través del vaso, mediante el desarrollo de piscicultura y con la derrama económica por la demanda de mano de obra, materiales y servicios para las obras de construcción de Aguamilpa.

# 2

## ***ESTUDIOS PRELIMINARES***

### **Estudios de la Secretaría de Recursos Hidráulicos**

Desde 1972 aproximadamente, La Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) estudió el sitio de Aguamilpa como parte del Plan hidráulico del Noroeste (PLHINO), el cual consistía en una serie de almacenamientos y conducciones que permitirían intercambiar y transferir agua, desde el Estado de Nayarit hasta el de Sonora con el objeto de abrir nuevas tierras de riego. Al modificarse el PLHINO a principios de los ochentas, dejando fuera a Aguamilpa, el sitio se hizo aún más atractivo para Hidroeléctrica, ya que toda el agua podría aplicarse a este fin.

Como parte de los trabajos de apoyo para los estudios que realizó la SRH, se hicieron algunas obras de infraestructura (camino de acceso, puentes y el campamento El Corte, a unos 20 km. del sitio) las cuales se aprovecharon para los estudios de la Comisión Federal de Electricidad.

### **Estudios de la Comisión Federal de Electricidad**

Además del sitio Aguamilpa, La CFE estudió otros sitios en las proximidades de éste, como es el caso de El Sordo y Colorines, determinandose las mejores condiciones geológicas en este último.

Aunque en forma incipiente, los estudios de la CFE se iniciaron en 1954 y se intensificaron a principios de la década de los ochentas, debido a la intención de iniciar el proyecto.

Los estudios geológicos en el sitio Los Colorines permitieron determinar la factibilidad geológico geotécnica para la construcción de una presa en cualquiera de las opciones analizadas para definir el anteproyecto. Dichas opciones fueron las de gravedad, arco-gravedad y materiales graduados para alturas de cortina de entre 120 m. y 190 m. de altura.

Además de los estudios geológicos, se realizaron estudios hidrológicos de afectaciones al escurrimiento, por usos futuros en la cuenca aguas arriba del sitio y agronómicos y sociales para determinar las afectaciones por el embalse.

A nivel anteproyecto, se concluyó que la opción de cortina más conveniente era la de materiales graduados, dándose por terminado su estudio en 1984. A mediados de 1985, se iniciaron los trabajos de diseño ejecutivo del proyecto. En esta etapa se detectó la costosa disponibilidad de los bancos de arcilla para el núcleo de la cortina, lo que obligó al estudio de una alternativa más.

El tipo de cortina de enrocamiento con cara de concreto, resultó finalmente la más conveniente, dado que sus características se apegan notablemente a las condiciones del sitio.

### Datos Climatológicos e Hidrométricos

La cuenca del Río Santiago cuenta con datos de 154 estaciones climatológicas y 26 estaciones hidrométricas, de las cuales las más antiguas operan desde 1933, la mayoría desde 1952 y las cuales, definen los escurrimientos en Aguamilpa desde 1942.

Los registros de escurrimientos medios, máximos, azolves, evaporaciones, temperaturas lluvias y ciclones, han permitido determinar la magnitud del aprovechamiento, así como los gastos de diseño de las obras de desvío y de excedencias. En la tabla que se presenta (pag.16), se indican los principales datos hidrométricos en el sitio del proyecto (Estación Carrizal).

### Estudio de Avenidas

Los escurrimientos registrados en el sitio del proyecto están influenciados, al menos en pequeña escala, por la Presa Santa Rosa que se encuentra aguas arriba. Por lo tanto, la determinación de las avenidas máximas en Aguamilpa asociadas a períodos de retorno bajos, se hizo con métodos estadísticos, correlacionando los gastos máximos de la estación Carrizal (a partir del cierre de Santa Rosa) con los de las estaciones San Cristobal II, El Caimán y Huaynamota, las cuales no están influenciadas por Santa Rosa y aforan prácticamente la totalidad de los escurrimientos que llegan a El Carrizal (estación ubicada en el sitio del proyecto); para conocer el gasto máximo asociado a cualquier período de retorno en Carrizal, se calcula primero para cada una de las otras tres estaciones y se determina después para el Carrizal, mediante la función de correlación. En la figura 2.1 se muestra la curva de gastos máximos resultante.

Los gastos máximos para períodos de retorno bajos, se usarán para diseñar la Obra de Desvío y para definir, junto con la "avenida máxima probable", la política de operación de compuertas de la Obra de Excedencias.

En cuanto a la avenida de diseño de la Obra de Exedencias, se aplicó el método de la precipitación máxima probable con transposición del ciclón más desfavorable. En junio de 1982 se determinó el estudio correspondiente, según el cual dicha avenida tendría un **gasto máximo de 17,482 m<sup>3</sup>/s** y un **volúmen de 6,966x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>**, como se muestra en la figura 2.2. El ciclón más desfavorable fué el Beulah, que se presentó en septiembre de 1967.

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>/s. y entre 95 y 2,000 m<sup>3</sup>/s. en uno húmedo; el gasto medio anual es de 220 m<sup>3</sup>/s.

#### **Azolves**

En diciembre de 1982 se terminó un análisis de sedimentos en toda la cuenca del Río Santiago, cuyos resultados para sedimentos en suspensión en la estación Carrizal, concluye que el sedimento de arrastre de fondo equivale a un 33% adicional al de suspensión.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL	GASTO MAXIMO ANUAL (M <sup>3</sup> /S)
1942	316.9	414.8	350.2	306.3	295.4	592.7	1341.3	1979.9	1216.4	314.2	143.0	150.7	7321.8	2172
1943	168.9	102.8	101.8	77.9	78.9	957.9	1006.4	1224.2	2289.5	1697.1	277.9	204.5	8034.3	8113
1944	158.4	194.3	189.1	120.3	135.5	253.2	1259.7	1259.7	2730.8	813.9	350.1	239.4	7433.3	3203
1945	176.1	160.6	141.6	121.1	137.8	189.1	1343.5	1298.6	818.3	670.1	189.8	159.0	5232.4	1491
1946	192.8	119.2	122.8	111.8	111.8	558.0	1265.0	1698.1	1017.2	806.5	216.4	142.7	6255.1	1587
1947	490.3	122.0	81.3	64.9	89.9	368.3	397.3	1639.1	1895.1	299.8	191.3	112.8	6541.1	2388
1948	137.3	84.4	81.0	82.8	96.8	810.2	2459.2	2825.3	1599.9	384.3	178.5	142.4	8878.7	2346
1949	114.0	84.4	81.9	88.7	84.0	351.2	1628.1	1169.5	951.0	504.5	131.4	115.6	6330.1	1799
1950	99.0	89.0	92.2	86.7	85.1	328.0	313.8	839.3	1206.3	358.8	104.9	91.1	4866.8	1845
1951	95.7	77.2	73.9	66.9	85.4	188.0	1173.8	944.5	989.9	184.3	106.3	89.1	3914.0	1499
1952	74.7	85.8	59.2	55.5	64.1	302.0	1328.4	1260.1	689.6	354.2	130.6	102.5	4454.7	1693
1953	92.7	105.0	86.1	72.7	73.2	202.5	712.8	1381.1	1110.8	312.2	108.3	126.0	4418.2	2234
1954	169.8	79.0	94.5	81.5	74.0	482.7	1499.2	1617.1	781.1	487.7	107.9	97.9	6392.4	1862
1955	107.5	75.0	89.1	45.1	38.2	106.8	1046.2	2796.2	2279.5	847.7	162.8	118.9	7950.0	2349
1956	86.8	85.3	89.9	79.4	143.3	377.5	1189.0	1114.8	481.0	154.9	108.1	104.3	4000.1	1353
1957	89.0	81.9	89.5	88.7	89.2	100.7	472.8	471.8	543.5	482.3	142.2	120.8	2780.2	1979
1958	107.1	87.5	133.4	84.9	91.7	418.5	1678.2	1067.8	1997.3	1329.7	1068.1	289.3	8228.5	2199
1959	206.7	128.9	121.6	491.9	145.1	415.4	1894.7	2639.3	1144.8	776.5	507.5	161.0	8434.4	1933
1960	172.0	117.5	108.9	104.7	117.9	125.2	889.0	1455.8	793.3	156.0	113.7	312.8	4448.5	1253
1961	142.7	85.1	87.8	73.8	93.2	335.8	1801.4	2097.0	1043.1	272.0	130.8	118.9	6291.0	1896
1962	104.1	115.9	86.8	94.7	85.9	487.9	1256.3	729.5	1480.2	606.6	184.5	123.2	5348.5	1714
1963	110.8	88.8	87.0	70.4	87.5	270.0	2084.3	2155.1	1441.5	705.1	204.1	289.8	7682.2	2958
1964	259.8	99.9	24.4	22.8	82.1	254.8	782.7	932.5	1922.7	884.8	156.8	145.2	5392.6	1639
1965	123.1	92.7	136.6	121.3	123.8	195.9	497.6	3102.3	2313.3	1302.9	333.3	310.3	8953.1	3133
1966	230.6	299.9	152.6	177.4	201.4	602.0	953.6	2579.5	1999.5	615.2	182.3	144.5	8138.5	3061
1967	255.0	131.9	145.0	177.3	178.6	343.8	1700.9	2990.8	5371.2	1839.7	1114.9	722.8	16069.7	5652
1968	321.7	277.8	726.1	306.9	303.4	282.5	1967.1	2842.5	1759.9	478.3	195.5	275.9	9505.8	2413
1969	182.0	179.7	187.2	141.3	134.8	187.0	589.3	393.2	770.9	479.5	125.8	212.9	5942.4	1088
1970	172.3	145.9	130.0	139.2	131.7	288.4	1339.3	1415.0	1712.0	821.8	194.6	158.9	8748.9	3310
1971	167.5	166.0	152.2	141.7	195.0	418.2	1328.7	2804.9	2489.0	2492.5	765.7	289.7	11180.5	4470
1972	245.9	255.8	277.7	235.0	191.5	387.8	815.0	794.0	1007.1	198.8	394.9	218.0	4740.3	2270
1973	295.5	124.4	113.4	155.0	155.8	184.5	2037.3	6304.0	3075.4	1276.0	384.2	190.5	13296.0	6989
1974	176.3	180.2	198.9	137.8	205.2	387.9	1312.5	1499.0	1079.2	387.9	132.8	154.5	6823.5	1295
1975	141.7	119.2	147.6	147.0	178.0	276.9	2311.6	3523.8	1433.8	232.8	133.9	141.0	8788.2	4382
1976	142.5	155.3	164.5	153.0	153.0	210.4	3145.3	2835.5	1819.5	1091.7	1354.4	1013	11839.4	4190
1977	304.9	152.1	222.3	218.8	248.7	601.3	1881.9	1817.3	2491.0	309.0	187.0	177.0	8368.3	2510
1978	360.0	157.0	203.0	172.0	171.0	380.0	871.0	1024.0	1828.0	1942.0	202.0	168.0	7358.0	2180
1979	220.0	125.0	145.0	141.0	143.0	152.0	812.0	1344.0	812.0	144.0	115.0	131.0	4299.0	1709
1980	118.0	113.0	95.0	78.0	104.0	241.0	812.0	1348.0	1145.0	314.0	138.0	82.0	4654.0	2184
1981	101.0	72.0	67.0	66.0	89.0	328.0	2148.0	1101.0	1187.0	276.0	103.0	158.0	5718.0	2385
1982	78.0	80.0	57.0	54.0	61.0	95.0	1038.0	722.0	247.0	187.0	172.0	180.0	2840.0	2412
1983	283.0	70.0	73.0	46.0	93.0	169.0	1424.0	2452.0	1744.0	389.0	109.0	111.0	7011.0	3304
1984	90.0	90.0	55.0	49.0	48.0	528.0	2445.0	2188.0	862.0	223.0	97.0	85.0	6735.0	2508
Medio	172.3	129.6	137.4	124.0	128.0	340.2	1368.8	1756.2	1510.9	651.3	285.4	197.3	8779.3	
Medio del Periodo 43-79	173.84	128.4	140.8	127.9	127.8	342.91	1339.4	1779.7	1682.9	710.9	285.54	206.81	8948.5	

TABLA GENERAL DE VOLUMENES MENSUALES DE ESCURRIMIENTO HASTA LA ESTACION HIDROMETRICA CARRIZAL (10<sup>6</sup> M<sup>3</sup>)

**GASTOS MAXIMOS ANUALES**  
 REGISTRADOS Y DEDUCIDOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARRIZAL  
 (CON LAS ESTACIONES YAGO Y CAPOMAL)

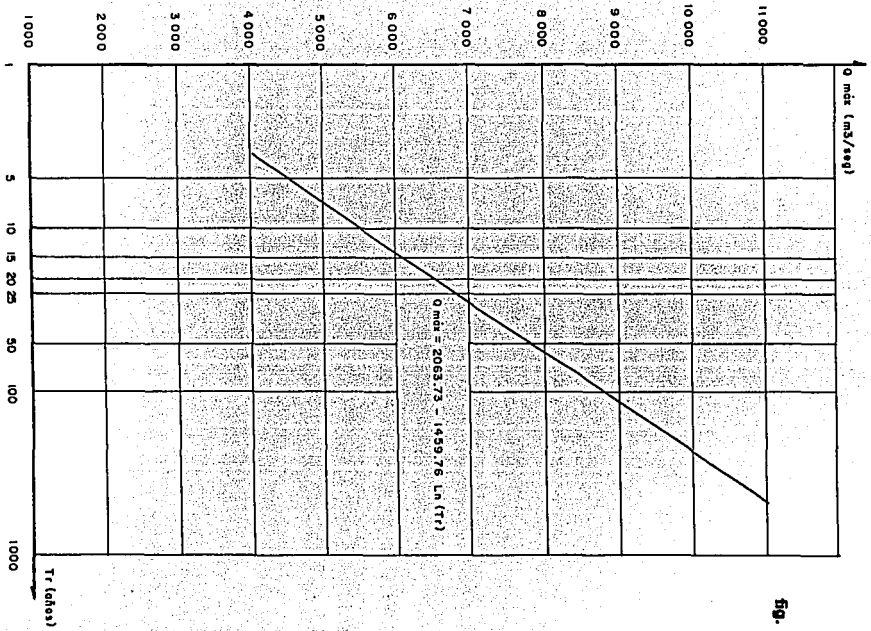


Fig. 2.1



# VOLÚMENES MENSUALES DE ESCURRIMIENTO HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARRIZAL ( $10^6 \text{ m}^3$ )

- 1 - - - - - Santa Rosa - El Carmán Transitados hasta el vaso
- 2 - - - - - Hucynmota
- 3 - ● - ● - Cuenca no aforada
- 4 ——— Avenido máxima probable

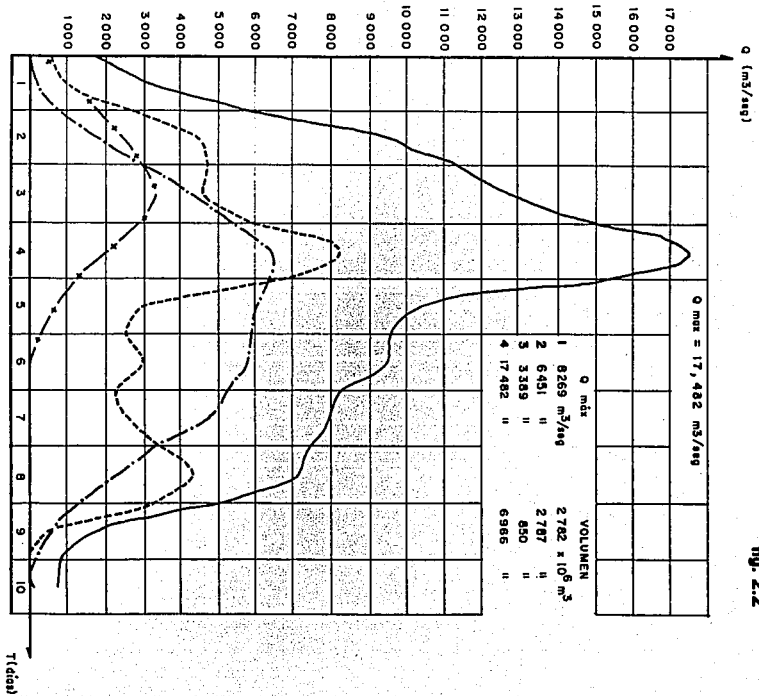


fig. 2.2

### **Geología Regional**

En los alrededores del área de estudio existe un marco litológico regional conformado por rocas ígneas extrusivas e intrusivas del Oligoceno Mioceno al Pleistoceno y Reciente (fig. 2.3).

Las extrusivas están constituidas por tobas y derrames andesíticos del Oligoceno Mioceno, que conforman la base de la secuencia volcánica y subyacen a tobas, derrames e ignimbritas dacíticas-riodacíticas del Mioceno. Estas rocas están cubiertas por tobas y derrames riolíticos dacíticos y por tobas y derrames basálticos, ambos tipos de roca del Plioceno-Holoceno.

Las rocas intrusivas, regionalmente están representadas por granito calcoalcalino y monzonita, consideradas como parte del mismo cuerpo intrusivo, variando su composición en los diferentes afloramientos, emplazados durante el Plioceno medio, diques pórfido andesíticos y andesíticos del Plioceno temprano y diques diabásicos del Plioceno medio y Pleistoceno. Toda secuencia está cubierta por suelo, depósitos de talud y aluvión.

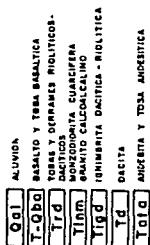
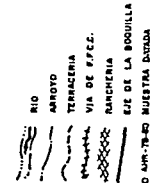
### **Tectónica**

El área en estudio, está localizada en el extremo suroeste de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental y en la porción noroccidental del graben Tepic-Chapala. La primera, está representada por rocas andesíticas y dacítico-riolíticas del Mioceno-Plioceno inferior, que cubrieron una paleotopografía cretácica, afectada por batolitos graníticos. Su origen se asocia a una margen continental activa.

Las rocas ignimbriticas presentes, resultan posiblemente de la fusión de la corteza, encima de las zonas donde se generaron los magmas andesíticos o por la diferenciación magmática de éstos, si consideramos las condiciones compresivas de la margen activa, que no daban lugar a la salida franca del magma, hasta el hundimiento total de la placa Farallón en el manto, durante el Plioceno temprano, edad en que concluyó dicho fenómeno compresivo.

# GEOLOGÍA REGIONAL

## SIMBOLOGÍA



### P.H. AGUAMILPA, GEOLOGÍA REGIONAL

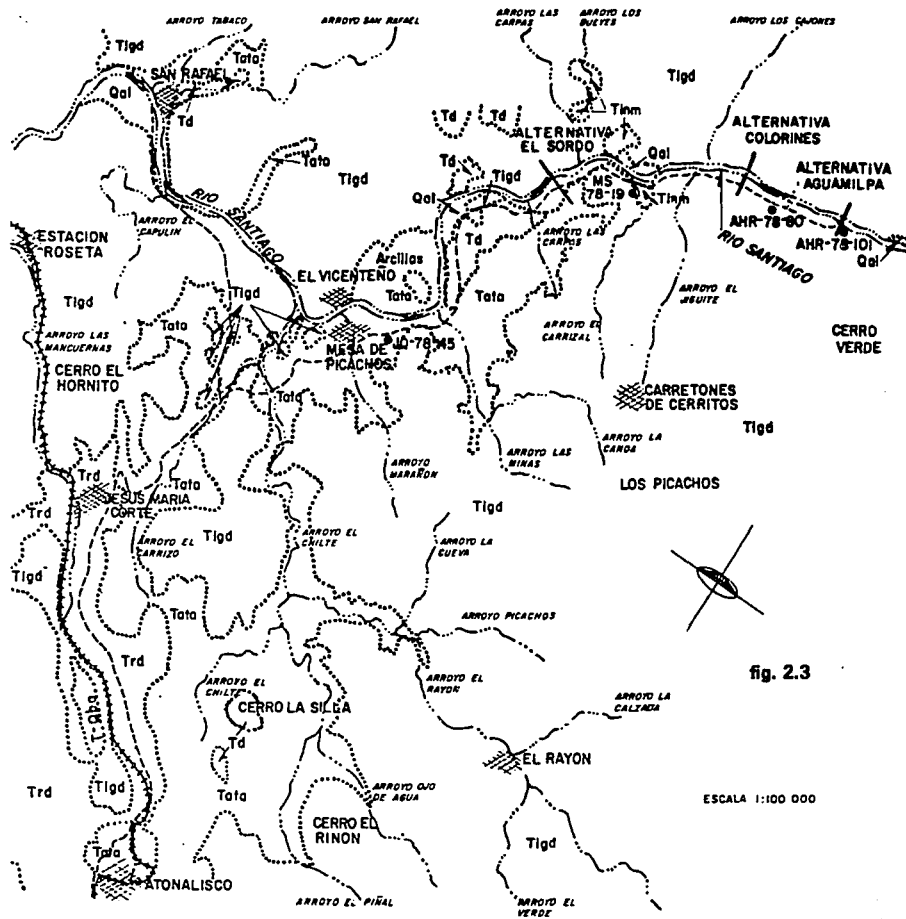


fig. 2.3

ESCALA 1:100 000

Posteriormente, ocurrieron movimientos distensivos asociados al sistema Golfo de California-Falla de San Andrés y al cambio de orientación que sufrió la Dorsal Pacífica, formándose el graben Tepic-Chapala, por el hundimiento del bloque central del rumbo NW-SE y provocándose un cambio en la actividad magmática de calcoalcalina a alcalina de tipo basáltico, cuyos aparatos volcánicos se alinean también con rumbo NW-SE, siendo sus principales focos eruptivos los volcanes El Sanganguey, El Ceboruco y El Tequila.

Las fracturas marginales de este sistema constituyen el contacto actual entre la placa Americana y la Placa del Pacífico, presentando un rumbo preferencial NW-SE, que persiste a todo lo largo de la Sierra Madre Occidental.

Los rasgos morfológicos del cauce del Río Santiago tienden a ajustarse a este sistema de fracturamiento desde el Lago de Chapala al sur, hasta su confluencia con el Río Huaynamota por el norte. El Río Santiago prácticamente limita al graben Tepic-Chapala de la Sierra Madre Occidental.

#### **Sismicidad**

En función de las características geotécnicas de la República Mexicana, las zonas continentales y marítimas se dividieron en provincias sísmicas. La región de estudio se engloba en la provincia penesísmica, la cual se caracteriza por sismos ocasionales no mayores de 6° en la escala de Richter, en donde los epicentros más cercanos se localizan a 200 kms. al W, en el Océano Pacífico.

De acuerdo a la tectónica de placas y su desarrollo, durante el Oligoceno-Mioceno la región estuvo sometida a esfuerzos de compresión, provocados por la subducción de la placa Farallón respecto a la placa Americana, lo que dió origen a características sísmicas debidas a la etapa compresiva.

En el Plioceno temprano vino la etapa distensiva, en donde la región tuvo que haber sufrido una gran cantidad de sismos de magnitud considerable. Hacia el Plioceno tardío - Pleistoceno, decreció la magnitud de la distensión al alcanzar los bloques su equilibrio, quedando liberados de las perturbaciones sísmicas que se volvieron mínimas y de poco alcance, lo que permite afirmar que son nulas las condiciones estructurales corticales actuales, que puedan originar un evento sísmico de gran magnitud.

### **Geología de la Boquilla**

En la boquilla, aflora únicamente ignimbrita dacítico riolodacítica intrusionada por diques pórfido andesíticos, monzoníticos y diabásicos, los cuales por su orientación y características, constituyen barreras impermeables. Las rocas están parcialmente cubiertas por depósitos de talud, suelo o aluvión.

La ignimbrita es de color violeta claro a gris blanquecino, dura y compacta, de estructura masiva o pseudo estratificada, de textura piroclástica y/o piroclástica eutaxítica. Se presenta comúnmente silidificada en grado variable y en menor proporción propilitizada y argilizada. Esta última restringida a zonas residuales o de intenso fracturamiento, siendo de tipo hidrotermal principalmente. Se distribuye en toda el área, su espesor se infiere en varios cientos de metros y constituye el macizo rocoso donde será emplazada la cortina.

Los diques pórfido-andesíticos son de color verde a verde gris, duros y compactos, de textura porfídica en matriz afanítica, fácilmente intemperizables formando depresiones topográficas. Su distribución es escasa.

Los diques monzoníticos son de color verde crema claro, masivos y duros, de textura afanítica con escasos fenocristales. Se presentan incipientemente propilitizados y con escaso intemperismo y fracturamiento. Se distribuyen en toda el área con espesor medio de 3.5 m. en forma tabular tendiente a vertical, conformando crestas en las cimas de los cerros y paredes en los cauces de los arroyos.

Los diques diabásicos son de color verde oscuro a negro, masivos y compactos con textura afanítica, se distribuyen con gran frecuencia, algunos son ciegos, observándose en los cortes de camino.

El aluvión está integrado por limos, arenas, gravas y bloques de gran tamaño. Su composición es heterogénea y se distribuye en los cauces del río y arroyos. Su espesor en el río varía de 2.4 m. a 26 m., con 10.6 m. en el eje de la cortina.

### **Características del Macizo Rocoso**

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

La roca es de buena calidad, la ignimbrita es dura y compacta, con módulo de elasticidad dinámico de campo de 170 ton/cm<sup>2</sup>.

### **RESUMEN**

El proyecto hidroeléctrico Aguamilpa se encuentra en la parte suroeste de la Sierra Madre Occidental. Esta área está caracterizada por rocas volcánicas extrusivas (ignimbritas dacítico riodacíticas) del Mioceno, intrusionadas por diques pórfido andesíticos, monzoníticos y diabásicos, los cuales por su orientación y características, constituyen barreras impermeables. Las rocas están parcialmente cubiertas por depósitos de talud, suelo o aluvión. El espesor de aluvión en el río varía de 3 a 26 m., con 11 m. en el eje de la cortina.

Las rocas volcánicas extrusivas han sido clasificadas en tres 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 dos presentan pseudoestratificación. La presa está desplantada directamente sobre la Unidad Aguamilpa y las excavaciones subterráneas principales fueron excavadas en esta formación, por lo tanto el canal de llamada de la Obra de Toma como la parte superior del Vertedor son excavadas en las Unidades Colorines y Picachos.

### **Materiales de Construcción**

Se estudiaron una serie de bancos en una longitud de 15 km. sobre el cauce del río aguas abajo del sitio, todos con el fin de obtener los materiales de aluvión y finos para el cuerpo de la cortina y los agregados para concreto. Las características y ubicación de los bancos con respecto a la presa se muestran en la fig. 2.4.

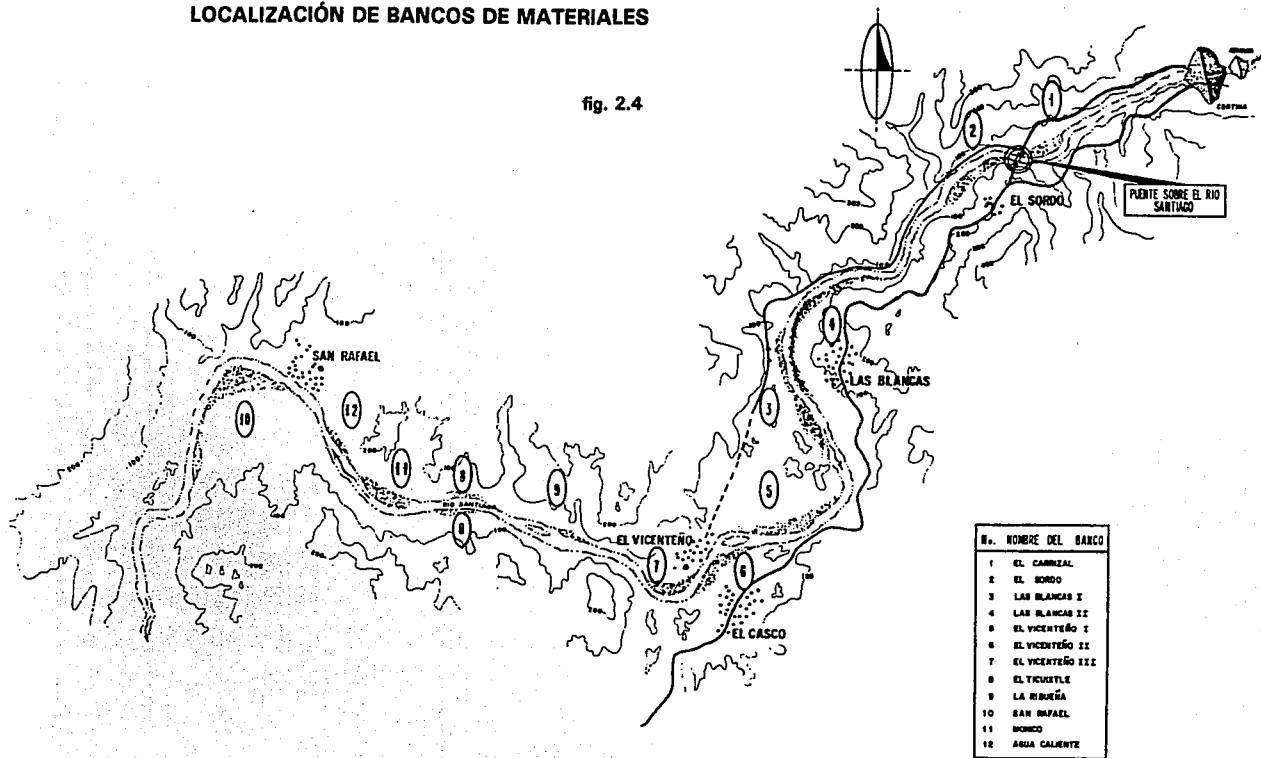
Anteriormente se habían localizado bancos de arcilla, cuando el anteproyecto marcaba que la cortina sería de materiales graduados.

Entre estos los más cercanos son el Vicenteño y el Chilte que dan la capacidad estimada para las ataguías, además que se encuentran sobre el área de explotación de los 20 kms. sobre el río.

El enrocamiento vendrá de las excavaciones de la estructura de Toma, Vertedor, Casa de Máquinas y eventuales pedreras próximas a la presa.

## LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES

fig. 2.4





**3**

***LA PRESA AGUAMILPA***

### **Selección del tipo de Presa**

Se estudiaron diferentes opciones del tipo de cortina, incluyendo las de arco de gravedad, materiales graduados con corazón de arcilla y enrocamiento con cara de concreto (PECC).

Al iniciarse los trabajos de diseño ejecutivo, se detectó la costosa disponibilidad de los bancos de arcilla, lo que obligó a seleccionar el tipo de presa que se apegara a las condiciones del sitio.

Después de una evaluación técnico-económica se seleccionó la del tipo PECC; además del costo, los aspectos más importantes que llevaron a esta decisión fueron la disponibilidad de material y el tiempo requerido para la construcción.

### **Aguamilpa dentro de la Evolución de las PECC**

El desarrollo moderno de las Presas de Enrocamiento con Cara de Concreto se ha acelerado en forma importante después de la adopción de los rodillos vibratorios en Europa, en los años cincuentas.

La construcción de la Presa Cethana (100 m.) en Australia, en 1971, y la terminación de las presas de enrocamiento bien compactado de Alto Achicaya (140 m.) en Colombia y Foz do Areia (160 m.) en Brasil, abrieron las puertas para el desarrollo de las nuevas técnicas y presas más altas durante los últimos veinte años.

Desde 1970 se han construido muchas presas con cara de concreto usando enrocamiento compactado, gravas compactadas o una combinación de ambos materiales.

Las publicaciones sobre este tipo de presas en operación o en construcción, mayores que la de Cethana, pueden resumirse en la tabla 3.1. En esta tabla, se puede ver que Aguamilpa es la presa más alta con cara de concreto en construcción y después de su terminación, será una de las más importantes en su tipo, especialmente por su diseño moderno y métodos constructivos.

**Tabla 3.1****PRESAS MODERNAS DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO**

<b>Año de Terminación</b>	<b>Nombre de la Presa</b>	<b>metros de altura</b>	<b>País</b>
1994	Aguamilpa	186	México
1993	Tiangshenquiao	180	China
1980	Foz do Areia	160	Brasil
1994	Messochora	150	Grecia
1985	Salvajina	148	Colombia
1991	Segredo	145	Brasil
1974	Alto Achicaya	140	Colombia
1994	Xingo	140	Brasil
1978	Khao Laem	130	Tailandia
1984	Shiroro	125	Nigeria
1986	Cirata	125	Indonesia
1986	Reece	122	Australia
1981	Neveri	115	Venezuela
1971	Cetana	110	Australia

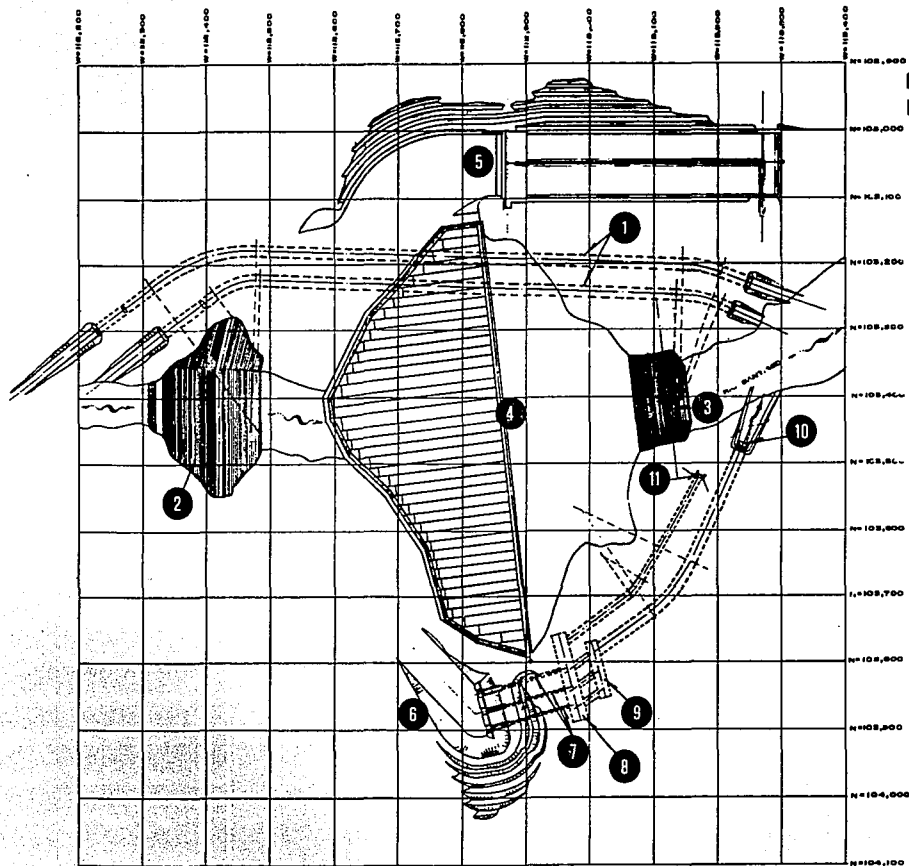


El cuerpo de la Presa Aguamilpa estará principalmente constituido por materiales tipo grava, arena y enrocamiento, con una cara impermeable formada por losas de concreto con juntas perimetrales diseñadas para tal efecto, colocada en el talud aguas arriba. Los taludes exteriores del proyecto son de 1.4 : 1 el de aguas abajo y 1.5 : 1 el de aguas arriba. El espesor proyectado de la losa de concreto es variable, de 0.85m. en su parte inferior, disminuyendo con la altura hasta 0.3m. a la altura del parapeto. La cortina se desplantó directamente sobre la roca que forma el río en la sección de la boquilla.

Las Presa de Aguamilpa sigue las tendencias modernas de las presas de grava enrocamiento desarrolladas durante los últimos veinte años en la construcción exitosa de PECC. La investigación del comportamiento de la junta perimetral ha contribuido a mejorar el diseño de esta presa con respecto a las anteriormente construidas, por lo tanto ofrece nuevas ideas para futuros desarrollos.

El excelente comportamiento de las gravas naturales compactadas y los extensos depósitos localizados cerca del sitio de la presa, determinaron la utilización de este material en zonas entre la cara de concreto y el eje de la presa. La porción de aguas abajo de la presa se está construyendo con roca proveniente de la excavación obligada en el resto de las estructuras principales.

El arreglo general de la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa se forma de obras tales como túneles de desvío, Atagüa aguas arriba, Atagüa aguas abajo, Cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto, Vertedor, Obra de Toma, Tuberías a Presión, Casa de Máquinas, Galería de Oscilación, Túnel de desfogue, Tunel de acceso a casa de máquinas y Canal Fusible; los cuales se ilustran en la planta del Plano General.



## Taludes

Debido a la drenabilidad de los materiales que constituyen la presa y al alto grado de fricción interno, sin presiones de poro, los taludes adoptados para la presa son de 1.5H : 1V para la cara aguas arriba y 1.4H : 1V para el talud aguas abajo.

## Materiales de la Presa

La zonificación de la presa, sigue la concepción moderna de Presas de Enrocamiento con Cara de Concreto. La figura 3.2 presenta una sección transversal donde se pueden apreciar las diferentes zonas que ocupan los distintos materiales empleados en la construcción, así como su compactación especificada según la tabla siguiente:

### TABLA DE MATERIALES

MATERIAL	ZONA	ORIGEN	OBSERVACIONES
1B	Respaldo de la Cara de Concreto	Arena Fina Limosa	Tendido en capas de 30 cm. (sin compactar)
3F	Protección de Material 1B	Enrocamiento Rezaga Túneles menor de 40 cm.	Bandedo en capas de 40 cm.
2	Apoyo de la Cara de Concreto	Bancos de Aluvión	Compactado con 4 pasadas de RLV ( $W \geq 10$ ton) en capas de 30 cm.
2F	Apoyo de la Cara de Concreto en conexión con la junta perimetral	Bancos de Aluvión	Compactado con 4 pasadas de RLV ( $W \geq 5$ ton) en capas de 30 cm.
3B	Aluvión cuerpo de la cortina	Bancos de Aluvión	Compactado con 4 pasadas de RLV ( $W \geq 10$ ton) en capas de 60 cm.
T	Cuerpo de la cortina 3B ó 3C	Ver material 3B ó 3C	Colocado y compactado en capas de 60 cm. con 4 pasadas de RLV ( $W \geq 10$ ton)
3C	Enrocamiento cuerpo de la cortina	Excavación de obras anexas fragmentos sanos diam. 4 m.	Compactado con 4 pasadas de RLV ( $W \geq 10$ ton) en capas de 1.20 m.
4	Protección Aguas Abejo	Excavaciones de Obras anexas	Empacado y acuñedo material sobrante de selección de material 3C

## OBRAS DE CONTENCIÓN

- |    |                     |    |                                   |
|----|---------------------|----|-----------------------------------|
| 1B | Arena Fina Limosa   | 3B | Aluvión                           |
| 3F | Enrocamiento        | T  | Transición diam. < 60 cm. 3B ó 3C |
| 2  | Filtro diam. < 3"   | 3C | Enrocamiento diam. < 1m.          |
| 2F | Filtro diam. < 1.5" | 4  | Enrocamiento diam > 1m.           |

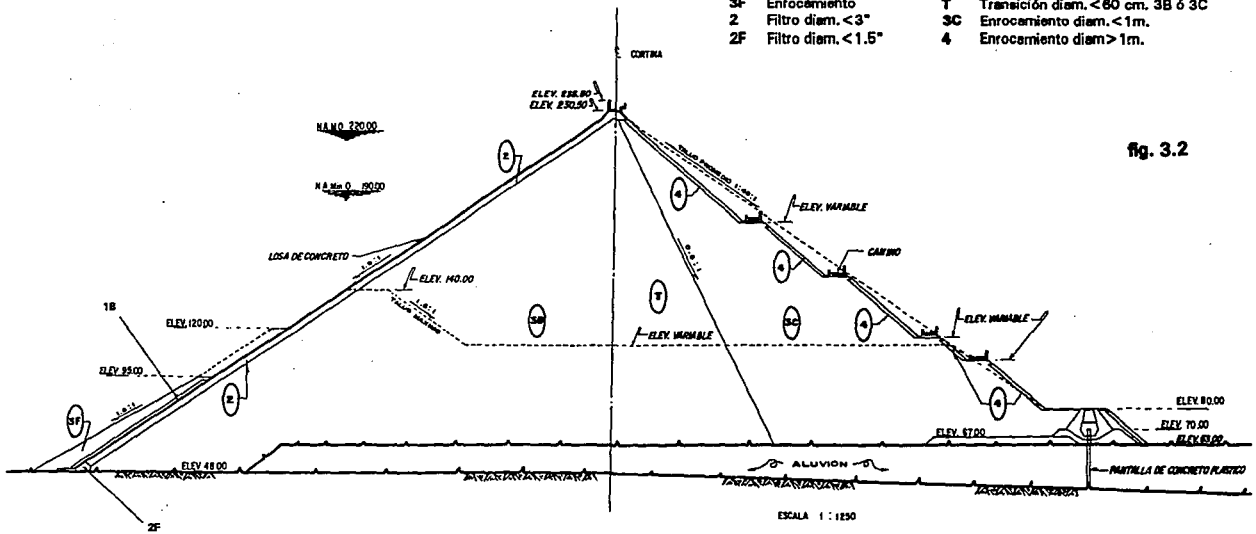


fig. 3.2

## SECCIÓN DE LA CORTINA

## Materiales de la Presa

Básicamente, la presa ha sido dividida en tres áreas que conceptualmente obedecen las siguientes reglas:

Zona de aguas arriba, hasta el eje vertical, constituida esencialmente por gravas de baja compresibilidad, compactas en capas de hasta 60 cm. por el compactador vibratorio de 10 ton.

Zona de transición, entre el eje vertical y una línea  $0.5H : 1V$ , constituidas por gravas y/o enrocados finos (0.5 m. máximo) compactándose en capas de 60 cm. por el compactador de 10 ton.

Zona de aguas abajo, constituida por enrocamientos, compactados en capas de 1.20 m. por el compactador de 10 ton. protegiendo el talud de aguas abajo con un enrocamiento de fragmentos sanos, de sobretamaños mayores de 1m., empacados y acuñados hasta obtener una buena apariencia.

### Parapetos

La figura 3.3 muestra la solución de doble parapeto diseñada 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.

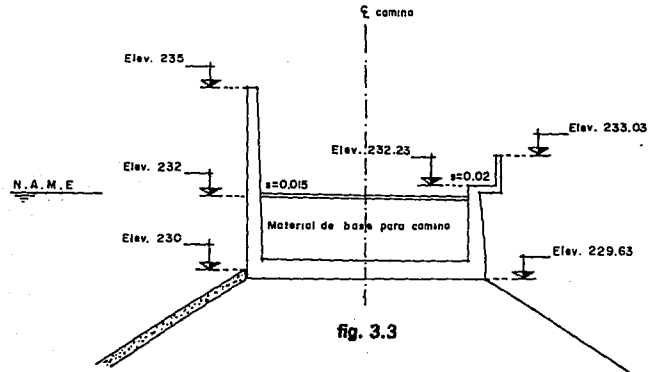


fig. 3.3



Las Presas de Enrocamiento con Cara de Concreto (PECC), se consideran seguras contra la acción de eventos sísmicos y generalmente, se utiliza el mismo diseño en regiones sísmicas que en regiones asísmicas. Las razones que se esgrimen para apoyar esta práctica son: 1) No hay posibilidades de que se generen presiones de poro durante la excitación sísmica debido a que toda la cortina está seca y, por lo tanto, no hay tendencia en la reducción de la resistencia, 2) El enrocamiento que forma la cortina, se compacta intensamente para llevarlo a un estado denso, por lo que los sismos sólo pueden causar deformaciones pequeñas, especialmente en los taludes del pedraplén y 3) A pesar de que durante sismos severos la losa de concreto se agrieta, aumentando las fugas de agua, ese flujo no pone en peligro la estabilidad global de la presa ya que en las presas modernas, el volúmen de agua que fluye por las fisuras, se puede manejar fácilmente a través de la cortina.

Aunque estas consideraciones tienen mérito, también es verdad que la gran mayoría de las presas PECC, se han construido en zonas de baja actividad sísmica y no hay, hasta la fecha, un caso que demuestre el buen comportamiento de este tipo de estructuras sometidas a un sismo severo. La experiencia muestra que casi cualquier presa de tierra construida razonablemente bien, incluyendo las de relleno hidráulico, pueden soportar sismos de tal magnitud con daños menores. Por lo tanto, la información disponible sobre el comportamiento sísmico de las presas PECC, no aporta datos que permitan hacer estimaciones relativas al comportamiento de este tipo de presas ante sismos severos.

Tomando en cuenta lo anterior, el Profesor Raúl J. Marsal planteó la necesidad de llevar a cabo una investigación con el propósito de evaluar su seguridad sísmica. Para lograr ésto, se realizaron estudios que incluyeron análisis bidimensionales de tres secciones de la cortina. Se evaluó el efecto de la calidad de los materiales constitutivos al diseño original. Para estimar el efecto de la geometría de la boquilla en los resultados, se llevó a cabo un análisis con elementos finitos tridimensionales.

Los resultados del estudio, muestran claramente que el diseño propuesto de la presa Aguamilpa es adecuado, tanto desde el punto de vista estático como dinámico. Los patrones de desplazamiento de la cortina, por carga estática, muestran que el efecto del enrocamiento en las deformaciones del talud de aguas arriba (y, por consiguiente, en la losa de concreto) es pequeño. Esto condujo a que se analizaran otras zonificaciones de los materiales, de tal manera de incluir un volumen mayor de enrocamiento, que por razones económicas resultaba atractivo, lo cual fué adoptado en el diseño final.

### **INFRAESTRUCTURA**

Antes de poder comenzar las obras del embalse propiamente dichas, deben realizarse amplios trabajos preparatorios. Primeramente, debe crearse una infraestructura de construcción; estas obras se comenzaron en Enero de 1989. El acceso desde Tepic, se efectúa a través de unos 12 km. de carretera estatal hasta llegar a la desviación hacia Aguamilpa; desde este cruce, se pavimentó la pista con un desarrollo de 40 km. hasta el acceso. Se erigió un puente sobre el río (plano 3) y se construyó una carretera de 6 km. para unir los campamentos con el emplazamiento a la obra (plano 2a y 2b). Además debía prepararse una subestación para el abastecimiento de energía eléctrica y los otros servicios locales adicionales necesarios, tales como campamentos, comedores, servicios médicos, instalaciones deportivas, además de agua potable, drenaje, alumbrado, teléfono, vigilancia.

#### **Puente de cruce del Río Santiago**

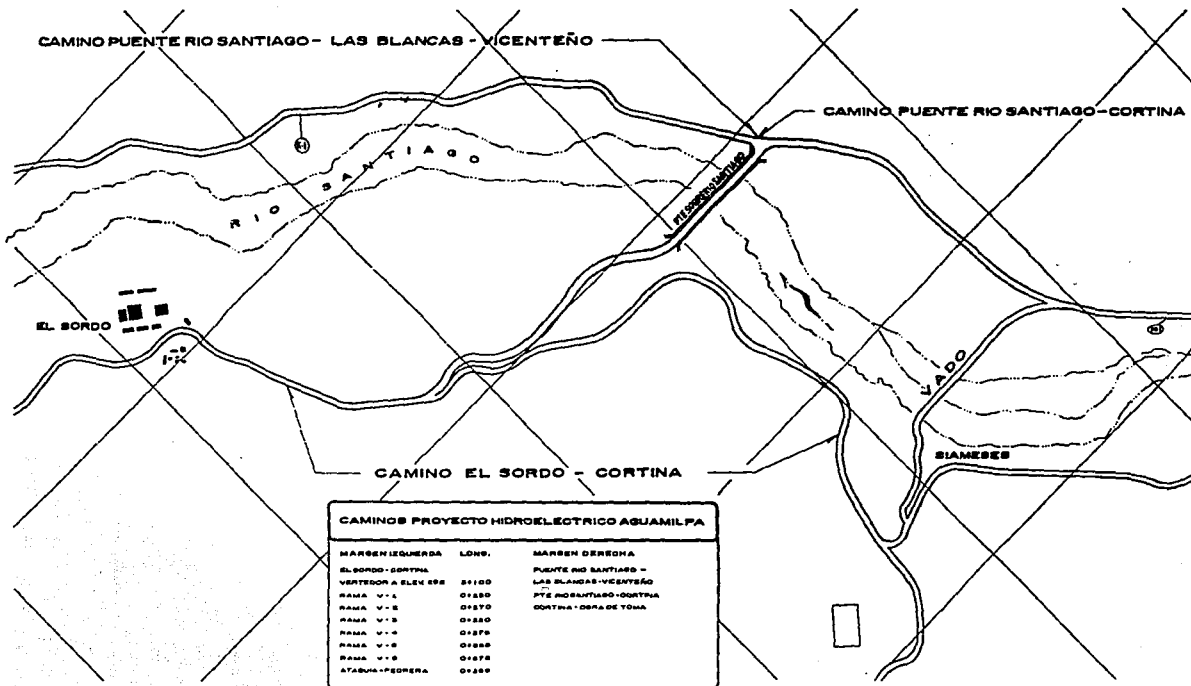
Tiene como objeto, el acceso a las instalaciones que se localizarán en el margen derecha (Casa de máquinas, túnel de desfogue, galería de transformadores, plataforma de subestación, obra de toma etc.).

El puente de cruce del Río Santiago, es una estructura de concreto presforzado, formado por un tramo isostático de 30.5 m. y uno continuo de 157.8 m. El tramo isostático se encuentra en el estribo n°1 y pila en el eje n°2. Está formado por cuatro traves postensadas de sección AASHTO tipo IV, unidas por una losa de concreto reforzado de espesor variable. El tramo continuo, está constituido por tres claros resueltos por una estructura de sección cajón, y utilizando para su construcción el método de voladizos sucesivos.

El último claro está constituido por una estructura que funciona como contrapeso para el volado hacia el otro lado, por lo cual su cajón se encuentra relleno de material. (plano 3)

# VIALIDADES P. H. AGUAMILPA

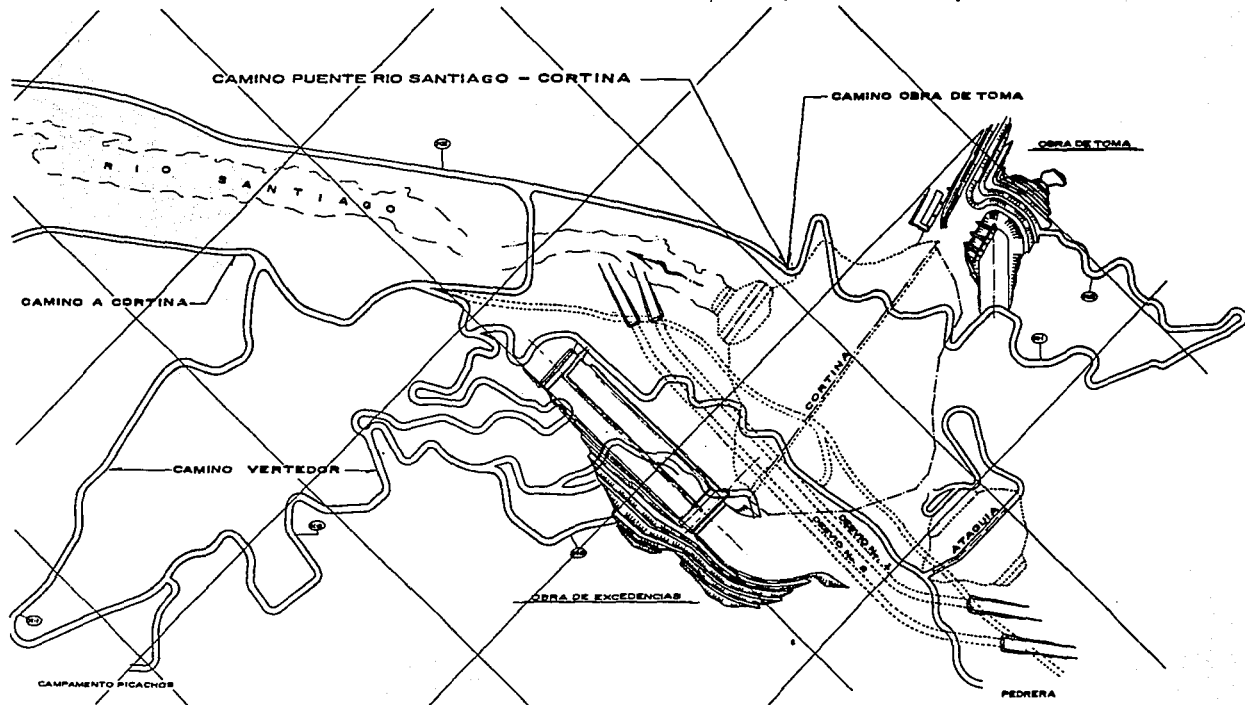
plano 2a



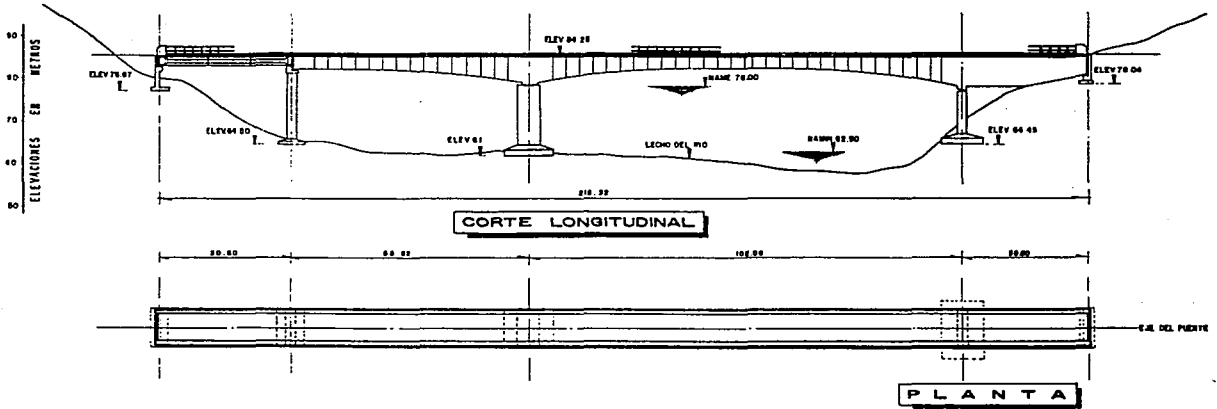
CAMINOS PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA		
MARGEN IZQUIERDA	LONG.	MARGEN DERECHA
EL SORDO - CORTINA		PUENTE RIO SANTIAGO -
VERTEDOR A ELEN ESP	34100	LAS BLANCAS - VICENTEÑO
RAMA V-1	01250	PTE RIO SANTIAGO - CORTINA
RAMA V-2	01250	CORTINA - CORRAL DE TOMA
RAMA V-3	01250	
RAMA V-4	01270	
RAMA V-5	01250	
RAMA V-6	01270	
RAMA V-7	01270	
ATARNA - PEDRERA	01250	

# VIALIDADES P. H. AGUAMILPA

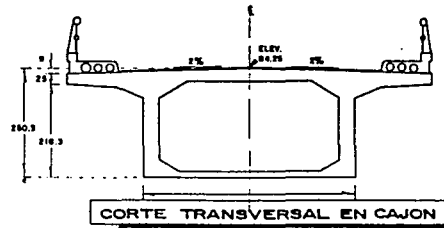
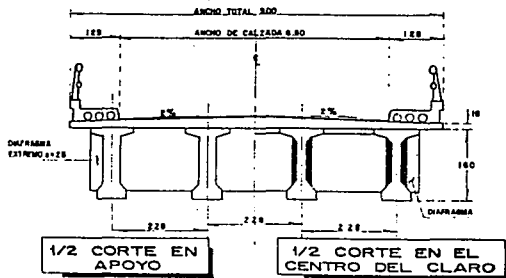
plano 2b



# PUENTE SOBRE EL RIO SANTIAGO



plano 3



## **OBRA DE DESVIO**

Consta de dos túneles de sección portal de 16m. x 16m. sin revestir, localizados en la margen izquierda del río. El tipo de obra de desvío, obedece al tipo de cortina seleccionado y a la configuración topográfica del cauce (ver plano general). La decisión de no revestirlos, se tomó con base en consideraciones económicas y de duración de la construcción.

Cada estructura, dispondrá de una estructura de cierre provisional; adicionalmente el túnel n°2 tendrá la estructura de cierre final. En el túnel n°1, la lumbrera de cierre provisional aloja dos obturadores de 6 x 14m. para una carga de columna de agua  $H=27m$ . En el túnel n°2, la lumbrera de cierre provisional con un obturador de 14 x 14m. y  $H=38m$ . (plano 4)

Para seleccionar el número de túneles, ubicación y dimensiones, se estudiaron diversos esquemas variando la sección desde 12m. x 12m. hasta 18m. x 18m., considerándolos con o sin revestimiento, en ambas márgenes o en una de ellas. Durante este análisis, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

### **Geología del sitio**

Los estudios geológicos realizados muestran que la calidad de la roca en la margen derecha, es ligeramente mejor que en la izquierda. Además de la factibilidad geotécnica de construir los túneles sin revestir, la decisión se basó en el menor costo y tiempo de construcción requerido para este esquema, que para el de los túneles revestidos con similar capacidad hidráulica.

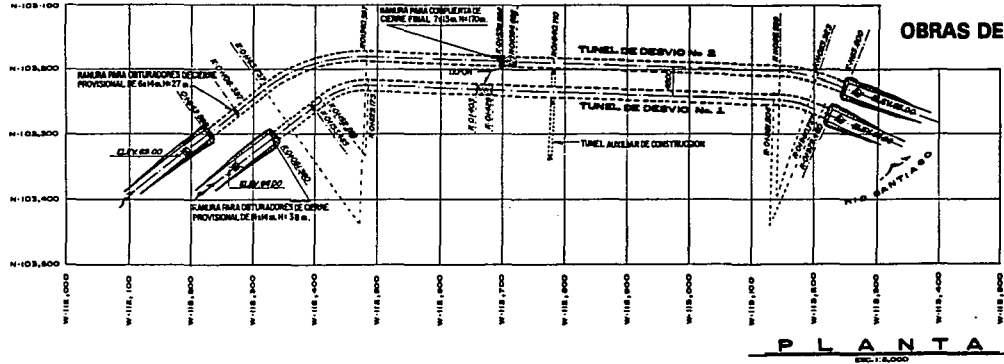
El camino de acceso al sitio se encuentra en la margen izquierda, lo cual facilitó el inicio de los túneles en dicha margen.

## **OBRAS DE CONTENCION**

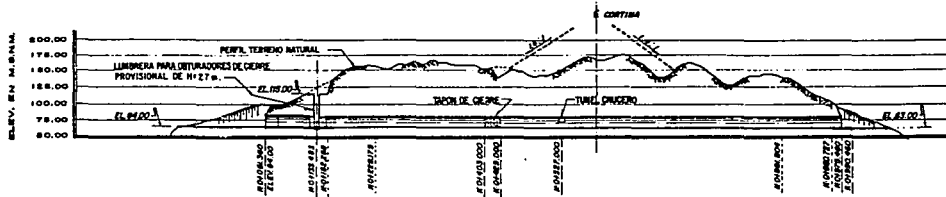
### **Altura de la Atagüa aguas arriba**

Para seleccionar esta altura, se estudiaron alternativas de atagüa independiente o integrada a la cortina con diferentes períodos de retorno de la avenida de diseño, tomando finalmente la correspondiente a 50 años de período de retorno, con velocidades máximas de 12 m/s en los túneles. (plano 5)

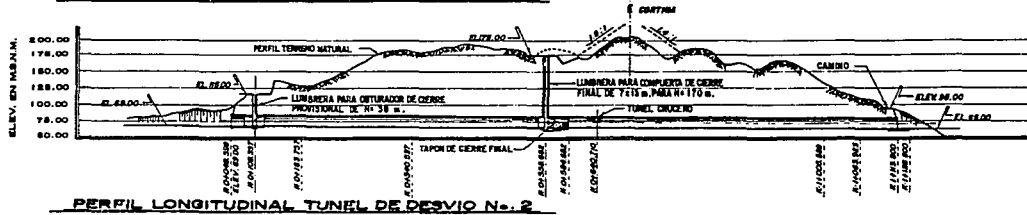
OBRAS DE DESVIO



PLANTA  
ESC. 1:5,000



PERFIL LONGITUDINAL TUNEL DE DESVIO No. 1



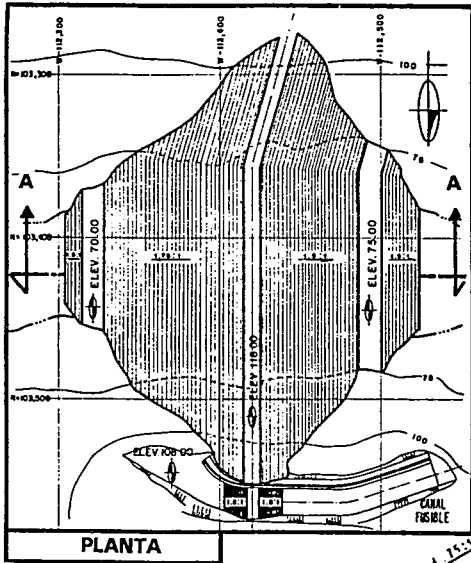
PERFIL LONGITUDINAL TUNEL DE DESVIO No. 2

plano 4

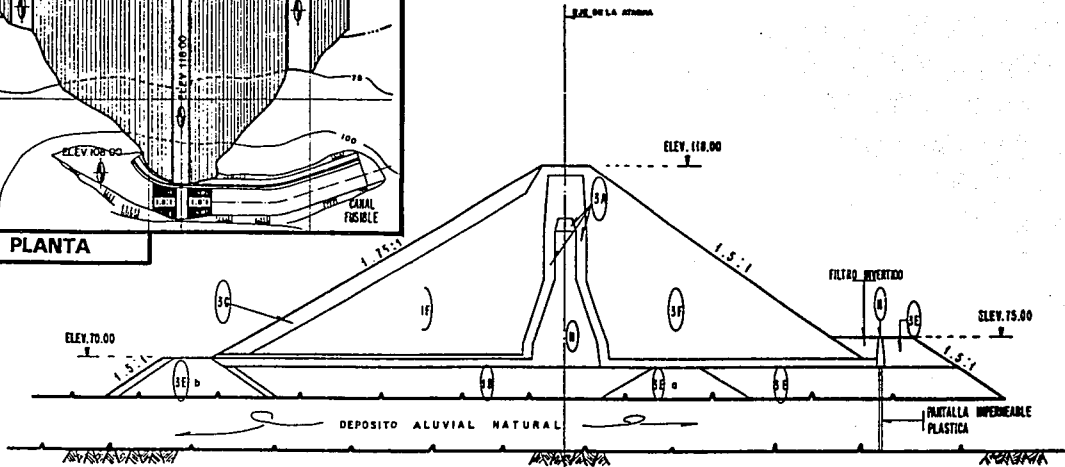


# ATAGUIA AGUAS ARRIBA

plano 5



PLANTA



CORTE A - A

## CORTINA

Se estudiaron diferentes opciones del tipo de cortina, incluyendo las de arco-gravedad, materiales graduados con corazón de arcilla y Enrocamiento con Cara de Concreto (PECC). Después de una evaluación técnico económica, se seleccionó la del tipo PECC; además del costo, los aspectos más importantes que llevaron a esta decisión, fueron los de disponibilidad de materiales y el tiempo requerido para la construcción.

La experiencia mundial en el diseño y construcción de las PECC muestran que pueden ser bastante confiables en su comportamiento y seguridad, como puede verse en los casos de las presas más altas de este tipo construídas a la fecha: Foz do Areia en Brasil y Salvajina en Colombia, con 160 y 148 m. de altura respectivamente. En el caso de Aguamilpa, la altura desde el desplante de la losa de pie hasta la cortina, será de 186 m., el área de la cara de concreto de 130,000 m<sup>2</sup> y el volumen de la cortina será de 13,000,000 de m<sup>3</sup>.

Aunque los volúmenes de concreto y enrocamiento en Aguamilpa serán similares a los de Foz do Areia, la altura será mayor; además como las deformaciones en la cara de concreto y sus juntas son directamente proporcionales a la altura de la presa, se ha puesto especial cuidado en el diseño y construcción de toda la presa para garantizar un comportamiento seguro. Algunas medidas que se tomaron para ello son:

- 1) Limpia y levantamiento topográfico geológico y geofísico detallado, de una franja de 30 m. de ancho a lo largo de la traza de aguas arriba de la cortina, incluyendo perforaciones con recuperación de núcleo y pruebas de permeabilidad. Con esta información se pudo caracterizar la roca, fijar la geometría de la traza y diseñar el tratamiento de la roca.
- 2) Pruebas de colocación de material en pedraplenes, para determinar las características de aluvión compactado (deformabilidad, permeabilidad) con diferentes granulometrías y procedimientos de compactación. Así pudieron elaborarse especificaciones para la construcción de la presa.
- 3) Elaboración y ensayos de modelos en las juntas de la cara de concreto y plinto, para conocer el comportamiento de los materiales.

El volumen de enrocamiento, producto de las excavaciones necesarias para las otras partes del proyecto, se aprovecha para conformar las zonas T y 3C de la presa. El volumen adicional requerido se ha tomado de una pedrera.

### **OBRAS DE GENERACION**

El esquema adoptado consta de : canal de llamada a cielo abierto, tres conductos a presión, casa de máquinas y galería de oscilación subterráneas, túnel de desfogue, plataforma exterior de transformadores y subestación exterior. (ver planos 7,8,9)

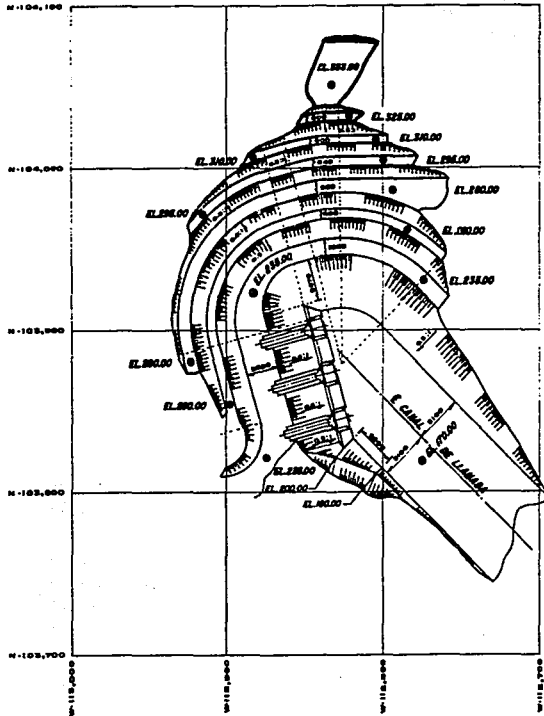
El aspecto más interesante y que representa un cambio, respecto a los arreglos de otras casas de máquinas subterráneas en México, es la eliminación del piso de generadores, entre los pisos de turbinas y de excitadores, dejando en un mismo piso el acceso a los fosos de turbinas y de generador.

Las compuertas para el canal de alimentación de las turbinas, quedan a 122 m. sobre el pie de la presa. El agua fluye a través de tres conductos a presión de 7.4 m. de diámetro y abandona el sistema, por un desfogue situado a 100 m. más abajo. Durante su flujo, esta agua hace funcionar las turbinas a un régimen de 150 r.p.m.

### **OBRA DE EXCEDENCIAS**

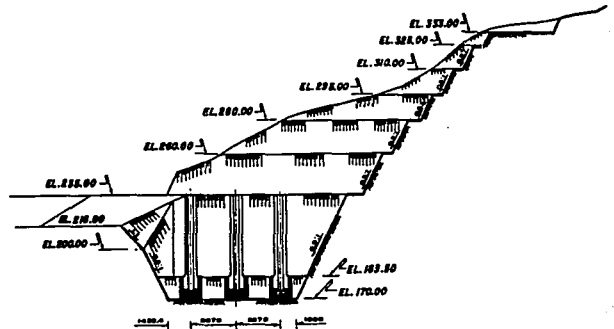
Es un vertedor en canal a cielo abierto con capacidad de 14,900 m<sup>3</sup>/s. para transitar una avenida con gasto máximo de 17,500 m<sup>3</sup>/s. , la cual se determinó con base en criterios de transposición de ciclones y precipitación máxima probable. El problema principal para estudio en modelo, es la posible formación de barras en el cauce, como resultado de la erosión provocada por la caída de 100 m. desde la cubeta deflectora.

Una vez terminado, las aguas de avenida discurrirán por la obra de aliviadero, de seis compuertas y dos canales abiertos : vertedor regulador y vertedor de servicio. (ver plano 10)



PLANTA

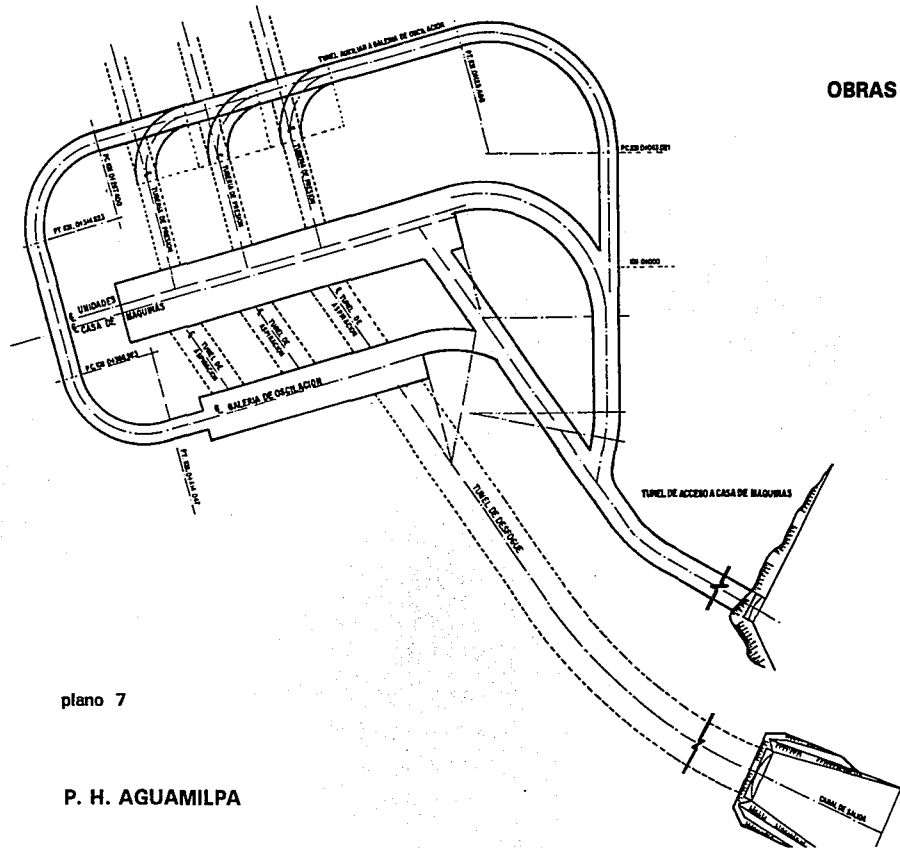
P. H. AGUAMILPA  
OBRA DE TOMA



VISTA FRONTAL

plano 6

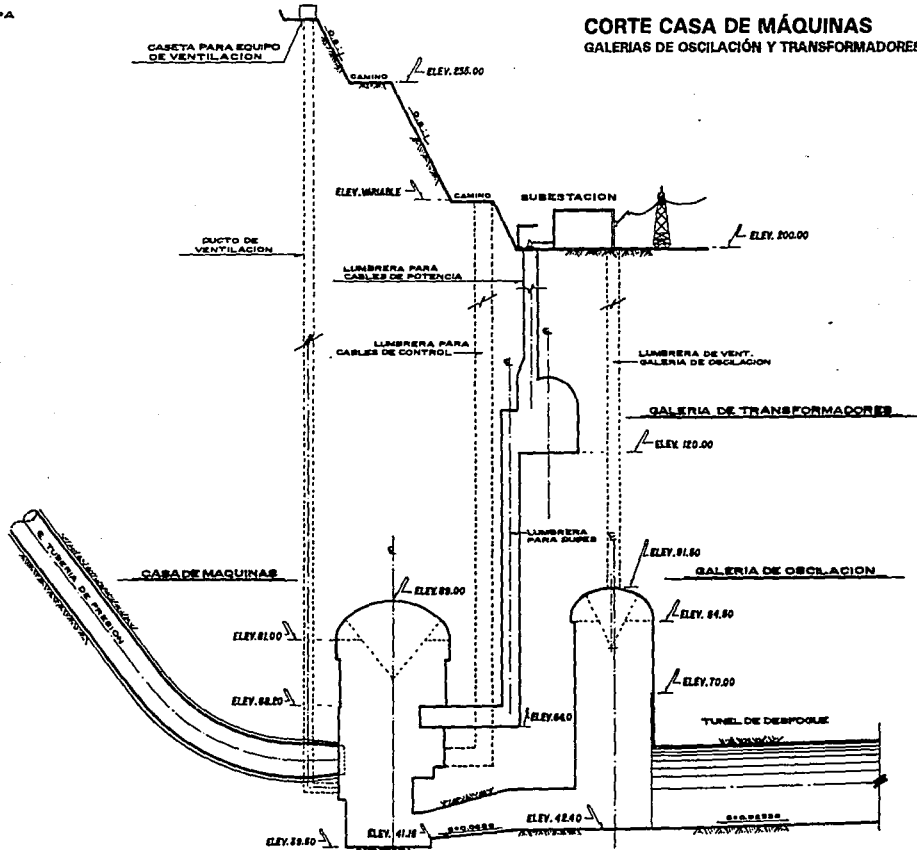
# OBRAS DE GENERACIÓN

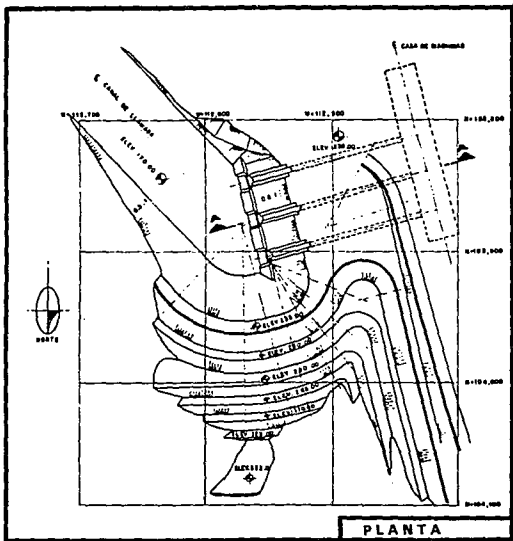


plano 7

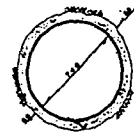
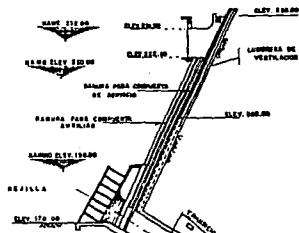
P. H. AGUAMILPA

### CORTE CASA DE MÁQUINAS GALERÍAS DE OSCILACIÓN Y TRANSFORMADORES



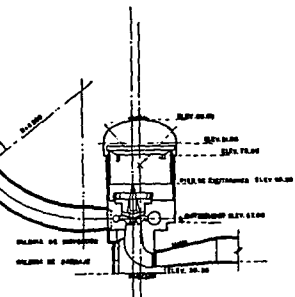


## TUBERIAS A PRESIÓN

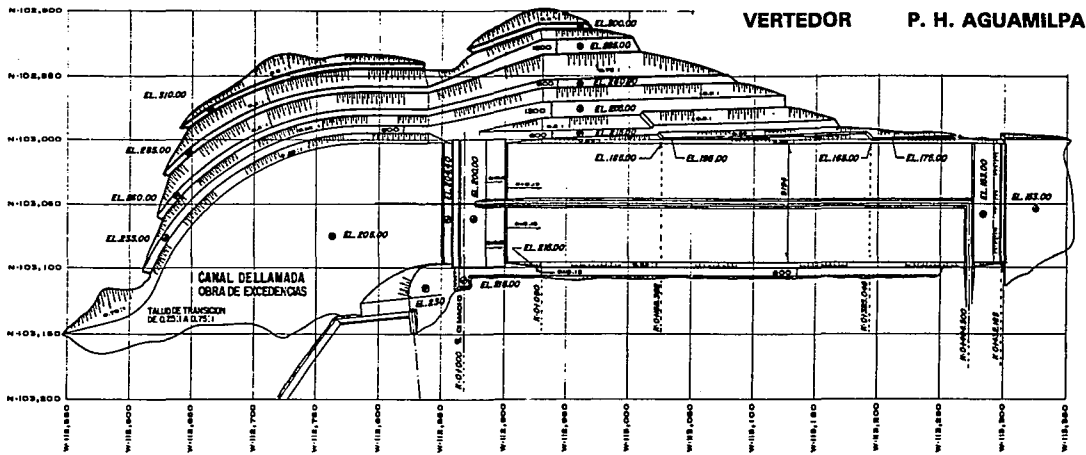


SECCIÓN TUBERÍA A PRESIÓN

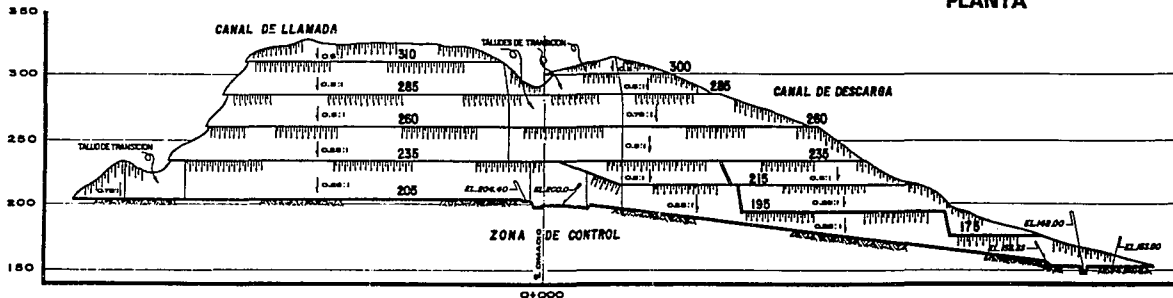
CORTE LONGITUDINAL A - A



plano 9



**PLANTA**



plano 10

**PERFIL LONGITUDINAL**



## ***Datos Principales del Proyecto***

---

### **UBICACION**

Coordenadas	
Latitud Oeste	104° 46' 29"
Latitud Norte	21° 50' 32"
Río	Santiago
Estado	Nayarit
Municipio	Tepec y Nayar

### **HIDROLOGIA**

Área de la cuenca del Río Santiago	75,651 km <sup>2</sup>
Área de al cuenca hasta Aguamilpa	73,834 km <sup>2</sup>
Número de años de registro	43
Escurrimiento medio anual	6,736 mill. m <sup>3</sup>
Volumen medio mensual escurrido	561 mill. m <sup>3</sup>
Gasto medio	213.6 m <sup>3</sup> /seg.
Volumen medio anual aprovechado	6,257 mill. m <sup>3</sup>
Gasto medio aprovechado	198.4 m <sup>3</sup> /seg.
Porcentaje de aprovechamiento	92.9 %

## VASO DE ALMACENAMIENTO

<b>Elevaciones</b>	<b>Capacidad</b>
NAMINO 190 msnm.	2,965 mill. m <sup>3</sup>
NAMO 220 msnm.	5,540 mill. m <sup>3</sup>
NAME 232 msnm.	6,950 mill. m <sup>3</sup>
Capacidad para azolves (piso de toma)	1,650 mill. m <sup>3</sup>
Capacidad útil NAMINO-NAMO	2,575 mill. m <sup>3</sup>
Capacidad para control de avenidas	
NAMO-NAME	1,410 mill. m <sup>3</sup>
Área ocupada por el embalse del NAME	128 mill. m <sup>2</sup>
Área ocupada por el embalse del NAMO	109 mill. m <sup>2</sup>

## OBRA DE DESVIO, con Tr = 25 años

Gasto máximo avenida	6,765 m <sup>3</sup> /seg.
Gasto de diseño, Máximo	5,070 m <sup>3</sup> /seg.
Elevación Atagüfa aguas arriba	118 msnm.
Diámetro de los túneles (2)	18 m.
Elevación de entrada	64 y 69 msnm.
Elevación de salida	63 y 65 msnm.
Longitud Total	1,720 m.
Volumen de la excavación del túnel	415000 m <sup>3</sup>
Velocidad permisible	11 - 12 m/seg.
Cierre provisional, Obturadores	2 de 6x14 m.
Túnel 1 ( h=carga de agua )	h = 27 m.
Cierre provisional, Obturador túnel 2	14 x 14 m.
	h = 38 m.
Cierre Final, Obturador túnel 2	7 x 13 m.
	h = 170 m.

### OBRA DE CONTENCIÓN

Tipo de Cortina	Grava-Enrocamiento con Cara de Concreto (PECC).
Elevación de la Corona	235 msnm.
Longitud de la corona	642 m.
Altura total al desplante	186 m.
Desplante del Plinto	49 msnm
Talud aguas arriba	1.5:1
Talud aguas abajo	1.4:1
Bordo libre	3 m.

### OBRAS DE EXCEDENCIA

Gasto máximo de la avenida de diseño	17,482 m <sup>3</sup> /seg.
Volumen de la avenida	6,966 mill. m <sup>3</sup>
Gasto de diseño, Descarga	14,900 m <sup>3</sup> /seg
Elevación de la cresta	210 msnm.
Longitud de la cresta	72 m.
Obra de Control	6 compuertas radiales de 12 x 19.50 m.
Elevación labio superior	229 msnm.
Ancho de los canales de descarga (2)	42.5 m.
Longitud de los canales	432 m.
Velocidad máxima	35 m/seg.

### OBRA DE TOMA

Número de Tomas	3 tomas
Gasto máximo por toma	258 m <sup>3</sup> /seg.
Conducción	Tubería a presión con camisa de acero.
Diámetro	7.40 m.
Velocidad Media	5.75 m/seg.

**OBRA DE GENERACION**

Tipo	Caverna
Número de unidades generadoras	3 unidades
Potencia nominal por unidad: generador	320 MW
Generador de	337 MVA
Capacidad instalada, 3 Francis	960 MW
Factor de planta medio anual	0.253
Generación media anual firme	1,574 GWH/año
Generación media anual secundaria	557 GWH/año
Nivel de la subestación	205 msnm.
Dos líneas en primera etapa y una futura de	400 kv c/u
Longitud hacia la red (por Tepic)	40 km.
Turbinas	325 MW
Velocidad síncrona	150 r.p.m.
Elevación del piso de la Obra de Toma	170 msnm.
Dimensión de compuertas	5.8 x 7.4 m.
Dimensión de rejillas	19.8 x 18 m.
Diámetro de la conducción a presión	7.4 m.
Casa de Máquinas	
Ancho	22.8 m.
Largo	134 m.
Alto	50 m.
Longitud de la conducción a presión	187 m.
Gasto de diseño por unidad	249 m <sup>3</sup> /seg.
Túnel de desfogue	
Diámetro	16 m.
Longitud	391 m.
Nivel medio de desfogue	67.6 msnm.
Carga bruta máxima	159 m.
Carga bruta mínima	120.6 m.
Carga bruta de diseño	146 m.

**TÚNELES DE DESVÍO DEL RÍO**

Número de túneles	2
Longitud	1,000 m. c/u
Dimensiones	16 x16 m.
Sección	Portal
Gasto máximo Avenida	6,765 m <sup>3</sup> /seg.
Excavación de túneles	355,000 m <sup>3</sup>
Excavación a cielo abierto	100,000 m <sup>3</sup>

**ATAGUÍA AGUAS ARRIBA**

Tipo	Materiales graduados
Altura	58 m.
Volumen de material	900,000 m <sup>3</sup>
Elevación de la corona	118 msnm.

**CORTINA**

Tipo	PECC
Elevación de la corona	235 msnm.
Longitud de la corona	680 m.
Altura	186 m.
Volumen de materiales	13,300,000 m <sup>3</sup>

**OBRA DE TOMA de Casa de Máquinas**

Tipo	Canal a cielo abierto en roca.
Volumen de excavación	1,350,000 m <sup>3</sup>
Altura promedio	60 m.
Dimensiones de compuertas	5.8 x 7.4 m.

**TUBERIA A PRESION de Casa de Máquinas**

Número de conductos	3 cond.
Díametro de la conducción a presión	7.4 m.
Longitud de cada conducto	215 m.
Gasto de diseño por unidad	249 m <sup>3</sup> /seg

**CASA DE MÁQUINAS**

Tipo	Subterránea
Turbinas	3 francis de 320 MW c/u
Línea de transmisión	400 kv
1 circuito a S.E. Tepic II	49 km.
1 circuito a S.E. Tesistán	215 km.
Carga bruta máxima	159 m.
Carga bruta mínima	120.6 m.
Carga bruta de diseño	146 m.
Generador de	337 MVA
Potencia de cada unidad	320 MW
Factor de planta medio anual	0.253

### **GALERIA DE OSCILACION**

Volumen de excavación	800,00 m <sup>3</sup>
Excavación de cavernas	130,000 m <sup>3</sup>
Dimensiones de la caverna	
Largo	134m.
Ancho	25 m.
Altura	47 m.

### **TUNEL DE DESFOGUE de Casa de Máquinas**

Longitud	336 m.
Dimensiones	16 x 16 m.
Sección	Portal

### **OBRA DE EXCEDENCIAS**

Gasto máximo de la avenida de diseño	17,482 m <sup>3</sup> /seg.
Volumen de la avenida	6,966 mill. m <sup>3</sup>
Gasto de diseño de descarga	14,900 m <sup>3</sup> /seg.
Elevación de la cresta	210 msnm.
Número de compuertas	6
Dimensiones	10.2 x 16.8 m.
Canales de descarga (2)	A cielo abierto en roca
Volumen total de la excavación	4,900,000 m <sup>3</sup>

### **VASO DE ALMACENAMIENTO**

Capacidad del vaso al NAME (232 msnm.)	6,950 mill. m <sup>3</sup>
Capacidad del vaso al NAMO (220 msnm.)	5,540 mill. m <sup>3</sup>
Área del embalse del NAME	12,800 has.
Longitud sobre el Río Santiago	50 km.
Longitud sobre el Río Huaynamota	20 km.

# 4

## ***CONSTRUCCIÓN DE LA CARA DE CONCRETO***



La ejecución de las obras se ha confiado al grupo **ICA** (Ingenieros Civiles Asociados) con sede en México capital. La Coordinadora Ejecutiva de Occidente de la Comisión Federal de Electricidad, a través de la superintendencia en el sitio, realizan las actividades de supervisión y control de obra.

En virtud de que Tepic, la ciudad capital del Estado de Nayarit, se encuentra a sólo 52 km. del sitio de las obras, se instalaron en dicho lugar las oficinas administrativas, en tanto que las técnicas quedaron en las inmediaciones del mismo lugar de las obras.

Las fechas más importantes dentro del cronograma de construcción se han ido ajustando constantemente, lo que no permite hacer una relación precisa de fechas entre los inicios de cada obra. El arreglo general del desarrollo de las obras y las fechas originalmente planeadas son las siguientes:

Inicio de las obras de infraestructura (enero 1989), inicio de la obra de desvío (Mayo 1989), inicio de las obras de contención (Agosto de 1990), Desvío total del río (Febrero 1991), Inicio de Fabricación de Turbinas (Mayo 1991), Inicio fabricación de generadores (Agosto de 1991), Inicio de obras de generación (Agosto 1990), inicio obras de excedencias (Mayo 1991), cierre final de los túneles de desvío (Junio de 1994), Sincronización de la primera unidad generadora (Noviembre de 1994).

Con las obras de infraestructura, se dan solución a los requerimientos de comunicación y simultaneidad de las distintas obras principales.

El camino de acceso al sitio se ubica en la margen izquierda y se une al de la margen derecha, con un puente ubicado 3 km. aguas abajo de las obras. El camino de la margen derecha, es el acceso principal a los bancos de aluvión y permite efectuar las excavaciones de la Obra de Toma, Casa de Máquinas y Subestación; el de la margen izquierda se utiliza para la excavación del vertedor. Ambos caminos, permiten llevar los materiales producto de las excavaciones y bancos al cuerpo de la cortina; además serán aprovechados durante la operación de la Presa. El camino de la margen derecha, será para acceso exclusivo a las instalaciones del proyecto.

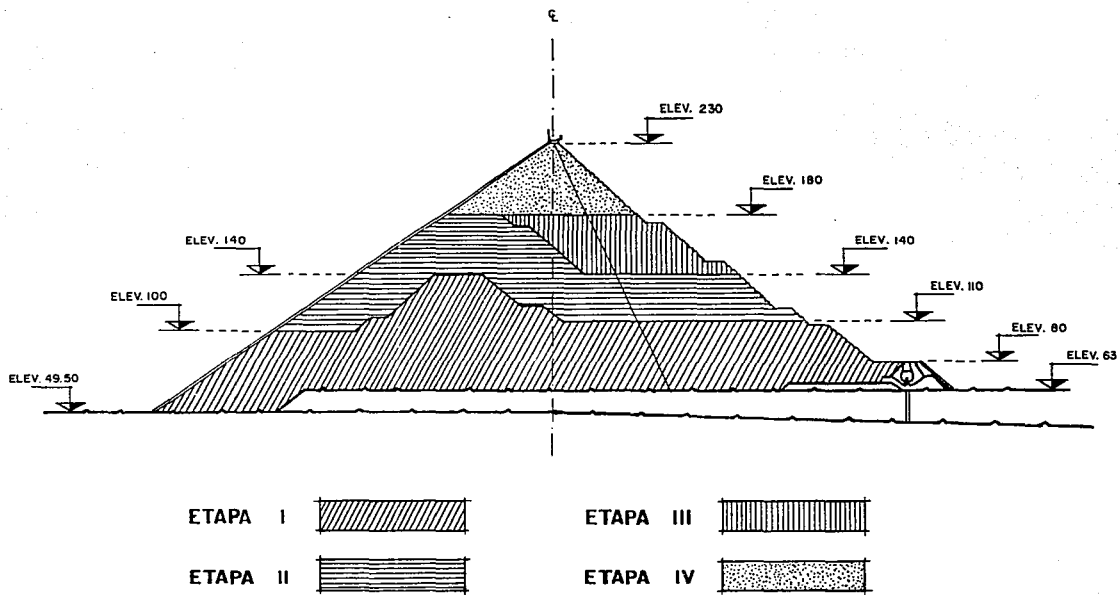
Las condiciones hidrológicas del lugar impusieron la necesidad de construir la presa en varias etapas, con el objetivo de proporcionar la mayor seguridad posible contra períodos de grandes avenidas. Estas condiciones, determinaron aplicar la siguiente estrategia constructiva:

- Adelantar la excavación del plinto antes de la limpieza del cauce, exceptuando los tramos inferiores para garantizar desplantarlos en roca firme.
- Iniciar la colocación de materiales simultáneamente con la extracción del material de excavación del plinto y del lecho del río.
- Crear un sistema de rampas y accesos que facilitarán la colocación de materiales y concreto en cualquier época.
- Utilizar el material proveniente de las excavaciones de las estructuras y de los bancos de grava en forma directa, eliminando en lo posible la necesidad de acopios, especialmente para los enrocamientos.
- Proporcionar una infraestructura de apoyo (plantas, bandas transportadoras y acopios de gravas) que faciliten la colocación futura de materiales dentro de la cortina de la presa.

### **Etapas de construcción**

La figura 4.1 esquematiza las cuatro etapas constructivas de la cortina de la presa, definidas por el avance según las elevaciones sobre el nivel del mar.

fig. 4.1

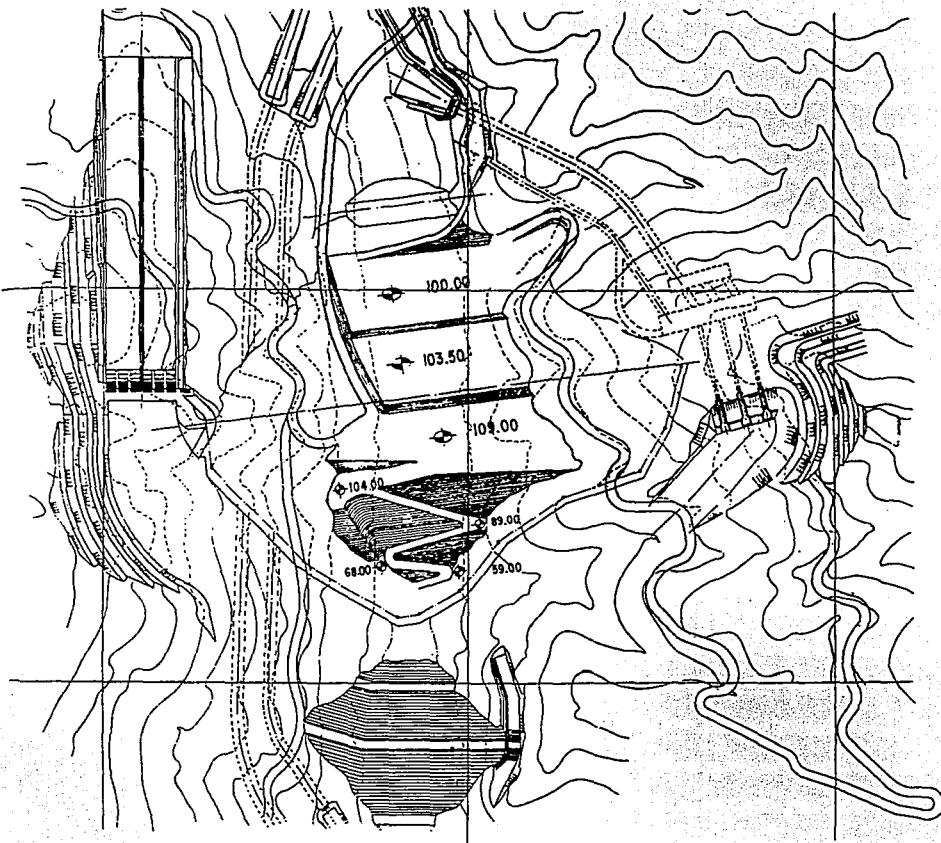


**ETAPA I**  
**Agosto 1990 - Julio 1991**

- ° Excavación del plinto y construcción del mismo hasta la cota 110, colocando todos los materiales, de aguas arriba hasta la misma elevación.
- ° Dejar una plataforma (elevación 100) de trabajo para la construcción de losas de arranque y principales.
- ° Subir la presa con materiales aluviales y enrocamiento hasta la elevación 140, dando una protección contra avenidas de hasta 350 años de retorno (plantas 4.2, 4.3, 4.4).
- ° Construcción de Losas de Arranque, plinto y concreto en losas. (elevación 51-98)

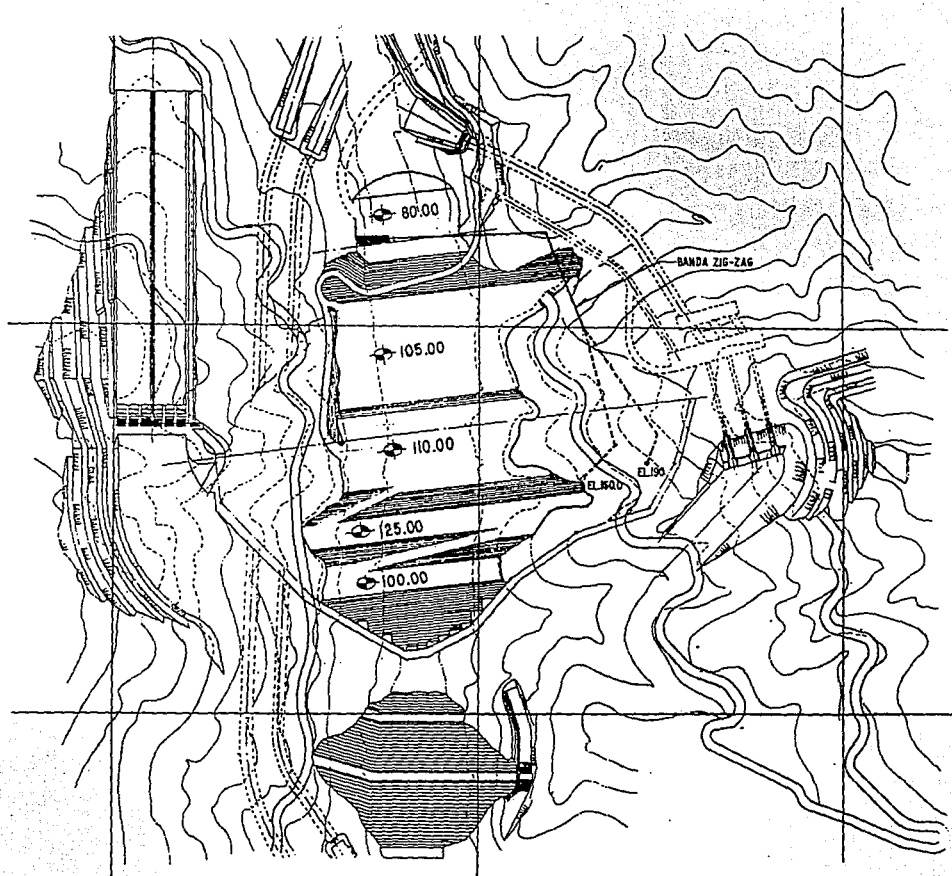
ETAPA I

planta 4.2



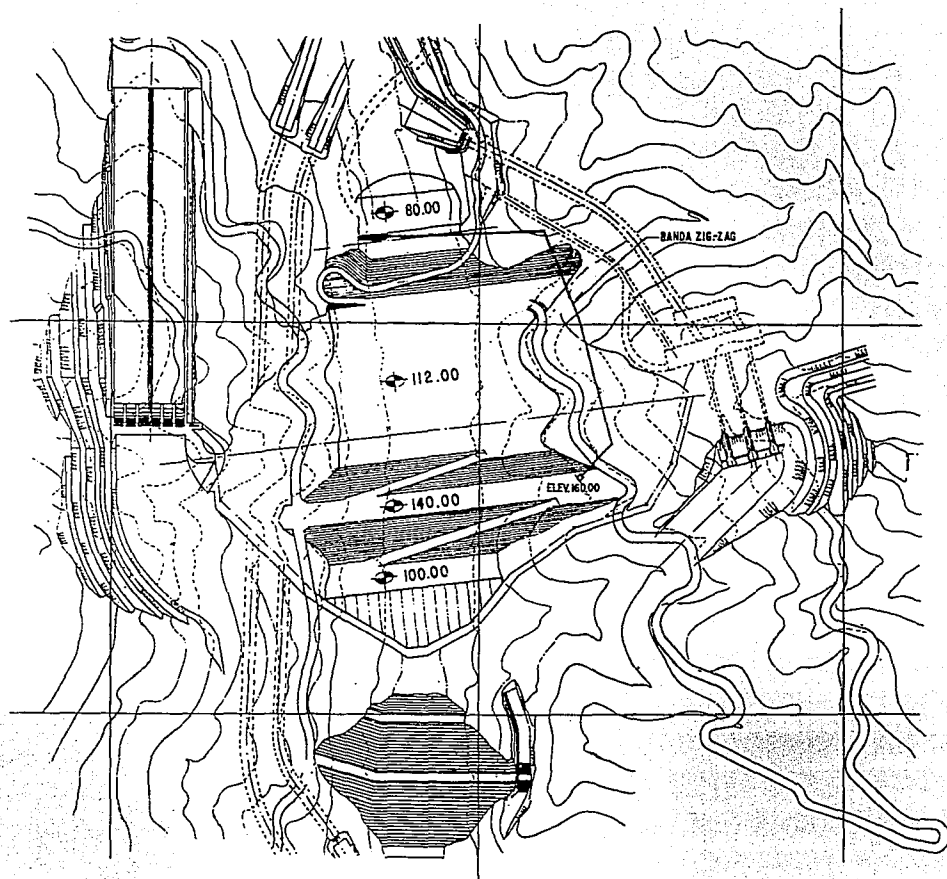
ETAPA I

planta 4.3



ETAPA I

planta 4.4



**ETAPA II**  
**Agosto 1991 - Abril 1992**

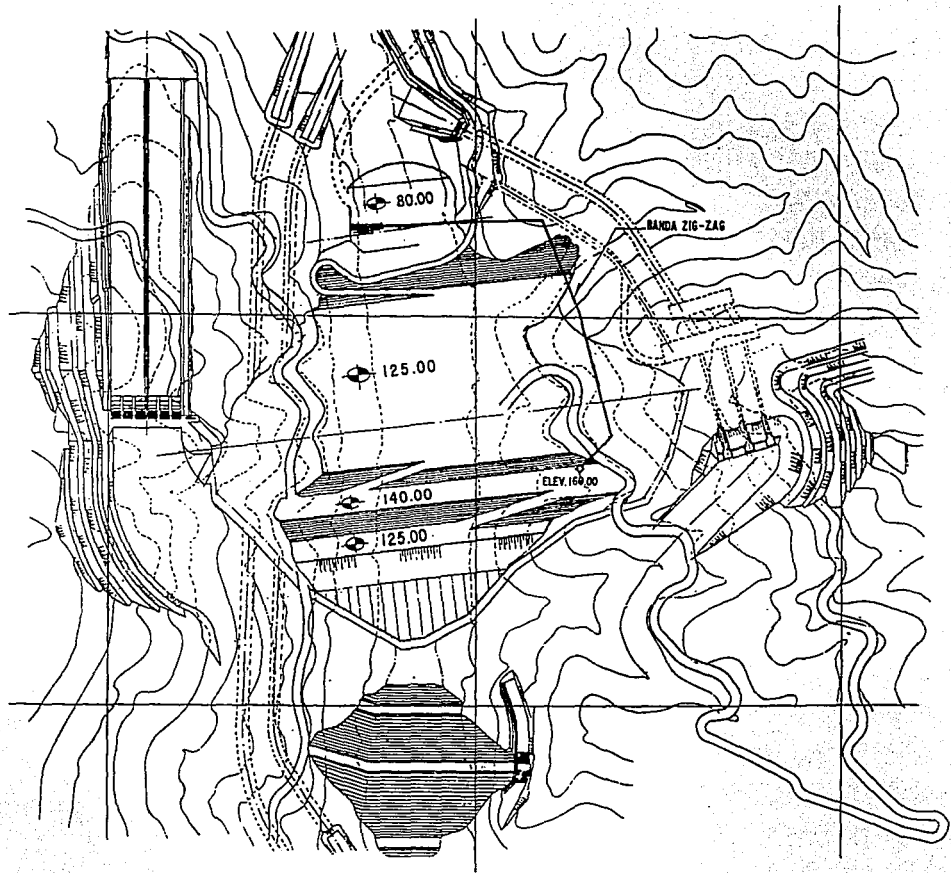
- ° Subir la presa hasta la cota 180, en la zona de aguas arriba, colocando simultáneamente materiales aguas abajo, utilizando directamente material procedente de las excavaciones de las estructuras (plantas 4.5, 4.6, 4.7)
- ° Construcción de fosas de arranque y plinto, según avance en la elevación.

Cabe mencionar que esta etapa, se vio afectada por las avenidas no pronosticadas en el mes de Enero de 1992 y que causaron inundaciones en la planicie costera. Dichas avenidas provocaron daños a la cortina en la base de las losas deslizantes principales, arriba de la elevación 94, destruyendo gran parte de las preparaciones en las juntas que recibirán las losas deslizantes de la siguiente etapa.



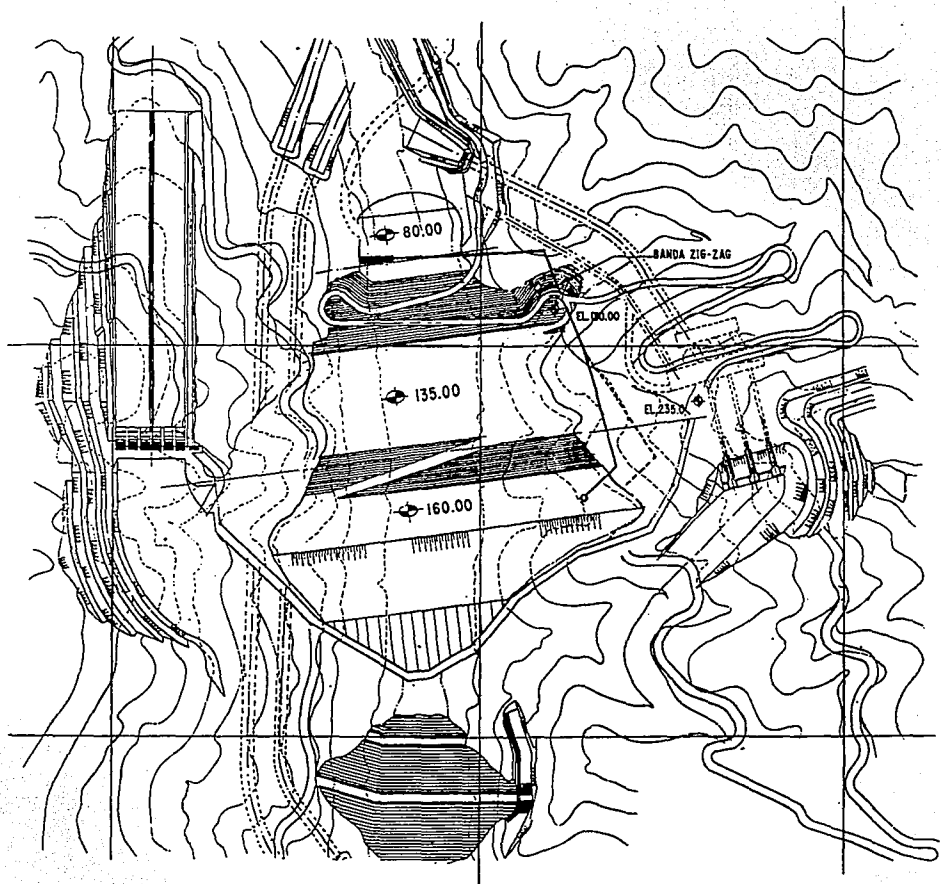
ETAPA II

planta 4.5



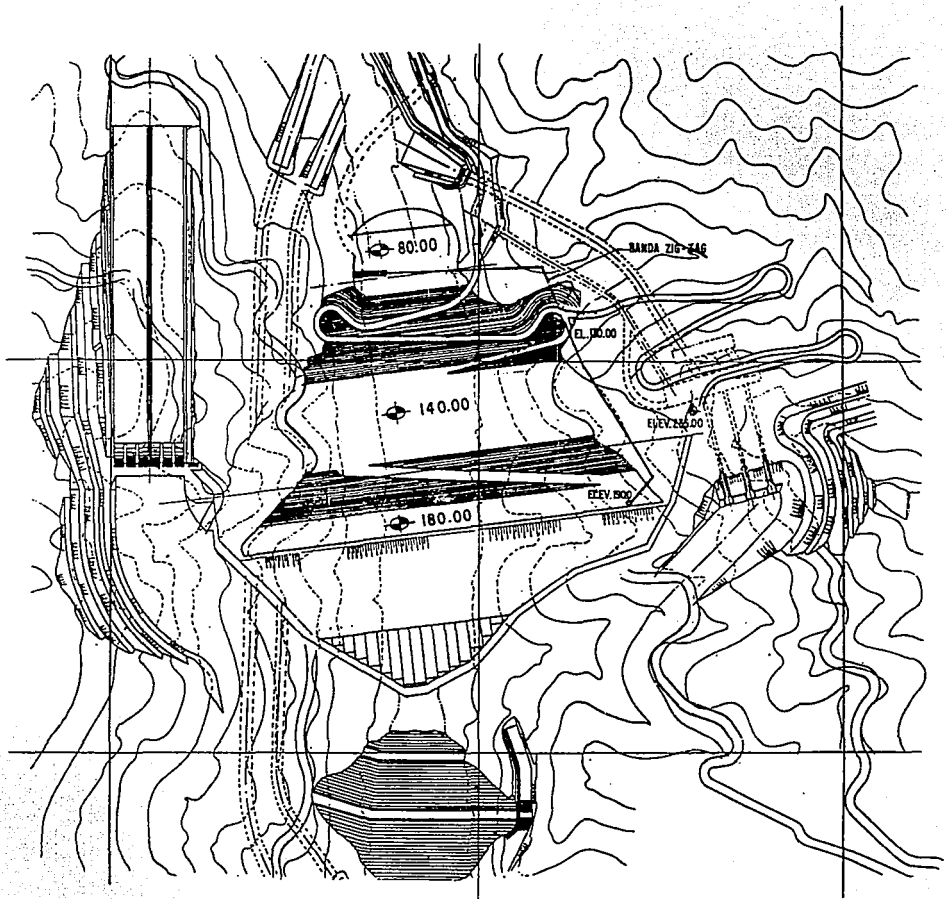
ETAPA II

planta 4.6



ETAPA II

planta 4.7



**ETAPA III**  
**Mayo 1992 - Marzo 1993**

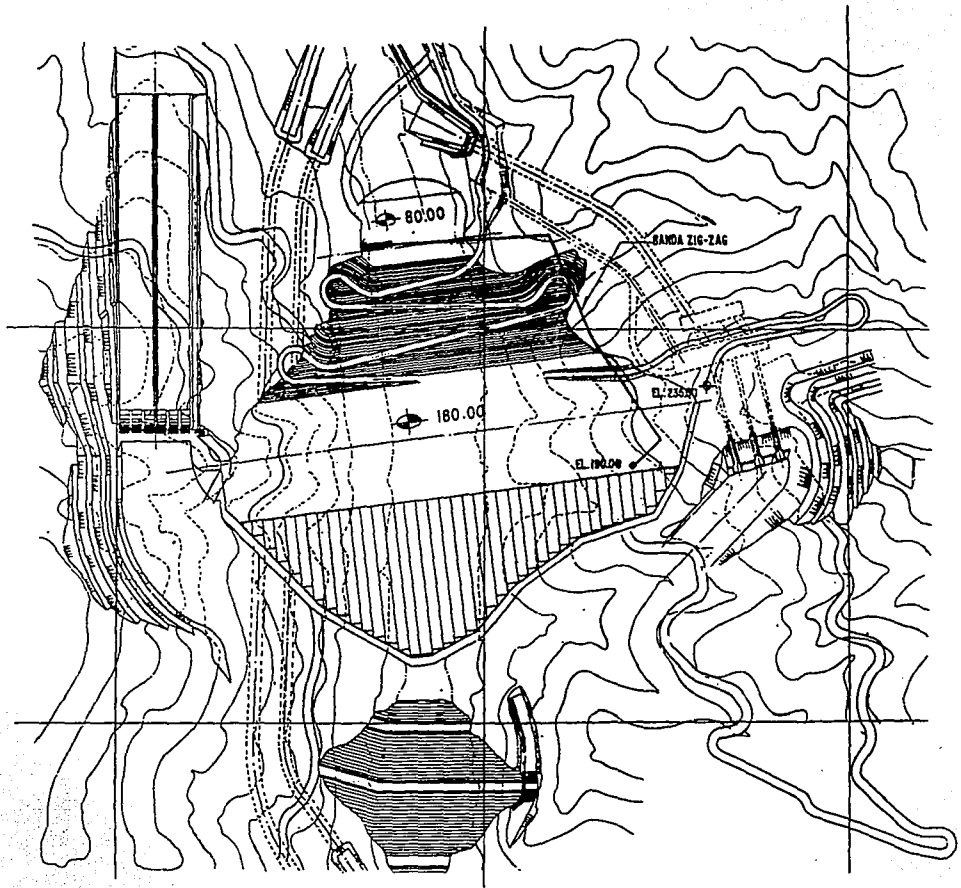
Construcción de la losa principal entre las elevaciones 98 - 178, nivelando simultáneamente la presa hasta la misma cota. (planta 4.8)

**ETAPA IV**  
**Abril 1993 - Febrero 1995**

- ° Colocación de aluvión y enrocamiento a la elevación 228
- ° Construcción de la losa entre las cotas 178 y 230, construcción de parapetos y rellenos finales de la cresta.

ETAPA III

planta 4.8



## ***Producción y colocación de materiales de la Presa***

---

La ejecución de los rellenos obedece a una estrategia constructiva, íntimamente ligada a las etapas de ejecución de la presa.

### **Grava - Arena**

Inicialmente, la grava-arena procedente de los bancos, fue extraída directamente por medio de cargadores TEREX 90-C de 6.4 m<sup>3</sup> de capacidad, cargando unidades de 30 ton. tipo tractocamión KENWORTH, para ser transportadas al sitio de la presa.

El material debajo del nivel freático, ha sido extraído utilizando retroexcavadoras O&K modelo RH-40, cargando las mismas unidades indicadas en el párrafo anterior.

Este material se almacena en áreas próximas al banco, permitiendo su drenaje. Posteriormente es cargado en los cargadores TEREX y transportado a la presa. Adicionalmente, esta operación ha sido complementada por extracción y transporte de equipo menor, colocando el material directamente en la presa.

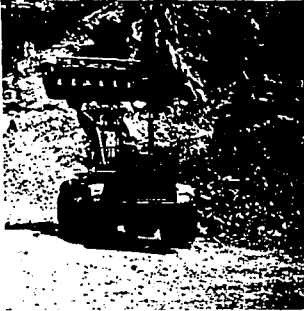
Posteriormente se ha planeado la utilización de bandas transportadoras, tal como se describirá mas adelante. Los equipos utilizados son los siguientes:

- 4 Retroexcavadoras RH-40 de 5.0 m<sup>3</sup>.
- 4 Cargadores TEREX 90-C de 6.4 m<sup>3</sup>.
- 10 Vagonetas TEREX B-70 de 70 ton. (35.9 m<sup>3</sup>)
- 2 Cargadores 966 de 3.5 m<sup>3</sup>.
- 50 Tractocamiones KENWORTH de 30 ton.
- 40 Camiones de 10 ton.
- 1 Tractor D8N.

La distancia media de transporte, fue de 8 km. para la primera etapa de construcción.



## Producción y colocación de materiales de la Presa



### Enrocamiento

El enrocamiento proviene esencialmente, de las excavaciones de las estructuras de Toma y Vertedor; las excavaciones subterráneas (Casa de Máquinas) producen un enrocamiento más fragmentado que se utiliza en la zona T de transición inmediatamente aguas abajo de la Presa.

Para las excavaciones a cielo abierto, se emplean perforadoras de oruga tipo Ingersoll Rand CM-350, adaptadas con perforadora tipo VL 140 y martillo de fondo. El material se carga utilizando cargadores TEREX 90-C y palas hidráulicas O&K RH-30 y transportando el material en camiones fuera de carrera TEREX 3307 (44 ton.) CAT 773 (50 ton.) y EUCLID R50. Durante las etapas iniciales en que no habían sido desarrollados los frentes de trabajo, fueron utilizadas pedreras cercanas con equipo similar.

La producción actual es de 300,000 m<sup>3</sup>/mes, de los cuales se aprovecha el 50% por encontrarse material interemperizado en el Vertedor, en el futuro será posible aprovechar la totalidad de la producción.

La distancia media de transporte es de 3 km. aproximadamente. El equipo utilizado es el siguiente:

- 2 Tractores D8N.
- 2 Palas hidráulicas O&K RH30D 4.5 m<sup>3</sup>.
- 3 Cargadores TEREX 90-C 6.4 m<sup>3</sup>.
- 12 Camiones fuera de carretera CAT 773 50 ton.
- 10 Camiones fuera de carretera TEREX 3307 44 ton.
- 4 Camiones fuera de carretera EUCLID R-50 50 ton.
- 20 Track Drill VL 140
- 6 Track Drill Martillo de fondo.

En la presa se dispone de tractores CAT D8N para esparcir el enrocamiento y topadores CAT 824C para distribución de gravas. El material es compactado por máquinas Ingresol Rand SP-60, vibratorio de 10 ton.



### **Materiales 2 y 2F**

Para los materiales 2 y 2F, se utiliza una motoconformadora CAT 140 y un compactador Ingersoll Rand SP-60 para la compactación horizontal.

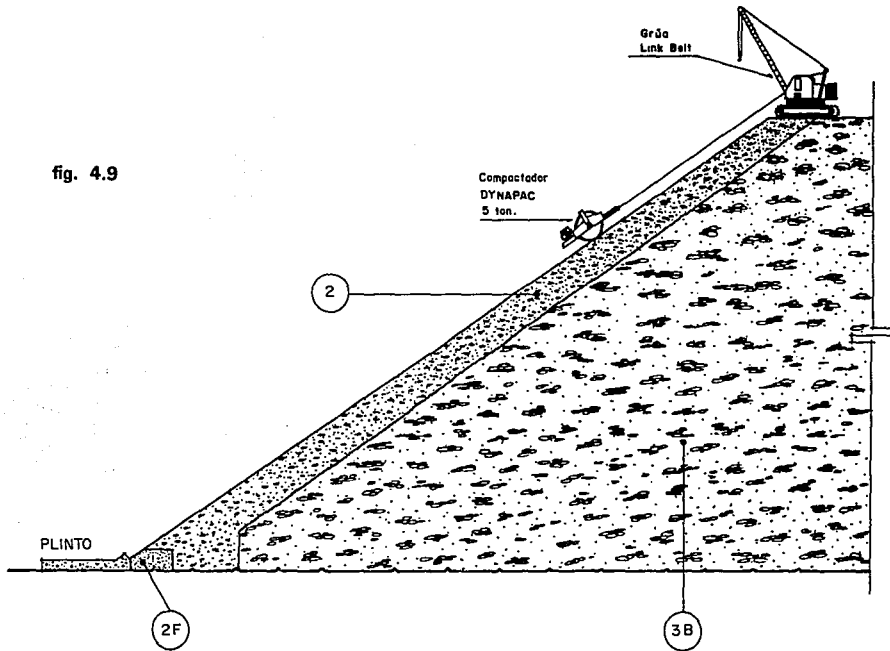
Para la preparación del material 2, en la dirección del talud, se usa una afinadora tipo GRADALL G-600 con cucharón de 60" calibrado por medio de rayo laser. La compactación en el sentido del talud se da con el compactador DYNAPAC CH-44 de 5 ton. accionado por una grúa tipo LINK BELT LS-11B, como se muestra en el esquema. fig. 4.9

Para la colocación de los materiales de aluvión a elevaciones superiores a la 100, se usa un sistema de banda transportadora en la margen derecha, que subirá el material desde un túnel de recuperación ubicado sobre la atagüa de aguas abajo a la elevación 80 hasta una tolva reubicable entre las elevaciones 130 y 190. Desde esta tolva se distribuyen los materiales en camiones TEREX R-35. La capacidad de la banda transportadora es de 2000 ton/hr.



**PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN  
DE MATERIALES 2 y 2F**

fig. 4.9



El diseño del Plinto, sigue conceptos tradicionales en Aguamilpa, en lo que se refiere al ancho respecto a la altura hidroestática del embalse. Esta estructura cumple con la función de recibir y de dar a la estructura, la limitante física en la cual se desarrollaran las losas de arranque y las losas principales.

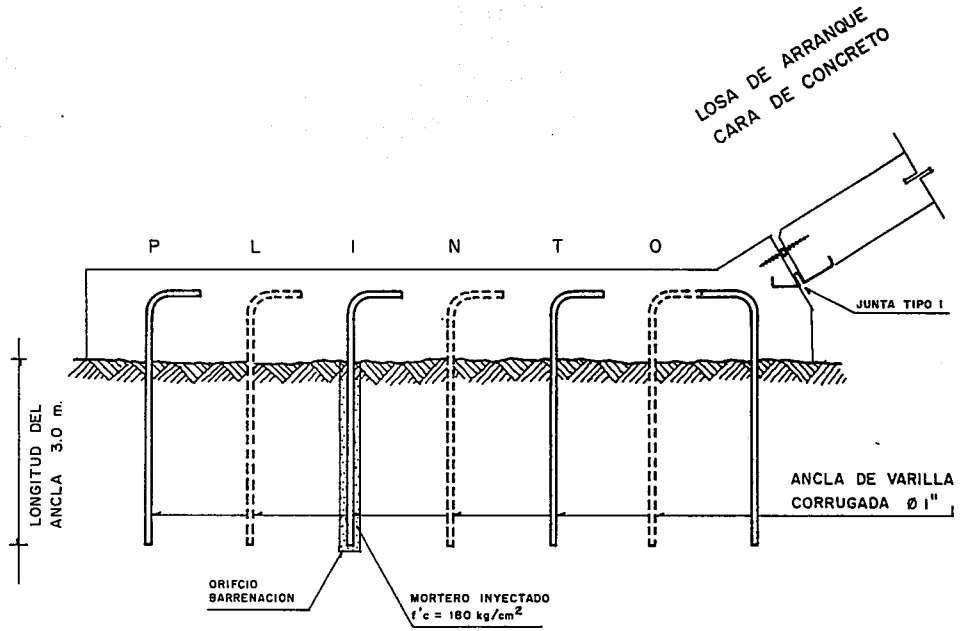
En el lecho del río, fue considerado un ancho de 9.00 m., que corresponde a  $0.05 H$ , siendo  $H$  la altura del embalse, reduciéndose gradualmente en un metro, hasta obtener una dimensión de 5.00 m. en las proximidades de la cresta.

Aunque en otras presas la losa del plinto ha sido fundada sobre una pequeña plantilla de concreto de regulación, en Aguamilpa fue especificado cimentar el plinto directamente sobre la roca, para evitar exceso de sobre - excavación y obtener un plinto monolítico directamente sobre la cimentación.

La siguiente figura (pag. 76) muestra el anclaje del plinto; la losa tiene la misma configuración de las soluciones de las presas Brasileñas y Australianas, teniendo una sección en donde la cota superior de la generatriz perpendicular al eje del trecho esta siempre a un mismo nivel, dando la apariencia de un camino excavado sobre los estribos; además se pueden apreciar las anclas de varilla corrugada de 1", fijadas con barrenación e inyección de concreto en el desplante del plinto.

Un aspecto importante de esta presa, es que las excavaciones en los dos estribos fueron relativamente grandes, por las condiciones topográficas existentes en el lugar y especialmente, por la necesidad de minimizar movimientos diferenciales de la junta perimetral.

# ANCLAJE PLINTO



La excavación del material superficial fue iniciada el mes de mayo de 1990, utilizando tractores CAT D8, cargadores TEREX 90C y camiones para transporte tipo TEREX 3307 y R35.

Una vez efectuada la limpieza de la roca, fueron marcados topográficamente los alineamientos superficiales del corte (ceros) y por medio de perforadoras sobre orugas Ingersoll Rand CM-350, efectuando el precorte con perforaciones a cada 0.70 m. y factores de carga entre 0.3-0.4 kg/m<sup>3</sup>, la excavación alcanzó cortes de profundidad y un volumen de 400 m<sup>3</sup>/m, aproximadamente. Para evitar sobre-excavación se suspendió la perforación 0.20 m antes de la cota de piso final, excavando esta última capa por medio de perforadoras de piso, tipo Gardner Denver S58. El material fue empujado por tractores CAT D8 y cargado con equipos TEREX 90C en camiones fuera de carretera TEREX 3307.

En el lecho del río, fué necesario limpiar hasta roca, el material de aluvión existente en la longitud de aproximadamente 90 m., a partir del plinto.

Esta limpieza y excavación se efectuó con equipo similar al mencionado apoyándose en un sistema de bombeo, que en periodos lluviosos llegó a tener una capacidad de 1500 lts/seg. constituido por bombas FLYGT 2201 y 2205 y de pozo profundo.

Las operaciones de concreto fueron iniciadas una vez que la excavación del plinto alcanzó la cota 100 en ambas márgenes. En el lecho del río fué adoptada una solución de drenaje, utilizando tuberías de diam. = 12", las cuales capturaron la mayor parte del volumen de filtración de la fundación, conduciendolo por debajo del plinto a un sitio de bombeo.



Las cimbras para construcción del plinto construidas de madera, abiertas en su parte superior para alojar los sellos de cobre y P.V.C. son una protección especial. Estos sellos fueron diseñados, como se presenta en la figura 4.10, con la geometría adecuada para colocar posteriormente, la arena asfáltica sobre el material 2F.

La colocación del acero de refuerzo, fue realizada a razón de 5 ton/día, utilizando un índice de 20 hrs-h/ton. El concreto fue bombeado con un equipo SCHWING BPA 2000 con una capacidad de 80 m<sup>3</sup>/hr. La cantidad de cemento fue de 290 kg/m<sup>3</sup>, utilizando escamas de hielo para controlar la temperatura inicial de colocación (18° C) debido a que la temperatura ambiente, alcanza valores del orden de 40° c durante los meses de verano. La resistencia especificada es de 200 kg/cm<sup>2</sup> para 28 días.

Las producciones iniciales fueron de 30m., cada semana (2 vaciados) lo que corresponde a 360 m<sup>3</sup>/semanales.

DETALLE PROTECCIÓN DE SELLOS EN PLINTO

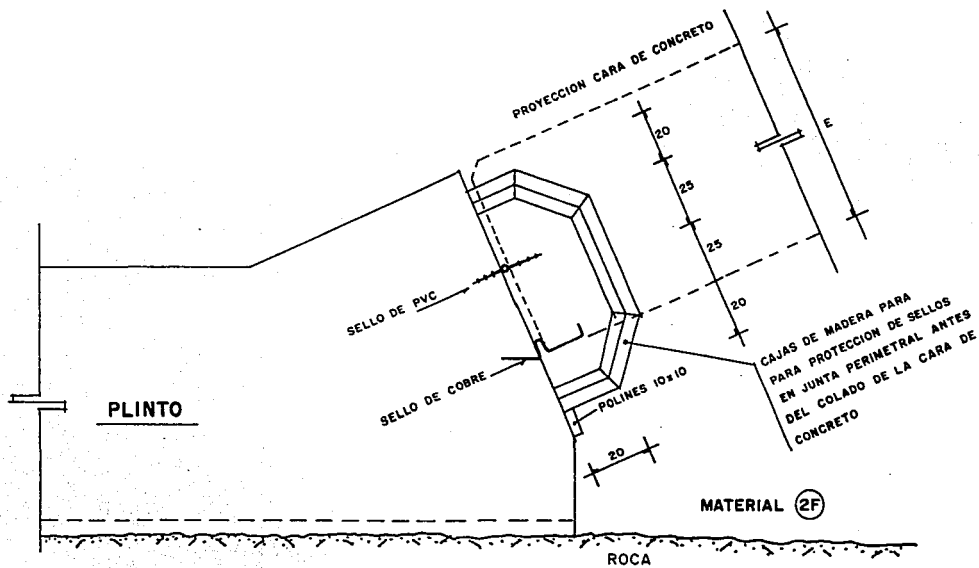


fig. 4.10

ver plano general : Localización de juntas. pag.81

### Comportamiento de las PECC

Todas las cortinas de este tipo se ajustan sensiblemente a un mismo patrón de comportamiento. Al llenarse el embalse por primera vez el agua actúa sobre la cara de concreto y los esfuerzos significativos dentro del cuerpo de la presa se concentran en el respaldo aguas arriba, produciendo asentamientos, que se traducen en movimientos de la membrana impermeable. Este alabeo de la cara genera en ella tensiones y compresiones. Las zonas de tensión se concentran cerca de la junta perimetral y en la cresta, por lo tanto se reflejan en movimientos de dicha junta. Estos serán tanto mayores cuanto más grande sea la deformabilidad del material constitutivo del respaldo de aguas arriba.

Puede afirmarse que la deformabilidad de una cortina de materiales térreos es inversamente proporcional al módulo de deformidad del material y directamente proporcional al cuadrado de la altura de la estructura, (Marsal 1959). Charles y Penman (1988) han propuesto la siguiente expresión para el cálculo del desplazamiento vertical máximo al final de la construcción:

$$s_{\max} = 0.30 (\gamma H^2 / D^*)$$

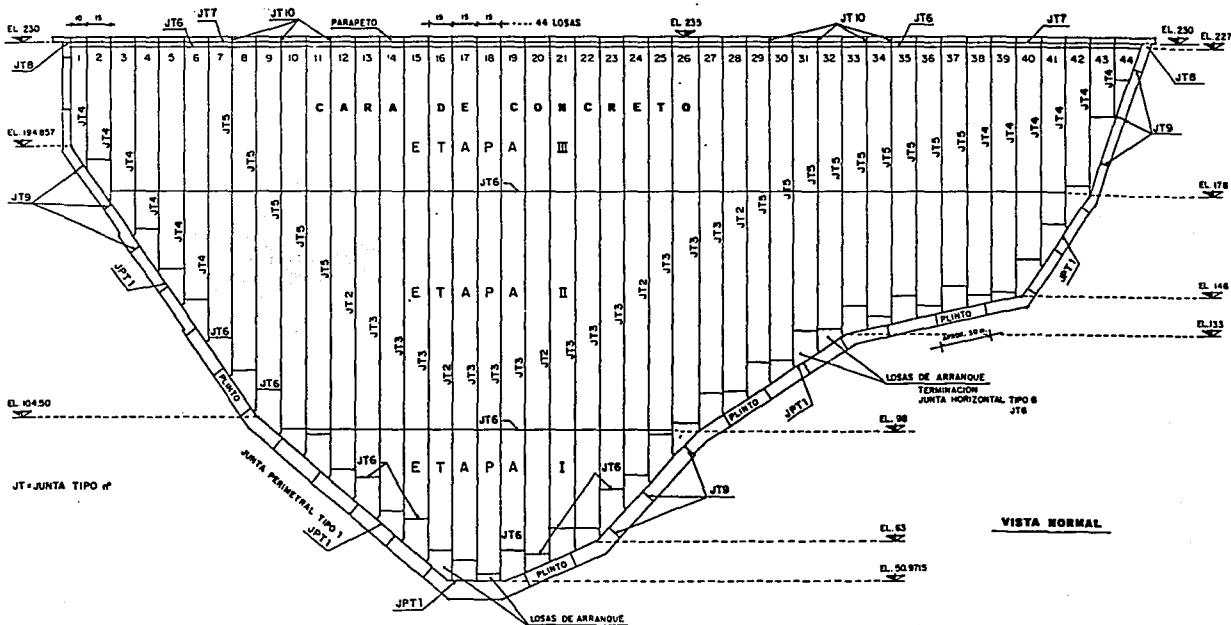
donde

$s_{\max}$	asentamiento máximo
$\gamma$	peso volumétrico del material
H	altura de la presa
$D^*$	módulo de deformación equivalente

Aplicando esta expresión a Aguamilpa (material grava-arena) se encuentra que  $s_{\max} = 0.53$  m. Por otro lado, los estudios del comportamiento de la presa con elementos finitos tridimensionales, Romo y Covarrubias (1989), indican que el asentamiento máximo será de  $s_{\max} = 0.60$  m. al término de la etapa constructiva.

# PLANO GENERAL

# LOCALIZACIÓN JUNTAS TIPO





El material utilizado en Aguamilpa es bien graduado, se compacta en capas de espesor reducido, tiene una relación de vacíos muy baja y posee un alto módulo de deformabilidad, todo lo cual lleva a suponer que la cara de concreto sufrirá deformaciones entre moderadas y reducidas a pesar de ser tan alta la presa.

#### **JUNTA PERIMETRAL**

*(ver figuras paga. 83 y 84)*

#### **Materiales detrás y por encima de la junta**

Por debajo de y en contacto con la cara de concreto, se coloca un material más fino que el del terraplén, usualmente llamado transición. Además, la junta perimetral se apoya sobre una cama de arena asfáltica o de arena-cemento y en las presas más modernas esta cama queda embebida en un material aún más fino que el de transición, colocado sólo en una franja de espesor reducido, en el contacto del talud de aguas arriba con las laderas.

La cama ofrece una superficie bastante lisa para apoyo del sello de cobre y permite que éste se deforme sin romperse; además contribuye a interceptar el paso del agua en caso de que los tres sellos de aguas arriba (cobre, PVC y mastique ó ceniza) fallen. El material de transición fino que envuelve a dicha cama, tiene por objeto crear una zona donde, en caso de que todas las líneas de defensa anteriores fallen, se produzca una pérdida de carga hidráulica importante en su interior y por consiguiente, se minimicen las filtraciones hacia el cuerpo de la presa.

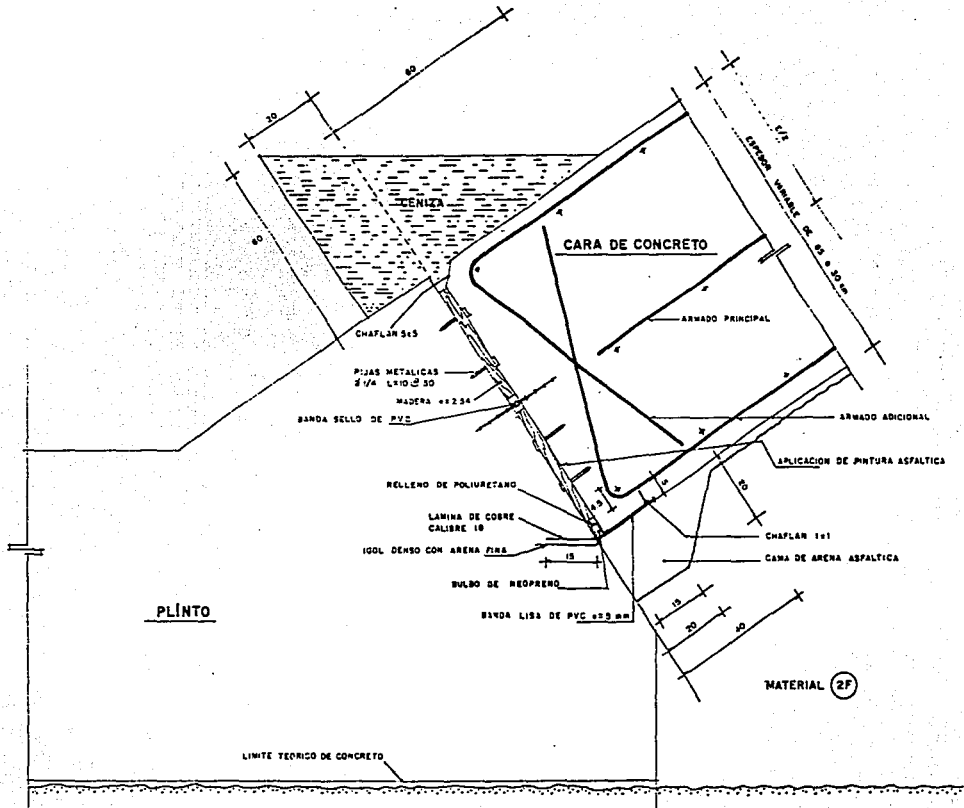
Ante la evidencia de haber controlado filtraciones excesivas a través de la junta perimetral, cubriéndola con suelos finos no cohesivos en presas como Alto Achicayá, Golillas, etc., es práctica común ahora, especificar la inclusión de un material arenoso sobre la junta en la pared baja de la presa. Aguamilpa no es la excepción, pero las pruebas a las que nos referiremos más adelante, llevaron a proponer la colocación de ceniza volante en vez de arena.

#### **Estudios para la junta Perimetral**

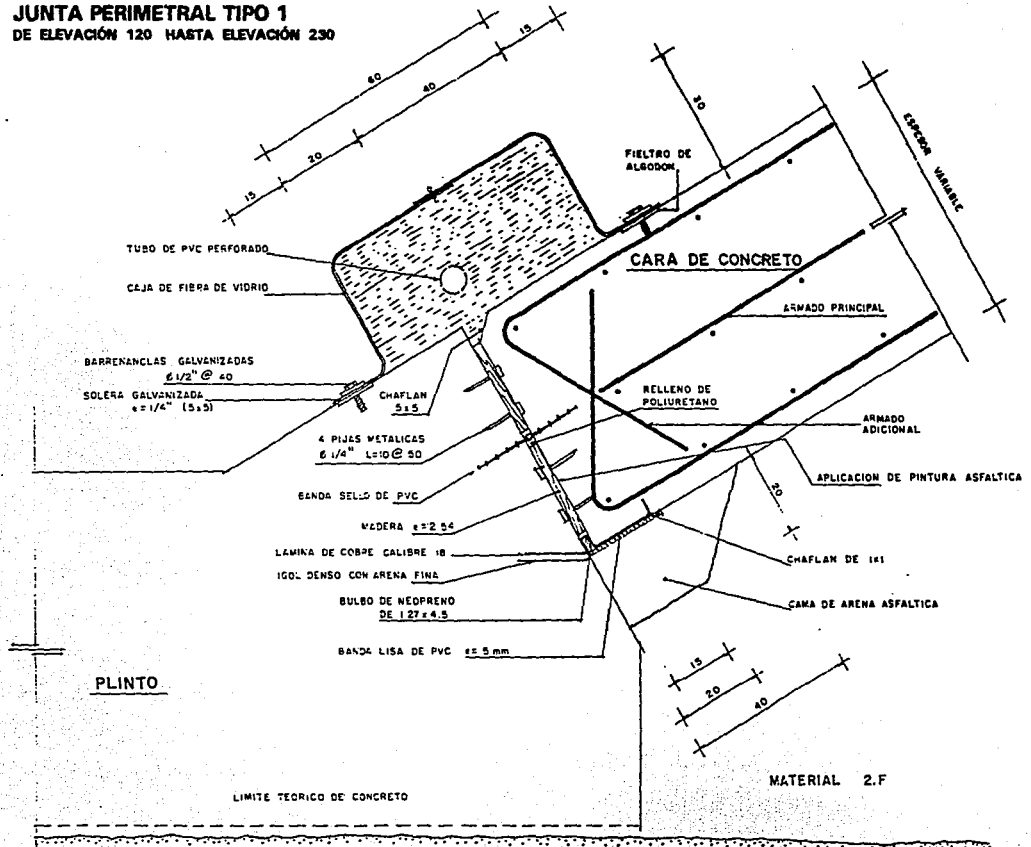
Estos se dividieron básicamente en dos líneas de acción:

- 1) Estudio de los tapajuntas de cobre y de PVC, sometiéndolos simultáneamente a presión hidráulica y deformaciones controladas.
- 2) Análisis del comportamiento de la junta cubierta solamente con un material fino no cohesivo, es decir, sin incluir sellos de PVC ni de cobre, ni la arena asfáltica.

**JUNTA PERIMETRAL TIPO 1**  
**HASTA ELEVACIÓN 120**



**JUNTA PERIMETRAL TIPO 1**  
**DE ELEVACIÓN 120 HASTA ELEVACIÓN 230**



## Resultados

Muchas han sido las opiniones publicadas, acerca del diseño de la junta perimetral de las presas con cara de concreto, pero son pocos los estudios reportados en la literatura, que registran esfuerzos serios por analizar, previamente a la construcción, las juntas empleadas en dichas presas. A raíz de esto, y tomando en cuenta que Aguamilpa será 25 m. más alta que la mayor presa de este tipo actualmente en operación. En la Comisión Federal de Electricidad se decidió emprender un programa de pruebas para evaluar el comportamiento de las bandas de PVC y de cobre por un lado, y la eficiencia de la junta perimetral protegida sólo con material granular fino por el otro.

Los resultados de estos ensayos indican, que tanto el sello de cobre de 1mm. de espesor como el de PVC de 12 mm. que se instalan en Aguamilpa, cumplen con los requerimientos de resistencia y deformabilidad acordes con los máximos movimientos de la junta perimetral esperados. Empero, debe tenerse muy presente que el concreto en el que estos sellos fueron colados para su ensaye fue fabricado en condiciones de máximo control, difícilmente alcanzables en campo durante el colado del plinto y las losas de arranque perimetrales.

Ha quedado constatada, la bondad de la ceniza volante para reducir drásticamente el flujo de agua a través de la junta perimetral, por lo cual el diseño de esta junta para Aguamilpa incluye dicho material, en vez del mastique cubierto con membrana plástica que se ha empleado en las presas altas construidas en la última década.

La concepción desarrollada para Aguamilpa, comparada con Foz do Areia sustituye el mastique ó IGAS que ha sido utilizado en las presas de Anchicaya, Foz do Areia y Salvajina, por una ceniza volante, localizada encima de la junta perimetral. Por recomendación de la junta de consultores, fué adoptado el sistema doble de sellos de PVC localizado en la parte central, y de cobre en la parte inferior de la losa apoyado sobre un relleno de arena-asfalto.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EN LAS JUNTAS

### a) Sello de PVC

- Esfuerzo de fluencia a la tensión 170 kg/cm<sup>2</sup>
- Elongación de ruptura 300 %
- Resistencia a la rasgadura 60 kg/cm<sup>2</sup>
- Dureza 70 unidades

### b) Sello de Cobre

- N° 122-110 laminado en caliente y de temple blando
- Calibre 18

### c) Banda de asiento del cobre

- Banda de cloruro de polivinilo (PVC)
- Materiales opcionales: Membrana de fibras sintéticas con asfaltos de base agua, o banda de hule espuma impregnado con asfalto.

### d) Neopreno

- Banda tipo comercial; dureza: 50 unidades

### e) Cema de arena asfáltica

- Contenido de asfalto 8-12 %
- Fluencia Marshall 15
- Estabilidad 100-115 kg/cm<sup>2</sup>
- Arena La empleada para producción de concreto.

**f) Madera**

- Del tipo duro
- Opciones: Encino blanco, encino roble, chico zapote, cencarro, pucte ó ramón.
- Esfuerzo a compresión a carga perpendicular a la fibra: . 75 kg/cm<sup>2</sup>.
- Módulo de elasticidad superior a 120,000 kg/cm<sup>2</sup>.

**g) Caja de fibra de vidrio, ceniza y ducto de PVC**

- La información de estos materiales se confirmará posteriormente con base en las pruebas que efectúa actualmente la Comisión Federal de Electricidad.



**JUNTAS VERTICALES**

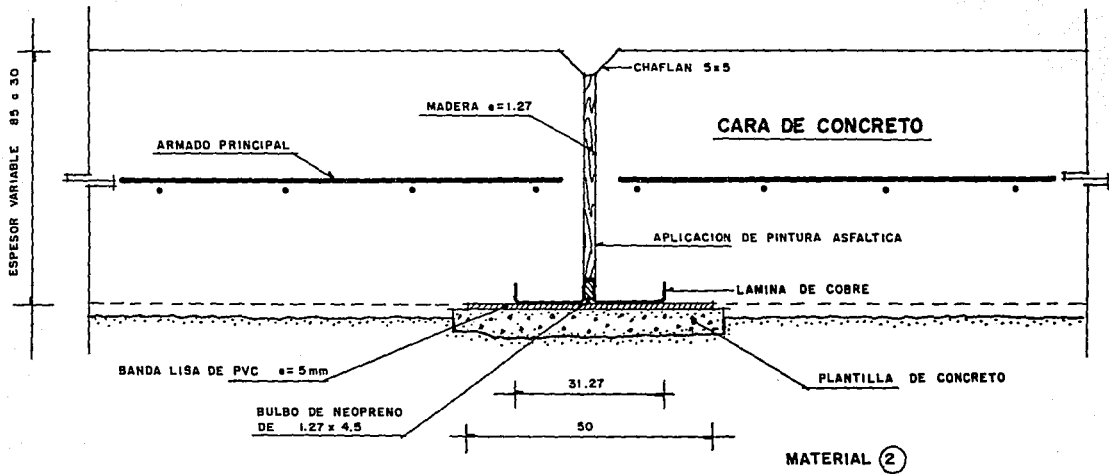
*(ver plano general de juntas. pag. 81)*

*(ver tipos de juntas pags. 89 a 93)*

Hay cuatro tipos de juntas verticales:

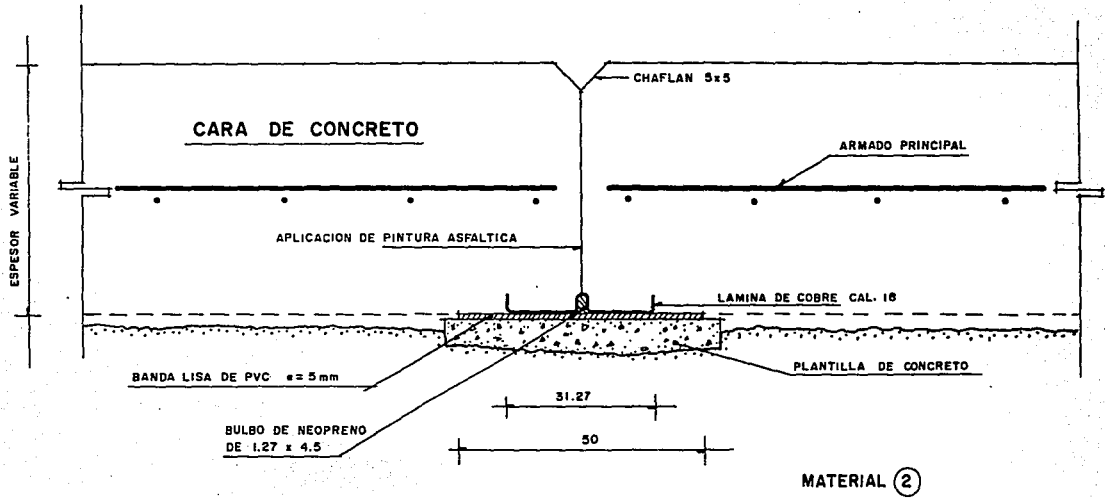
- ° Las juntas centrales, o de compresión, localizadas en la parte central de la cara, conservan el sello de cobre inferior. Estas son en general del tipo 3 y se tienen cinco juntas tipo 2 en esta zona con un relleno de madera para absorber deformaciones térmicas durante la construcción.
- ° Las juntas laterales, próximas a los estribos, conservan los dos sellos y el tratamiento con ceniza volante similar a la junta perimetral.
- ° Las juntas de transición, localizadas entre las laterales y las centrales, en donde se conserva el sello de cobre solamente y el tratamiento con cenizas volantes.

## JUNTA TIPO 2

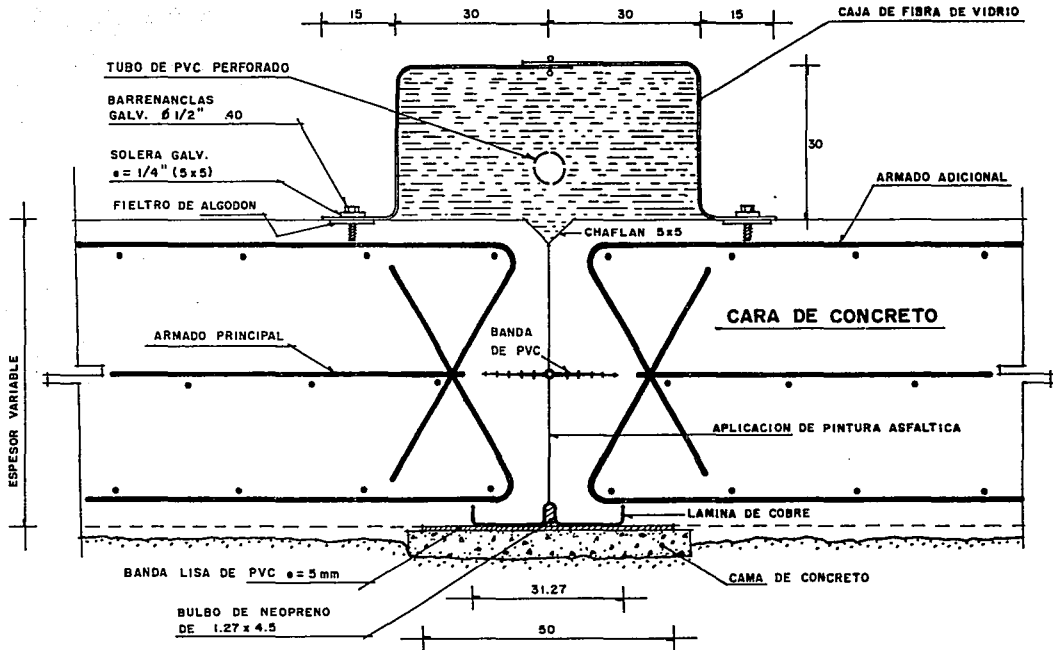




### JUNTA TIPO 3

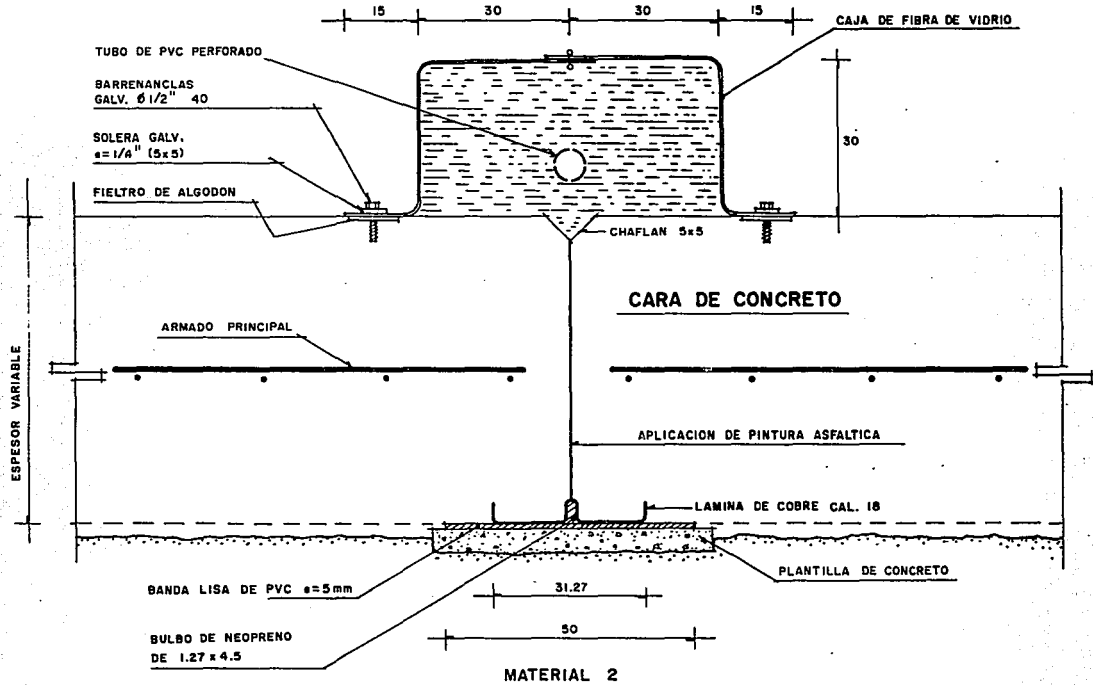


## JUNTA TIPO 4

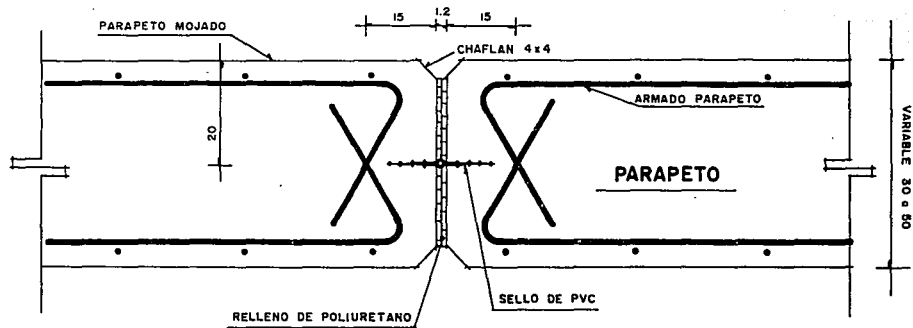


MATERIAL 2

# JUNTA TIPO 5



## JUNTA TIPO 10



### **JUNTAS HORIZONTALES**

*(ver plano general de juntas. pag.81)*

Son las juntas de construcción de los arranques o de las diferentes etapas de la cara de concreto. En estas juntas pasa el acero de refuerzo y se especifica un tratamiento antes de continuar con los colados de concreto.

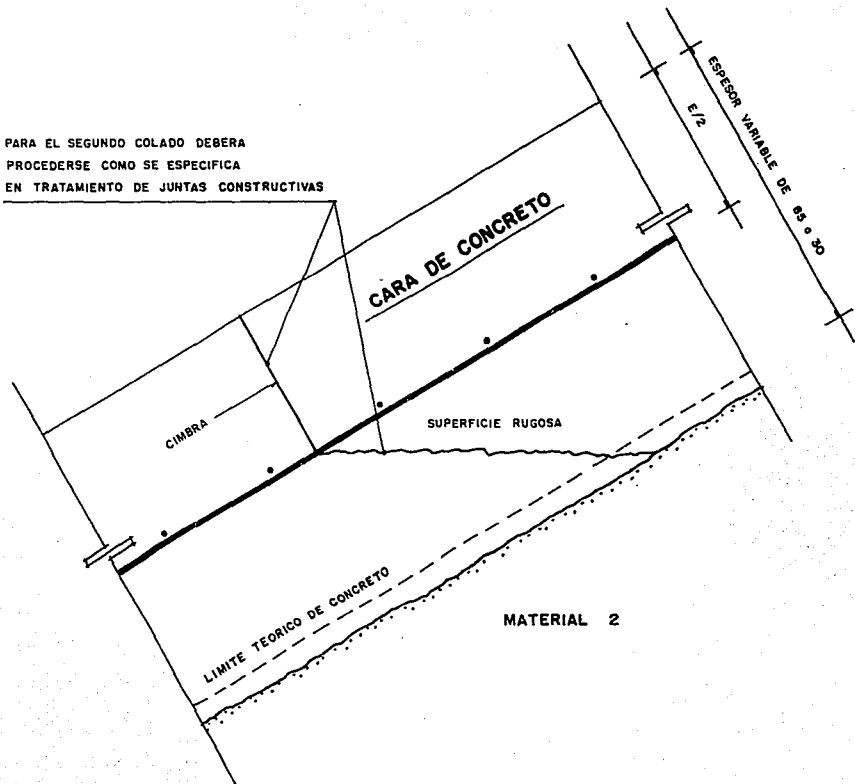
#### **Tratamiento de las juntas constructivas**

- ° Escarificar la superficie del concreto, es decir, retirar la capa de mortero superficial sin afectar los agregados gruesos.
- ° El escarificado se deberá ejecutar preferentemente por medio de chorros de agua y aire al finalizar el fraguado inicial, o bien, con cincel y martillo a las 24 horas del colado.
- ° Proteger con arena húmeda la superficie a tratar
- ° Antes de proceder al segundo colado, se deberá limpiar de todo material residual, ejecutar un segundo escarificado con chorro de agua y aire, más ligero que el primero y mantener húmeda la superficie.

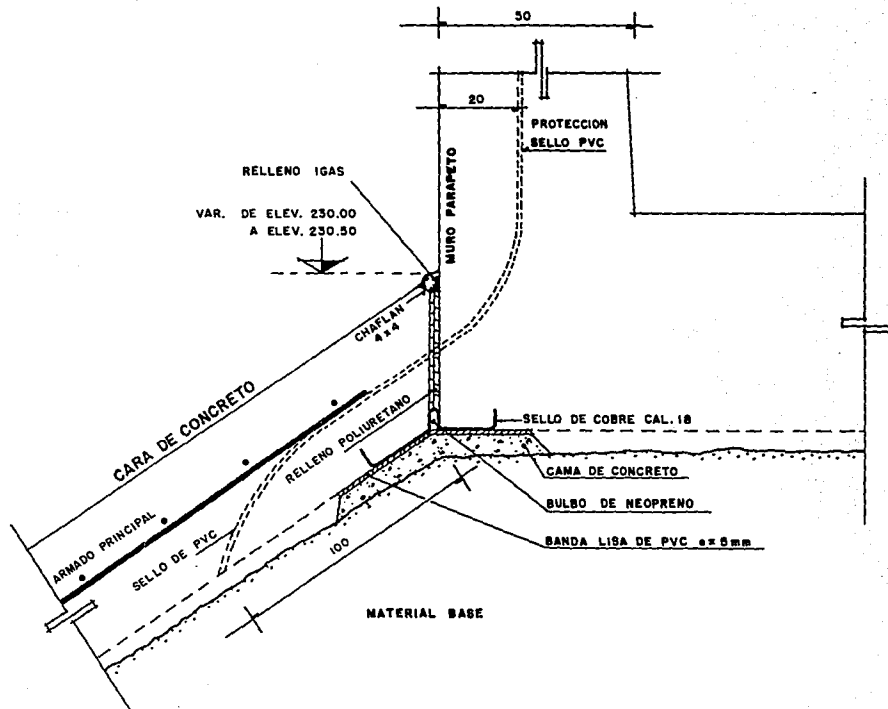
Las siguientes ilustraciones muestran a detalle cada una de las juntas indicadas en el plano general de etapas y tipos de juntas, estando las acotaciones en cms., elevaciones en mts. (ver pags. 95 a 98)

## JUNTA TIPO 6

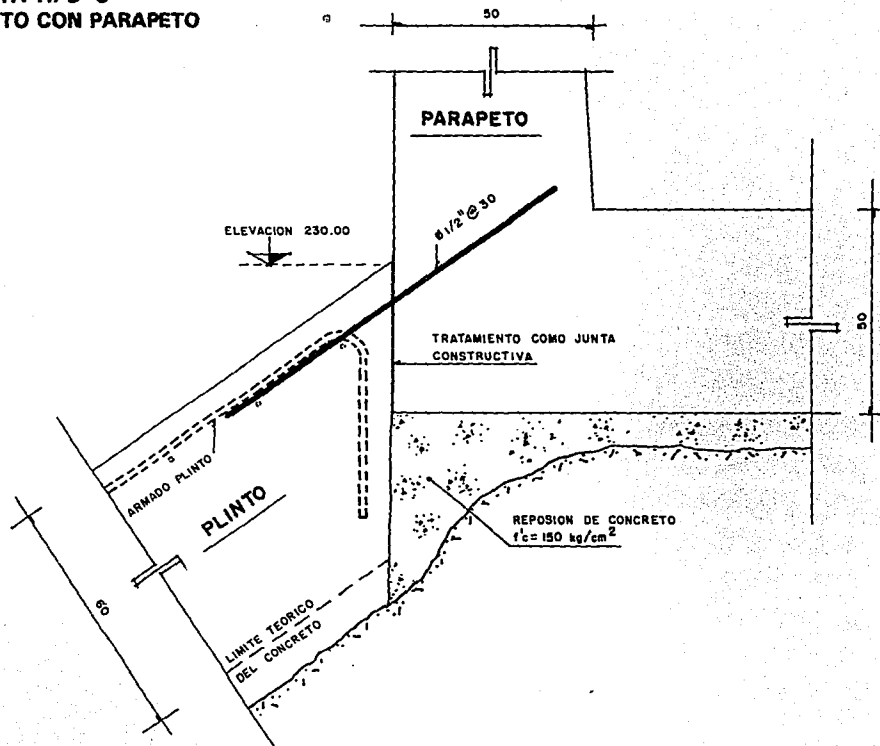
PARA EL SEGUNDO COLADO DEBERA  
PROCEDERSE COMO SE ESPECIFICA  
EN TRATAMIENTO DE JUNTAS CONSTRUCTIVAS



# JUNTA TIPO 7

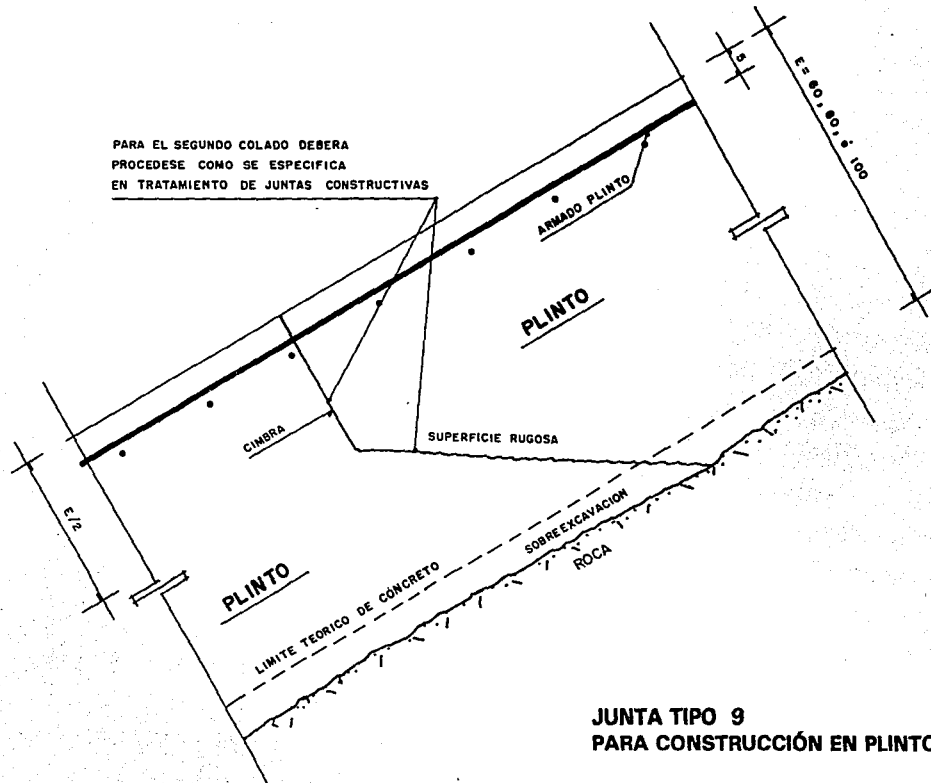


**JUNTA TIPO 8  
PLINTO CON PARAPETO**





PARA EL SEGUNDO COLADO DEBERA  
PROCEDESE COMO SE ESPECIFICA  
EN TRATAMIENTO DE JUNTAS CONSTRUCTIVAS



**JUNTA TIPO 9  
PARA CONSTRUCCIÓN EN PLINTO**

*(ver tabla y plano general de armados, pags. 100 y 101)*

### **Características**

La Cara de Concreto está dividida en losas longitudinales de 15 m. de ancho. El espesor de la losa es variable de 0.85 m. en el fondo del río hasta 0.30 m. a la altura del parapeto, siguiendo la fórmula empírica:

$$T = 0.30 \text{ m.} + k H$$

donde H es la altura de la presa a partir de la cresta, y  $k = 0.002 - 0.003$

Aunque la tendencia moderna es reducir gradualmente el espesor de las losas, se consideró prudente utilizar el valor  $k = 0.003$ , dada la altura de la presa (186.5 m.) que excede en 17% la altura de la mayor estructura construida hasta el momento (Foz do Areia, Brasil 1980).

### **Armado de losas**

Para calcular el refuerzo de la losa, además de los criterios empíricos usualmente utilizados en este tipo de presas, se dió énfasis a la experiencia observada en recientes estructuras, zonificando la losa en áreas de compresión hacia el centro. Consecuentemente, se utilizaron porcentajes de refuerzo que variaron entre 0.5% y 0.3% de la sección de la losa. Esta reducción significó economía apreciable en el diseño.

## ARMADO PRINCIPAL

AL CENTRO DE LA LOSA



### ARMADO TIPO

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I  
J  
K  
L

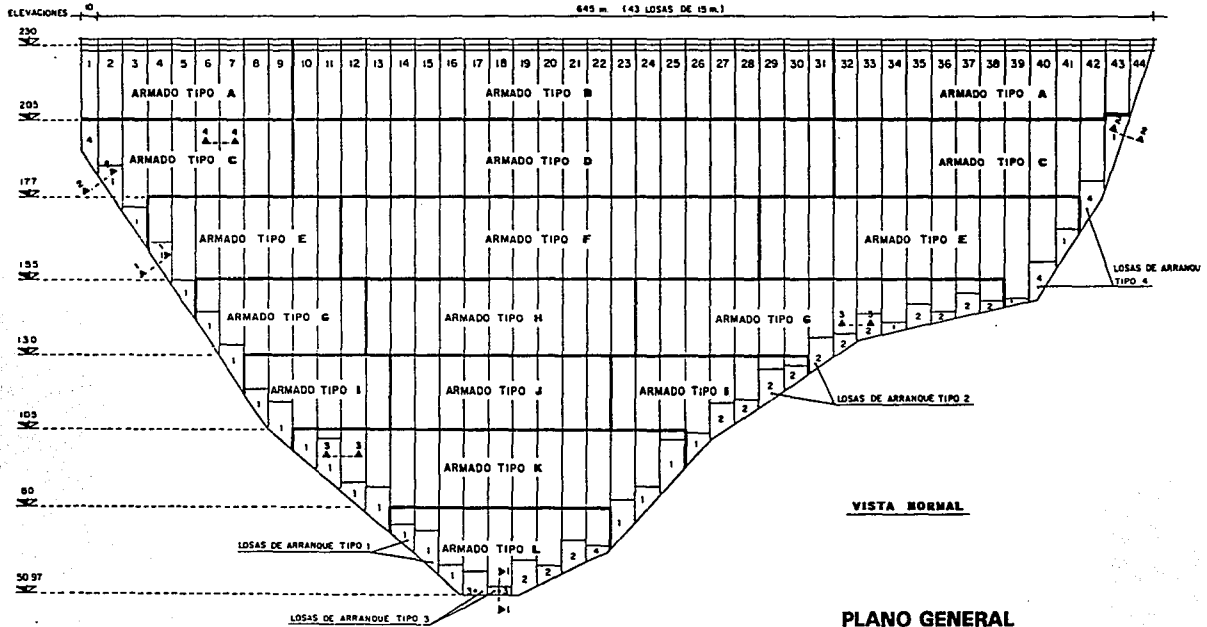
### ARMADO HORIZONTAL

Nº6 @ 15  
Nº6 @ 25  
Nº8 @ 25  
Nº6 @ 20  
Nº8 @ 20  
Nº8 @ 20  
Nº8 @ 30  
Nº8 @ 15  
Nº8 @ 25  
Nº8 @ 25  
Nº10 @ 20  
Nº10 @ 15

### ARMADO POR PENDIENTE

Nº6 @ 25  
Nº6 @ 25  
Nº6 @ 20  
Nº8 @ 20  
Nº8 @ 30  
Nº8 @ 30  
Nº8 @ 30  
Nº8 @ 25  
Nº8 @ 25  
Nº8 @ 25  
Nº8 @ 20  
Nº8 @ 20

# ARMADO DE LA CARA DE CONCRETO



Se nombran Losas de arranque, aquellas que parten del plinto y que a su vez reciben a las losas que conforman la cara de concreto de la presa. Estas losas de arranque sirven como preparación para que funcione el sistema constructivo con la cimbra deslizante, ya que dicha cimbra, para su utilización, requiere de partir de una base horizontal; misma que al construirse la losa de la cara, generará una junta tipo 6 para este caso.

Las losas de arranque se clasifican en 4 tipos según su forma, su ubicación y su armado; como se muestra en los planos de las plantas y cortes (ver pag. 105 a 112).

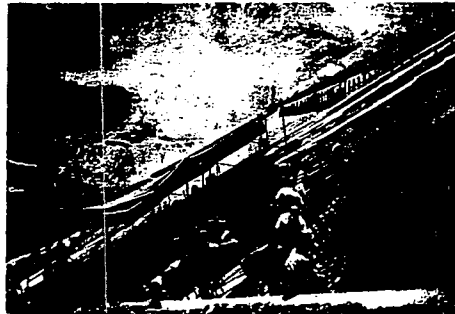
### **Construcción**

Antes de iniciar estas losas, es necesario finalizar el tratamiento del talud con emulsión asfáltica, construyendo sobre ésta, unas guías de mortero en cada junta vertical para apoyar los sellos de cobre y las cimbras laterales. Las cimbras laterales, construidas de madera, son ancladas directamente sobre el talud, mediante varillas y polines que sirven de apoyo para las escuadras y tarimas que soportan el empuje perimetral de las losas de concreto.

El arranque es construido en su ancho completo (15 m.). Debido a la forma de las losas, se ideó un sistema de cimbra superior que nos sirve de guía para conservar el perfil de la pendiente, así como para contener y dar forma al concreto en el colado (ver fig. 4.11). Esta cimbra superior, se sostiene por medio de unos postes de varilla que se soldan al armado principal, los cuales son el apoyo de las varillas-sostén sobre las que se posa la cimbra de contención. Para poder ajustar esta cimbra, se requirió de un sistema a base de varillas en gancho a las que se les solda una tuerca larga en su parte superior, mismas que reciben piezas previamente fabricadas y que en su parte inferior, tiene la cuerda que complementa la tuerca de la improvisada varilla-gancho. La pieza de ajuste superior, una vez que el concreto fresco ha sido afinado y la cimbra superior haya cumplido su función, es removida, aflojando el par de tuercas que hacían que la cimbra conservara su posición, de esta manera se recupera la pieza de ajuste superior y la varilla de gancho inferior se pierde en el colado. Al quitar la cimbra superior o de contención, se retiran también las varillas-sostén que servían de base a la cimbra y se cubre su huella con concreto fresco para continuar con el colado pendiente arriba.

Como parte de los preparativos para el colado de estas losas, se colocan andamios, repartidos en toda la superficie y separados, de modo que faciliten el trabajo sin estorbar. Estos andamios, se apoyan también en una estructura de varillas horizontales que se sustentan en una serie de postes fijados al armado principal. Dicha estructura es aprovechada para soportar la cubierta de lona, indispensable para que el concreto no fragüe rápidamente por efecto del sol y las altas temperaturas de la región, a la vez que es una condición necesaria para que el personal labore en óptimas condiciones.

El concreto fue suministrado en la primera etapa y cuando las condiciones de acceso lo permitan, por medio de bombas tipo SCHEWING, directamente sobre el acero de refuerzo. Conforme las condiciones del terreno en el lugar y la construcción del cuerpo de la cortina avanzaban hacia arriba, el suministro del concreto, es efectuado por camiones con concreto premezclado de 5 m<sup>3</sup> de capacidad, que descargan en tolvas de almacenamiento que alimentan a canalones metálicos articulados y que conducen el concreto hasta su vaciado y colado. Este proceso de suministro y colado de concreto, es igual al utilizado para el deslizado de las losas principales, motivo por el cual, se dará la explicación amplia y esquemática del mismo, más adelante.



# SISTEMA DE CIMBRADO SUPERIOR EN LOSAS DE ARRANQUE

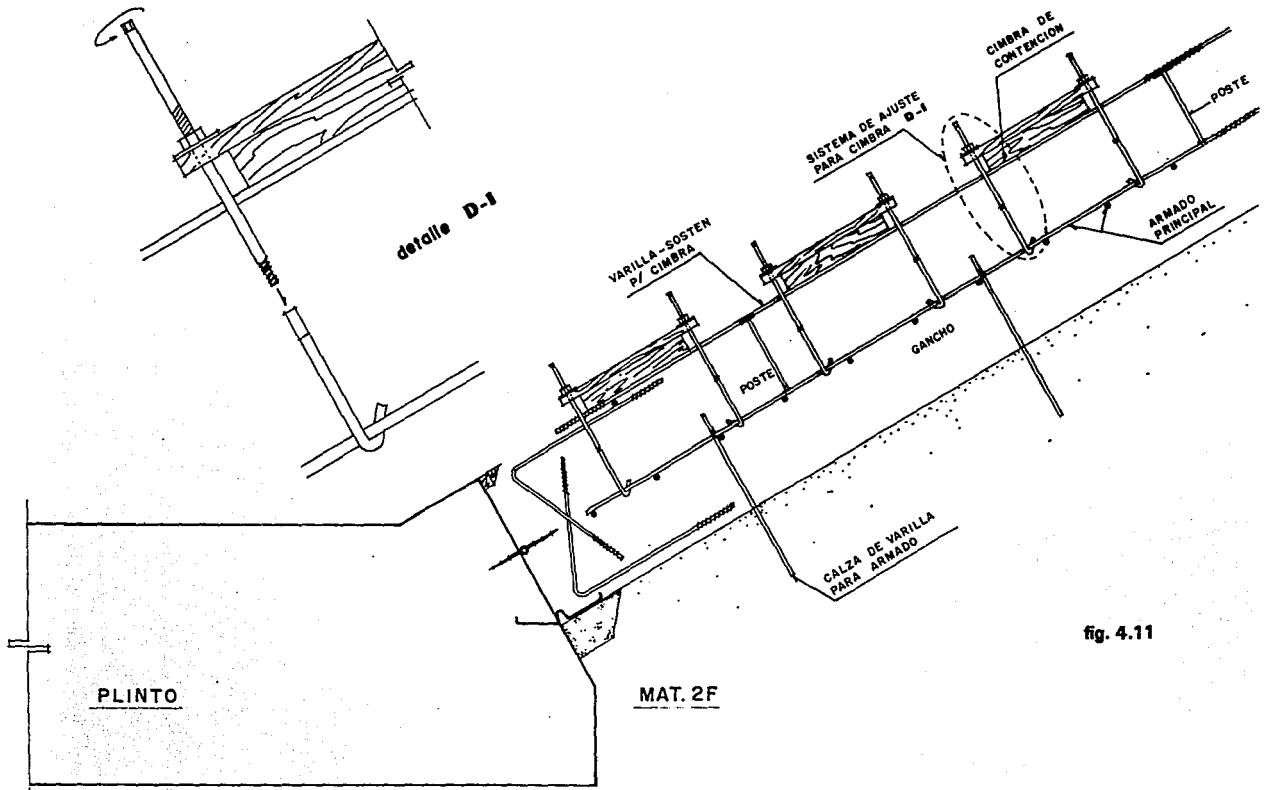
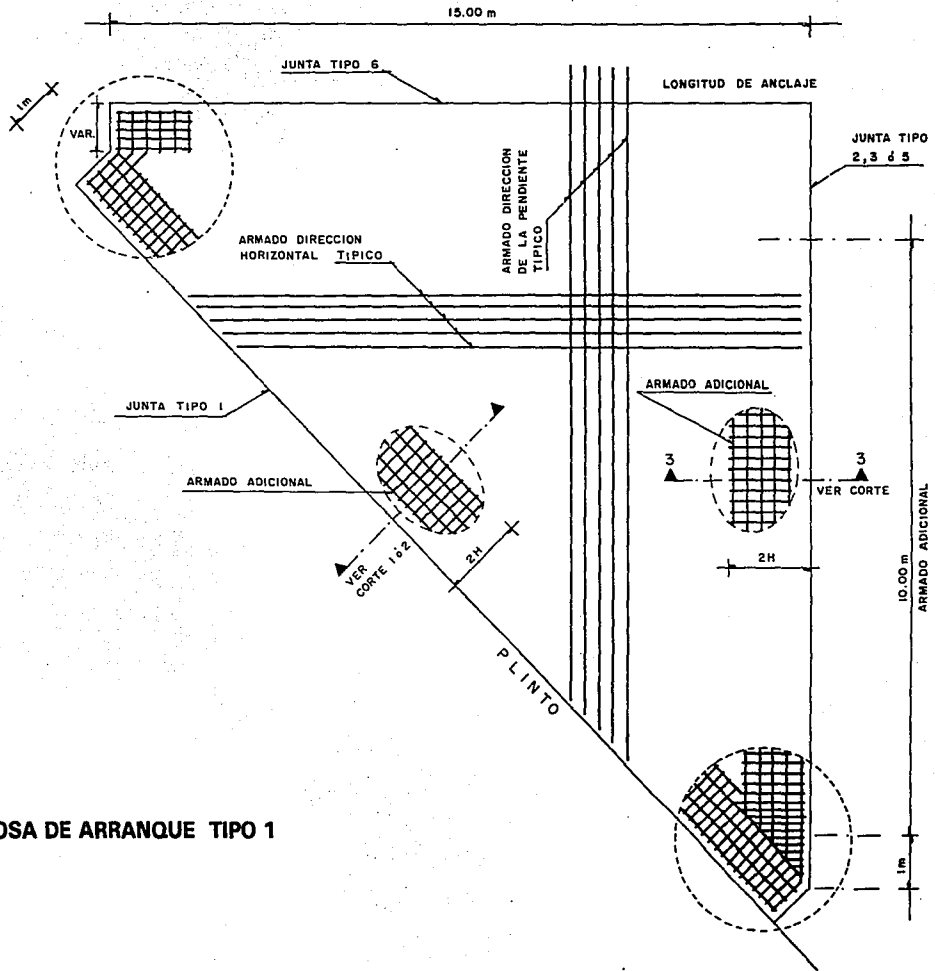
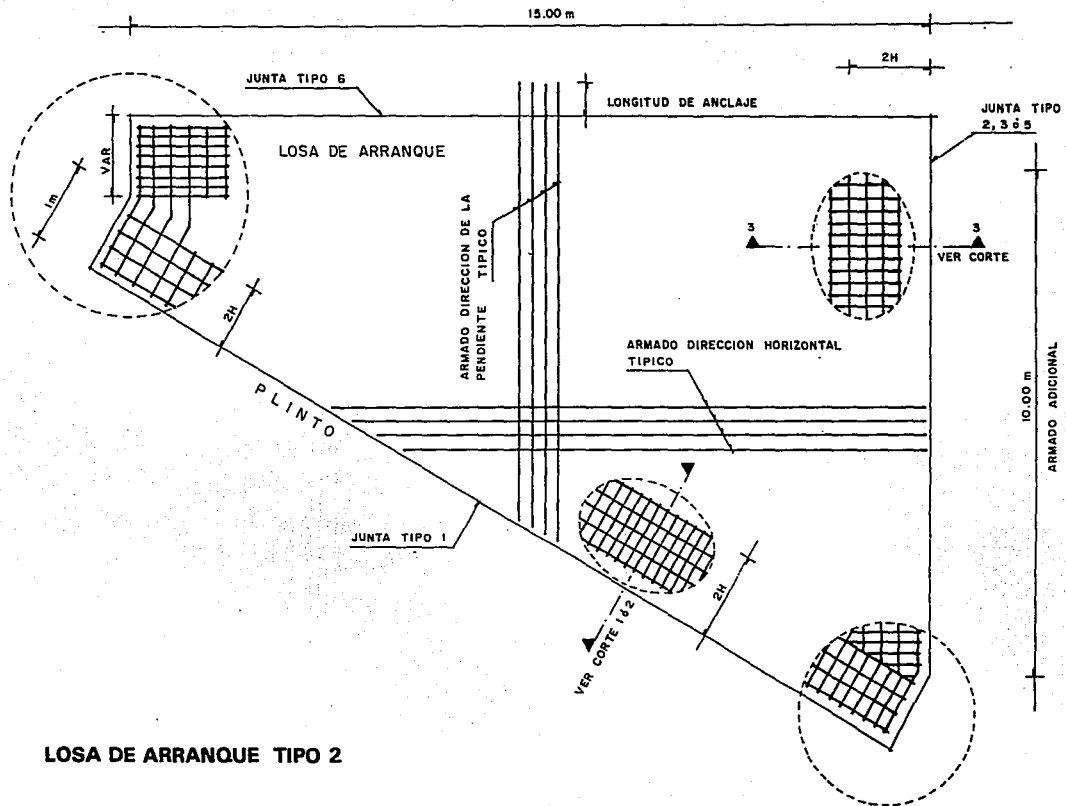


fig. 4.11



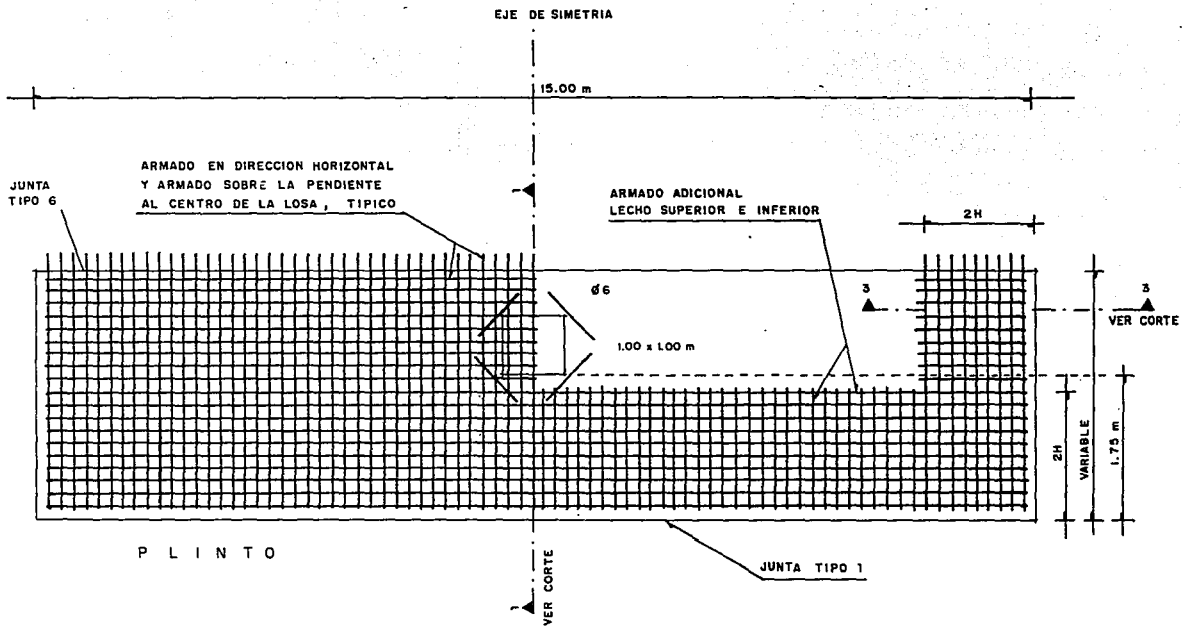
**LOSA DE ARRANQUE TIPO 1**

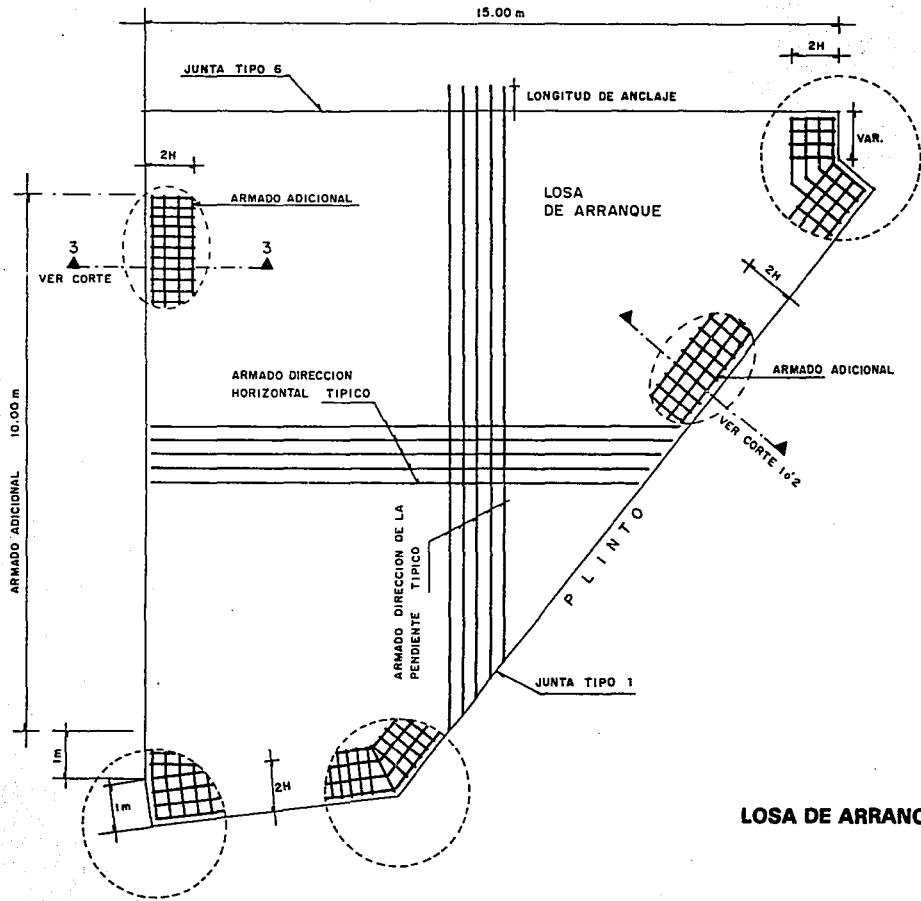




**LOSA DE ARRANQUE TIPO 2**

### LOSA DE ARRANQUE TIPO 3

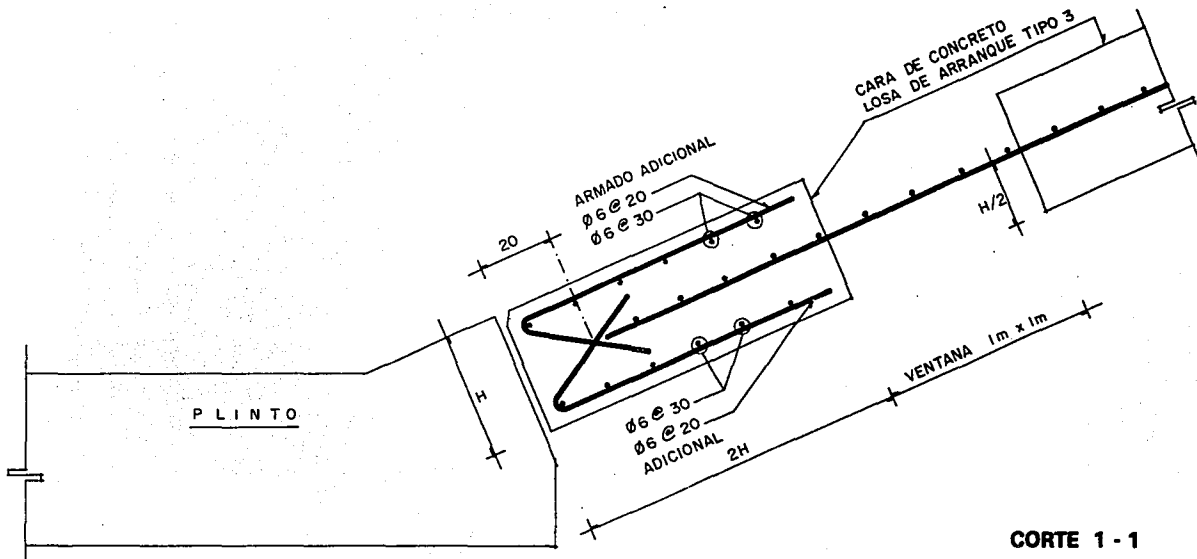




**LOSA DE ARRANQUE TIPO 4**

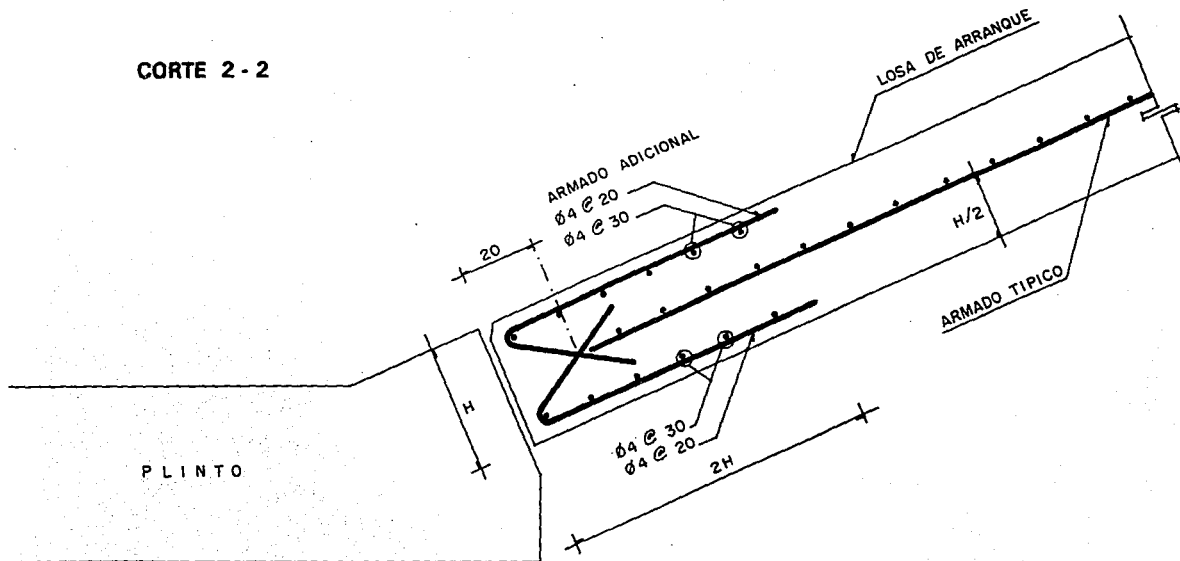
JUNTA PERIMETRAL TIPO 1

ARMADO ADICIONAL



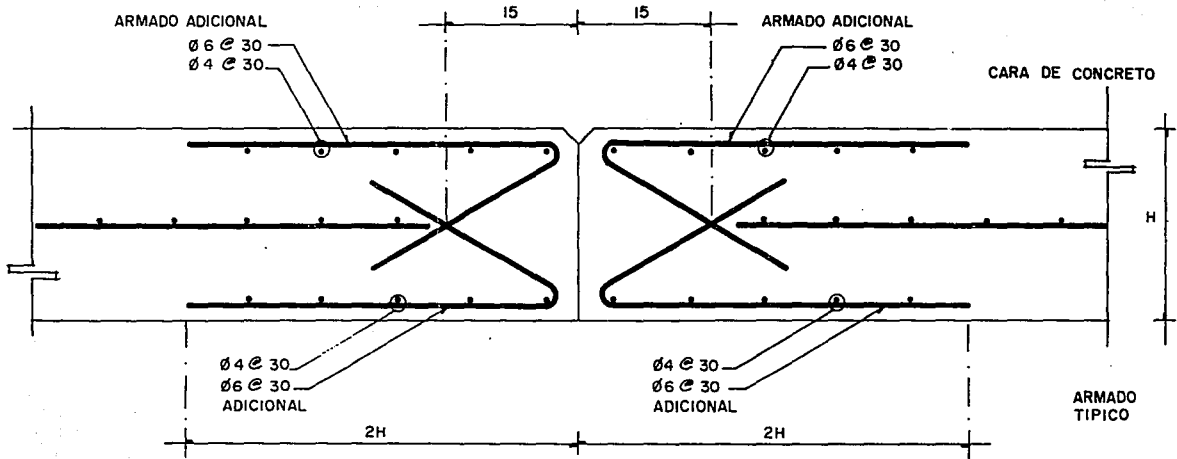
CORTE 1 - 1

CORTE 2-2



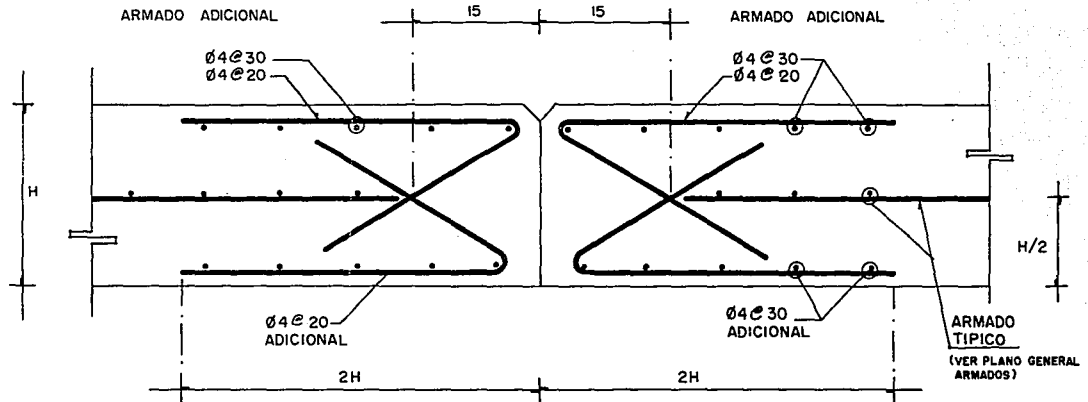
# CORTE 3 - 3

## JUNTAS 2, 3 y 5



# CORTE 4 - 4

## JUNTA TIPO 4



## ***Procedimiento constructivo para deslizado de las losas de la cara de concreto, aguas arriba***

---

### **Aspectos Generales**

Se ejecuta la cara impermeable de concreto armado sobre la cortina, con el método de cimbra deslizante. Esta cara está compuesta por 44 losas de 15 m. de ancho cada una. Las losas con mayor longitud a deslizar, son las n° 17 y 18 con un desarrollo total de 325 m.; el espesor es linealmente variable iniciando con 85 cm. en el desplante y 30 cm. en la corona.

El área total a ser cubierta es de 137,250 m<sup>2</sup> y el volumen de concreto a colocar será de 68,800 m<sup>3</sup>, dicho volumen se realizará en tres etapas, como lo muestra la tabla A4.

Las losas serán coladas hasta 2.20 m. abajo de la cota final de cada etapa (4 m. en desarrollo del talud), serán colados arranques al inicio de cada losa, con la finalidad de proporcionar a la cimbra una superficie horizontal para el inicio del deslizado, procurando proteger los sellos de cobre y P.V.C de las juntas tipo.

Se utilizaron dos cimbras deslizantes y tres juegos de cimbra lateral para la primera etapa. Para la segunda etapa, la secuencia de colado y utilización de la cimbra es también con dos cimbras, pero en este caso se maneja la opción de manejar tres cimbras deslizantes y cuatro juegos de cimbra lateral, como se representa para la tercera etapa en la figura 4.12.

La secuencia del colado en la primera etapa fué la siguiente:

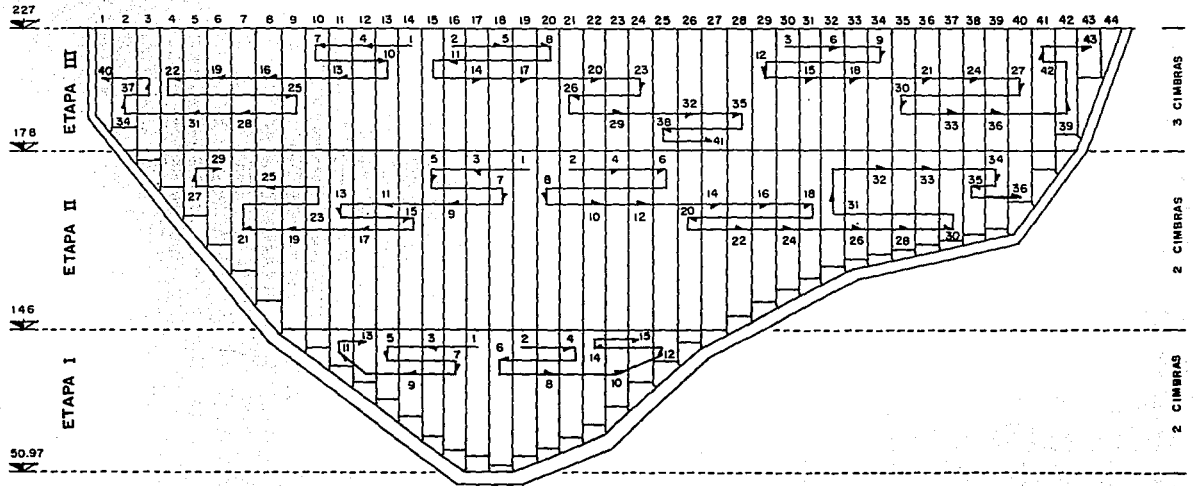
Cimbra A	17	15	18	16	13	14	11	12
Cimbra B		19	21	23	20	22	25	24



# SECUENCIA DE CIMBRADO Y COLADO

fig. 4.12

ELEVACIONES



Como velocidad de deslizado promedio se estiman 2m/hr. , siendo que la velocidad esperada para la primera losa fue de 1m/hr, para posteriormente incrementar el rendimiento de acuerdo con la familiaridad que el personal adquirió con el sistema.

**T A B L A A4**

<b>Etap</b>	<b>Elevación</b>	<b>Área</b>	<b>Volumen</b>
I	100	14,290	10,523
II	176	54,873	31,676
III	230	68,087	26,602
<b>TOTAL</b>		<b>137,250</b>	<b>68,801</b>

**DESCRIPCION DEL EQUIPO**

**a) Cimbra deslizante**

Estructura compuesta de dos vigas I de 20" (136 kg/m de peso), una superficie de contacto de lámina C-12 de 15 m. de ancho y 1.14 m. de longitud con una área de arrastre de 17.10 m<sup>2</sup>, un reticulado estructural para soporte de la superficie de contacto y dos plataformas de trabajo, una para colocación de concreto y otra de acabado. (fig. 4.13)

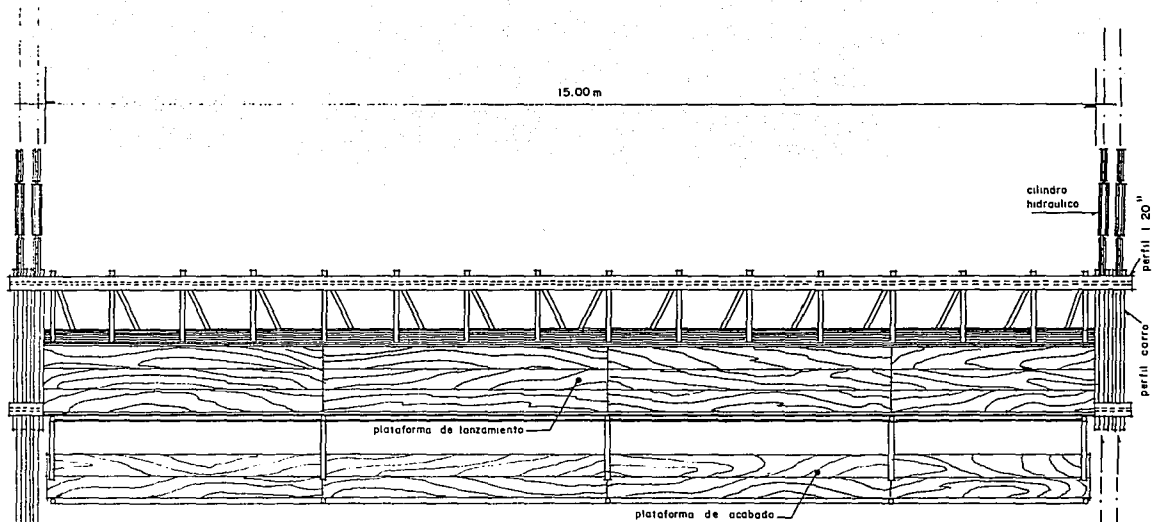
Para facilitar el desplazamiento, la cimbra dispone de dos ruedas por lado, fijadas a las vigas I de 20" (fig. 4.14). Como protección para el personal, la cimbra lleva una estructura tubular y lona, que cubre las dos plataformas de trabajo.

El peso de la estructura es de 7,600 kg. y el peso de trabajo es de 10,300 kg., la cimbra dispone de un eventual sistema de iluminación para el trabajo nocturno. Está previsto un lastre de 2 ton. de peso, para evitar la flotación de la cimbra debido al empuje del concreto.

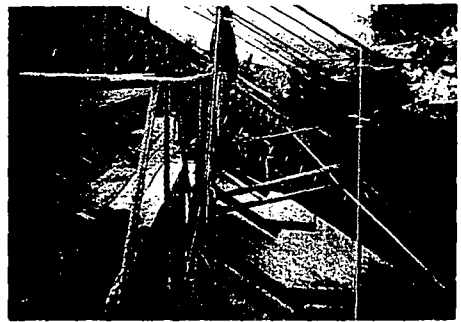
**b) Equipo Hidráulico**

Consta de una unidad de comando y dos gatos hidráulicos de doble acción. La unidad de comando está compuesta por dos comandos direccionales para accionar los gatos independientemente uno del otro, una bomba de aceite de paletas y caudal de 5 lts. por minuto y presión de trabajo de 1,500 kg/cm<sup>2</sup> impulsada por un motor eléctrico de 5HP.

Los gatos tienen una capacidad de 12 toneladas con una carrera de 40 cms.



C050  
 C050



**CIMBRA DESLIZANTE**

fig. 4.13

eje rueda para apoyo sobre riel secuencia encastrado  
 eje rueda " " " riel en concreto  
 eje rueda " " "

# CIMBRA DESLIZANTE

# VISTA FRONTAL CON DETALLE DEL CARRO

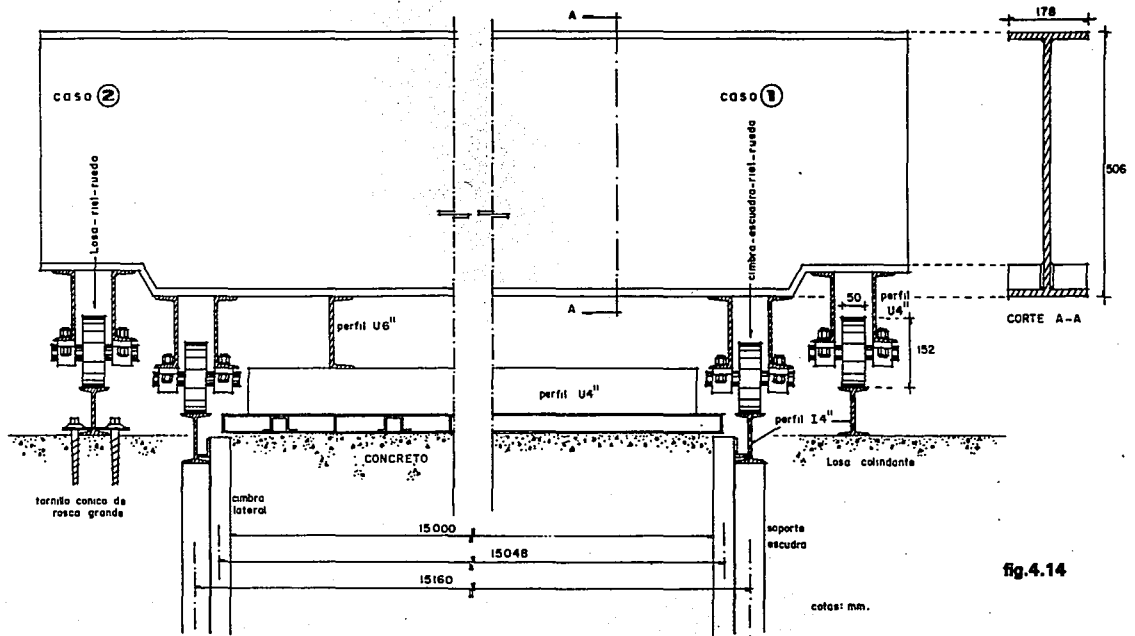


fig.4.14

### c) Cimbra Lateral

Los objetivos de la cimbra lateral son, absorber la variación de los espesores de la losa, servir de apoyo y guía de la cimbra deslizante, transmitiendo adecuadamente los esfuerzos producidos por el peso de la cimbra al talud, sin dañar los sellos de las juntas que estarán apoyados sobre la plantilla de concreto que se describe más adelante.

La varilla de acero que aparece en dicha plantilla cumple la finalidad de elemento de fijación de las escuadras metálicas.

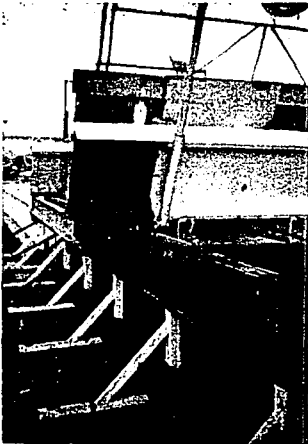
La cimbra lateral (fig.4.15) está compuesta por tres elementos principales que son:

- Viga I de 4", que sirve de riel para la cimbra deslizante y de tirante donde van sujetos los elementos (cajas de castañas) que garantizan el avance de la cimbra deslizante. Esta viga I está anclada por muertos de concreto de ocho toneladas para cada lado, en la corona de cada etapa. (ver fig. contrapesos para cimbra, pag. 123)
- Páneles de madera, longitud de 1m., que son los elementos que efectivamente van a dar la forma de las superficies verticales de las losas.
- Escuadras metálicas colocadas a cada metro de desarrollo de talud, que fija los tablonces de madera y la viga I de 4"; estas escuadras están fijadas, a través de tornillos a un perfil canal de 4" que a su vez está preso a las varillas de la plantilla de concreto. (fig 4.16)
- Los páneles y escuadras metálicas están debidamente numerados para facilitar el montaje, ya que el espesor de losa es variable para cada elevación.

### d) Cajas de Castañas

Son mecanismos que permiten el movimiento en un solo sentido, así, adecuadamente dispuestos, evitan que la cimbra deslizante retroceda cuando los gatos hidráulicos están en movimiento.

Esto se logra colocando dos cajas de castañas por gato, una fijada al cuerpo del gato y otra en la extremidad del pistón, como lo muestra la figura 4.17.



Así, cuando el gato se cierra, y consecuentemente jala la cimbra, la caja n°2 se cierra y la n°1 se desliza hacia adelante y una vez que el gato está cerrado, aliviemos ligeramente la presión del aceite para provocar el cierre de la caja n°1 la que tenderá a retroceder. Una vez que esto ocurra, podemos intervenir el sentido del flujo del aceite con la válvula direccional y así abrir el gato opuesto y deslizar la caja n°2 hacia adelante para que, una vez terminada la operación, se proceda de la misma manera que con la caja n°1, para provocar el cierre de esta caja y repetir sucesivamente el ciclo hasta concluir el deslizado.

Cabe aclarar que para proceder al deslizado de la cimbra, se moverá cada gato separadamente avanzando 20 cm. primero con uno y nivelando la cimbra con el otro gato para luego avanzar los últimos 20 cm. de la carrera del gato, y continuando con ciclos continuos.

#### **Plantilla de Concreto para el sello de cobre**

Esta plantilla cumple dos funciones, la de servir de apoyo para los sellos de las juntas paralelas al eje de las losas y para anclar la cimbra lateral.

La sección tipo de esta plantilla está en la figura 4.15, siendo que es la sección para las juntas tipo 3. Para las juntas tipo 2, se aumenta en 1/4" la posición del ancla de varilla para poder ubicar la madera de 1/2" de la junta tipo 2.

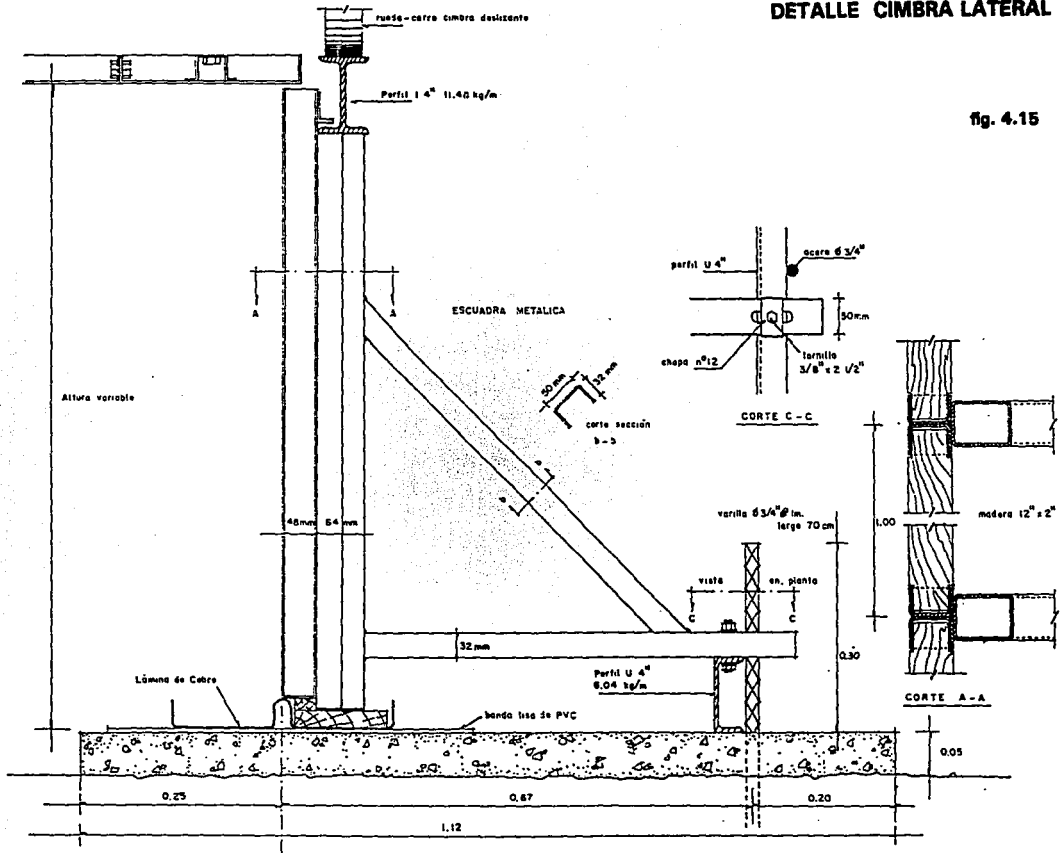
La cimbra para el colado es con madera de 2" x 4". Para colocarla se excava el talud retirando el material asfáltico para seguir la línea teórica del talud, de acuerdo a la línea de proyecto procurando mantener un espesor mínimo de 5 cm.; las varillas serán clavadas antes del colado.

#### **Acero de Refuerzo**

Para el armado de acero de refuerzo, se bajará al lugar de colocación el acero ya habilitado por medio de canalones de madera. Las losas se armarán en el lugar mismo del colado, teniendo especial cuidado en no dañar la cara aguas arriba, de la cortina ya asfaltada.

# DETALLE CIMBRA LATERAL

fig. 4.15



## PERSPECTIVA CIMBRA LATERAL

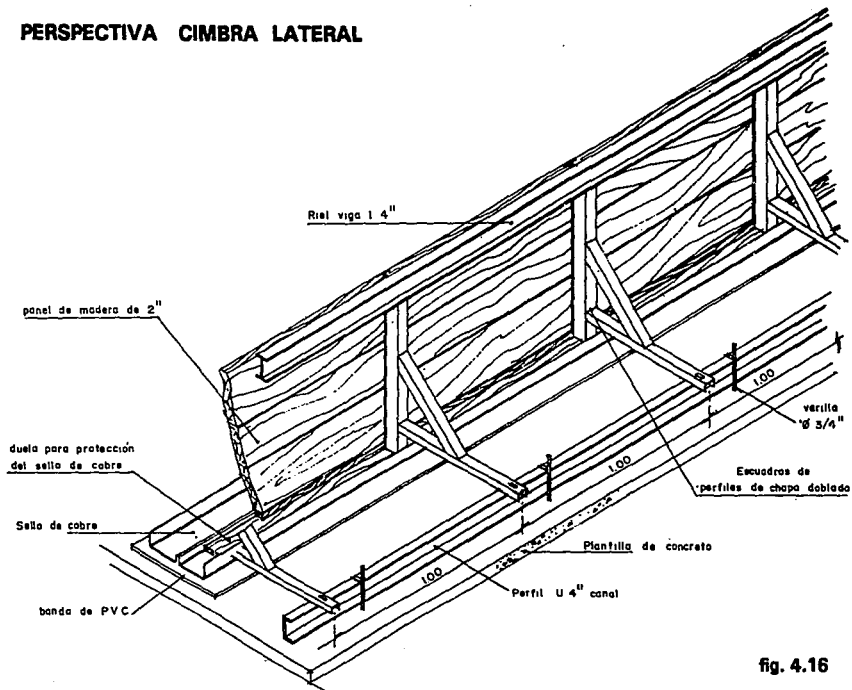
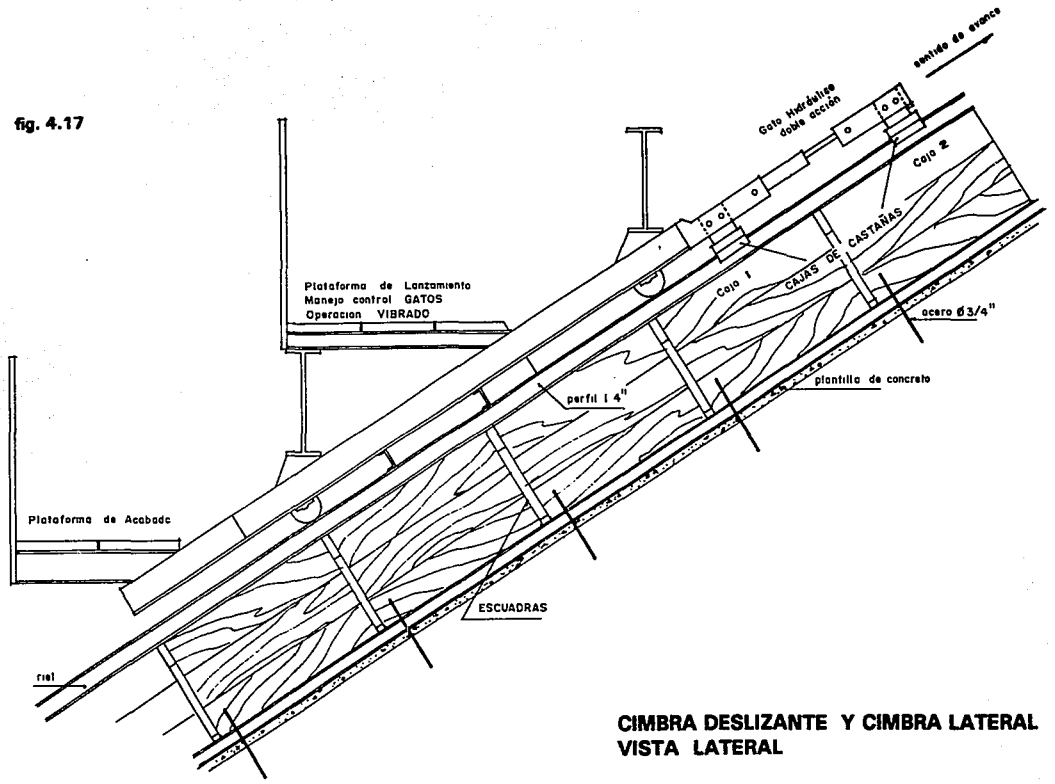


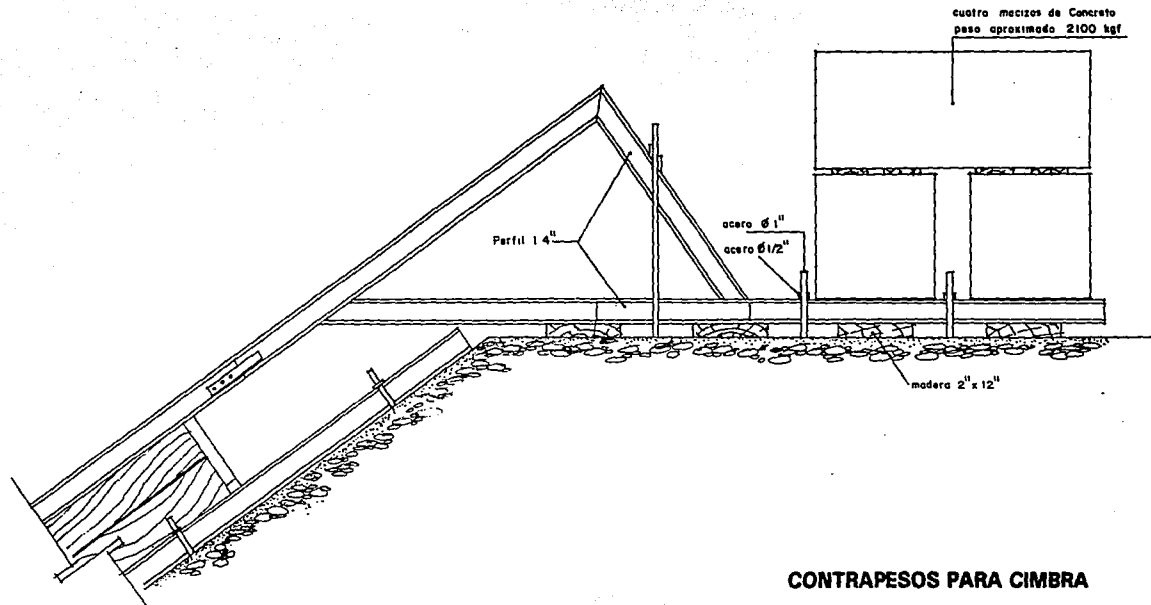
fig. 4.16



fig. 4.17



**CIMBRA DESLIZANTE Y CIMBRA LATERAL  
VISTA LATERAL**



## **Banda de Cobre**

Una vez armado se procede a "lanzar" la banda de cobre procesada con la roladora desde la elevación 100, procurando evitar muchas uniones en el desarrollo de cada losa, esto es, se rolarán bandas de cobre con la longitud de la losa a deslizarse.

## **Colado de las losas**

*(ver figura 4.18)*

### **a) Montaje de la cimbra lateral**

La primera tarea a realizar es colocar las duelas de soporte que sirven de protección del sello de cobre; terminado, se colocan los anclajes en la corona de la etapa a ejecutar para así poder comenzar a colocar las vigas I amarradas al anclaje. Para servir de apoyo a las vigas I se colocan tres escuadras metálicas por viga (una al comienzo, otra en medio y la tercera al final); para servir de apoyo a las escuadras se colocarán conjuntamente los canales. Una vez colocadas todas las vigas, se procede a la colocación de los paneles de madera y las escuadras faltantes, iniciando el trabajo en la parte superior. Finalizadas estas tareas se realiza el alineamiento de la cimbra lateral con el auxilio de las líneas extendidas entre caballetes, hechos con varilla de acero, marcadas topográficamente. El movimiento para alinear, es permitido por barrenos ovalados que tienen las escuadras en su elemento horizontal y a través del cual pasa el tornillo que fija al canal. El recubrimiento del acero de refuerzo deberá ser verificado después del alineamiento de la cimbra. Por último será colocada una madera al tope del armado de acero de la losa, para impedir la caída del material y la madera para la junta de construcción tipo 6. (fig. 4.16)

### **b) Instalación de la cimbra deslizante para inicio del colado**

Se dispone de dos alternativas para el descenso de la cimbra desde la corona hasta el arranque.

El que se utilizará primero es aquel que utiliza los patines hechizos mostrados en la figura 4.19, fijados a las ruedas de los carros de la cimbra deslizante y que trabajan como esquies deslizándose sobre las vigas I 4" de la cimbra lateral. La operación es efectuada con auxilio de una grúa con cable frontal y dos malacates (utilizados para el transporte de los elementos de la cimbra lateral sobre el talud), para controlar la maniobra de descenso de la cimbra deslizante.

## COLADO DE LAS LOSAS

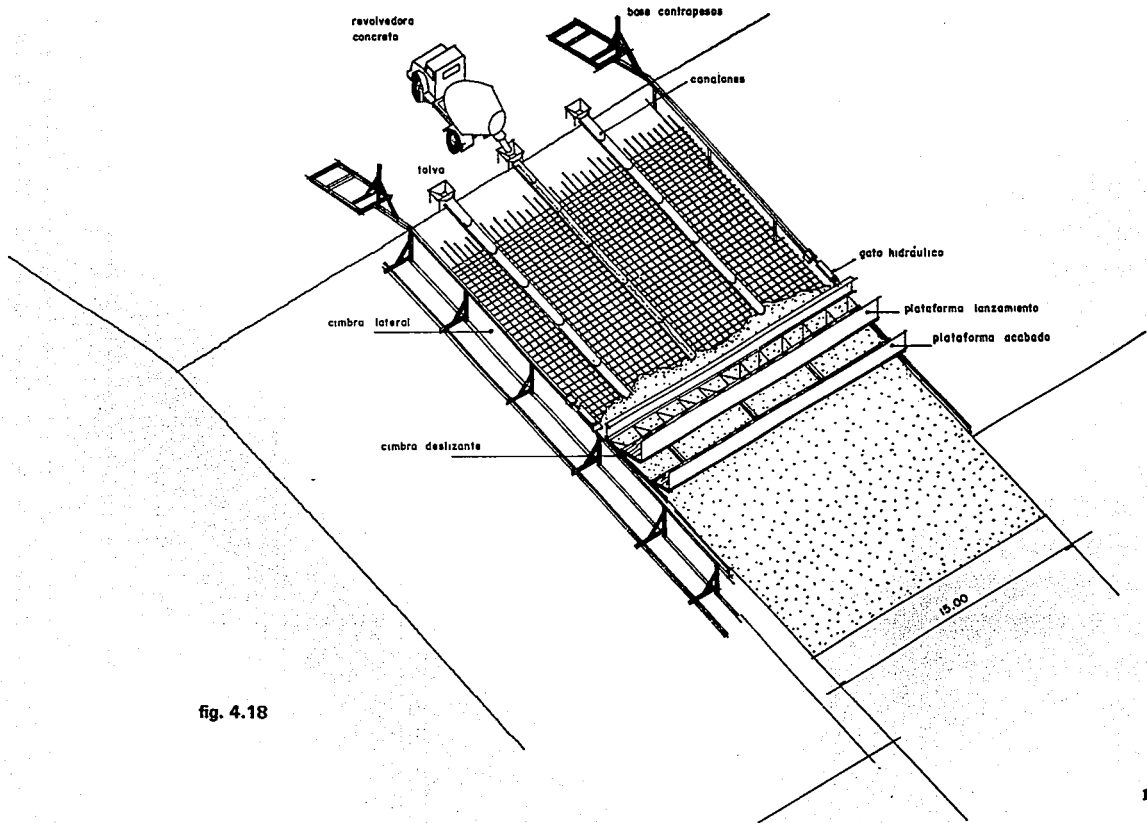


fig. 4.18

### RUEDA PARA DESCENSO

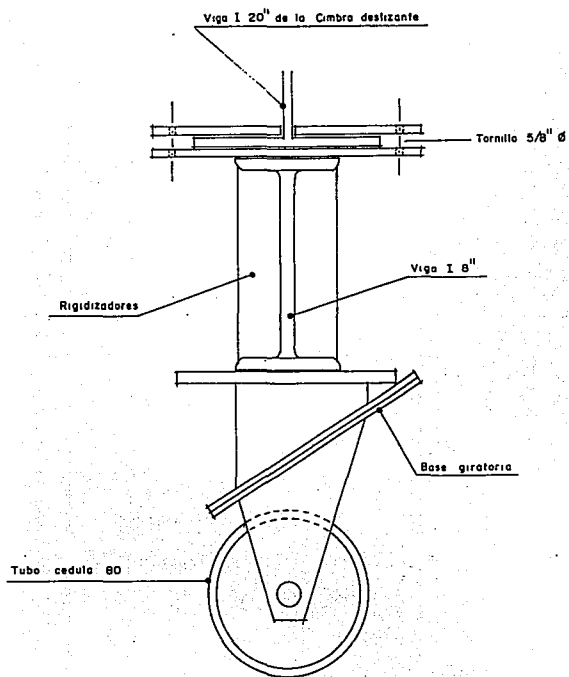


fig. 4.20

### PATIN PARA DESCENSO

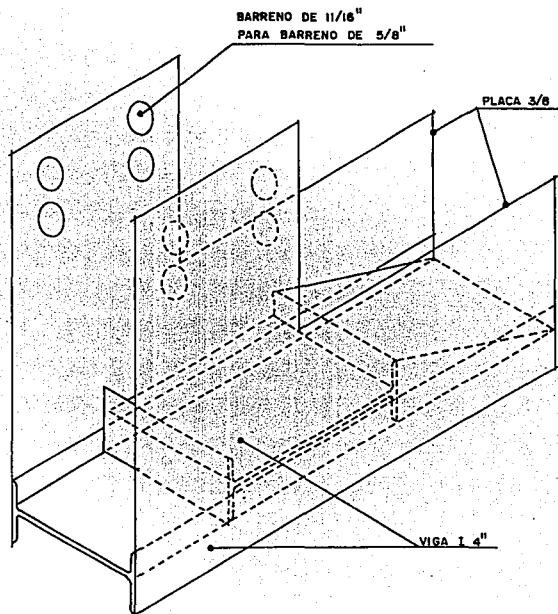
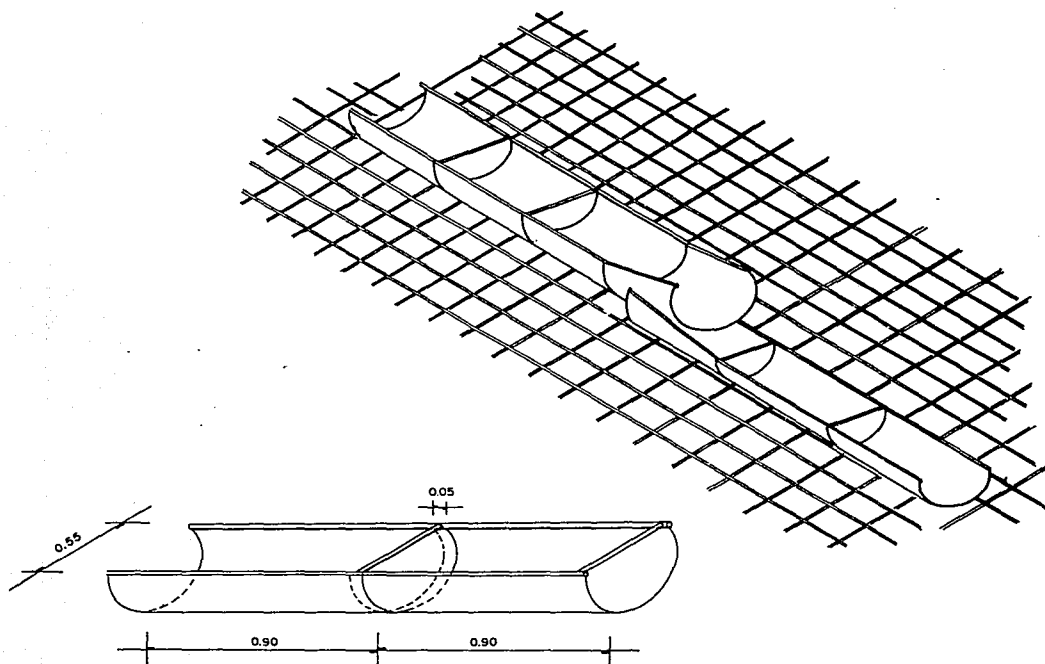


fig. 4.19

fig. 4.21

**CANALONES**  
DETALLE DE LOS ELEMENTOS PARA  
REDUCIR LA VELOCIDAD DE DESCENSO



La segunda opción es utilizar cuatro ruedas (figura 4.20) de acero con recubrimiento de hule de llanta, sujetas a las vigas I de 20" de la cimbra deslizante, a dos metros de las extremidades. El descenso se hará por una losa ya colada. La maquinaria que se utiliza es la misma de la primera opción.

Con esta segunda opción, se logra independizar la colocación de la cimbra deslizante para iniciar deslizado, de la colocación de la cimbra lateral.

#### **Producción, suministro y control del Concreto**

El consumo de concreto varía de 25 m<sup>3</sup>/hr. hasta 21 m<sup>3</sup>/hr. al inicio y fin del colado respectivamente. De esta manera, será necesario contar con cuatro revolvedoras de 6m<sup>3</sup> para atender al ciclo de colado. El concreto es producido por dos plantas que abastecen a todos los frentes de obra, es distribuido según la programación y avance de las mismas.

Para llevar el concreto hasta la cimbra se dispone de tres líneas de canalones con sus respectivas tolvas, en donde se posan las revolvedoras y vacían el concreto procurando que el vaciado en cada uno de los canalones, sea conforme la organización por zonas.

Los canalones serán fabricados con tambos de 200 lts. , reforzados con varilla y adecuados para instalar tramos de 10 m. sobrepuestos como lo indicado en las figuras 4.18 y 4.21. Las líneas deben de tener un alcance radial de 2.5 m. lo que será hecho por una cuadrilla de ayudantes.

#### **Colado General**

Se realizan colados en dos turnos de doce horas cada uno de forma continua. La cuadrilla que se emplea, está compuesta por 3 operadores de cimbra, 6 vibradoristas, 6 albañiles para acabado y un cabo por turno.

Para el vibrado del concreto se utilizan tres convertidores de 3 HP con 6 vibradores. El acabado se hace con llana de madera y el chafán queda incorporado a la cimbra lateral. El revenimiento recomendado es de 7 cm.  $\pm$  2 cm.

El concreto es colado desde un lado a otro con los canalones a una distancia aproximada de un metro adelante de la viga de la cimbra deslizante y vibrando el concreto siempre adelante de las placas de contacto para evitar la flotación excesiva de la cimbra deslizante sobre el concreto. (fig. 4.18)

Durante el colado se preparan los agujeros de 10 cm. de profundidad moldeados en el concreto fresco, con un diámetro de 2 cm. para posterior fijación del riel (viga I 4") para el colado de las losas intermedias. Para esta fijación, serán usados taquetes de expansión y rosca interna (5/8" diametro) y tornillos de rondana, a cada lado del riel y a cada metro se realizará por impacto con punzón.

#### **Maniobra de la cimbra al final del colado**

Se realiza con la misma grúa utilizada para el descenso de la cimbra; una vez hecha la junta de construcción, la cimbra se disloca en la región superior a la losa de 4 metros que quedará sin colar. Una vez que la cimbra está fuera del concreto, se colocan los estobos en las orejas frontales de la cimbra, para así poder retirar el conjunto de motorización (gatos hidráulicos y cajas de castañas). Después de esto, con auxilio de la grúa se transportará al lugar del colado siguiente; la cimbra se dejará sobre la corona del talud en los apoyos, como lo muestra la figura 4.22.

#### **Descimbrado lateral**

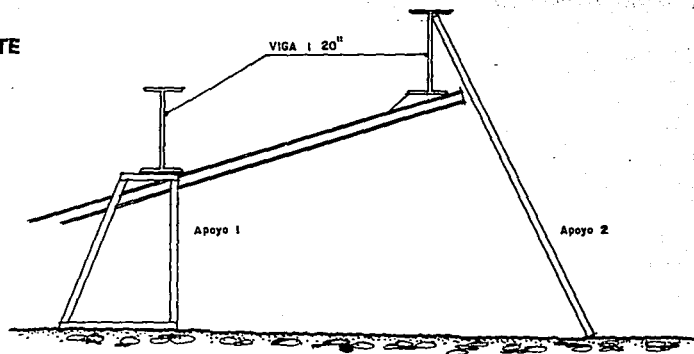
El descimbrado lateral se inicia transcurridas 6 hrs. después de haber pasado la cimbra deslizante por el lugar a descimbrar e iniciando de la parte inferior a la superior. El material será transportado con un carro (Fig. 4.23), jalado con un malacate de 1.5 ton. en la parte superior del pedraplén, para que sean reacondicionados y preparados para el próximo colado.

#### **Curado del concreto**

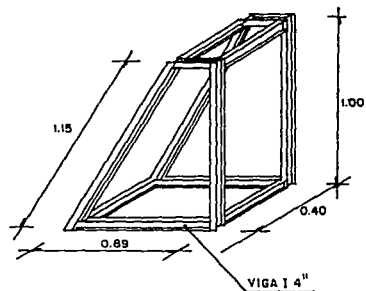
El curado del concreto será llevado a cabo con membrana para curado. Será lanzada desde la plataforma de acabado con ayuda de un compresor y aplicada a presión con pistola, debido a la dificultad de cubrir los 15 m. de ancho de la losa.



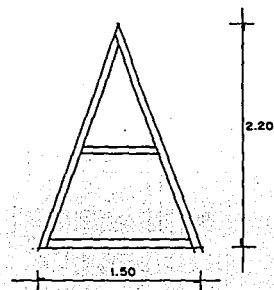
**APOYOS PARA  
LA CIMBRA DESLIZANTE**



**APOYO 1**



**APOYO 2**



**fig. 4.22**

**CARRO DE TRANSPORTE**  
**PARA LOS ELEMENTOS DE LA CUBRA LATERAL SOBRE EL TALUD**

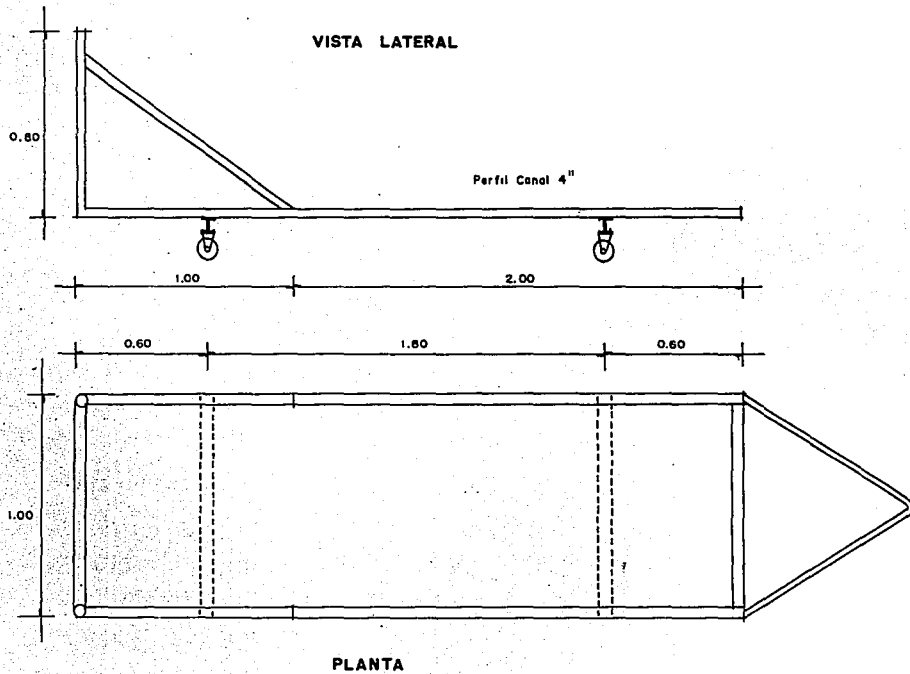


fig. 4.23

## **Contingencias comunes en el deslizado y sus soluciones**

### **a) Descarrilamiento de la cimbra**

Debido a la torsión de la estructura en el plano paralelo al de la losa, ocasionado por la acción alterna de los gatos hidráulicos; es posible provocar la salida de las ruedas traseras del patín de la viga I. Para solucionar ésto, bastará levantar el carro que ha quedado fuera de la cimbra lateral con un gato manual, elevando la cimbra para que ésta retorne a su posición. En el otro carro no será necesario ninguna operación, ya que la cimbra flotará sobre el concreto. Este evento sería extraordinario ya que el procedimiento de avance de la cimbra está diseñado para evitarlo. Un gato debería avanzar 35 cm. para que ocurriera el descarrilamiento de la cimbra, siendo que lo propuesto es de 20 cm., pero de cualquier manera es de solución simple y expedita, no implicando ningún otro problema posterior.

### **b) Avería de un gato en el deslizado**

Durante el colado pueden ocurrir averías en los sellos de los gatos hidráulicos debido al uso; esto es de esperarse ya que estos sellos están sujetos a un trabajo constante, ocasionándose el consecuente desgaste. Para solucionar este problema se contará con un gato de reserva.

El cambio es posible debido a que la caja de castañas trasera está presa a la cimbra a través de un par de placas a las cuales está unido el gato, y esto facilita el cambio del mismo en un tiempo mínimo.

## MAQUINARIA

La maquinaria que se describe es utilizada en general para la cara de concreto (plinto, losas de arranque y losas principales) en sus distintas actividades que conforman su construcción.

Descripción	cantidad
Bomba estacionaria	1
Compresor portátil	1
Track Drill	1
Plataforma F-600	1
Camioneta F-350	1
Convertidor de frecuencia	5
Vibradores eléctricos de 3" diámetro	6
Vibrador eléctrico de 1" diámetro	1
Vibrador neumático de 2" diámetro	2
Perforadora de piso	2
Martillo rompedor	1
Planta soldadora	4
Cimbras deslizantes	4

## PLANTILLA DE PERSONAL

A continuación, se presenta el personal y la categoría que ocupa en las distintas actividades que se desarrollan en la construcción del Plinto y las Losas de concreto.

Cabe mencionar que este informe, comprende un solo turno y que se pretende implantar otro turno nocturno, ya que las obras necesitan cumplir con el programa de avance.

Categorías	cantidad	total
<b>Anclajes Plinto</b>		
Sobrestante	1	
Cabo de Oficios	1	
Perforista de Track-Drill	3	
Chegador de actividades	1	
Perforista de piso	4	
Anclador	1	
Ayudante general	1	12
<b>Plinto y Losas de Concreto</b>		
<b>Concretos</b>		
Sobrestante general	1	
Sobrestante concretos	1	
Manobrista	4	
Vibradorista	6	
Oficial albañil	7	
Operador de bomba	2	
Tubero	2	
Perforador de piso	1	
Lanzador de concreto	1	
Soldador	1	
Ayudante de albañil	2	
Ayudante general	5	33

	cantidad	total
<b>Cimbra</b>		
Cabo	1	
Oficial carpintero	5	
Soldador	1	
Perforador de piso	1	
Ayudante de carpintero	5	
Ayudante general	3	
Ayudante soldador	1	
		17
<b>Acero de refuerzo</b>		
Cabo fierro	1	
Oficial fierro	5	
Ayudante fierro	3	
Ayudante general	1	
		10
<b>Limpieza</b>		
Cabo	1	
Perforador de piso	1	
Compresorista	1	
Ayudante de perforista	2	
Ayudante general	6	
		11
<b>Cimbra</b>		
Sobrestante carpintero	1	
Cabo carpintero	1	
Oficial carpintero	5	
Soldador	2	
Ayudante carpintero	6	
Ayudante general	2	
Ayudante soldador	2	
		19

	cantidad	total
<b>Acero de refuerzo</b>		
Sobrestante de fierro	1	
Cabo de fierro	1	
Oficial de fierro	6	
Ayudante de fierro	4	
		12
<b>Arena asfáltica</b>		
Sobrestante de concreto	1	
Cabo de concreto	1	
Oficial albañil	2	
Maniobrista	1	
Ayudante albañil	3	
Ayudante general	7	
		15
<b>Plantillas</b>		
Cabo	1	
Oficial carpintero	2	
Oficial albañil	2	
Ayudante general	4	
		9
<b>Cimbra deslizante</b>		
Maniobrista	2	
Soldador	2	
Ayudante albañil	1	
Ayudante general	3	
		8

	cantidad	total
<b>Juntas de cobre y PVC</b>		
Soldador	4	
Ayudante soldador	5	9
<b>Habilitado de acero</b>		
Cabo de maniobras	1	
Oficial fierro	1	
Ayudante fierro	1	
Ayudante general	1	4
<b>Habilitado de cimbra</b>		
Cabo	1	
Oficial carpintero	3	
Ayudante carpintero	3	
Ayudante general	2	9
<b>Servicios</b>		
Electricista	2	
Chofer F-600	2	
Checador de actividades	3	
Bodeguero	1	
Velador	1	9
<b>S u m a s</b>		<b>165</b> <b>trabajadores</b>



## ***Programa y estado actual de las obras***

---

El programa de construcción de las obras de contención, tiene cuatro etapas importantes dentro del desarrollo de la construcción del Proyecto Hidroeléctrico de Aguamilpa, a partir de su inicio el 13 de noviembre de 1989.

La primera etapa, ya ejecutada, consistió en desviar el Río Santiago en Marzo de 1990 y la terminación de la construcción de la Atagüla Aguas Arriba, el mes de Agosto del mismo año. Con esto se pensaba garantizar la construcción de la Cortina dentro de un programa acelerado y poder contar a partir de Junio de 1993, con los escurrimientos de la temporada de lluvias (Julio - Octubre) y así, dar inicio al llenado del embalse una vez cerrados los túneles de desvío, según el programa original para la construcción de la Cortina elaborado en 1991. Debido a que la naturaleza nos ha demostrado que muchas veces son impredecibles sus fenómenos, ya que aún después de haber contemplado en los 43 años de estudios hidrológicos, la probabilidad de que un evento extraordinario pudiera suceder durante la construcción; finalmente el fenómeno se presentó en Enero de 1992 y que además de inundar en gran medida la planicie costera de Nayarit, las avenidas continuas rebasaron la capacidad de conducción de los túneles de desvío, haciendo que éstos trabajaran a presión y por lo cual el nivel del embalse superó el de la atagüla aguas arriba, hasta rebasar la cota 100 del cuerpo de la cortina y dañar parte de la cara correspondiente a la segunda etapa, la cual carecía de las losas de concreto. Este evento extraordinario provocó que se modificara en parte el programa original para las obras de contención, ya que hubo que realizar labores intensas para que los trabajos tuvieran su curso normal.

## Programa y estado actual de las obras

En consecuencia, la segunda etapa importante era la llegada con el relleno a la elevación 140, lo que se consiguió en el mes de Septiembre de 1991 y que fue punto vital para evitar que el nivel del embalse rebasara el cuerpo de la cortina. Con este avance, se pudo obtener una protección de avenidas de hasta 350 años de retorno.

La tercera fecha clave que contemplaba el programa era la terminación de los rellenos de la cortina en el mes de Agosto de 1993 y ahora la culminación de las losas principales de concreto en Junio de 1994. Como consecuencia de lo anterior el cuarto evento, y el más importante, es el cierre definitivo de los túneles de desvío tal vez a fines de 1994 e iniciar el llenado del embalse.

Actualmente se trabaja conjuntamente en todos los frentes como se puede visualizar en los programas de construcción anexos. En nuestro caso específico; conforme se avanza de cota en los trabajos de relleno del cuerpo de la cortina, se continúa construyendo tanto plinto como losas de arranque, así como armando, cimbrando y colando las losas principales de la tercera etapa.

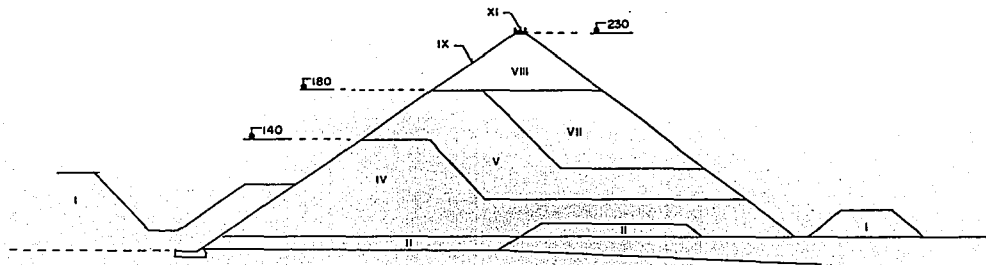
Inicio de obra por CA

DESCRIPCION	1 9 8 9					1 9 9 0					1 9 9 1					1 9 9 2											
	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF		
Preparativos																											
Túnel de desvío 1																											
Túnel de desvío 2																											
Bandas transportadoras																											
Camino margen derecha																											
Puente de cruce del Río Santiago																											
Campamentos																											

**PROGRAMA DE CONSTRUCCION I**  
**I N F R A E S T R U C T U R A**

## PROGRAMA DE CONSTRUCCION II OBRAS DE CONTENCIÓN

ETAPA	DESCRIPCION	1980				1981				1982				1983				1984				1985				
		EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF
I	Atagülas																									
II	Limpia del cause																									
III	Plinto, Losas de arranque y tratamiento																									
IV	Colocación de aluvión hasta elev. 140																									
V	Cuerpo de la cortina hasta elev. 180																									
VI	Colado de la losa hasta elev. 177																									
VII	Term. de la cortina a la elev. 180																									
VIII	Coloc. de aluvión y enrocamiento el. 228																									
IX	Colado de la losa a la elev. 227																									
X	Colocación de material de protección																									
XI	Colado parapeto, corona y acabados																									



DESCRIPCION	1 9 8 0					1 9 8 1					1 9 8 2					1 9 8 3					1 9 8 4					M					
	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF	MA	MJ	JA	SO	ND	EF		MA	MJ	JA	SO	ND
<b>OBRA DE GENERACION</b>																															
Canal de llamada y obra de toma																															
Conductos a presión																															
Casa de máquinas																															
Galería de oscilación																															
Túnel de desfogue																															
Galería de transformadores																															
Obra civil en subestación																															
<b>OBRA DE EXCEDENCIAS</b>																															
Canal de llamada																															
Estructura de control																															
Canal de descarga																															
Estructura deflectora																															

**PROGRAMA DE CONSTRUCCION III**  
**OBRAS DE GENERACION**  
**OBRAS DE EXCEDENCIAS**

# 5

## ***ANALISIS DE COSTOS***

En este capítulo, se desarrollan los precios unitarios de los distintos conceptos de obra, que componen la realización de las actividades que se llevan a cabo en la construcción de las obras de contención. Las cantidades de obra y precios de materiales, mano de obra y equipo que se manejaron para la integración de los precios unitarios, corresponden a datos recopilados de fuentes en las cuales se manejan precios de concurso, es decir, precios y cantidades de obra presentados en el último tercio del año de 1989, dado lo anterior, los precios se manejaban en viejos pesos, sin embargo, las cantidades presentadas en este capítulo, se expresan en nuevos pesos, como actualmente se opera. Los precios unitarios de dichos conceptos aquí desarrollados, se han ido modificando periódicamente en el transcurso de la construcción de la obra, por el factor de escalación. Este factor es calculado de acuerdo al marco teórico, económico y legal que hace válido el ajuste en cada uno de los precios unitarios de concurso, y es manejado de común acuerdo por ICA (Ingenieros Civiles Asociados) y la CFE (Comisión Federal de Electricidad).

El factor de escalación que se manejaba en mayo de 1992, y el cual modificaba los precios unitarios de concurso de dos y medio años atrás, es de 1.53842. Dado lo anterior se puede apreciar que durante el transcurso de la construcción, el monto de lo presupuestado ha variado paulatinamente y que, si la cantidad total presupuestada era de aproximadamente \$380,000'000,000.<sup>00</sup> (N\$380'000,000.<sup>00</sup>), al final de la construcción la cantidad real será considerablemente más elevada. Cabe mencionar que a la fecha (1994), el costo total está estimado en N\$2,400'000,000.<sup>00</sup>, este monto tiene varias fuentes financieras. El 32% del financiamiento es aportado por el Banco Mundial; C.F.E. con recursos propios el 26.2% y el capital privado para equipos electromecánicos el 41.8%.

Es de suponerse que tales cantidades, están justificadas por los grandes costos de obra y construcción que resultan de un proyecto tan grande, desarrollado en las condiciones presentadas a lo largo del presente trabajo. Estamos hablando de una infraestructura que alberga a un total aproximado de 3800 empleados, el mantenimiento de 1400 máquinas, un almacén de 40 mil millones de pesos (N\$40'000,000.<sup>00</sup>), así como las cantidades que arrojan las estimaciones de cada uno de los frentes diariamente y que tienen que cubrirse para la continuidad de los trabajos en el menor tiempo posible.

**OBRAS DE CONTENCIÓN**

**Desmante**

Incluye todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para carga, acarreo libre de un kilómetro (contando a partir del inicio del camino de construcción), descarga en los sitios que indique Comisión, extendiéndolo y formando plataformas; es decir, todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la CFE. Cubicación en hectáreas con aproximación de un decimal.

**Despalme**

Incluye todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: carga, acarreo libre de un kilómetro, descarga en los sitios donde indique CFE, extendiéndolo y formando plataformas; y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión. Cubicación en el sitio, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.

**Rampa de cimentación del Plinto**

Excavación para el Plinto para cualquier clase de material, en rampas de cimentación del plinto y en donde lo solicite la CFE. Incluye todos los materiales, equipo y herramienta necesarios; mano de obra para: desmante, despalme, precorte, excavación, carga, acarreo libre de un kilómetro (contando a partir del inicio del camino de construcción); descarga en los sitios donde lo indique la Comisión, bombeo hasta 10 lts/seg. Cubicación en banco, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.



**Excavación en túnel, en roca, en galerías de drenaje**

Incluye todos los materiales, equipo y herramienta necesarios, mano de obra para: post-corte, excavación, carga, acarreo libre de un kilómetro (contando a partir del portal por el cual se extraiga la resaga); descarga y extendido en los sitios que la Comisión indique; bombeo hasta de 10 lts/seg. Cubicación en sitio, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.

**Limpia del cauce del río para desplante de la cortina**

Incluye todos los materiales, mano de obra, equipo y herramientas necesarios para: limpia de materiales finos y orgánicos; extracción, carga, acarreo total, acarreo de hasta 10 lts/seg; descarga, colocación, extendido y compactación en la zona de desplante del material 3C. Cubicación en banco, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.

**Extracción y almacenamiento de aluvión para los materiales**

**1, 1A, 1B, 2, 2F, 3A, 3B, D, 3D, componentes de la cortina.**

Incluye, todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: desmonte, despilme del sitio de préstamo y del sitio de almacenamiento; acondicionamiento de la zona de bancos de almacenamiento, extracción, carga, acarreo total, procesamiento requerido, descarga en los sitios que proponga el contratista (ICA) y apruebe la CFE, ya sean bancos de desperdicios, de almacenamiento u otros, esparciendo el material y formando plataformas, de acuerdo a lo indicado por Comisión. Cubicación en bancos de almacenamiento, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.

**Sobrecarreo de cualquier tipo de material producto de excavaciones y/o remociones.**

Incluye únicamente el pago del transporte de material mas allá del acarreo libre considerado en el concepto base para materiales de enrocamiento, granular y fino.

**Colocación y compactación para la presa de los materiales  
1, 2, 2F, 3A, 3B, D, y 3D.**

Incluyen todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: carga del material, acarreo total hasta el sitio de su colocación en la presa a cualquier altura, colocación del material en su sitio definitivo en la presa; extendido, compactación, y todo lo necesario para dejar terminado a entera satisfacción de la CFE. Para los materiales 2 y 2F (respaldo de la cara de concreto) se incluirá el afine en la cara del talud aguas arriba tal como lo indique la Comisión. Se deberán incluir las medidas de protección que requiere la Comisión en la instalación en la instrumentación en el cuerpo de la cortina. Cubicación en el sitio ya colocado, en metros cúbicos, con aproximación de un decimal.

**Colocación y compactación de materiales de aluvión para ataguías  
materiales 1A, 1B, 2F, 3A, y 3B.**

Incluye todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: carga de material del banco de almacenamiento, acarreo total hasta el sitio de su colocación en las ataguías a cualquier altura, descarga, colocación del material en su sitio definitivo en las ataguías, extendido, compactación, y todo lo necesario para dejar el trabajo a entera satisfacción de la Comisión. Cubicación en el sitio ya colocado, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.

**Colocación y compactación de materiales 3F, y 4 para protección de  
los taludes de la presa**

Incluye todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: remoción (sólo para 3F), acarreo total, colocación, extendido, compactación, empaçado y acuñado (sólo para 4) y todo lo necesario para dejar el trabajo a entera satisfacción de la CFE. Cubicación en el sitio ya compactado, en metros cúbicos con aproximación de un decimal.

#### **Bombeo en exceso al de 10 lts/seg. en el lecho del río.**

Limpia del cauce por hora efectiva de operación de bomba centrífuga autocebante. Incluye todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: suministro y operación de la bomba, suministro y colocación de las tuberías e instalaciones necesarias para bombas en sus distintos diámetros, construcción de cárcamo de bombeo y todo lo necesario para dejar el trabajo a entera satisfacción de la Comisión.

#### **Barrenación en roca**

De acuerdo a la especificación y lo ordenado por la CFE, las barrenaciones se efectuarán al espaciamiento, inclinación y longitudes indicadas. La medición se efectuará por metro lineal efectivo con la aproximación de un decimal y por unidad de obra terminada. El precio unitario incluye: materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para dejar el trabajo a entera satisfacción de la Comisión.

#### **Inyecciones de consolidación**

De acuerdo con la especificación y/o lo ordenado por Comisión, la inyección se efectuará en los tramos, a las presiones indicadas y empleando las mezclas adecuadas. La medición se efectuará por metro cúbico de mezcla inyectada efectiva, con aproximación de un decimal y por unidad de obra terminada. El precio unitario incluye: mano de obra, materiales, herramienta, andamios, tuberías, instalaciones, mezclados, acarreo, almacenajes, y todo lo necesario para efectuar la inyección de acuerdo con el proyecto, a entera satisfacción de la Comisión.

#### **Suministro, colocación e inyecciones de anclas de fricción de varilla corrugada de 1", en el desplante del panto**

El precio unitario incluye: suministro de todos los materiales, mano de obra, equipo, herramienta, andamios, instalaciones, mortero de  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión. La medición se efectuará por metro lineal y por unidad de obra terminada. La longitud del ancla será de 3.0 metros.

## CONCRETO

Se medirá por metro cúbico con aproximación de un decimal, la cuantificación de volúmenes, será resultado de las dimensiones geométricas que marque el proyecto aprobado por la CFE y cubicado hasta la línea "B" ó "línea de pago", en el caso que corresponda. La cuantificación de volúmenes será por unidad de obra terminada a entera satisfacción de la Comisión, habiendo cumplido con las especificaciones de construcción y/o lo indicado en el proyecto, así como todas aquellas actividades necesarias para su total ejecución.

El precio unitario se analizará considerando la construcción de estructuras de concreto en cualquier sitio de la obra y a cualquier altura, tomando en cuenta: el tamaño del agregado, el acabado y la resistencia especificada en cada caso. El precio unitario incluye: mano de obra, equipo y herramienta, cemento del tipo especificado, aditivos y todos los materiales necesarios para su fabricación, transporte, colocación y curado; almacenamiento, acarreo, procesamiento de agregados, dosificado, mezclado; bombeado de concreto (en su caso), preparación del sitio, limpieza, cimbrado, descimbrado, troquelado, obra falsa, andamios, preparación de juntas, vibrado, curado, limpieza final, maquinaria, alumbrado, instalaciones, ventilación, colocación de concreto, acabados, según especificaciones y en general todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la CFE.

Para el concreto en la cara aguas arriba de la cortina, elaborado con cemento portland puzolana se incluye adicionalmente a lo escrito anteriormente, la mano de obra, equipo, herramienta y todos los materiales necesarios para: el uso de cimbra deslizante, guías, muertos de concreto en el talud para apoyo de las guías, y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo; cajas de madera para la protección de los sellos de la junta perimetral, o bien en todas las juntas que por algún caso se puedan dañar. Además las medidas de protección que determine emplear el contratista para canalizar el agua de lluvia por fuera del plinto y del material colocado en la cortina, esto para evitar la erosión del material colocado.

### **Mortero lanzado**

Para los morteros lanzados, satisfactoriamente aplicados en los tramos definidos por la Comisión; se pagará por metro cúbico lanzado, con aproximación de un decimal. El precio unitario incluye el suministro de todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesarios para: extracción de los bancos de arena, su clasificación y proceso, manejo, almacenamiento, suministro de agua, fabricación y colocación de mortero, acarreo total, andamios, la extracción del rebote, y en general todo lo necesario para dejar terminado el trabajo en excavaciones a cielo abierto en el desplante del plinto.

### **ACERO DE REFUERZO**

La cuantificación del suministro, habilitado y colocación del acero de refuerzo de cualquier diámetro y esfuerzo de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , se hará en toneladas, con aproximación de tres decimales. Las cantidades a considerar para fines de pago, serán las de acero instalado y ahogado en concreto. Estas cantidades se determinarán calculando las longitudes indicadas en los planos, considerando los ganchos, dobleces y aplicando a las longitudes estimadas los pesos teóricos por unidad de longitud consignados en el manual AHMSA para construcciones de acero. No se considerarán traslapes, silletas espaciadores, alambre para amarres, ni desperdicio por corte. El precio unitario además incluye el suministro de todos los materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesaria para: maniobras, manejo, acarreo total, enderezado, corte, doblado, amarres de silletas, espaciadores, y en general todos los trabajos necesarios para dejar terminado a entera satisfacción de la CFE.

### **Malla**

Suministro, habilitado y colocación de malla electrosoldada de 10 x 10 cms. x 3/16", fijada con anclas de varilla de 3/4" de 1m. de longitud, en patrón de 1.5 x 1.5 m. En las excavaciones a cielo abierto en el desplante del plinto, en donde lo indique la Comisión. Incluye barrenación, suministro, habilitado, colocación e inyección de las anclas y en general de todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la CFE. La cuantificación será por metro cuadrado, por unidad de obra terminada con aproximación a la unidad.

#### **Protección asfáltica en el talud aguas arriba de la presa.**

Se deberá de proteger el talud mediante una capa de emulsión asfáltica FM-1 en una proporción uniforme de 2 lts/m<sup>2</sup> aproximadamente. En las áreas donde la CFE lo considere necesario se aplicará una segunda capa inmediatamente después del riego y se esparcirá arena fina uniformemente sobre la superficie. La medición se hará por unidad de obra terminada, en metros cuadrados con aproximación a la unidad. El precio unitario incluye el suministro de los materiales necesarios y en las proporciones indicadas; mano de obra, equipo y herramienta necesarios para dejar los trabajos en el talud de la cortina aguas arriba, a entera satisfacción de la CFE.

#### **JUNTAS ESPECIALES EN LA CARA DE CONCRETO**

Para fines de estimación y pago se medirán las cantidades reales colocadas a entera satisfacción de la Comisión, hasta las líneas de proyecto aprobadas por la CFE. El contratista desglosó al integrar sus precios unitarios el importe de cada una de las partes que componen cada junta. La medición será en metros lineales de cada componente con tres decimales de aproximación.

#### **Junta Perimetral tipo 1**

El contratista ejecuta los trabajos que a continuación se describen y que no serán limitativos para: todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapes, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, herramienta y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión, de los siguientes conceptos:

- 1) Banda de hypalon de 50 cm. de ancho y 0.6 cm. de espesor.
- 2) Sello de PVC de 30 cm. de ancho.
- 3) Sello de cobre de 55 cm. de ancho y 0.102 cm. de espesor.
- 4) Cilindro de neopreno de 1.27 cm.
- 5) Tablones de madera de ancho variable de 85 a 30 cm. y espesor de 1.27 cm.

- 6) Pintura antiadherente en una de las caras de la madera.
  - 7) Material de relleno de poliuretano.
  - 8) Barrenanclas HILTI FD M20 de plástico, espaciadas a cada 30 cms.
  - 9) Cama de arena asfáltica de 25 x 20 cm.
  - 10) Banda de asiento de sello de cobre de 26 cm. de ancho y 0.6 cm. de espesor.
  - 11) Tornillos o puntillas de fijación al concreto.
  - 12) Bulbo de neopreno de 4.5 x 1.27 cm.
  - 13) Placas de 2 1/2" x 1/4" galvanizadas con barrenos de 1/2" @ 30 cm.
  - 14) Ángulos de A-36 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4" galvanizados con barrenos de 1/2" @ 30 cm.
  - 15) IGAS o similar en volumen aproximado de 100 cm<sup>3</sup>.
  - 16) Material adherente para sello de cobre.
  - 17) Cojines de madera protectores de sellos de cobre y PVC
- La medición será en metros lineales con aproximación de tres decimales.

#### **Junta vertical tipo 2 y 2A**

Por los precios unitarios estipulados en el catálogo de conceptos, el Contratista ejecutará los trabajos que a continuación se describen y no serán limitativos para todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapes, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión, de los siguientes conceptos:

- 1) Sello de cobre de 51 cm. de ancho y 0.102 cm. de espesor.
- 2) Banda de asiento del sello de cobre de 50 cm. de ancho y 0.6 cm. de espesor.
- 3) Bulbo de neopreno de 4.5 x 1.27 cm.
- 4) Material adherente para sello de cobre
- 5) Tablones de madera de ancho variable de 85 a 30 cm. y espesor de 1.27 cm.  
En las juntas tipo 2A se colocaran en dos secciones, en la junta 2 en una sola.
- 6) Pintura antiadherente en una sola de las caras de la madera.
- 7) Tornillos o puntillas de fijación al concreto.
- 8) Sello de PVC de 30 cm. de ancho (sólo en juntas tipo 2A).
- 9) Cama de concreto, espesor de 3.5 cm. mínimo.
- 10) Cajón protector del sello de PVC
- 11) Material de relleno de poliuretano.

La medición será en metros lineales con aproximación de tres decimales de junta terminada.

### **Junta vertical tipo 3 y 3A**

El contratista ejecutará los trabajos que a continuación se describen y que no serán limitativos para: todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapos, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, equipo y herramienta, y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión, de los siguientes conceptos:

- 1) Sello de cobre de 51 cm. de ancho y 0.102 cm. de espesor.
- 2) Banda de asiento de sello de cobre de 50 cm. de ancho y 0.6 cm. de espesor.
- 3) Bulbo de neopreno de 4.5 x 1.27 cm.
- 4) Material adherente para sello de cobre.
- 5) Pintura asfáltica.
- 6) Cama de concreto de 5 cm. de espesor.
- 7) Sello de PVC de 30 cm. de ancho (sólo en junta tipo 3A)
- 8) Cajón protector del sello de PVC

La medición será en metros lineales con aproximación de tres decimales de junta terminada.

### **Junta vertical tipo 4 y 4A**

El contratista ejecutará los trabajos que a continuación se describen y que no serán limitativos para: todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapos, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, equipo y herramienta, y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión, de los siguientes conceptos:

- 1) Banda de hypalon de 50 cm. de ancho y 0.6 cms de espesor.
- 2) Sello de PVC de 30 cm. de ancho ( sólo en junta tipo 4A).
- 3) Sello de cobre de 51 cm. de ancho y 0.102 de espesor.
- 4) Cama de concreto, espesor mínimo 3.5 cm.
- 5) Barrenanclas HILTI FD M20 de plástico @30 cm.
- 6) Banda de asiento sello de cobre de 50 cm. de ancho y 0.6 cm. de espesor.



- 7) Bulbo de neopreno de 4.5 x 1.27 cms.
- 8) Placas de 2 1/2" x 1/4" galvanizada.
- 9) IGAS o similar, volumen promedio de 50 cm<sup>3</sup>.
- 10) Material adherente para sello de cobre.
- 11) Pintura asfáltica
- 12) Cajón protector del sello de PVC.

La medición será en metros lineales con aproximación de tres decimales de junta terminada.

#### **Junta horizontal tipo 6**

El contratista ejecutará los trabajos que a continuación se describen y que no serán limitativos para: todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapes, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, equipo y herramienta, y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la Comisión, de los siguientes conceptos:

- 1) Sello de PVC de 22 cm. de ancho.
- 2) Sello de cobre de 51 cm. de ancho y 0.102 cm. de espesor.
- 3) Material de relleno de poliuretano, espesor de 1.2 cm.
- 4) Cama de concreto
- 5) Banda de asiento del sello de cobre de 50 cm. de ancho y 0.6 cm de espesor.
- 6) Bulbo de neopreno de 4.5 x 1.27 cm.
- 7) IGAS o similar, volumen aproximado de 15 cm<sup>3</sup>.

#### **Junta horizontal tipo 7**

El contratista ejecutará los trabajos que a continuación se describen y que no serán limitativos para todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapes, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, equipo y herramienta, y todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la CFE, de los siguientes trabajos:

- 1) IGAS o similar, volumen aproximado de 15 cm<sup>3</sup>
- 2) Varilla corrugada  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , longitud de 100 cms.

La medición será en metros lineales con aproximación de tres decimales de junta terminada.

#### **Junta vertical tipo 8 en el parapeto**

Por los precios unitarios estipulados en el catálogo de conceptos, el contratista ejecutará los trabajos que a continuación se describen y que no serán limitativos para todos los suministros, habilitados, colocaciones, traslapes, soldaduras y empalmes de uniones, mano de obra, equipo, herramienta y todo lo necesario para terminar el trabajo a entera satisfacción de la Comisión, de los siguientes conceptos:

- 1) Sello de PVC de 22 cm. de ancho.
- 2) Material de relleno de poliuretano, espesor de 1.2 cm.

La medición será en metros lineales con aproximación de tres decimales de junta terminada.

#### **Barrenación en roca**

En galerías de inspección y drenaje, de 3" de diámetro, longitud de 30 a 50 cms.

**Conceptos, cantidades de obra,  
Precios unitarios y monto total .**

<b>Conceptos de obra</b>	<b>cantidad</b>	<b>unidad</b>	<b>Precio unitario (N\$)</b>	<b>Importe (N\$)</b>
<b>OBRAS DE CONTENCIÓN</b>				
- Desmante en laderas	20	Ha.	6,045.13	120,902.60
- Despalme en laderas	430,590	m <sup>3</sup>	9. 88	4'254,229.20
- Rampa de cimentación del Plinto	160,000	m <sup>3</sup>	17.98	2'876,800.00
- Excavación en túnel, en roca, en galerías de drenaje	22,120	m <sup>3</sup>	224.82	4'973,018.40
- Limpie del cauce del río para desplante de la cortina	240,000	m <sup>3</sup>	34.22	8'212,800.00
- Extracción y almacenamiento de aluvión para los materiales :				
1	25,000	m <sup>3</sup>	11.98	299,500.00
1A	15,000	m <sup>3</sup>	6.63	99,450.00
1B	68,410	m <sup>3</sup>	3.34	228,489.40
2	587,000	m <sup>3</sup>	8.19	4'807,630.00
2F	177,000	m <sup>3</sup>	7.71	1'364,670.00
3A	331,000	m <sup>3</sup>	8.49	2'810,190.00
3B	8'261,500	m <sup>3</sup>	3.66	30'237,090.00
D	205,000	m <sup>3</sup>	6.87	1'408,350.00
3D	115,000	m <sup>3</sup>	11.04	1'269,600.00

**CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA, PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL**

<b>Conceptos de obra</b>	<b>cantidad</b>	<b>unidad</b>	<b>Precio unitario (N\$)</b>	<b>importe (N\$)</b>
- Sobrecarreo de cualquier tipo de material producto de excavaciones y/o remociones				
a) Enrocamiento	500,000	m <sup>3</sup> -km	0.97	485,000.00
b) Material granular	100,000	m <sup>3</sup> -km	0.58	58,000.00
c) Material fino	50,000	m <sup>3</sup> -km	0.48	24,000.00
- Colocación y compactación de aluvión para la presa, de los materiales				
1	25,000	m <sup>3</sup>	3.43	85,750.00
2	587,000	m <sup>3</sup>	4.51	2'647,370.00
2F	54,000	m <sup>3</sup>	5.14	277,580.00
3A	275,000	m <sup>3</sup>	4.63	1'273,250.00
3B	1'195,000	m <sup>3</sup>	33.32	39'817,400.00
D	205,000	m <sup>3</sup>	2.79	571,950.00
3D	115,000	m <sup>3</sup>	4.77	548,550.00
- Colocación y compactación de aluvión para ataguías en materiales:				
1A	15,000	m <sup>3</sup>	12.73	190,950.00
1B	68,410	m <sup>3</sup>	3.39	231,909.90
2F	123,000	m <sup>3</sup>	4.08	501,840.00
3A	58,000	m <sup>3</sup>	3.75	210,000.00
3B	66,000	m <sup>3</sup>	3.47	229,020.00
- Colocación y compactación de enrocamiento proveniente de excavaciones a cielo abierto	3'412,566	m <sup>3</sup>	0.54	1'842,785.64

**CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA, PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL**

<b>Conceptos de obra</b>	<b>cantidad</b>	<b>unidad</b>	<b>Precio unitario (N\$)</b>	<b>Importe (N\$)</b>
- Colocación y compactación de materiales para protección de los taludes de la presa				
3F	160,000	m <sup>3</sup>	4.24	678,400.00
4	190,000	m <sup>3</sup>	7.37	1'400,300.00
- Bombeo en exceso al de 10 lts/seg en el lecho del río				
a) Bomba de 203.2 mm. (8")	54,750	hr	55.73	3'051,217.50
b) Bomba de 254.0 mm. (10")	2,000	hr	112.97	225,940.00
- Barrenación en roca				
a) De 5.7 cm. de diámetro; longitud de 40 a 50 m.	15,000	m	85.21	1'278,150.00
b) De 5.7 cm. de diámetro; longitud de 20 a 30 m.	9,000	m	90.98	818,820.00
c) De 5.7 cm. de diámetro; longitud de 5 m.	6,660	m	55.11	367,032.80
d) De 7.6 cm. de diámetro; longitud de 3 m.	4,200	m	51.17	214,914.00
- Inyecciones de consolidación				
a) Inyección de alta presión 50 a 40 m. de longitud.	900	m <sup>3</sup>	419.57	337,813.00
b) Inyección de baja presión 30 a 20 m. de longitud.	540	m <sup>3</sup>	667.02	360,190.80
c) Inyección de tarrete de consolidación 5 m. de longitud.	400	m <sup>3</sup>	682.25	272,900.00

**CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA, PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL**

<b>Conceptos de obra</b>	<b>cantidad</b>	<b>unidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Importe (\$)</b>
- Suministro, colocación e inyecciones de anclas de fricción de varilla corrugada de 1", en el desplante del plinto.	5,600	m	68.25	382,200.00
- CONCRETO				
a) Concreto en el plinto de la cortina f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	6,530	m <sup>2</sup>	448.56	2'929,096.08
b) Concreto en el parapeto de la cortina f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	5,180	m <sup>3</sup>	448.29	2'322,142.20
c) Concreto en la cara de la cortina f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	62,000	m <sup>3</sup>	258.12	16'003,440.00
d) Concreto en lumbreras f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	50	m <sup>3</sup>	613.07	30,653.50
e) Concreto dental en la cimentación del plinto, f'c = 200 kg/cm <sup>2</sup>	20,500	m <sup>3</sup>	303.69	6'225,645.00
f) Concreto en la plantilla del plinto f'c = 150 kg/cm <sup>2</sup>	100	m <sup>3</sup>	376.55	37,855.00
g) Concreto en plantilla de galerías subterráneas f'c = 150 kg/cm <sup>2</sup>	150	m <sup>3</sup>	239.52	35,928.00
- Mortero Lenzado				
a) En excavaciones a cielo abierto en el desplante del plinto	50	m <sup>3</sup>	943.52	47,176.00
- ACERO DE REFUERZO				
a) En plinto	230	ton	2,431.53	559,251.90
b) En parapeto	180	ton	2,109.24	379,663.20
c) En losa de la cara de concreto	1,920	ton	2,183.60	4'192,512.00

**CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA, PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL**

<b>Conceptos de obra</b>	<b>cantidad</b>	<b>unidad</b>	<b>Precio unitario (N\$)</b>	<b>Importe (N\$)</b>
- Malla	500	m <sup>2</sup>	23.69	11'845.00
- Protección asfáltica en el talud aguas arriba de la presa	125,000	m <sup>2</sup>	3.80	475'000.00
<b>- JUNTAS ESPECIALES EN LA CARA DE CONCRETO</b>				
a) Junta perimetral tipo 1	996	m	965.95	962'086.00
b) Junta vertical tipo 2	903	m	452.52	408'625.56
c) Junta vertical tipo 2A	155	m	536.16	83'104.80
d) Junta vertical tipo 3	3,294	m	736.53	2,426'129.82
e) Junta vertical tipo 3A	372	m	489.97	185'988.84
f) Junta vertical tipo 4	3,520	m	722.83	2,544'361.60
g) Junta tipo 4A	596	m	808.36	481'782.56
h) Junta horizontal tipo 6	655	m	513.47	338'322.85
i) Junta horizontal tipo 7	20	m	45.00	900.00
j) Junta vertical tipo 8 con el parapeto	239	m	74.83	17'884.37
- Barrenación en roca en galerías de inspección y drenaje	4,500	m	60.46	272'070.00

**MONTO TOTAL OBRAS DE CONTENCIÓN = N\$ 162'314,937.00**

**MONTO TOTAL CARA DE CONCRETO = N\$ 45'001,055.00**

El proceso de desarrollo de México requerirá de importantes cantidades de energía eléctrica, y si a esto se le añade que el diseño y la construcción de las instalaciones para atender la demanda futura toma considerables años, resulta entonces necesario aplicar un vigoroso programa de ampliación del sistema, ya que la electricidad no puede importarse ni almacenarse, y el no disponer a tiempo de las instalaciones frenaría el avance nacional. Es precisamente en estos tiempos, que vemos desarrollarse grandes proyectos hidroeléctricos como el de Aguamilpa y el de Zimapán, que garantizarán la satisfacción de las futuras necesidades de un país con un enorme potencial de crecimiento. Para tal efecto resulta necesario proponer para cada proyecto la solución más factible y económica, sin que esto demerite la calidad de la obra y de sus componentes.

Las presas del tipo enrocamiento con cara de concreto (PECC) han tenido una evolución básicamente empírica. A pesar de esto su aceptación en el mundo ha sido cada vez mayor y las presas son cada vez más altas. La razón principal de la "popularidad" de las PECC es la económica, ya que tiene algunas ventajas sobre las presas de materiales graduados:

- Se pueden construir aún en épocas de lluvia, ya que no incluyen materiales térreos impermeables.
- El volúmen de materiales es menor para la misma altura.
- El proceso constructivo del cuerpo de la presa es más flexible.
- El ancho de la base es menor que en las presas de materiales graduados, por lo cual las obras de desvío, desfogue y excedencias también son usualmente de menor longitud.



Sin embargo había importantes aspectos de las PECC no totalmente verificados. Ninguna presa de este tipo ha sido sometida a aceleraciones en la base ( $a_b$ ) superiores a 0.2g y es un hecho reconocido que cualquier cortina de cualquier tipo se comporta bien dentro de ese rango. Siempre se argumentó en favor de las PECC apoyándose en que dentro de la presa no se generan presiones de poro por estar secas, y en que al actuar la presión de agua sobre la cara de concreto todo el terraplén actúa en favor de la estabilidad. En el caso de la presa Aguamilpa, esta se encuentra en una zona sísmica, lo que condujo a realizar estudios que comprobaron, desde el punto de vista estático y dinámico, que el diseño es establemente adecuado. Lo que todavía sigue siendo una incógnita, es cómo se comportarán en un evento sísmico mayor, las juntas de la cara de concreto y sobre todo la junta perimetral. A pesar que la junta perimetral constituye potencialmente la zona de mayores riesgos en el comportamiento no deseable de la estructura, se ha diseñado de manera empírica, lo que ha sido motivo de pruebas de laboratorio desarrolladas por CFE y que constituyen la base para la utilización de los materiales y características que garanticen su buen funcionamiento ante probables eventos. En esta ocasión el argumento que conduce a confiar mediante experiencias anteriores, es que a pesar de que en sismos severos la losa de concreto o algunas juntas se agrieten, aumentando las fugas de agua, ese flujo no pone en peligro la estabilidad global de la presa, ya que en las presas modernas el volumen de agua que fluye por las fisuras se pueden manejar fácilmente a través de la cortina.

La construcción de la presa de Aguamilpa está siendo posible a medida que un gran número de personas avocan su esfuerzo e inteligencia en el fin mismo que ha hecho que la humanidad progrese y alcance metas cada vez más complejas. Este tipo de obras de grandes magnitudes son desarrolladas durante largo tiempo, ya que los proyectos tienen que seguir una serie de procesos de estudio que aseguren su factibilidad, además de tener una oportuna visión hacia el futuro acorde con las crecientes necesidades de nuestro país en constante desarrollo. Así bien, para hacer realidad este tipo de esfuerzo conjunto es necesario reunir la técnica y la tecnología, el conocimiento y el ingenio, los materiales, equipo y herramienta, la fuerza humana de trabajo y una enorme voluntad; que hagan que la obra y las distintas actividades de cada frente, sean de una planeación y organización tales, que repercutan favorablemente en el aspecto técnico, social y económico.

**Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa. Descripción y Datos generales.** Comisión Federal de Electricidad, subdirección de construcción, gerencia de proyectos hidroeléctricos, Mexico, D.F. 1988.

**Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Nayarit. Información general: selección, diseño y métodos constructivos de la cortina.** Ingenieros Civiles Asociados, S.A de C.V., Comisión Federal de Electricidad, México 1991.

**Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa. Mesa Redonda, Homenaje al Prof. Raúl J. Marsal (1915-1990).** Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. , México 1991.

**50 Aniversario. Comisión Federal de Electricidad 1937-1987,** Comunicación Social, C.F.E., impresora de Ediciones S.A., México 1987.

**Presa Aguamilpa, Criterios de Diseño. XV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos,** Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C., vol. 1, S.L.P. México 1991. pp. 255-266

**Presas de Tierra y Enrocamiento. Marsal, Raúl J., Resendiz Nuñez.** Editorial Limusa, México, 1975.

## **BIBLIOGRAFIA**

**Manual de Diseño de Obras Civiles. Hidrotécnica;** Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, México 1981.

**Estudio del comportamiento sísmico de la Presa Aguamilpa. Romo y Covarrubias.** Tecnología y Sistemas S.A., México 1989.

**Concrete Face Rockfill Dams. Desing, Construction and Performance.** American Society of Civil Engineers, Detroit, E.U.A., 1985.

**Catalogo de Conceptos y Cantidades de Obra para Precios Unitarios y Monto Total. Concurso. Construcción de las Obras de Contención.,** Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Construcción, Unidad de Servicios Técnicos, México, 1989.

**Construcción de la Cara de Concreto. Volúmenes de Obra, Procedimientos constructivos, planos, avances por fechas, programas de obra, etc.** Archivo general del Frente de Obras de Contención, Aguamilpa Nayarit, México, 1989-1992.