

92
2010



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EXTRACCION, PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A ;
HUMBERTO ORTIZ MORENO

ASESOR DE TESIS: ING. LUIS CANDELAS R.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-029/93

Señor:
ORTIZ MORENO HUMBERTO
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Luis Candela Ramirez, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

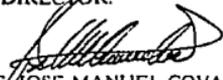
"EXTRACCION, PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA"

- I .- INTRODUCCION.
- II .- DATOS GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA.
- III .- DESCRIPCION DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN.
- IV .- BANCOS DE EXTRACCION.
- V .- PLANTAS DE PROCESAMIENTO.
- VI .- ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE MATERIALES.
- VII .- SUPERVISION Y CONTROL.
- VIII.- CONCLUSIONES.

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 23 de febrero de 1993.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nl1

A MI PADRE:

Quien mediante su firme ejemplo y generosa comprensión ha guiado a nuestra familia por el camino de la vida.

... para tí, papá, con admiración y respeto.

A MI MADRE:

Que brindándonos siempre su tierno y cariñoso apoyo, nos supo comprender entregándonos en todo momento, el alma y el amor completo.

¡Mamá, tu presencia permanecerá eterna en nuestros corazones !

A mis hermanos:

Juntos nos hemos forjado el carácter, hemos compartido lo bueno y malo que nos ha sucedido; seguiremos estando unidos por el lazo indisoluble del amor y la amistad.

Con cariño para mis hermanos: Pepe, Meche y Allan.

**A MIS ABUELOS GONZALO Y
ANGELITA MORENO.**

Que siempre me mostraron lo que es el amor, el cariño y la unidad familiar,

nunca los olvidaré, abuelitos.

A MIS TIOS EUSEBIO Y MARI.

Les agradezco la generosidad de sus almas al brindarme la oportunidad de crecer lejos de mi casa, y de su cariñosa enseñanza.

**A mis amigos y compañeros de la
Universidad:**

Lleno de alegrías, de tristezas, de plácidos momentos y de largas desveladas, en las clases, en las bibliotecas, en los jardines y todo rincón de nuestra queridísima Ciudad Universitaria, han transcurrido años que nos dejan recuerdos bellos que sirven como fértil tierra para que germine fortalecida nuestra amistad en nuestras vidas ya como profesionistas.

A mis profesores:

Ejemplo vívido de nuestra profesión, que con disciplina, aplomo y seguridad han tenido a bien, compartir sus conocimientos con el solo deseo de ver recompensa en el buen desempeño, tanto humano como profesional, de nosotros, sus discípulos.

¡ Gracias maestros !

Al Ingeniero Juan Miguel Escobedo Gonzalez:

quien le debo su valiosísima cooperación desinteresada para la realización de esta tesis, al enseñarme con disciplina y amistad, la práctica profesional en este ramo de la construcción.

A mis amigos y compañeros en Aguamilpa, Nay (C.F.E. - 1993)

I. INTRODUCCION

I.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

En todo problema, abordado desde el punto de vista de la Ingeniería, es menester como etapa básica definir o delimitar dicho problema y así establecer el contexto, alcances del estudio o análisis y fijar el enfoque que se desea dar para su resolución.

■ OBJETIVO

El presente trabajo de tesis profesional pretende cubrir los siguientes aspectos:

1. Como parte escrita para la sustentación de examen de grado para obtener el título de Ingeniero Civil.
2. Contribuir de algún modo a cubrir, aunque de manera específica y descriptiva para el caso del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, la falta de bibliografía o textos que proporcionen información general de los métodos y/o procedimientos prácticos para la obtención y manejo de materiales, que sean producto de la extracción de material fluvial (aluvión) y su procesamiento, con el objeto de ser colocados en el cuerpo de una presa o cortina.

■ CONTEXTO

Siendo el radio de acción de la Ingeniería Civil tan extenso, es preciso delimitar la parte que constituye este trabajo escrito.

El contexto sobre el que se sustentará esta tesis será la construcción del P. H. Aguamilpa desde la posición de la supervisión, misma que ha sido realizada por la propia Comisión Federal de Electricidad.

1.2 ALCANCE, JUSTIFICACION Y ENFOQUE

El alcance de esta tesis es el siguiente:

- a) Describir las obras principales del Proyecto en forma breve y las obras de Contención, que forman parte del mismo, a un grado medio de profundidad; esto se debe a que la cortina es una de las estructuras que forman dichas obras, y sobre la que se analizan los materiales requeridos para su buen funcionamiento.
- b) Abarcar los procedimientos empleados sobre el material aluvial desde su obtención hasta previo a ser colocado en la cortina, para ello se cubren las etapas de extracción, procesamiento, transporte y almacenamiento, en alto grado de detalle.
- c) Queda fuera de este estudio aquellos materiales producto de la voladura de rocas.

La justificación y enfoque es el que a continuación se indica:

Este trabajo se enfoca exclusivamente en los materiales derivados de la extracción del aluvión (denominados 3B, 2 y 2F -ver clasificación en el Capítulo III), omitiendo completamente los materiales rocosos (denominados 3C Y4); debido a que mi práctica profesional la desarrollé laborando en el frente de Extracción y Procesamiento de Aluvión de C.F.E-Aguamilpa., y los procedimientos para obtener estos últimos materiales son totalmente distintos, que bien puede ser materia para otro tema de tesis.

1.3 METODOLOGIA

La filosofía del método empleado para la conformación de esta tesis fue de tipo "deductivo", es decir, que partiendo de lo general se llega a las descripciones particulares.

El cuerpo de la tesis inicia con los DATOS GENERALES DEL PROYECTO (Capítulo I), en el que se describen el contexto de la obra, su situación particular a nivel nacional en cuanto a la generación de energía eléctrica, los beneficios, las características geo- morfológicas del Río Santiago, sobre el que se asentarán las obras, la descripción breve de las mismas y el programa de construcción.

Pasando después a la DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN (Capítulo III), donde se describen las estructuras que integran este conjunto y cuya finalidad es garantizar la

estanqueidad (o impermeabilidad) del Proyecto, y cuya principal estructura es la Cortina, sobre la que se enmarca la situación que guarda ésta con respecto a otras a nivel internacional, del mismo modo se describen sus elementos con referencia a la experiencia internacional. La descripción del proyecto de la cortina y las modificaciones que sufrió durante el proceso constructivo también se incluyen en este capítulo.

Una vez estudiados estos antecedentes con cierto grado de profundidad, se procede entonces a la descripción detallada de los aspectos de movimiento de tierras con el Capítulo IV -**BANCOS DE ALUVION**, iniciando esta descripción con los aspectos generales de los bancos (que incluyen cálculos de volumen potencial y distancias) y después se analizan las características del aluvión con el enfoque de la granulometría. Se describen también los proyectos para el acceso y acondicionamiento de los depósitos para la extracción, carga y acarreo.

En el Capítulo V -**PLANTAS DE PROCESAMIENTO**, se estudian tanto los equipos básicos de trituración como los materiales producidos, además se describe la conformación de las plantas de procesamiento del P. H. Aguamilpa y los procedimientos de producción.

En el Capítulo VI se encuentra de forma separada las secciones sobre **ALMACENAMIENTO y TRANSPORTE DE MATERIALES**. En la primera se describen los procedimientos de almacenaje para los materiales aluvión y filtros, ya que se tienen diferencias muy marcadas para almacenar uno u otro. Se decidió manejar separadamente el aspecto del transporte como un subcapítulo debido a que en la integración de la información hubo necesidad de ampliar el tema; en el que se describe las alternativas consideradas para el movimiento del material aluvial en la obra, así como la descripción de la cadena de transporte que finalmente se adoptó.

El Capítulo VII se enfoca a las características y peculiaridades que se presentaron en el desarrollo de los trabajos de supervisión de los trabajos, para finalmente, en el Capítulo VIII se muestran las conclusiones a que llegué para esta Tesis.

II. DATOS GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA

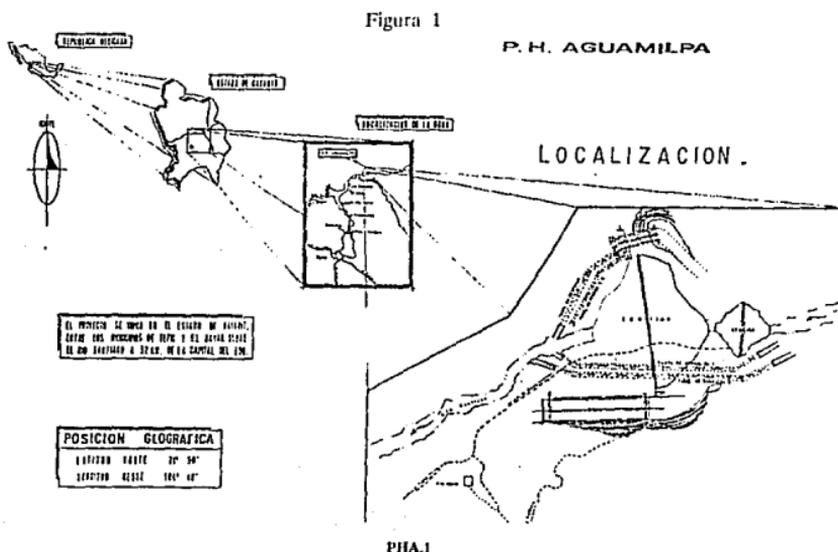
El PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA forma parte del Plan Global de Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santiago. Su finalidad principal es la generación de energía eléctrica, en operación conjunta con las otras centrales previstas a lo largo de este Río.

Aguamilpa generará 2,131 GWH anuales en promedio para atender principalmente las demandas pico. Para ello, la Central contará con 3 unidades generadoras de 320 MW cada una, lo que hace de este proyecto uno de los más importantes del país.

II.1 LOCALIZACION

El sitio de construcción de las obras principales se encuentra en la parte central del Estado de Nayarit, al NNE de la ciudad de Tepic, siendo sus coordenadas geográficas: $104^{\circ}48'$ de longitud Oeste, y $21^{\circ}50'$ de latitud Norte

El acceso al sitio se efectúa por la carretera estatal pavimentada, desde Tepic, que va a la población de Francisco I. Madero, y a la altura del km 12 se encuentra la desviación hacia Aguamilpa, con un desarrollo adicional de 40 km (fig. 1).



II.2 AGUMILPA EN EL CONTEXTO NACIONAL

En el contexto nacional, entre las hidroeléctricas, Aguamilpa se coloca entre las más destacadas conforme a las siguientes características:

CENTRAL	POTENCIA INSTALADA MW	GENERACION MEDIA ANUAL GW HORA ANUALES	ALMACENAMIENTO Hm ³	ALTURA DE CORTINA m
CHICOASEN	1,500	2,500	1,705	251
MALPASO	1,080	2,800	12,960	138
INFIERNILLO	1,000	3,160	12,000	149
AGUAMILPA	940	1,131	4,950	187
ANGOSTURA	900	2,200	18,500	147
CARACOL	594	1,480	1,860	126
PERITAS	420	1,910	1,628	53
LA VILLITA	300	1,180	710	60
ZIMAPAN	290	1,292	1,426	200
MAZATEPEC	208	790	62	92
TEMASCAL	154	830	13,790	76

Aguamilpa ocupará el 4o. lugar en potencia instalada, el 5o. en generación media anual, el 6o. en almacenamiento (después de La Amistad) y el 3o. en altura de cortina.

II.3 EL RIO SANTIAGO

El Río Santiago es uno de los más importantes en México, contando con un Potencial de Generación de 11,092 GWh anuales, con una capacidad instalada de 4,807 MW distribuidos en 12 proyectos principales y 15 secundarios, de éstos a la fecha (1993) sólo 4 se encuentra en operación, Agua Prieta y Aguamilpa en construcción y el resto en diversas etapas de estudio que van desde la identificación hasta la factibilidad.

La ubicación y dimensiones son el resultado del mejor esquema adoptado para este río en su conjunto, como se muestra en la fig. 2.

En cuanto al escurrimiento en el Río Santiago, este es muy variable en las cercanías de Aguamilpa: Estas variaciones se deben principalmente a cuestiones climatológicas. La época de estiaje se presenta entre los meses de noviembre a mayo y de junio a octubre, las lluvias, afectando toda la cuenca del Río Santiago. No obstante, durante enero y febrero se llegan a presentar avenidas importantes debidas a deshielos de las zonas montañosas de Zacatecas y

Durango. El gasto medio en un mes de estiaje oscila entre 8 y 180 m³/s y en uno de lluvia, entre 95 y 2,000 m³/s. Se determinó el gasto medio anual histórico de 220 m³/s.

SISTEMA HIDROLOGICO RIO SANTIAGO

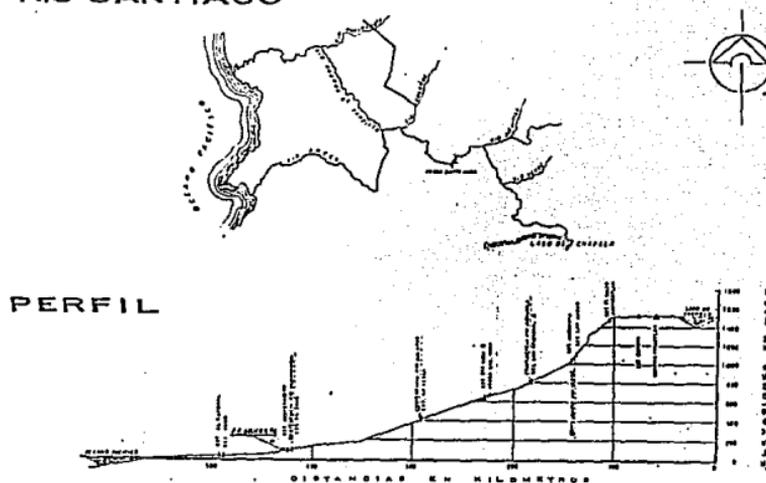


Figura 2

El cañón de Aguamilpa presenta una trayectoria casi rectilínea y aprox. 5 km antes del sitio de las obras, varía el rumbo de N45°W a E-W hasta la confluencia del Rfo Huaynamota, lugar donde de forma brusca cambia a un rumbo N58°W y así continúa hasta desembocar en el Océano Pacífico.

II.4 BENEFICIOS ADICIONALES DEL PROYECTO

Se ha dedicado un esfuerzo y cuidado especiales, por parte de la Comisión Federal de Electricidad, mediante estudios y acciones para prevenir, disminuir -o en su caso compensarlos impactos negativos de carácter social y ambiental que en la zona de influencia de las obras pueden originarse, de modo que este proyecto se convierta en oportunidad de progreso, desarrollo social y preservación de las condiciones ecológicas en la vecindad de las obras.

Los estudios y acciones arriba mencionados, en términos generales son aplicados a 4 zonas principalmente:

- el corredor Tepic-Aguamilpa
- el área del embalse
- las zonas de reasentamiento
- la región costera

y los aspectos cubiertos son los siguientes:

ASPECTOS SOCIALES

- a) Abasto a tiendas rurales
- b) 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

ASPECTOS AMBIENTALES

- a) Divulgación y promoción del cumplimiento de las normas y leyes aplicables en materia ambiental
- b) Reforestación de áreas afectadas por desmonte
- c) Monitoreo de la calidad del agua del Rfo Santiago
- d) Elaboración de inventarios de flora y fauna, así como rescate de especies de interés ecológico
- e) Estudios de predicción de impactos derivados del embalsamiento y diseño de medidas preventivas
- f) Acciones de prevención y control de la contaminación ambiental originada por el proyecto.

Adicionalmente a la generación de energía eléctrica por vía hidráulica, se obtendrán beneficios como los que a continuación se describen:

APROVECHAMIENTO AGRICOLA

La agricultura es la actividad principal de la región, y al estar más segura la planicie contra inundaciones es posible incorporar a la actividad 75,000 Ha más adicionales a las 30,000 Ha que se aprovechan actualmente con un solo temporal, garantizando 2 ciclos de cultivo al año.

CONTROL DE AVENIDAS

En el Río Santiago no existen almacenamientos con capacidad reguladora importante, lo que provoca las inundaciones mencionadas. Al ser controlado el escurrimiento por el Río Santiago, será más redituable construir protecciones en otros ríos como San Pedro, Cañas y Acaponeta, para dar mayor seguridad a la planicie.

DESARROLLO EN EL AREA DEL EMBALSE

Debido a la carencia de áreas planas para la agricultura y de medios de comunicación de los poblados, la zona del embalse y su vecindad se hallan económicamente deprimidas. Existe posibilidad de desarrollo mediante la piscicultura.

II.5 CARACTERISTICAS TECTONICAS, SISMOLOGICAS Y GEOLOGICAS

La región occidental de México tiene una estructura relacionada con el movimiento de subducción de las placas de Cocos y de Rivera bajo la placa Norteamericana. La interacción entre las 3 placas hace sumamente compleja la tectónica de la zona, por lo que los sismos que se generan pueden asociarse a diferentes mecanismos. Frente a las costas de Nayarit y Sinaloa se encuentra la fractura de "Tamayo", a la que se le asocian algunos temblores, otros se relacionan a la fractura de Rivera y la mayoría a la trinchera mesoamericana.

Referente a la zona donde se localiza el sitio del proyecto, se han reportado la existencia de fallas muy extensas con orientación preferencial N-S en la margen derecha del Río Santiago y fallas con orientación N-W en la izquierda. Estas diferencias en orientación, se piensa, se deben a cambios en la morfología del Río.

Existen estadísticas en las que se muestra la ocurrencia de temblores destructivos entre 1845 y 1990. En este período se han presentado seis eventos sísmicos con una magnitud mayor de 7^o en la escala de Richter, y uno de ellos con magnitud de 8.2^o (1932).

Con respecto a este sismo, se realizaron estudios cuyas recomendaciones principales para el análisis fueron las siguientes:

- 1) Si el sismo fue causado por la placa de Cocos, se considere un período de recurrencia de 60 años.
- 2) Si el sismo se originó en la placa de Rivera, el período de recurrencia a tomar sería de 140 años -a partir de 1932.

Y como conclusión de otro estudio (*) se indicó que la región de Jalisco tiene un potencial sísmico alto. Para el diseño de las estructuras fue propuesto un espectro, con base en un estudio más detallado de riesgo sísmico para la región del Rfo Santiago, con período de retorno de 400 años y cuyas características son las siguientes:

Para el período:

$T = 0 \text{ s};$	$a = 175 \text{ cm/s}^2$
$0 < T < 0.12 \text{ s};$	a se incrementa linealmente
$0.12 < T < 0.76 \text{ s};$	$a = 455 \text{ cm/s}^2$
$T > 0.76 \text{ s};$	$a = 455 (0.76/T)^{1/2}$

Este espectro es válido y fue utilizado como representativo del ámbito sísmico a que estarían expuestas las estructuras del P. H. Aguamilpa.

GEOLOGIA DE LA BOQUILLA

El sitio de construcción del P. H. Aguamilpa se ubica en los límites de las provincias fisiográficas de la meseta volcánica y de la Sierra Madre Occidental, en la llamada FOSA TECTONICA o GRABEN CHAPALA-TEPIC. Las formaciones predominantes en la región se asocian al Cenozoico Superior y la actividad volcánica durante el Oligoceno-Plioceno produjo una formación calcoalcalina de más de un kilómetro de espesor.

El área de construcción se compone por rocas volcánicas extrusivas (ignimbritas riódacíticas) intrusionadas por diques de diversos orígenes.

* ver referencia bibliográfica No. 4

Las rocas volcánicas extrusivas han sido localmente clasificadas en 3 unidades:

Aguamilpa	la inferior
Colorines	la intermedia
Picachos	la superior

La Unidad Aguamilpa está formada por ignimbrita masiva, las otras dos presentan pseudoestratificación.

La cortina fue desplantada, en el nivel del plinto (*), directamente sobre la unidad Aguamilpa, después de haber limpiado el cauce, y sólo en la parte superior en la margen derecha, se desplantó en la Unidad Colorines. En otras partes de la obra, se excavó sobre las unidades superior e intermedia, como es el caso del canal de llamada de la Obra de Toma y la parte superior del Vertedor.

Aunado a ello fueron detectadas 6 fallas geológicas con orientación general NE-SW, que se les denominó "sistema colorines". No obstante la presencia de fallas, se concluyó que la roca es de buena calidad, principalmente para excavaciones subterráneas, cuyo sistema de soporte se diseñó a base de anclajes y concreto lanzado, como principales tratamientos a la roca.

(*) PLINTO.- Estructura base de la Cara de Concreto de la Presa

II.6 DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE INTEGRAN EL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA

Todo proyecto hidroeléctrico consta de una serie de estructuras cuya finalidad en conjunto es la producción de energía eléctrica empleando la energía potencial y cinética del agua. Dichas estructuras son:

- OBRAS DE DESVIO
- OBRAS DE CONTENCION
- OBRAS DE GENERACION
- OBRAS DE EXCEDENCIAS
- OBRAS COMPLEMENTARIAS
- EQUIPO ELECTROMECHANICO

En la figura 3 (Plano General), se puede observar la distribución de estas obras.

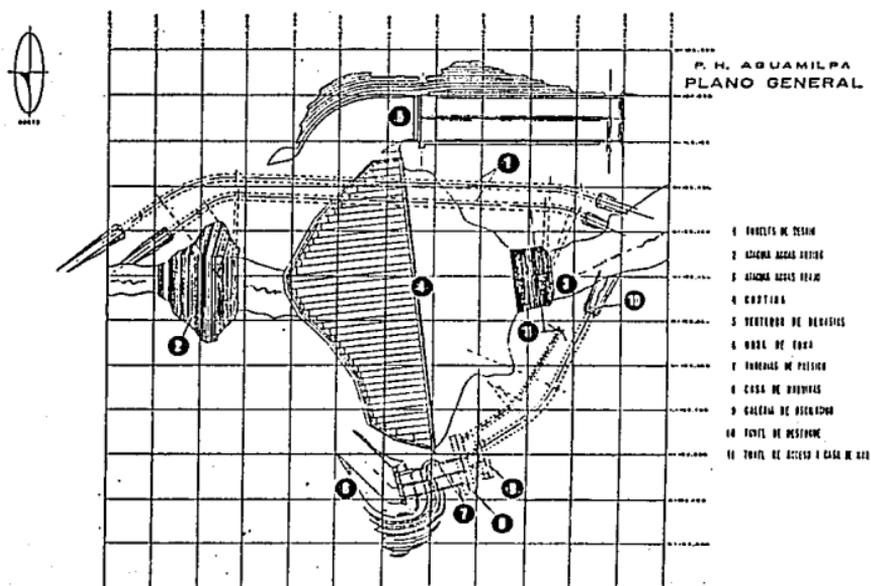


Figura 3

OBRA DE DESVIO

Estas obras modifican el paso del agua fuera del cauce original, conduciéndolo mediante túneles a través de la montaña, con objeto de librar con espacio suficiente, la zona del recinto para la construcción de las obras de contención.

En Aguamilpa, la obra de desvío consta de 2 túneles de sección portal de 16x16 m sin revestir, localizados en la margen izquierda del Río Santiago, cuyas longitudes son de 900 m y 1,000 m respectivamente. El diseño de esta obra obedece al tipo de cortina seleccionado y a la configuración topográfica del cauce.

OBRAS DE CONTENCIÓN

Estas obras forman un conjunto de estructuras cuya finalidad es impedir el paso del agua sobre el río, primeramente para su desvío y evitar que inunde la zona donde se desplantará la Cortina (estructura principal) y después para formar el embalse, y dar carga hidráulica para su aprovechamiento en las obras de generación.

Las obras de contención están constituidas por las siguientes estructuras:

- Atagüfa aguas arriba
- Atagüfa aguas abajo
- Cortina
- Muros pantalla
- Galería de Captación de Filtraciones

En un capítulo más adelante se describen cada una de estas estructuras a mayor detalle.

OBRAS DE GENERACION

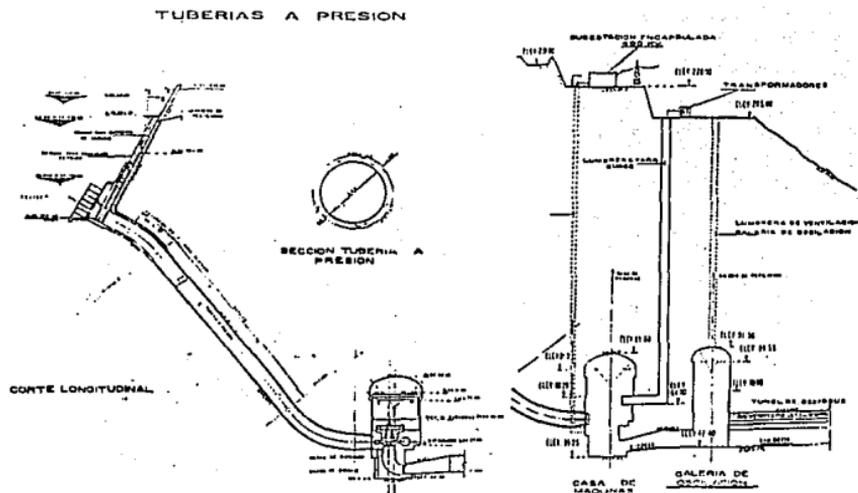
Como ya se indicó, Aguamilpa generará en su planta hidroeléctrica un promedio de 2,131 GWH anuales, para lo cual contará con 3 unidades generadoras, cada una de 320 MW. A continuación se describen las obras más importantes:

Conductos a presión

Los 3 conductos a presión se inician a partir de las compuertas de servicio, con sección rectangular de 5.8 m x 7.4 m y mediante una transición cambian a sección circular, conservando 7.4 m de diámetro. La zona de transición lleva revestimiento de concreto reforzado, en cambio, la rama inclinada aloja una camisa metálica, además de un empaque de concreto simple entre ella y la roca, en toda su longitud, hasta llegar a la casa de máquinas.

Casa de máquinas

Es una caverna que alberga los equipos electromecánicos: turbinas, generadores, excitadores, etc. Además se hallan también las galerías de drenaje, inspección, de charola y cárcamo de bombeo. En la casa de máquinas se instalaron 2 grúas TAKRAFT con capacidades de 405 y 40 ton. cada una, y que pueden levantar el rotor de 735 ton, al acoplarse ambas (ver fig 4).



Galería de Oscilación

Es otra caverna similar a la anterior, de menores dimensiones y cuya función será la de amortiguar los efectos de fenómenos transitorios, siendo este el caso de variación de presión por los rechazos y toma de carga. La galería está separada de la casa de máquinas a una distancia de 50 m entre ejes, y su diseño obedece a condiciones geotécnicas del macizo rocoso y se enlazan entre sí mediante los llamados "tubos de aspiración".

Túnel de desfogue

Conecta la galería de oscilación con el río. Al ser el comportamiento hidráulico y las pérdidas de energía muy importantes -por tener una longitud de 391.00 m- y tomando en consideración la geología del sitio, el aspecto constructivo y económico, el diseño del túnel es tal que presenta las condiciones óptimas de trabajo. Su geometría es de sección portal de 16x16 m y está revestido de concreto armado, para cumplir con lo mencionado.

OBRAS DE EXCEDENCIAS

La obra de excedencias la constituye un vertedor en canal a cielo abierto, con un muro separador, con capacidad de $14\,900\text{ m}^3/\text{s}$ para transitar una avenida con gasto máximo de $17,482\text{ m}^3/\text{s}$, misma que fue calculada empleando criterios de transposición de ciclones y precipitación máxima probable. Consta de 6 vanos de 12 m de ancho, divididos en 2 canales: uno de servicio y el otro auxiliar. La operación de las compuertas se rige de tal forma que se permita regular avenidas con período de retorno de 70 años, sin descargar más de $3,000\text{ m}^3/\text{s}$. La elevación del cimacio es la 210.00 m.s.n.m. y el labio de la cubeta de descarga es la elev. 99.06 m.s.n.m.; y se prevé que se alcanzarán velocidades mayores de 40 m/s, por ello se construyen airadores.

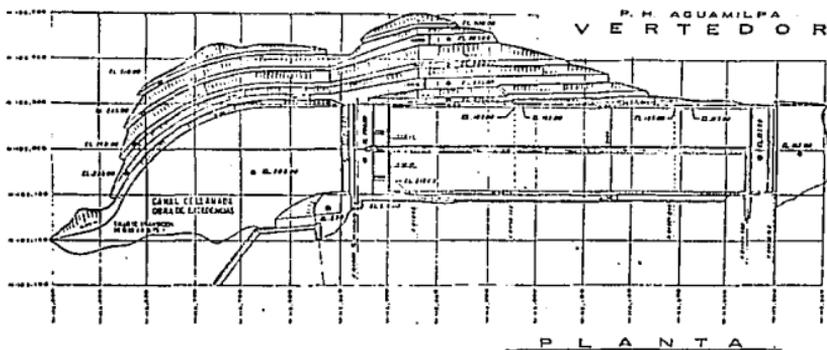


Figura 5

OBRAS COMPLEMENTARIAS

Con el objeto de contar con el apoyo adecuado y suficiente para la construcción de las obras que integran el P. H. Aguamilpa, se requirió realizar obras de infraestructura, mismas que son necesarias para dar acceso y servicio tanto al personal como a la maquinaria.

El acceso a la obra, como se mencionó en el inicio de este capítulo, se efectúa por un camino que va desde Tepic a la obra, con 52 km, que fue reconstruido y pavimentado.

Se construyó un puente sobre el Rfo Santiago con un claro máximo de 102 m en doble voladizo, para cruzar hacia la margen derecha.

Se estimó que el número de trabajadores, tanto de CFE como de las compañías contratistas sería del orden de 5,000, por lo que se requirió la construcción de oficinas, campamentos, talleres, almacenes y Clínica.

EQUIPO ELECTROMECHANICO

La Comisión Federal de Electricidad estableció un contrato con la asociación de varias empresas nacionales y extranjeras (SEVTS) bajo la modalidad "LLAVE EN MANO", con la cual las etapas de diseño, fabricación, montaje y puesta en servicio de los equipos electromecánicos correrán por cuenta de la asociación multinacional y que serán entregados a CFE en la puesta en servicio.

En la asociación SEVTS participan las siguientes empresas:

EMPRESA	PAIS	EQUIPO
SIEMENS, A.G.	Alemania	Subestación, grúa de casa de máquinas, sistemas y equipos adicionales
ENERGOMACHEXPORT	URSS	Turbinas, generadores y transformadores
VOEST-ALPINE	Austria	Compuertas y mecanismos de izaje
TECHINT, S.A.	México	Montaje del equipo
SIEMENS, S.A.	México	Componentes nacionales

II.7 ESTUDIOS PRELIMINARES

Aproximadamente desde 1972, la Secretaría de Recursos Hidráulicos estudió el sitio de Aguamilpa como parte del PLHINO (Plan Hidráulico del Noroeste), el cual consistía en una serie de almacenamientos y conducciones que permitieran intercambiar y transferir agua desde el Estado de Nayarit hasta el de Sonora, con el objeto de abrir nuevas tierras al cultivo de riego.

Al ser modificado el PLHINO a principios de la década de los 80's, se deja fuera Aguamilpa, haciéndose más atractivo el sitio para hidroelectricidad, al poder aprovechar toda el agua para este fin. Al tomar el sitio de Aguamilpa para generación eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad estudió, además de Aguamilpa, otros sitios en la proximidad de éste, como son los casos de "El Sordo", y "Colorines"; mediante la aplicación de métodos geomorfológicos se seleccionó el mejor sitio para la boquilla a partir de las 3 alternativas: Aguamilpa se desechó

debido a la presencia de fallas considerablemente peligrosas; del mismo modo El Sordo también se eliminó, por presentar roca de mala calidad; determinándose las mejores condiciones geológicas en Colorines.

Los estudios geológicos en el sitio Colorines permitieron determinar la factibilidad geológica-geotécnica para la construcción de un presa para cualquier opción a definir en el anteproyecto. Las opciones para la cortina (o presa) analizadas fueron las siguientes:

a) Gravedad

b) Arco-Gravedad

c) Materiales graduados

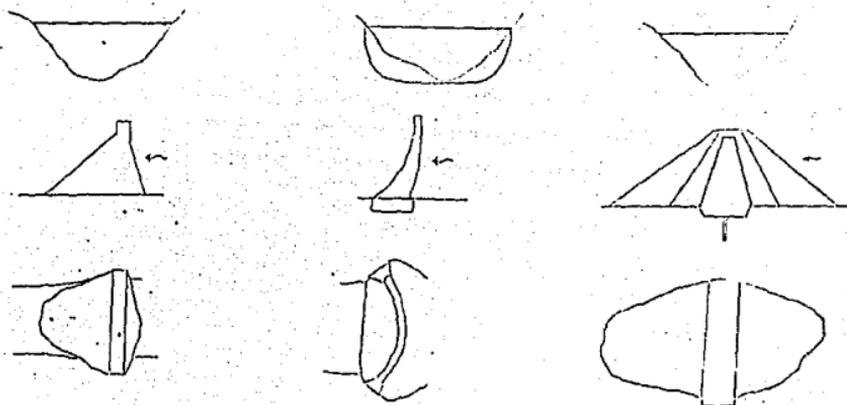


Figura 6

Dichas opciones fueron estudiadas para alturas entre 120 y 190 m.

A nivel de anteproyecto se concluyó que la opción de cortina más conveniente era la de Materiales Graduados, dándose por terminado su estudio en 1984.

Sin embargo, en 1985 al iniciarse el Proyecto Ejecutivo se detectó la casi nula disponibilidad de bancos de arcilla para la construcción del núcleo en la Cortina, por lo que fue obligado el estudio de una alternativa más. Finalmente se definió como más conveniente la Cortina tipo enrocamiento con cara de concreto, puesto que sus características se apegan notablemente a las condiciones de la región.

PH. AGUAMILPA
OBRAS DE CONTENCIÓN

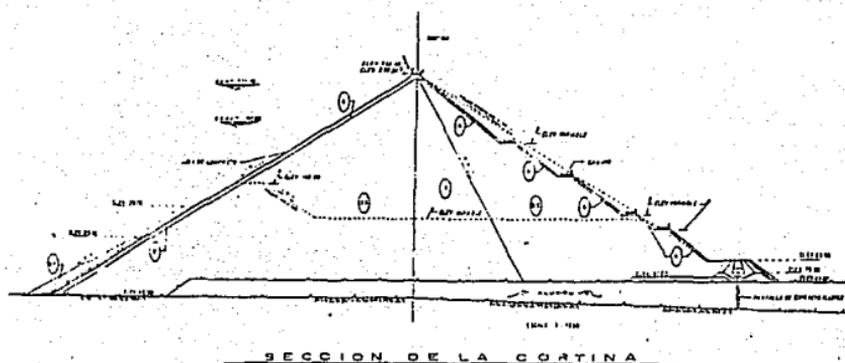


Figura 7

PROGRAMA GENERAL DE CONSTRUCCION

Después de la adjudicación del contrato de construcción, la compañía constructora ganadora del concurso, solicitó a CFE establecer un nuevo programa de construcción, que tras celebrar en una reunión en noviembre de 1989, con la participación de directivos de CFE, representantes de la compañía constructora, de la Secretaría de la Contraloría General de la Federación y el Gobierno del Estado de Nayarit, fue aprobado estableciéndose entonces el *PROGRAMA RECORTADO (ACELERADO)*, con el que se determina adelantar en un año el cierre final de los túneles de desvío -para junio de 1993-, y la generación de energía para septiembre del mismo año, ver cuadro anexo.

A continuación se muestra un resumen de los datos técnicos y de los volúmenes de Obra

III. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN

Las obras de Contención son estructuras cuyo fin es retener el agua del río para que durante las etapas de:

- *construcción* se pueda trabajar en seco
- *operación* se garantice el llenado del embalse y que el agua tome la carga de posición necesaria para hacer funcionar la Central Hidroeléctrica, además de que en su caso, se permita el tránsito de avenidas hacia el vertedor.

III.1 GENERALIDADES

El conjunto de las obras de Contención se integra por las siguientes estructuras:

- a) Atagüa aguas Arriba
- b) Atagüa aguas Abajo
- c) Pantallas impermeables (Muros milán e inyecciones)
- d) Estructuras auxiliares: Canal fusible, Bordo de Protección y Galería de captación de Filtraciones
- e) Cortina

A continuación se describen cada una de estas estructuras brevemente y la Cortina, por ser la obra principal, se estudiará a mayor detalle en un apartado posterior.

ATAGÜA AGUAS ARRIBA

ATAGÜA. - Es una estructura de materiales graduados con corazón impermeable (generalmente de arcilla) empleadas para impedir el paso del agua del río, durante el tiempo que dura la construcción de una obra hidráulica y es diseñada con el fin de proteger la zona de las variaciones en el nivel del río durante las avenidas y el agua sea retenida evitando la inundación en el recinto donde se construye la cortina.

La atagufa aguas arriba del P.H. Aguamilpa, es una estructura de 55 m de altura, tiene en su centro un núcleo de arcilla y su cuerpo está formado principalmente por enrocamiento y Filtros. El ancho de su corona es de 10 m a la elevación 118.00 m.s.n.m. sobre el depósito aluvial natural. En su parte posterior aloja una de las pantallas "plásticas" impermeables.

ATAGUIA AGUAS ABAJO

Esta estructura, como su nombre lo indica, se ubica en la parte aguas abajo de la Cortina, en el "pateo" de la misma y antes de la salida de los túneles de desvfo, y cuya función es análoga al de la otra atagufa, evitando el contraflujo hacia aguas arriba con lo que se impide que se inunde el recinto de la Cortina.

Esta atagufa, de tan solo 17 m de altura, alberga coincidiendo con su eje la segunda pantalla impermeable. Su cuerpo, hasta la elevación 70.00 m.s.n.m., se forma por aluvión y de la elevación 67.00 a la 80.00 m.s.n.m. tiene un corazón de arcilla que es cubierto por filtro y enrocamiento. El ancho de su corona es 39 m. Este ancho es tal debido a que su talud aguas arriba se empotra con el talud aguas abajo de la Cortina.

PANTALLAS IMPERMEABLES

Bajo cada atagufa se construyeron los muros de concreto o "pantallas plásticas". Estos muros revisten especial importancia para lograr la estanqueidad del vaso e impedir se presenten filtraciones bajo el cuerpo de la Cortina y de las atagufas, a través del lecho del río, durante las etapas de construcción y de operación, al igual que las pantallas de inyecciones.

El desplante de las atagufas se realizó directamente sobre el depósito aluvial, y al estar este constituido por grava-arena suelta, se requirió un procedimiento de "Tablaestacado", para la construcción de muros de concreto simple, con la técnica del "Muro Milán".

Se alcanzaron profundidades máximas de 15.70 m y 29.00 m en las zonas aguas arriba y aguas abajo respectivamente, a las que se encontró el manto de roca. Posteriormente, a lo largo del eje y sobre el muro se realizaron barrenos de consolidación inyectando mortero a presión hasta profundizar con 5 m o más el contacto del muro y la roca.

ESTRUCTURAS AUXILIARES

Son estructuras auxiliares aquellas que se construyen con el fin de mantener la seguridad de las estructuras principales, mientras estas se construyen y entran en funcionamiento.

Las obras que constituyen estas estructuras auxiliares son:

- Canal Fusible,
- Bordo de Protección y
- Galería de Captación de Filtraciones.

Bordo de Protección

Al inicio de los trabajos de construcción de Aguamilpa, se observó un considerable atraso con respecto al programa de construcción de las pantallas plásticas y de la atagüa aguas abajo, lo mismo que la limpieza del cauce en la zona del Plinto, se desarrollaba en forma lenta debido a las filtraciones de aguas abajo (contraflujo) proveniente de la salida de los túneles de desvío; por esto se decidió la construcción de un bordo de protección a la salida del desvío No. 1.

El bordo de protección es una estructura independiente de las 3 principales (Cortina y atagüas). En sí, esta estructura es un espigón saliente que protege los rebasamientos de agua y está constituido por materiales graduados con corazón impermeable de arcilla, enrocamiento y aluvión. En su momento, su función principal fue evitar al máximo el contraflujo al recinto y garantizar estanqueidad para el inicio de los trabajos previos al desplante de los materiales. Posteriormente sirvió como cruce del Río Santiago hacia margen derecha. El proyecto para este bordo fue similar al de la atagüa aguas abajo. Con una altura de 20.50 m y en su desplante un ancho de 63 m, cuenta con una longitud de corona de 100 m y 13 m de ancho.

Canal y bordo Fusible

Esta es otra de las obras auxiliares en la construcción del Proyecto Aguamilpa y su función es dar seguridad y protección evitando que el Río Santiago rebase la Atagüa Aguas Arriba y con ello se provoquen daños irreversibles a los trabajos que se van desarrollando.

Consiste en un paso artificial que permite salvar diferencias de nivel por medio de esclusas y trabaja, junto con los túneles de desvío, en casos de emergencia provocados por avenidas extraordinarias. El canal fusible fue diseñado para un gasto de $813 \text{ m}^3/\text{s}$ y tiene un desarrollo de 205.50 m, con un ancho de plantilla de 15.00 m y taludes de 0.25:1 (sección trapezoidal).

Como parte complementaria al canal, se colocó sobre él, atajando su sección un bordo (denominado también "fusible") cuya función fue la de evitar posibles rebasamientos del río sobre la atagüa sirviendo como esclusa de seguridad. Su corona se llevó hasta la elevación 108.00 m.s.n.m., misma del núcleo de arcilla de la atagüa.

Galería de Captación de Filtraciones

La galería de captación de filtraciones se ubica al pie de la Cortina en el talud aguas abajo y antes del muro pantalla. Consiste en un túnel de sección portal de concreto reforzado de 2.60 m, que en la parte anterior a la pantalla se encuentra perforado formando drenes, que sirven para captar el escurrimiento interno de la presa.

Su función es la de captar, en la etapa de llenado del vaso, y posteriormente, en la operación de la Central Hidroeléctrica, las filtraciones que se generen en la Cortina para aforar los gastos, a fin de tener un control. Constituye en sensor de seguridad que indica, según la variación de los gastos aforados, la existencia de alguna fractura, falla o deslizamiento de las losas, del plinto o de los sellos en la Cara de Concreto.

DESCRIPCION DE LA CORTINA*

En el capítulo anterior se hizo referencia al tipo de cortina adoptado para este proyecto. En este apartado se estudiará a mayor detalle este tipo de estructura, desde la evolución que ha tenido hasta pasar a describir los elementos que la conforman.

En los últimos 25 años se ha presentado una acelerada evolución en el diseño y construcción de este tipo de presas (de enrocamiento y/o grava-arena con cara de concreto), llegándose a proyectos próximos a los 200 m de altura. La utilización de gravas y enrocamiento, adecuadamente compactados, han producido una estructura segura, económica, de deformaciones controlables y especialmente de gran simplicidad constructiva. En la tabla mostrada a continuación se puede ver que la presa de Aguamilpa es la más alta en su tipo y que después de su terminación ser una de las más importantes especialmente por su moderno diseño y métodos constructivos.

PRESAS MODERNAS DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO

ASO DE TERMINACION	NOMBRE DE LA PRESA	M. DE ALTURA	PAIS
1993	AGUAMILPA	186	MEXICO
1993	TIANOSHENQUIAO	180	CHINA
1980	FOZ DO AREIA	160	BRASIL
1994	MESSOCHORA	150	GRECIA
1955	SALVAJINA	148	COLOMBIA
1991	SAGREDO	145	BRASIL
1974	ALTO ANCHICAYA	140	COLOMBIA
1994	XINGO	140	BRASIL
1978	KHAO LAEM	130	TAILANDIA
1984	SHIROBO	125	NIGERIA
1986	CIRATA	125	INDONESIA
1986	RECE	122	AUSTRALIA
1981	NEVERI	115	VENEZUELA
1971	CETHIANA	110	AUSTRIA

* En lo sucesivo, se entenderá que las denominaciones "cortina" y "presa" corresponden a la misma estructura

DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA CORTINA CON CARA DE CONCRETO

La presa de Aguamilpa, así como todas en su tipo, están integradas por los siguientes elementos:

- Plinto
- Rellenos
- Cara de concreto
- Juntas
- Parapeto

• Plinto

Es la losa de conexión entre la cara de concreto y el macizo rocoso, formando el estribo de la presa. Sirve de apoyo a la losa principal y de base para la construcción de un plano de estanqueidad formado por inyecciones y debe ajustarse a las condiciones naturales, tanto geotécnicas como topográficas, para evitar perturbar la roca natural con excesivas excavaciones.

Aunque en otras presas la losa del plinto fue cimentada sobre una plantilla pequeña de concreto de regularización, en Aguamilpa se especificó cimentar el plinto directamente sobre la roca, para obtener un elemento monolítico directamente sobre la fundación y evitar excesos en sobreexcavación. En la figura OC - 1 se muestran los esquemas de los plintos empleados en otras presas, y en la figura OC - 2, el empleado para la Cortina de Aguamilpa, el cual es un concepto innovador para la junta perimetral, misma que se estudiará más adelante.

El ancho del elemento se consideró en el lecho del río de 9.00 m correspondiente a la expresión

$$\text{ancho} = 0.005 H$$

donde H es la altura del embalse (NAME), gradualmente en 1 m hasta llegar a una dimensión de 5.00 m en las proximidades de la cresta.

• Rellenos

Los rellenos forman en sí el cuerpo de la cortina y los materiales que lo constituyen deben ser compatibles con las deformaciones permisibles por el sistema de juntas para la losa, a fin de garantizar que no se produzcan filtraciones.

En presas con cara de concreto, los rellenos que las forman son los siguientes (en secuencia de aguas arriba hacia aguas abajo):

- | | |
|------------------|-----------|
| a) filtros | b) gravas |
| c) enrocamientos | d) drenos |

a) Filtros

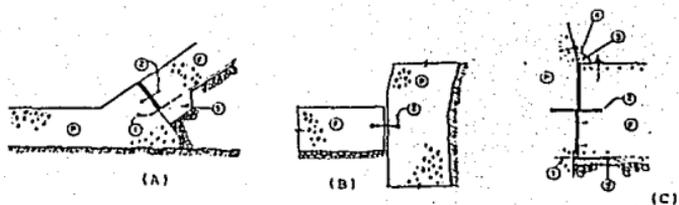
Se definen como filtros los materiales utilizados dentro de los rellenos para evitar la migración de finos en zonas de altos gradientes hidráulicos. Casi siempre son materiales arenosos o compuestos de arena y grava, cuya función es retener que las partículas finas en zonas de falla penetren el relleno principal, pues de lo contrario se generan cavidades en los estratos o en el mismo relleno lo que conduce a excesivas filtraciones.

Generalmente la zona de apoyo para los filtros es excavada hasta la roca natural. Para la zona ubicada inmediatamente después de la losa de concreto, se coloca un material procesado, cuyo tamaño máximo ha sido reducido gradualmente de 15 cm a 7 - 10 cm, con lo que se genera una excelente "base" de apoyo a la losa y se evita la segregación. Anteriormente el material utilizado era procesado con triturador primario y con tamaños máximos entre 15 y 20 cm, y se colocaba en anchos variables con 4 m en la cresta y de 10 a 20 m en el desplante.

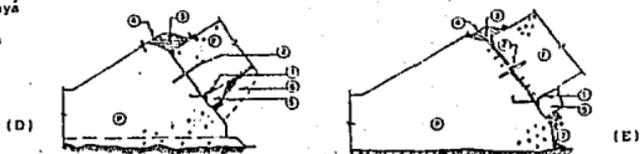
En 1985 se realizó un Simposio Internacional, en el que un investigador de nombre Sherard, realizó un análisis de este tipo de presas; y estableció una propuesta granulométrica para evitar segregación y obtener un material semi-impermeable ($k = 10^{-3}$ cm/s) e internamente estable para los altos gradientes existentes en caso de filtraciones a través de la losa de concreto, incrementando los finos y reducir los sobretamaños, como se indica en la siguiente tabla:

TAMAÑO	% QUE PASA
3"	90 - 100%
1 1/2"	70 - 95%
3/4"	55 - 80%
No. 4	35 - 55%
No. 30	8 - 30%
No. 200	2 - 12%

Esta propuesta granulométrica y su representación gráfica se les denominó *LIMITES* y *BANDA DE SHERARD* (ver fig. OC - 3)



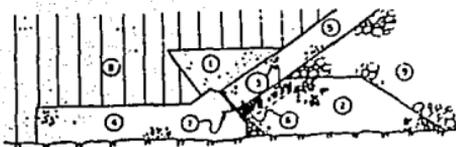
- (A) Cethana
 (B) Alto Anchicayá
 (C) Golillas
 (D) Foz do Areia
 (E) Salvajina



- | | |
|--------------------|------------------------|
| P Plinto | 4 Banda plástica |
| F Cara de concreto | 5 Arena asfáltica |
| 1 Sello de cobre | 5 ¹ Mortero |
| 2 Sello de PVC | 6 Transición fina |
| 3 Mastique | 7 Transición |

Esquemas de las juntas perimetrales de algunas PCC

Figura OC-1



- 1 Arena fina
- 2 Filtro II-BB
- 3 II-BB con 5% de cemento
- 4 Plinto
- 5 Cara de concreto
- 6 Arena asfáltica
- 7 Sello de cobre
- 8 Relleno limoso
- 9 Material de transición

Nuevo concepto de junta perimetral

Figura OC-2

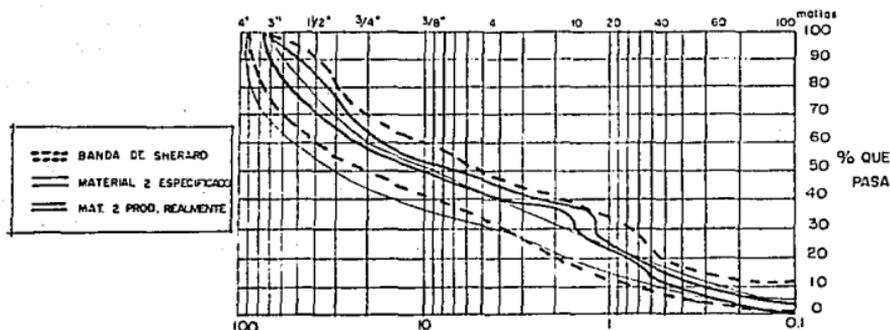


Figura OC - 3

b) Gravas

Comparada con el enrocamiento, el uso de gravas como relleno principal ha sido excelente en las experiencias en otras presas, debido a la poca deformabilidad de este material. Observaciones hechas en otras, registran que para un nivel de esfuerzo equivalente dentro del cuerpo, la deformabilidad de las gravas en sentido vertical, era varias veces inferior que la observada en enrocamientos.

En Aguamilpa este material se constituye por aluvión extraído de los depósitos naturales aguas abajo de la cortina y conforma la zona de material 3B.

c) Enrocamientos

Cuando los enrocamientos se utilizan con gravas siempre se colocan aguas abajo de estas, por tener menor módulo de compresibilidad. En las presas de enrocamiento se selecciona y coloca el material de modo tal que la mejor calidad, la mejor granulometría y menor índice de vacíos se localice más cerca de la losa de concreto.

En Aguamilpa, el desplante de los enrocamientos (Materiales T, 3C y 4) se realizó sobre el lecho del río encima de una capa de material aluvial, que presentaba características satisfactorias para recibir el peso de las rocas. Como puede apreciarse en la figura OC - 4, en las proximidades de la losa se requiere un material con alto módulo de compresibilidad y una relativa permeabilidad, la tercera parte aguas arriba es la zona más importante en cuanto asentamientos se refiere, mientras que las zonas aguas abajo del eje de la cortina, son menos influenciadas durante la aplicación de cargas del embalse, por lo que su calidad y compactación son menos exigentes.

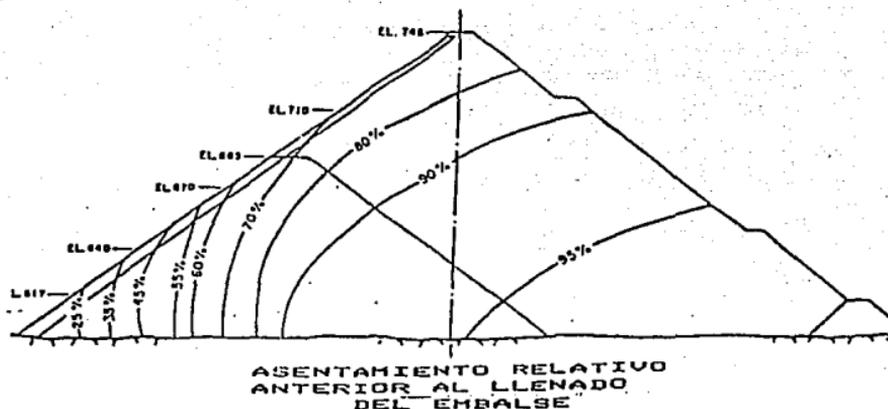


Figura OC-4

d) Drenos

Para garantizar la estabilidad de los rellenos próximos al talud de aguas abajo, en presas de grava o enrocamiento con materiales finos aguas abajo, han sido utilizados drenos internos, mismos que permiten libremente dejar pasar el agua infiltrada hacia la superficie, al estar conectados horizontalmente a la parte inferior de la presa.

• Cara de Concreto

La cara de concreto se integra por una serie de losas, que descansan sobre el plinto y se apoyan también en los materiales de filtro, y constituye el elemento impermeabilizante de la Cortina. Su evolución a través del tiempo ha permitido reducir su espesor, disminuir la concentración de esfuerzos y optimizar las juntas.

El dimensionamiento de la losa principal es totalmente empírico y ha obedecido a la regla siguiente:

$$e = 0.30 + KH \quad [\text{metros}]$$

donde e es el espesor de la losa, y K un factor que varía entre 0.002 y 0.003

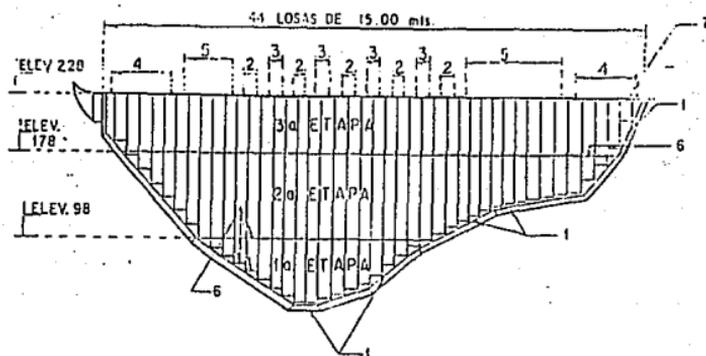
La cortina de Aguamiipa se construyó la cara de concreto con 43 losas de 15 m de ancho y 1 de 10 m. Por lo regular se han empleado anchos entre 12 y 18 m en otras presas. Y se especifica para el concreto de las losas una resistencia de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

• Juntas

Un aspecto muy importante analizado en Aguamiipa fueron el tipo de juntas y su tratamiento, para lograr la ya mencionada estanqueidad e impermeabilización de la obra. Existen 3 grupos principales de juntas, que son:

- a) Juntas Verticales
- b) Juntas Horizontales
- c) Junta Perimetral

En la figura OC-5 se observa el conjunto de las juntas existentes en la Cara de concreto.



- JUNTA TIPO 1
- JUNTA TIPO 2
- JUNTA TIPO 3
- JUNTA TIPO 4
- JUNTA TIPO 5
- JUNTA TIPO 6
- JUNTA TIPO 7
- JUNTA TIPO 8

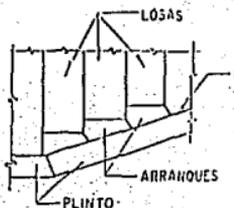


Figura OC-5

a) Juntas Verticales

Hay 4 tipos de juntas verticales.

- Las juntas centrales, o de compresión, conservan el sello de cobre inferior. En esta zona se adiciona un relleno de madera para absorber las deformaciones térmicas durante la construcción.
- Las juntas laterales, próximas a los estribos, que conservan los 2 sellos y el tratamiento de ceniza volante similar a la junta perimetral.
- Las juntas de transición, localizadas entre las laterales y centrales, solo se conservan el sello de cobre y la ceniza volante.

b) Juntas Horizontales

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 aplica un tratamiento de escarificación antes de continuar con los colados.

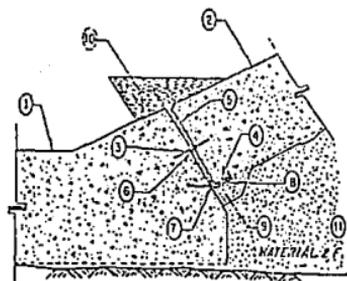
c) Junta Perimetral

Es el conjunto de conexión roca-plinto-losa. Es la más importante porque se ha observado que siempre se abre, asienta y en menor grado se desplaza. Tradicionalmente ha sido la mayor fuente de problemas relacionados con filtraciones. En la figura OC -1, se muestran detalles de la junta perimetral de algunas presas con cara de concreto. A raíz de los problemas observados, se sugirió la utilización de un material no cohesivo, sobre la junta perimetral, que pudiera migrar en caso de una rotura de los sellos, el cual fue estudiado en los Laboratorios de Ingeniería Experimental de C.F.E., determinándose el uso de un material fino para sellar las fugas; llegando a un nuevo concepto de Junta Perimetral (ver fig. OC -2). El cambio consistió en sustituir el IGAS (mastique) utilizado en Anchicayá, Foz do Areia y Salvajina, por una ceniza volante (para el caso de Aguamilpa) localizada encima de la junta perimetral. Tal distribución de materiales se puede observar comparativamente en la figura OC -6.

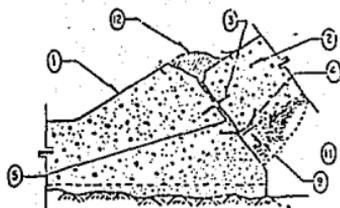
● Parapeto

El parapeto es un conjunto de muros que delimitan la corona de una presa. La utilización de este elemento en la corona y sobre la que remata la losa de concreto ha sido una solución cada día más adoptada, porque economiza enrocamiento, además de proporcionar mayor espacio en la cresta temporal, para la construcción de la losa.

Los parapetos se proyectan como muros de contención en cantiliver, sujetos a presiones horizontales del relleno, y en zonas sísmicas se debe considerar los efectos de vibración o imposición de cargas horizontales.



AGUAMILPA



FOZ DO AREIA

- | | | |
|--------------------|------------------------------|-------------------|
| ① PLINTO | ⑤ MADERA | ⑨ ARENA ASFALTICA |
| ② CARA DE CONCRETO | ⑥ RELLENO DE POLIURETANO | ⑩ CENIZA |
| ③ BANDA DE P.V.C. | ⑦ BULBO DE NEOPRENO | ⑪ TRANSICION |
| ④ LAMINA DE COBRE | ⑧ BANDA DE FIELTRO ASFALTICO | ⑫ IGA S |

Figura OC-6

III.3 PROYECTO ORIGINAL DE LA CORTINA Y MODIFICACIONES

Como resultado de la aplicación del Programa Recortado, se vió la necesidad de realizar algunas modificaciones al diseño original de la cortina, en lo que se refiere a la distribución de los materiales en su cuerpo. Debido a ello, en marzo 1990 se presentó el plano modificado de la Cortina, basándose para ello en recomendaciones hechas por diversos consultores.

En la figura OC - 7 se muestran las secciones máximas de concurso y finales, en el que se distinguen claramente las modificaciones hechas tanto a la cortina como a las ataguías. En este trabajo, me referiré solamente al proyecto de la Presa, dejando fuera los proyectos de las ataguías.

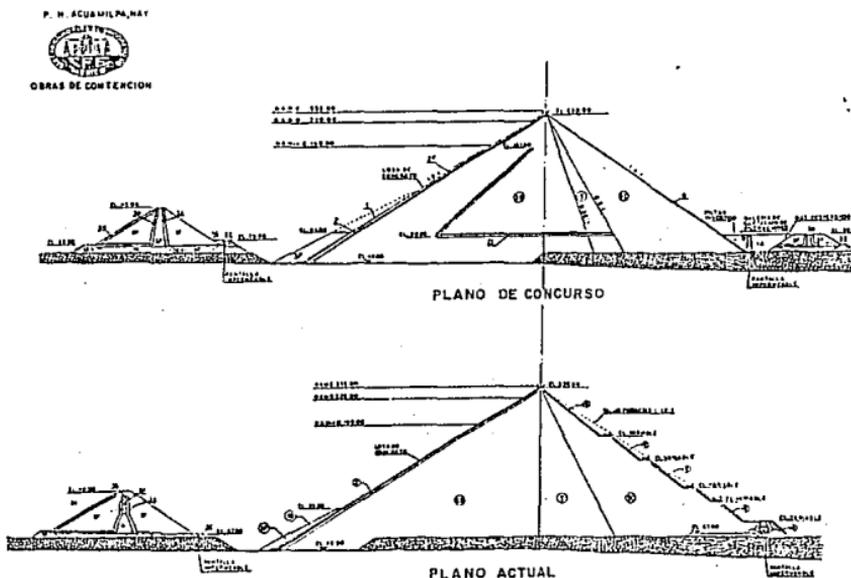


Figura OC - 7

Como puede apreciarse en dicha figura, en el plano original de concurso, se marcaban varias zonas principales en la cortina y 2 zonas de drenes, las cuales se agrupan del siguiente modo:

zona de filtros	2	Respaldo de la cara de concreto
	2F	Respaldo perimetral en zona del plinto
	3A	Filtro de transición
zona de materiales aluviales	3B	Aluvión en "greña"
	3D	Aluvión de transición (dren fino)
	D	Aluvión de Dren (1/2" < Diám. < 12")
	1	Protección exterior de junta perimetral
transición	T	Transición aluvión - roca
zona de enrocamiento	3C	Rezaga Diam < 1 m
	3F	Rocas de Diam < 40 cm
	4	Enrocamiento de protección Diam > 1 m

Todos los materiales aquí descritos quedan dentro de la cortina, a excepción de los materiales 1 y 3F, que se habrán de colocar por encima de la cara de concreto con la finalidad de evitar que las losas fallen por subpresión.

El desplante de la cortina inicialmente se proyectó a la elevación 48.00 m.s.n.m., limpiando el cauce desde el pie aguas arriba hasta el eje de la cortina, pero al modificarse el diseño, la limpieza se realizó hasta 90 m adelante del pie y a la elevación 49.50 m.s.n.m., al encontrarse roca sana a este nivel durante su construcción.

Las principales modificaciones al proyecto de la cortina, se enlistan a continuación:

- Frontera entre los materiales 3B y 3C
 - Cancelación de los Drenes
 - Materiales de apoyo de la cara de concreto (filtros)
 - Modificaciones del talud aguas abajo
-
- Frontera entre los materiales 3B y 3C
- El proyecto original marcaba una distribución de los materiales 3B-T-3C, con un talud de frontera de 0.35:1 aguas abajo del eje de la cortina entre los materiales 3B y T; y de 0.5:1 entre el T y el 3C, y cuya ilustración se puede apreciar en la figura OC-8.

Con estas distribuciones se tenían los siguientes volúmenes:

Material 3B $V = 8' 195,000 \text{ m}^3$ (aluvión)

Material 3C $V = 3' 412,000 \text{ m}^3$ (rezaga)

Estos volúmenes incluyen el material de la zona T.

Sin embargo, la compañía constructora planteó la reducción del volumen global de aluvión (3B) del diseño original dentro del esquema del programa recortado, como una condición indispensable para poder cumplirlo. De este modo, la compañía constructora solicita que la frontera entre los materiales 3B y 3C se lleve hasta que coincida con el eje de la presa.

Después de estudiar esta propuesta, fue aceptada al no existir inconvenientes en que el material 3C abarcara todo el respaldo aguas abajo, en función de los estados de esfuerzo y de deformaciones. No obstante, se recomendó mantener una zona de transición, donde pueda colocarse indistintamente material 3B y 3C, en cuya frontera con la rezaga (3C), se tuviera un talud igual al originalmente proyectado, esto es de 0.5:1. Así quedan entonces los volúmenes:

Material 3B $V = 6' 147,900 \text{ m}^3$ (aluvión)

Material 3C $V = 3' 890,500 \text{ m}^3$ (rezaga)

Material T $V = 2' 037,830 \text{ m}^3$ (rezaga y aluvión)

estableciéndose el proyecto como se mostró en la figura OC - 7 (plano actual).

■ Cancelación de los Drenes

Como había sido indicado, originalmente la Cortina contaba con 2 zonas de dren (Mats. 3D y D), una inmediatamente junto a la otra, dentro del relleno de aluvión y que iban de la elevación 80.00 m.s.n.m. a la 187.00 m.s.n.m. con una ramificación horizontal en su parte inferior, hasta conectarse con la zona de rezaga (3C), disposición con la que se garantizaba la captación de filtraciones dentro del relleno principal, abatiendo con ello los gradientes hidráulicos que pudieran generarse.

Sin embargo, al modificarse la frontera entre los materiales 3B y 3C, hasta hacerla coincidir con el eje de la Cortina, se prescindió del uso de dichos drenes, al considerar que el mayor volumen de material T, que estaría en su mayor parte constituido por roca, se hallara más cerca del talud aguas arriba. La roca al ser altamente permeable reduciría por sí los gradientes mencionados.

■ **Materiales de apoyo de la cara de concreto**

Otro de los aspectos que sufrió modificaciones en el diseño de la Cortina fueron los filtros. El proyecto original contemplaba la colocación de 3 tipos de filtros en el talud aguas arriba, en una franja perimetral de 6 m de espesor, como se indica:

Material 2	Diam < 1 1/2" con $f^* = 5\%$ no plásticos
Material 3A	Diam < 3" con $f = 2\%$ no plásticos
Material 2F	Diam < 1 1/2" con $f < 10\%$ no plásticos

distribuidos en la Cortina de este modo:

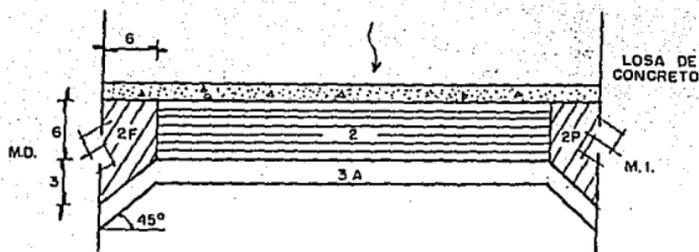


Figura OC - 8

El material 2F no sufrió modificación alguna, no así los materiales 2 y 3A, cuyas especificaciones granulométricas se muestran a continuación en las figs. OC-10 y OC-11, comparadas con la Banda de Sherard para filtros.

El cambio se debió principalmente a que la compañía constructora no contaba con suficiente equipo de producción para estos materiales y atender las demandas del proyecto, y propuso eliminar el material 3A y sustituir el material 2, por otro filtro procesado de Diam < 4" de tamaño máximo y con un contenido de finos entre 2% y 5% que abarcara una banda granulométrica más amplia que el filtro 3A.

Esta propuesta fue tomada y se inició su producción de 4" a finos, cuyos primeros lotes resultaron rechazados por el Laboratorio de Suelos de CFE, debido a que no cumplía con la especificación por presentar un bajo contenido de arena (30%) que lo hacía propenso a la segregación. Se decidió entonces reprocesar el material cribándolo a 3", y aunque los resultados tampoco cumplieron la especificación, este material de 3" a 0" tenía la ventaja sobre el producto anterior de contener un adecuado porcentaje de arena (40% promedio).

* f = finos

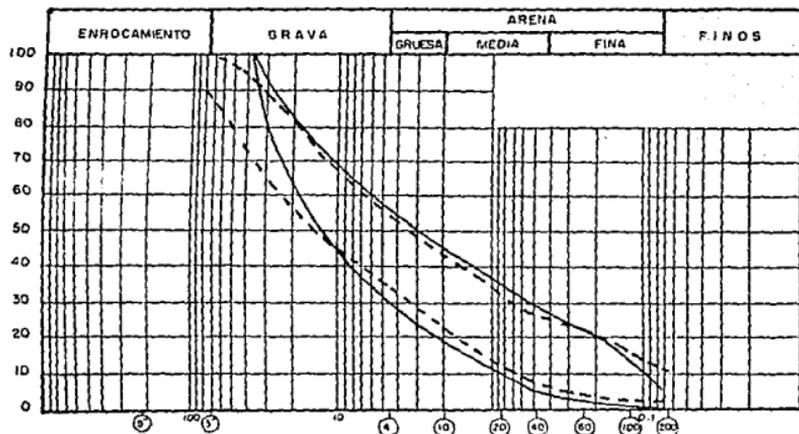


Figura OC - 10

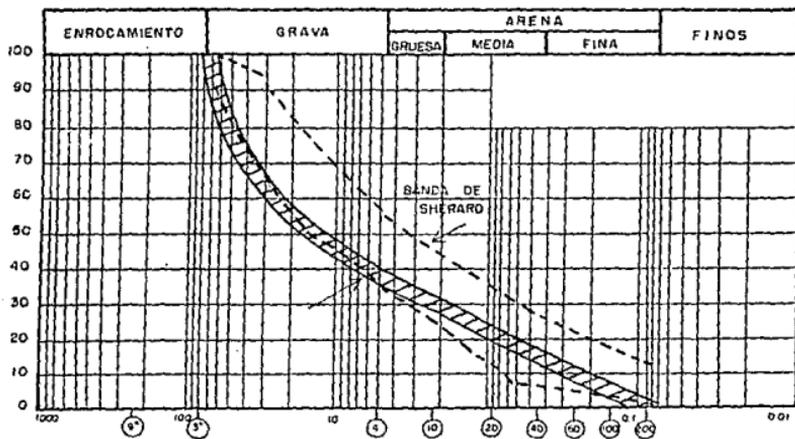


Figura OC - 11

El nuevo filtro especificado como respaldo de la cara de concreto recibió el nombre de MATERIAL 2, sustituyendo al original. A continuación se presenta una ficha técnica del MATERIAL 2 adoptado como nuevo filtro:

MATERIAL 2

CARACTERÍSTICAS: Es aluvión procesado formado por gravas < 4" Diam., con un porcentaje de arenas entre el 33% y 45% y un porcentaje de finos no plásticos entre el 2% y 5%.

UTILIZACION: Este material forma parte del cuerpo de la Cortina y constituye el apoyo de la cara de concreto, se coloca en capas de 30 cm de espesor con apoyo de motoconformadora, compactado con 4 pasadas de rodillo liso vibratorio (W = 10 ton), para adquirir un peso volumétrico de $\gamma_d = 2,100 \text{ kg/m}^3$ y compactación en el talud.

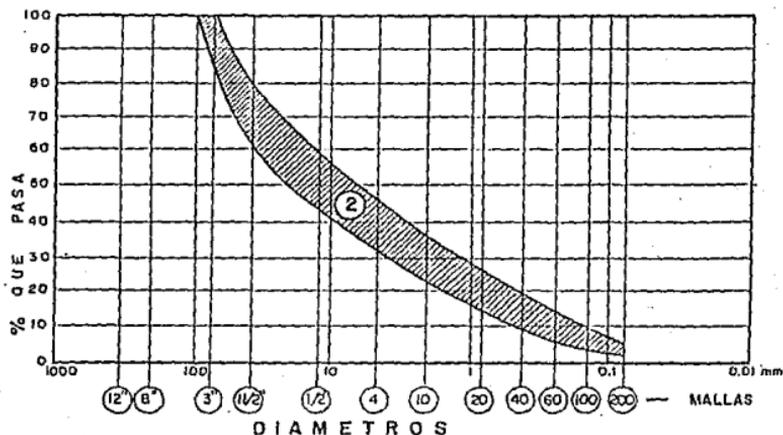


Figura OC-12

■ Modificación al Talud aguas Abajo

Como parte del control de calidad y con objeto de conocer las características del enrocamiento (3C), el laboratorio de Mecánica de Suelos de CFE realizó una serie de ensayos, reproduciendo las condiciones granulométricas y de compactación de campo, llegando a proponer con base en los resultados, una necesaria modificación al Talud aguas Abajo de la Cortina.

Los resultados de los ensayos de ruptura de fragmentos de roca y de índice de solidez de las partículas se condensan en la siguiente tabla:

CARACTERISTICAS DE LOS FRAGMENTOS DEL ENROCAMIENTO 3C DE AGUAMILPA

Forma de los granos	Resistencia a la ruptura, kg para diám. nominal de 5.1 cm	Absorción de agua % ^c	Desgaste Los Angeles % ^d			Intemperismo (ASTM C88) ^e		
			3	B	C	3/4"	3/8"	No.4
Angular	465 ^a	0.8 - 2.1	22.6	20.5	21.9	12.0	8.5	9.3
	281 ^b	prom = 1.4	x̄ = 21.7			(8 - 12%)		

- a. Partículas secas
- b. Partículas saturadas y sumergidas en agua
- c. Las pruebas se hicieron con tamaños nominales de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" y No. 4
- d. Las pruebas se efectuaron con las granulometrías 3b y 3c de la norma ASTM
- e. La sanidad de la roca se determinó con partículas de los 3 diámetros señalados

De esta tabla se puede observar que a pesar de que la absorción de agua, el desgaste de la Prueba *LOS ANGELES* (21.7% prom.) y el intemperismo acelerado (8.5 - 12%) corresponden a un enrocamiento de granos semiduros, es especialmente significativa la baja resistencia a la ruptura de sus partículas en estado seco y la notable disminución de las mismas al ensayar fragmentos sumergidos en agua. Estos dos últimos resultados indican que se trata de un "material de granos blandos", según la clasificación propuesta por Marsal¹.

En un inicio se consideró, a falta de información, que la Cortina de Aguamilpa tenía propiedades semejantes a los enrocamientos de las Presas Infiernillo y Malpaso, para realizar el análisis dinámico. Posteriormente se realizaron pruebas triaxiales con el verdadero material 3C colocado en la Cortina Aguamilpa², tratando de simular las características de campo ($\gamma_d = 2 \text{ T/m}^3$, $e = 0.33$), de cuyos resultados se corroboró que la roca tiene una resistencia definitivamente inferior a la supuesta, tanto para las muestras ensayadas en forma saturada como secas, siendo las primeras más críticas.

Y considerando que el enrocamiento quedará permanentemente sumergido hasta la elevación 73.00 m.s.n.m., y a mayores elevaciones ser afectado por el agua pluvial, su resistencia a largo plazo es correspondiente a las muestras saturadas, lo que significa que el diseño original del talud para el material rocoso es inaceptable.

Por lo anteriormente expuesto, se plantearon 2 alternativas:

- 1) promover un talud constante de 1.4:1 o mayor, o bien,
- 2) desarrollar un camino de acceso a la corona por fuera del talud 1.4:1, aceptando solo para el "pateo" del camino taludes de 1.2:1.

- 1).- MARSAL R. *Resistencia y compresibilidad de enrocamientos y gravas*. 1972. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- 2).- ROMO y COVARRUBIAS. *Estudio del comportamiento sísmico de la presa Aguamilpa*. Tecnología y Sistemas. Informe a CFE.

Sin embargo, esta recomendación fue hecha cuando se tenía ya construída una parte de la Cortina, por lo que se propuso fijar en 8.00 m el ancho de esta vialidad, que fue del modo como finalmente se construyó con un talud promedio de 1.48:1, como puede observarse en la figura OC - 13.

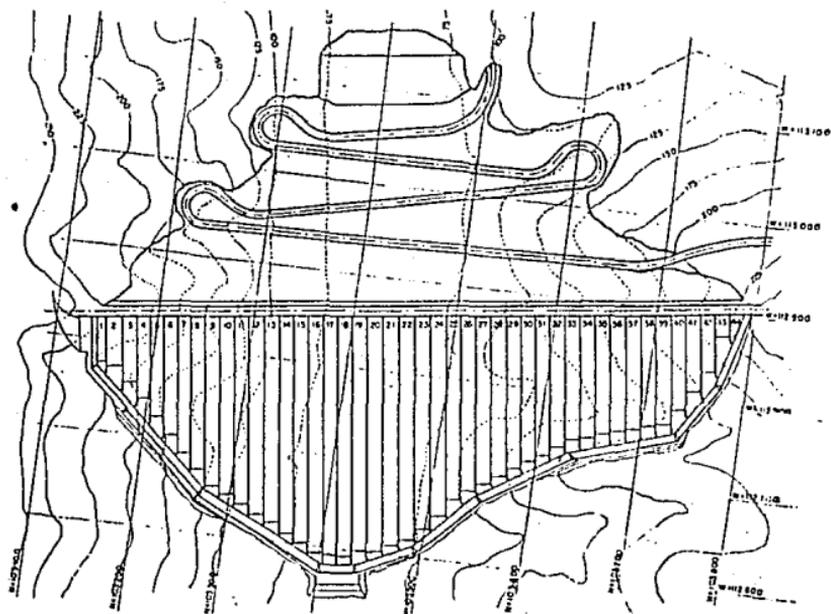


Figura OC - 13

III.4 VOLUMENES DE OBRA

A continuación se muestra una tabla en la que se indican los volúmenes que corresponden a los diferentes materiales que constituyen la Cortina del P.H. Aguamilpa.

TABLA DE VOLUMENES.

MATERIAL	TIPO	ZONIFICACION	VOLUMEN TOTAL m ³ c
2	Clasif. Diám. < 3"	Apoyo Cara de Concreto	464,340.30
2F	Clasif. Diám. < 1 1/2"	Filtro Junta Perimetral	10,077.56
3B	Clasif. Diám. < 12"	Aluvión aguas arriba y zona T	6,335,660.26
T	Roca sana < 24"	Transición	2,106,054.08
3C	Roca sana < 1 m	Medía mitad aguas abajo	4,062,287.45
4	Roca sana > 1 m	Protección aguas abajo	192,745.32

13,171,164.97

(*) NOTA. Se entenderá m³c (metros cúbicos compactados) y m³s (metros cúbicos sueltos) para diferenciar volúmenes, ya que son diferentes los pesos volumétricos y en cada caso.

IV. BANCOS DE ALUVION

IV.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS BANCOS

La Cortina del Proyecto Hidroeléctico Aguamilpa está constituida, como ya se estudió en el capítulo anterior de este documento, por varios tipos de materiales, de los cuales 2 de ellos son los que en sí, conforman su cuerpo total, que son:

el material 3C

el material 3B

El material 3C (rezaga) se obtiene del producto de las excavaciones en las obras principales del Vertedor y de la Obra de Generación, y constituye la media sección aguas abajo. La media sección aguas arriba está compuesta por grava-arena del río (material 3B) y que se obtiene de la explotación de bancos naturales ubicados a lo largo de la rivera del río y aguas abajo de la Cortina, material del que a continuación describiré los procedimientos de extracción.

IV.2 IDENTIFICACION DE LOS BANCOS Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Para proveer de material grava-arena a las obras de Contención, fue requisito indispensable desde la etapa de proyecto, identificar y ubicar los posibles depósitos naturales de los cuales extraer material y ser analizado en cuanto sus características granulométricas y de calidad.

Dadas las características del Río Santiago y de la orografía regional, se han formado meandros, aguas abajo del sitio señalado para la construcción de las obras, a lo largo del cauce y que con el tiempo han favorecido la aparición de playones formados por aluvión (material constituido por grava-arena, cantos rodados y roca arrastrados por la corriente).

Una vez identificados los depósitos se efectuó una evaluación preliminar del material aluvial disponible en el área comprendida entre el arroyo llamado Colorines y el pueblo de San Rafael, puntos que distan entre sí aprox. 19 km. En este primer estudio solamente fueron considerados los playones existentes, cubriendo un volumen de $10^7 25,000 \text{ m}^3$, sin tomar en cuenta el volumen aprovechable bajo el cauce del río.

Posteriormente se realizó otro estudio complementario cuyo objetivo fue proporcionar una estimación del volumen bajo el cauce que pudiera ser aprovechado, en el que se consideró una profundidad restrictiva de 10 m y no la potencial total de los depósitos. De este estudio, tras medir 85 secciones transversales al cauce y separadas 20 m una de otra, se determinó un volumen de 15'582,879 m³ a lo largo de 25 km.

A estos depósitos naturales se les denominó **bancos de préstamo**, según las Especificaciones Técnicas. En este trabajo de tesis, se les llamará "bancos de préstamo", "bancos de extracción", "bancos de aluvión", o simplemente "bancos" a dichos depósitos de modo indistinto.

Con base en la cuantificación de los volúmenes de material aluvial a ser colocados en la Cortina, se consideró inicialmente que con los primeros 7 depósitos se cubrirían estos volúmenes; no obstante, se decidió estudiar 5 más, para un total de 12, con la finalidad de garantizar suficiencia en caso de requerirse, previniendo las áreas y volúmenes de no aprovechables ante el posible hallazgo de lentes de material contaminado por arcillas, limos y/o materia orgánica, que lo hacen inadecuado para formar parte de la obra.

Finalmente, previo a la construcción de las obras, C.F.E. realizó otro estudio de los bancos en el que asigna nombres a dichos depósitos y establece tanto las distancias al sitio de construcción de la Presa como su volumen potencial a cada banco. La información obtenida, que se presenta en la tabla BA-1 y en la gráfica BA-1 mostradas a continuación, se basó en la observación de 200 pozos de 4 m de profundidad, efectuadas con retroexcavadora y con el empleo de métodos geofísicos, considerando para el cálculo, una profundidad media de 6m. En la figura BA-2 se ilustra la ubicación de los bancos de aluvión.

En las observaciones físicas realizadas a los playones, se encontró que en su mayoría se hallaban libres de contaminación orgánica (arbustos y vegetación). Esto se debe a que durante las épocas de lluvias (junio a septiembre) y en los deshielos ocurridos entre enero y febrero, se presentan avenidas que impiden el crecimiento de plantas en los playones. Y solamente a cierta altura sobre el nivel medio del río, empieza el crecimiento de la vegetación sobre las laderas, bajo las cuales se encuentra también material aprovechable, por ello se requiere dar un acondicionamiento desmontando previamente.

TABLA BA-1. VOLUMENES DE BANCOS DE ALUVION

No.	NOMBRE	DIST. (km)	VOLUMEN EN MARGENES (m ³)	VOLUMEN EN EL CAUCE (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)	VOLUMEN ACUMULADO (m ³)
1	El Carrizal	2.30	300,000	283,320	583,320	583,320
2	El Sordo	3.80	540,000	402,750	942,750	1,526,070
3	Las Blancas II	6.90	1,343,640	726,240	2,069,880	3,595,950
4	Las Blancas I	7.75	1,152,300	216,640	1,368,940	4,964,890
5	El Vicenteño I	10.00	1,318,800	714,650	2,033,450	6,998,340
6	El Vicenteño II	11.25	631,260	254,780	886,040	7,884,380
7	El Vicenteño III	12.00	442,500	499,580	942,080	8,826,460
8	La Ribueña	13.80	240,640	312,690	553,330	9,379,790
9	El Ticutle	15.00	524,500	309,720	834,220	10,214,010
11	Mónico	16.00	421,870	499,090	920,960	11,134,970
12	Agua Caliente	17.10	195,230	174,820	370,050	11,505,020
10	San Rafael	18.90	1,238,110	2,695,350	3,933,460	15,438,480

NOTAS:

- 1.- Esta información se basa en 200 pozos de 4 m de profundidad efectuados con retroexcavadora y en estimaciones con geofísica
- 2.- Se consideró una profundidad media de aprovechamiento del material de aluvión de 6 m

P.II. AGUAMILPA
VOLUMEN ACUMULADO DE BANCOS DE ALUVION

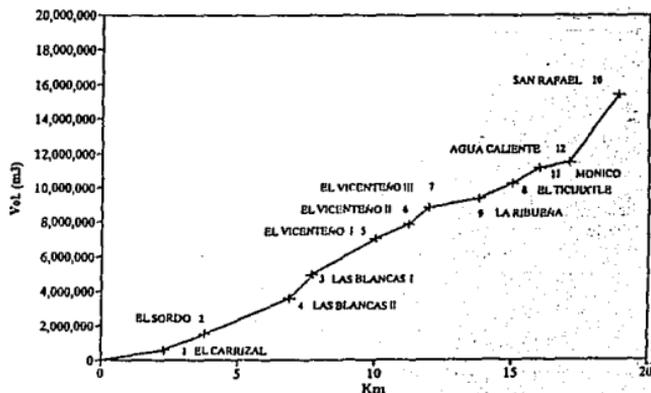


Figura BA- 1

LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIALES Y GRANULOMETRIAS

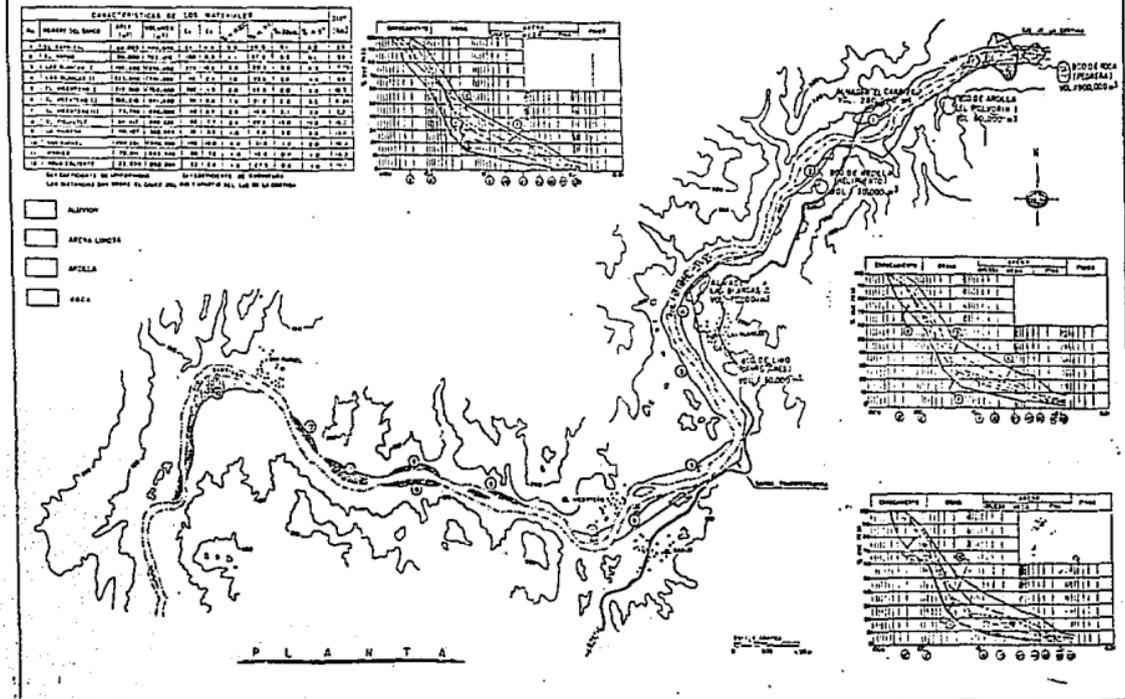


Figura BA-2

IV.3 CARACTERÍSTICAS DEL ALUVION

Con el objeto de conocer las características del aluvión en los bancos, previamente se obtuvieron desde el inicio, las granulometrías representativas de cada banco de préstamo.

A partir de las curvas granulométricas fue posible determinar características tales como los porcentajes de contenido de gravas, arenas y finos (no plásticos), así como los coeficientes de uniformidad y curvatura, mismos que se muestran en la figura BA-2. Dichos coeficientes, son índices que permiten saber si el suelo está constituido por una gama amplia de tamaños de partículas, o bien por tamaños muy uniformes.

El *coeficiente de uniformidad* es en realidad, un coeficiente de no uniformidad, porque cuando disminuye la uniformidad de las partículas del suelo, su valor numérico aumenta. Queda definido por la siguiente relación:

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

donde:

D_{60} : tamaño que el 60% del suelo (en peso) sea igual o menor (%) que pasa de la curva granulométrica)

D_{10} : Diámetro efectivo (según Allen Hazzen), es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

De este modo, suelo con $C_u < 3$ se consideran muy uniformes.

El *coeficiente de curvatura* es un parámetro necesario para definir la graduación del suelo. Este coeficiente se expresa, según:

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$$

donde D_{10} , D_{30} y D_{60} , se definen análogamente al caso anterior. Este coeficiente varía entre 1 y 3 para suelos con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

La utilización de un banco queda definida según las características que presenten los materiales aluviales, para que de este modo se proceda al suministro a las trituradoras, almacenes y/o a la Cortina. Según los estudios granulométricos, los bancos de aluvión en el Río Santiago de acopio para la construcción de Aguamilpa, presentaban en promedio un 36% de contenido de arenas, siendo los bancos *El Sordo*, *El Carrizal* y *El Vicenteño I* los que mayor contenido presentaron, y cuyas gráficas se muestran a continuación:

Cabe hacer la aclaración que estas curvas granulométricas son un promedio representativo y obtenidas antes de que iniciaran los trabajos de construcción, por lo que tras las avenidas ocurridas durante la época de lluvias, los bancos fueron reabastecidos y las granulométrías reales bien pueden sufrir variación. También de la observación de dichas curvas, se deduce que los materiales entre 9" (228.6 mm) a 6/8 (20 mm), en lo que constituye la transición entre enrocamiento y grava las curvas tienden a ser sensiblemente verticales, lo que significa un escaso contenido de esos tamaños, con lo que consecuentemente tiene lugar la existencia de sobre-tamaños, que hacen susceptible al material de segregarse.

IV.4 ACCESOS A LOS BANCOS

Antes de iniciar la extracción de las grava-arenas, primeramente se debe contar con los accesos adecuados hacia los playones, para esto se deben establecer previamente las características de los equipos que habrán de transitar por ellos.

Para accederse a los bancos, se proyectó y se construyó un camino a lo largo de la margen derecha del Rfo Santiago, dividido en 3 tramos principales:

- a) Del pié de la cortina al puente Santiago.
cad. 0 + 000 a 2 + 750
- b) Del puente Santiago a los bancos Vicenteños.
cad. 2 + 750 a 9 + 740
- c) De los bancos Vicenteños al banco San Rafael.
cad. 9 + 740 a 18 + 120

Este camino se construyó a nivel de sub-base, previendo el intenso y pesado tráfico de camiones transportando material, por lo cual también fue necesario darle un mantenimiento constante; además, con las obras de drenaje y señalamientos, se completan los elementos para dar una adecuada condición de operación.

En toda su longitud, este camino cuenta con un ancho de corona de 13 m y se registran pendientes máximas del 7%, con lo que se garantiza la fluidez del tráfico, pues se proyectó considerando 250 camiones trabajando constantemente durante 24 horas.

Adicionalmente a este camino, se construyeron 3 ramales secundarios, que son:

Ramal B

inicia en el km 8 + 520 y une al Camino Margen Derecha con los bancos El Vicenteño I y II en el km 9 + 410, por lo que tiene una extensión de 890 m, en donde se bifurca a cada banco.

Ramal G

inicia en el km 9 + 740 del Camino Margen Derecha, con un desarrollo de 1,030 m comunica al banco El Vicenteño III, en el km 10 + 770.

Ramal Riubeña

inicia en el km 12 + 690, y une al banco La Riubeña con el camino principal, con un desarrollo de 310 m

Todos los demás bancos quedan accesados por rampas de terraplén, no mayores de 100 m, que los unen con el camino principal directamente. A continuación se anexan los planos del Camino Margen Derecha (figs. BA-3, BA-4, BA-5, BA-6). Sobre la margen izquierda se construyó otro camino que conducía al banco y almacén Blancas II, partiendo de una desviación en el camino Tepic-Aguamilpa ubicada en el km 33 + 140, con una longitud de 7.60 km.

IV.5 REGULARIZACION DE LA SUPERFICIE TOTAL DEL BANCO

Contando con los accesos, se procede a regularizar toda la superficie del banco. Esta regularización la efectúa un tractor empujando con la cuchilla los montículos de material hasta dejar un piso uniforme por el que puedan circular fácilmente los equipos de extracción, carga y acarreo y de mantenimiento. Esta actividad es recomendable para todos los bancos a fin de facilitar el tráfico y las múltiples maniobras que llevan a cabo los diferentes equipos.

IV.6 LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS

El auxilio de la topografía es importante en toda la obra civil, y no podría serlo menos en la explotación del material aluvial. Antes y después del acondicionamiento de un banco se realiza el apoyo topográfico necesario.

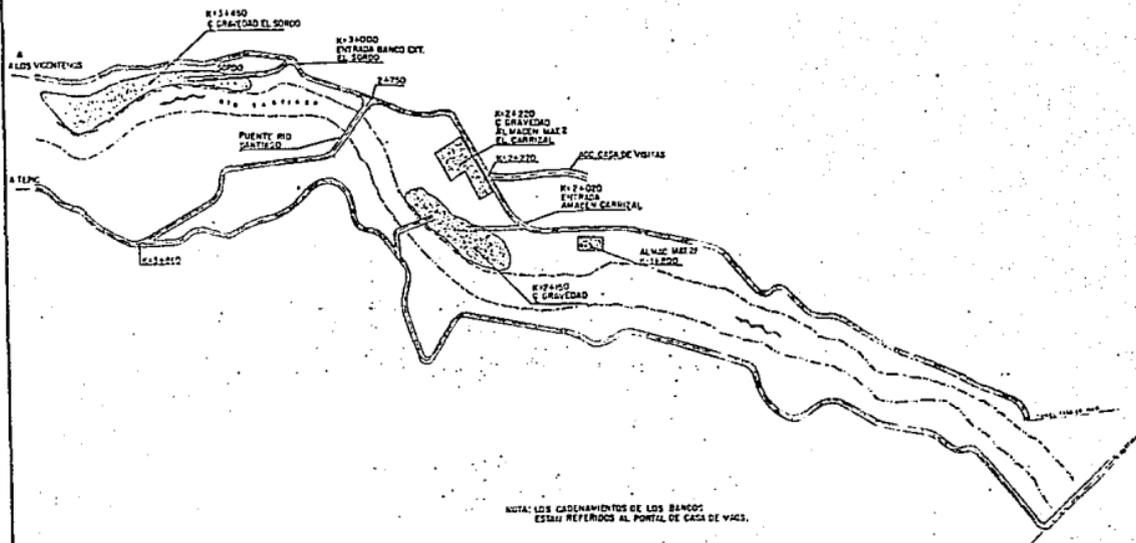
Previo al acondicionamiento se realiza un reconocimiento topográfico con el objeto de determinar los procedimientos adecuados, para la explotación, tomando como base la traza del cauce y las batimetrías, para conocer la configuración del depósito de aluvión y sus accidentes.

Después de realizado el acondicionamiento, se realiza nuevamente el levantamiento del banco para determinar las áreas y volúmenes y registrar su potencial. Esto permite decidir sobre la prolongación en la construcción del camino para llegar a otros bancos, con los que se cumpla el volumen de proyecto y el faltante por extraer.

OBRAS DE CONTENCIÓN



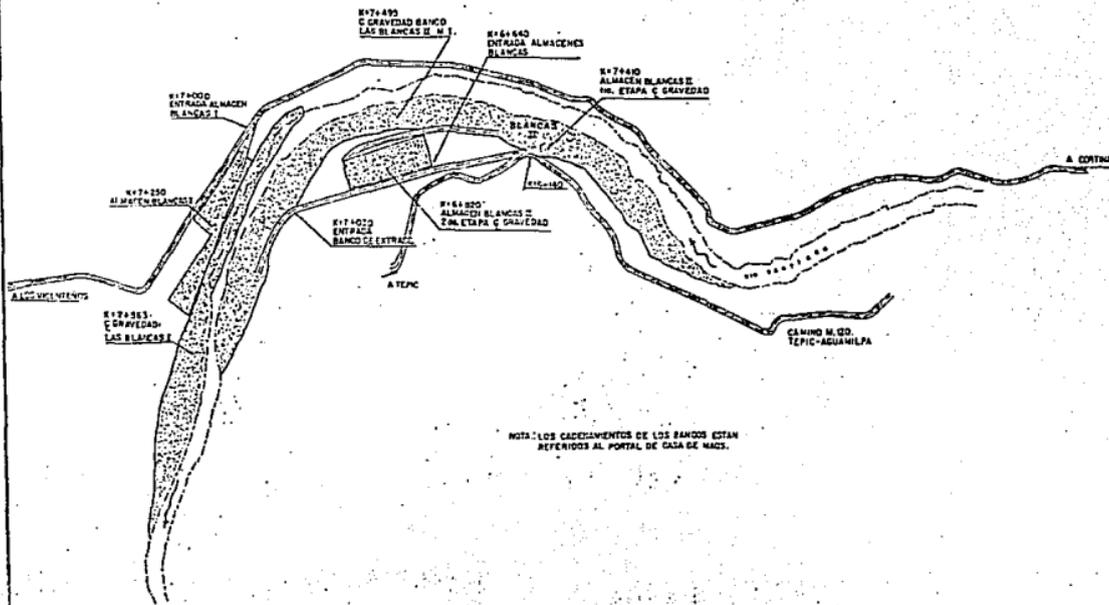
P. N. AGUAMILPA, NAT.



OBRAS DE CONTENCIÓN



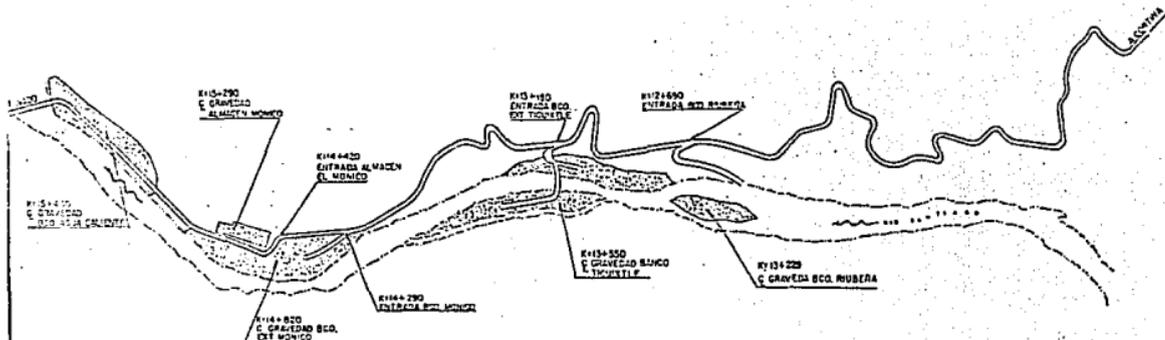
P.N. AGUAMILPA, NAT.



OBRAS DE CONTENCIÓN.



P. H. AGUAMILPA, NAT.



NOTA: LOS CADERMAMENTOS DE LOS BANDOS ESTAN REFERIDOS AL PORTAL DE CAGA DE NAC.

IV.7 ACONDICIONAMIENTO DE LOS BANCOS Y DRAGADO DEL CAUCE

En la parte aguas abajo del sitio de construcción de la Cortina Aguamilpa, el Río Santiago atraviesa una cadena montañosa, en esta parte el cauce se amplía y su pendiente se suaviza por lo que las aguas se vuelven tranquilas al reducirse su velocidad. Por ello, es recomendable realizar trabajos de dragado sobre el cauce, a fin de abatir el nivel del agua y aprovechar al máximo dichos depósitos, dentro de las limitantes que el equipo presente en cuanto al alcance de extracción.

Los bancos de aluvión, conforme la morfología del río señalada, se disponen de la siguiente forma:

- El playón se divide al ser cruzado por el río
- El playón queda sobre una de las márgenes, al escurrir el río junto a una ladera.

De acuerdo a esto y debido a que el camino principal de acceso se construyó por la margen derecha, el dragado del cauce se efectuó en 3 formas diferentes, como parte del acondicionamiento, las cuales son:

- 1.- profundizar para reafirmar el cauce
- 2.- canalización para formar un nuevo cauce
- 3.- construcción de un bordo alcantarilla

1.- Profundizar para reafirmar el cauce

Previo a la explotación de cualquier banco de aluvión es necesario profundizar el cauce del río con el fin de reafirmarlo y garantizar que con cualquier incremento que se registre en el gasto, no se desborde e inunde el playón sobre el que se mueven los equipos de extracción, carga y acarreo. Este trabajo se ejecuta mediante el dragado del río, empleando para ello retroexcavadoras, iniciándose en el extremo de aguas abajo para partir de la cota más baja y mantenerla durante el proceso hasta concluir en el extremo contrario del banco, con esto se abate el nivel del río y aumenta el volumen aprovechable a extraer directamente con cargador frontal.

Esta actividad, al igual que la regularización de la superficie, se hacen simultáneamente con la finalidad de que los equipos de carga y acarreo entren al banco en cuanto se tenga material extraído para disponer de él.

2.- Canalización para formar un nuevo cauce

Se empleó este procedimiento cuando el río atravesaba al banco dividiéndolo o cuando pasaba por la margen derecha (lado de acceso) con la salvedad de que la profundidad permitiera el tránsito del equipo de dragado.

Primeramente para realizar esta canalización se hizo transitar un tractor por el río, para iniciar el despalme y desmonte sobre la margen izquierda, estableciendo el límite del banco y el lugar donde habrá de canalizarse, haciendo una remoción del material no aprovechable.

Posteriormente se transitó una retroexcavadora para efectuar la excavación del canal a lo largo del playón y en sentido contrario a la corriente, dando al canal un ancho de plantilla adecuado para abatir lo más posible el nivel del río (ver figura BA-7)

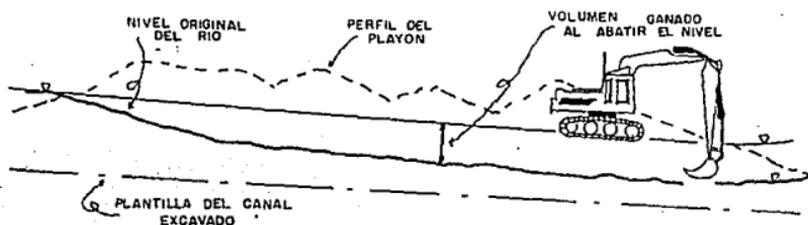


figura BA-7

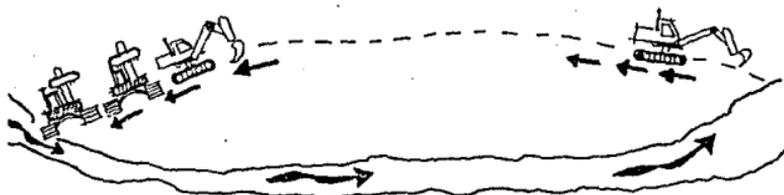


Figura BA-8

Al iniciar la excavación, la retroexcavadora ataca una sección del canal de forma transversal al sentido del flujo en el extremo aguas abajo; hasta unos 40-50 m para terminar la forma de ataque, cambiando a sentido longitudinal, como se indica en la figura BA- 8. Al hacer esto, se va dejando el material acamellonado a la orilla, mismo que servirá como bordo de retención al momento en que el flujo se desvíe hacia el canal, evitando que se inunde el playón. Llegando al extremo aguas arriba del playón se continuó la excavación del canal, profundizándose sobre el piso del río en forma diagonal a la corriente dejando el material extraído a un lado, formando así un espigón continuación del bordo antes mencionado, hasta unirse a la ladera derecha, atajando el paso del agua. Al mismo tiempo el tractor va rellenando el cauce original, para terminar de regularizar la superficie del playón. Asimismo, sobre el espigón y bordo pasa el tractor afinando su superficie descopetándolo, para que sirva como rampa de acceso continuación del camino.

De forma semejante se ataca nuevamente hasta profundizar y ampliar el canal de tal modo, que no sea rebasada la elevación del piso del playón por la del agua, pues si ocurriera lo contrario, se provocarían problemas en las zonas de trabajo de extracción, carga y acarreo debidos a las filtraciones, ya que estos trabajos se efectúan de manera simultánea a las ampliaciones del canal. Este procedimiento de desviación del cauce original por otro artificial se emplea cuando la longitud del banco excede los 500 m, pues resulta antieconómico canalizar a mayor distancia; en este caso se procede a la formación de un bordo alcantarilla para cruzar el río, como se describe en el siguiente inciso.

3.- Construcción de un bordo alcantarilla

Cuando la zona principal del banco está constituido por un islote, cuando el río pasa cercano a la margen derecha pero su profundidad o ancho son tales que no se puede transitar por él, o bien, cuando la longitud del banco hizo poco económico canalizar el río, se optó por la construcción de un bordo alcantarilla para cruzar el río y dar acceso a los equipos hacia el banco.

El *Bordo Alcantarilla* es un terraplén espigón que atraviesa al río, generalmente de forma perpendicular a la corriente, el cual tiene alojado en una parte de su cuerpo, una serie de tuberías de drenaje (Diám > 1 m), por donde se encauza el río.

En los bancos de aluvión del P.H. Aguamilpa, fueron construidos solamente dos bordos de este tipo: en el banco el Ticuixtle, y en el banco San Rafael. Por la importancia de estas obras de acceso y acondicionamiento, procederé a describir ambos proyectos.

Banco El Ticuixtle

En este banco se decidió emplear este método debido a que el flujo del río se efectuaba por un canal natural muy estrecho en el que se generaban altas velocidades; sin embargo, se logró atravesar y canalizar por la margen izquierda, pero las filtraciones que se generaron fueron importantes y se volvió a inundar y posteriormente a escurrir por el cauce original, por lo que fue necesario construir un pequeño bordo alcantarilla, para que el equipo de acarreo no sufriera atascamientos. El proyecto se construyó finalmente colocando 3 líneas de tubería, con una longitud de 20 m y un ancho de 8.20 m.

Banco San Rafael

En este banco se empleó el procedimiento de bordo alcantarilla debido a que la configuración del banco es tal, que constituye un meandro enorme, que hace que su longitud sea próxima a los 4 km en su perímetro, siguiendo su eje, por lo que pensar en canalizar este banco resulta totalmente objetable; aún si quisiera hacerse mediante una línea recta uniendo sus extremos, seguiría suponiendo un costo exageradamente alto, además de que serían afectadas directamente tierras de cultivo, como puede observarse en la figura BA-9.

Este banco se ubica en margen izquierda y para poder llegar a él fue necesario proyectar la construcción de un bordo alcantarilla por el cual dar continuidad al camino de acceso, sin que este llegase a obstaculizar el cauce del río, con lo que se provocaría un estancamiento que inundaría al banco localizado aguas arriba (Agua Caliente).

Lo conveniente fue situar al bordo inmediatamente aguas arriba del banco San Rafael con el objeto de evitar en todo lo posible el tránsito del equipo de acarreo en sentido opuesto a la circulación principal, por lo tanto se hizo un reconocimiento topográfico mediante batimetrías para ubicar el eje más conveniente para su construcción. Finalmente después de recopilar los datos, se determinó el sitio, que tuvo las siguientes características:

- a) El tirante promedio en el sitio elegido fue 0.80 m (para gasto en época de estiaje).
- b) El ancho del río de 120 m aproximadamente.
- c) La longitud del bordo alcantarilla a construir sería de 200 m en forma diagonal a la corriente,
- d) En ambos extremos del bordo se encontraría un playón natural de aluvión, para disponer de él y formar el cuerpo del espigón.
- e) El sitio donde se pretendía iniciar la construcción en margen derecha era el punto terminal, hasta ese momento, del camino principal.
- f) El sitio a donde llegaría el bordo es el extremo aguas arriba, evitando con ello la circulación del acarreo en sentido contrario a la principal.

El proyecto para la construcción del bordo de San Rafael, se describe a continuación:

Considerando un gasto de diseño $Q_d = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ se determinó colocar 7 líneas de tubería de concreto, cada una con una pendiente media del 5%, y que fueron tendidas paralelamente al flujo del río. Cada tubo de concreto que se colocó fue de 1.52 m de diámetro y 2.44 m de longitud.

Para el tendido de las tuberías, se marcó colocar los tubos 50 cm abajo del fondo natural del río, mismo que debería regularizarse previamente. Para el enfoque de las alcantarillas, se alternó en su diseño una línea de tubería con una de relleno, colocando en cada extremo, una serie de "gaviones" (cajones de malla ciclónica rellenos de cantos rodados de río), para un total de 32 dispuestos en el contorno de los tubos. El relleno de aluvión forma un terraplén al que se le dió un ancho de 17 m en su corona, misma que se acondiciona para servir de superficie de rodamiento. La longitud a que se colocan las líneas fue de 20.80 m considerando una separación entre ejes de tuberías de 2.82 m.

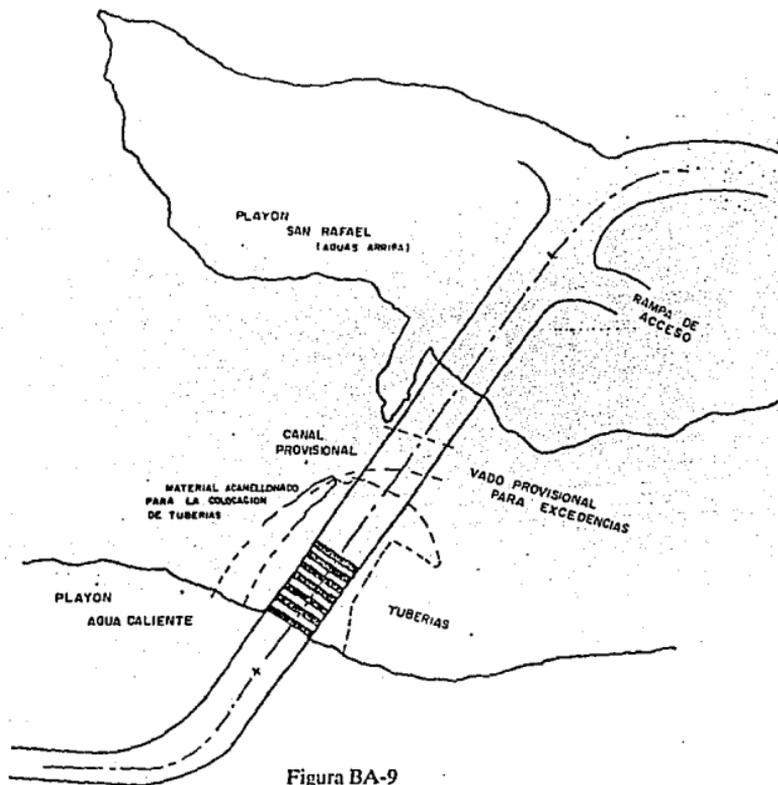


Figura BA-9

En la construcción del bordo se empleó el siguiente procedimiento:

- 1) Se efectuó una canalización provisional cercana al playón San Rafael, a fin de descargar demasías, transitando sobre el cauce una retroexcavadora (CAT 235), formando un espigón, también provisional, con el material que se iba acamellando aguas arriba de la parte donde se colocarían los tubos, auxiliando en esta tarea un tractor.

BANCO DE ALUVIION SAN RAFAEL

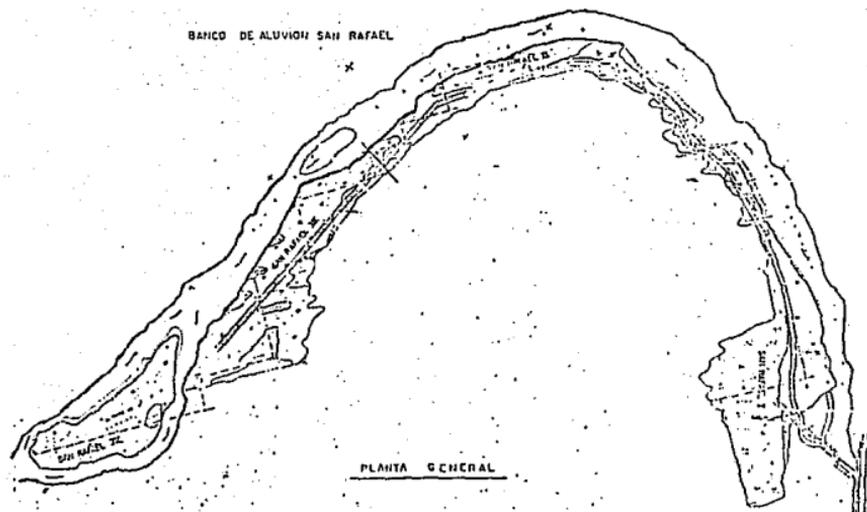


Figura BA-10

- 2) Terminando las actividades de canalización, el tractor procedió a la remoción del material para regularizar el piso de desplante de los tubos.
- 3) La retroexcavadora fue empleada para colocar la tubería de Diám. = 1.52 m que previamente fue trasladada a las proximidades de la construcción del bordo. El tendido de la tubería se hizo con la pluma de la retroexcavadora usando un estrobo amarrado a su cucharón. Y mientras esta máquina realizaba el tendido, otra retroexcavadora se dedicó a continuar con la profundización del canal.
- 4) Las maniobras de tendido de la tubería se hicieron colocando tubo por tubo empezando de aguas abajo hacia aguas arriba, hasta formar una línea. Después, empleando un cargador frontal y un tractor se realizó el "acostillamiento" entre los tubos, relleno el espacio entre una línea y otra, ampliando el ancho del bordo, acarreado aluvión desde un distancia máxima de 50 m. El relleno se realizaba cada vez que se tenían 2 líneas tendidas, "dar tramo" a la retroexcavadora y se continuaron con las maniobras.
- 5) Cuando se tuvo tendida la tubería, se colocaron los "gaviones" de 1.0 x 1.0 x 1.5 m, mismos que fueron habilitados previamente.
- 6) Finalmente cuando ya se tiene formada la alcantarilla, se cierra el canal artificial con material propio del sitio, simultáneamente que se retira el material acamellonado que sirvió de retención, formándose el bordo de cruce al permitir que el río fluya a través de las tuberías.
- 7) Después de formado el bordo, por último, se compacta la corona con material de revestimiento para servir, como ya se señaló, como superficie de rodamiento y cumplir su finalidad.

Cabe mencionar que las tuberías deben tenderse a cierta profundidad para que trabajen ahogadas, como se muestra en la figura BA-11, para aprovechar toda su área hidráulica.

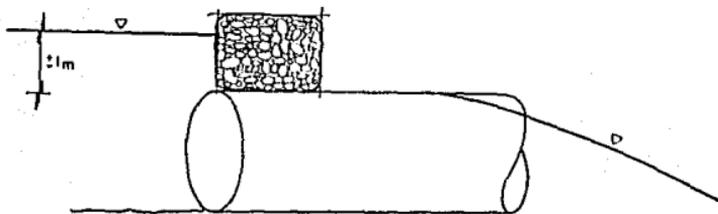


Figura BA-11

De otra forma, se desperdiciaría mucha área mojada de la tubería, haciéndola trabajar de modo inadecuado, ver figura BA-12.

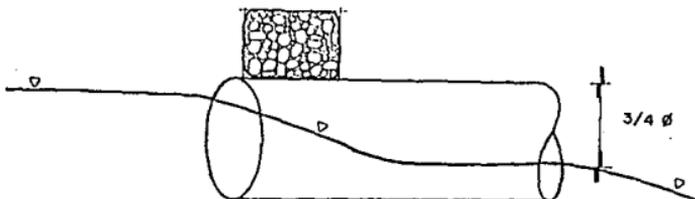


Figura BA-12

IV.8 DESMONTE Y DESPALME

Otros trabajos que se realizan para acondicionar un banco de materiales son el *desmonte* y el *despalme*, que se realizan en las márgenes del río para aprovechar el material seco depositado sobre las laderas y que se halla bajo algunos estratos de material no apto por contener arcillas, limos y/o materia vegetal.

A continuación se definen éstas actividades:

- DESMONTE.-** Es el despeje de la vegetación existente en una determinada área e incluye los trabajos de tala, roza, desenraice, limpia y en su caso, quema. Generalmente este trabajo es apoyado por un tractor sobre orugas (por ejemplo: CAT D7, D8 o D8N).
- DESPALME.-** Es la remoción del material en una capa superficial de espesor promedio de 50 cm, que sea considerado como inadecuado y engloba las actividades de: excavación, remoción y depósitos en sitios autorizados del material de desperdicio. También se ejecuta con auxilio de Tractor.



PLANTA No. 01 CARRIZAL

1. ALIMENTADOR GRIZZLE VIBRATORIO 36" X 14"
2. TRITURADOR PRIMARIO DE QUIJADA 36" X 42"
3. CRIBA VIBRATORIA HORIZONTAL 5' X 16' 3 PISOS.
4. TRITURADOR GIRÓSTERA 4895
5. TOLVA DE CARGA A CAMIÓN 15 M3.

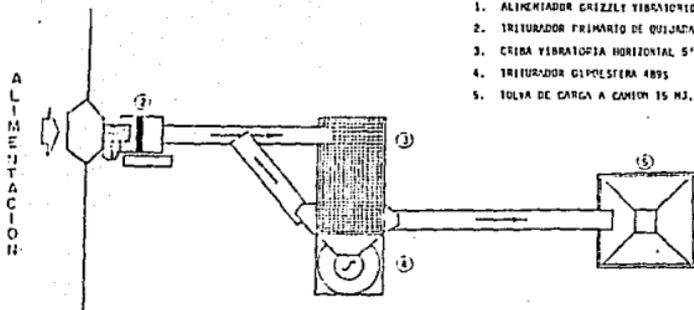


Figura PT-5

PLANTA TRITURADORA No. 7

1. TOLVA DE ALIMENTACION.
2. ALIMENTADOR GRIZZLE VIBRATORIO.
3. TRITURADOR PRIMARIO DE QUIJADA.
4. TOLVA DE CARGA.
5. CRIBA VIBRATORIA HORIZONTAL.
6. CRIBA VIBRATORIA INCLINADA.
7. CUSCUD LAVADOR.
8. TRITURADOR SECUNDARIO GIRÓSTERA.
9. TRITURADOR SECUNDARIO GIRÓSTERA.
10. TOLVA DE CARGA A CAMIÓN.
11. TAMBORES DE CARGA.

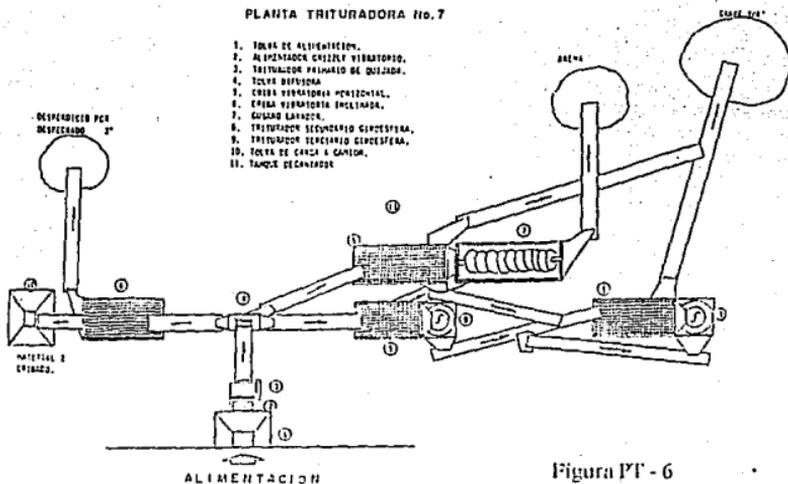


Figura PT-6

IV.9 EXTRACCION, CARGA Y ACARREO

Estas 3 actividades van íntimamente ligadas entre sí, por lo que considero conveniente describirlas como un solo procedimiento.

Una vez que se tiene acondicionado el banco de modo que puedan circular sobre el playón los equipos, se procede a iniciar la explotación formalmente, extrayendo el material atacando el banco en sentido de aguas abajas hacia aguas arriba del banco (contrario al sentido de la corriente del río), como está indicado en las Especificaciones Técnicas. Este modo de explotar un banco de materiales se debe principalmente a:

a) al ir consumiendo el banco por su parte aguas abajo, se va dando mayor ancho al río, lo que lleva a que en esta zona las aguas, a la salida del canal de desvío, se tranquilizan.

b) teniendo aguas tranquilas, se aprovecha mejor el aluvión, pues de este modo, la corriente arrastra menos arenas finas, que como sucedería si se hace la extracción en el canal o en el extremo aguas arriba, donde la turbulencia produciría la pérdida de dichas arenas al momento de ser extraído el material.

Cabe señalar que se extrae material del canal de desvío, aún sabiendo que se pierden arenas finas; pero se prefiere sacrificar estas, versus la ventaja de hacer la ampliación del canal logrando con ello obtener una cierta "estanqueidad" y prevenir que se inunde el banco si se llegara a presentar una sobre-elevación del tirante del río al transitar un gasto mayor.

El material que se acamellona sobre el playón es retirado por un cargador frontal, para lo cual, este equipo debe abrir una "ventana" (espacio en el cuerpo del material) y atacar perpendicularmente y a lo largo del camellón; pues si se carga al pic, se levanta material que se encuentra segregado*, como se indica en la figura BA-13.

Entre los frentes donde se extrae material bajo el nivel del río (sea con retroexcavadora o con draga) y del material "seco" del playón (arriba del nivel del río), se lleva una separación aproximada de 50 a 80 m, pues estas actividades se realizan por lo regular, simultáneamente.

Con el objeto de reaprovechar ciertos bancos reabastecidos por las avenidas, como fue el caso de los bancos Vicenteño II y Vicenteño III, se emplearon Dragas con bote de arrastre, con lo que también se profundiza la explotación. Las dragas llegan a extraer a una profundidad máxima de 8m (ver figura BA -14), en contraste con los 4,50 m que profundizan las retroexcavadoras (las empleadas fueron OYK RH40D y Liebherr 984). El empleo de las dragas se enfocó a extraer y profundizar en aquellos bancos con mayores contenidos de arenas: El Sordo, El Carrizal, El Vicenteño II y III.

* La segregación es la separación que se da en las partículas de mayor peso y tamaño al adquirir el material depositado su ángulo de reposo, rodando los mayores tamaños por la cara del talud, quedando estas al pic y al centro, las partículas finas.

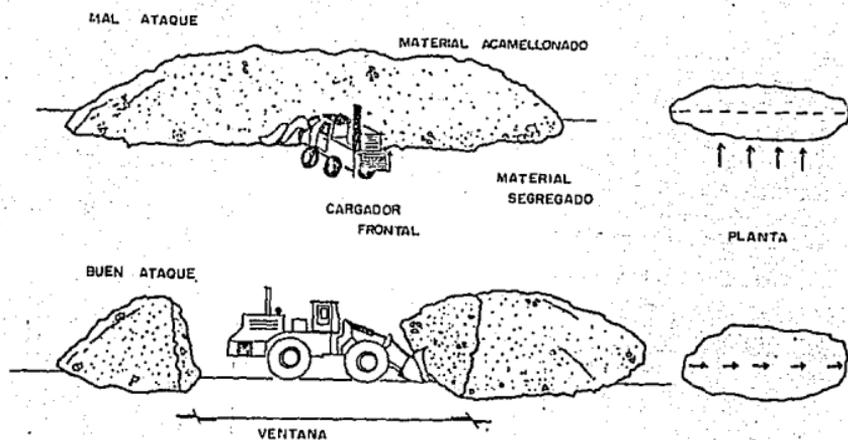


Figura BA - 13

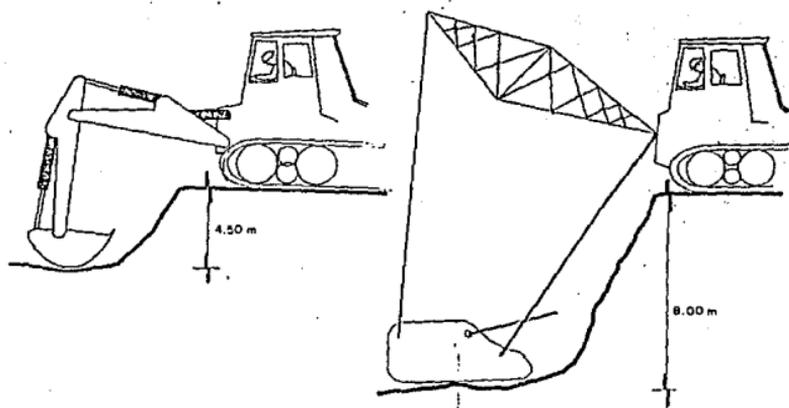


Figura BA - 14

Como ya se mencionó, en un banco siempre existe material arriba del nivel del río (llamado "seco"), el cual es retirado con equipo de carga, en "banqueos", dejando un piso con una elevación sobre la corriente de aprox. 60 cm, que sirve como protección para cuando varíe el nivel del agua evitando la inundación del banco. Este material seco, arriba del espejo de agua, fue explotado con cargador frontal (TEREX 90c) y acarreado por camiones, aunque en algunas

ocasiones se empleó retroexcavadora cargando directamente a los camiones, situación que se presentaba cuando no se contaba con el cargador por estar en reparación; sin embargo, este procedimiento no resulta conveniente porque:

1.- El rendimiento del equipo se reduce, al esperar la entrada y salida de la unidad de acarreo para realizar la maniobra de carga.

2.- Al cortar el material seco, el cucharón de la retroexcavadora deja una superficie muy irregular, lo que afecta posteriormente la fluidez del tránsito de camiones; en cambio con el cucharón del cargador frontal, al ser más recto, deja una superficie más regular.

La carga y el acarreo son actividades inmediatas e intrínseca de un mismo proceso. El ciclo de carga es el siguiente:

El cargador frontal recoge el material "banqueado" dentro de su bote, levantándolo y retrocediendo para dirigirse hasta donde se encuentra la unidad de acarreo (camión) y descarga su bote sobre la caja del camión, y vuelve a enfilarse al material, repitiendo su operación. Cuando se ha llenado la caja del camión, este se retira acarreando el material "en greña" a su destino.

A continuación se relaciona el equipo de extracción, carga y acarreo utilizado en la explotación de los bancos de aluvión del P.H. Aguamilpa.

TABLA IA-2. EQUIPO DE EXTRACCION DE ALUVION

EQUIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD m ³	CANTIDAD
EXTRACCION DE ALUVION				
Retroexcavadora	OYK	R11-40D	5	4
	Liebherr	984	5	1
	Liebherr	982	3.5	1
	Caterpillar	235	2.4	4
	Caterpillar	245	3.5	3
Draga	Link-Delt	SL408	3.5	1
		SL418	3	2
CARGA DE ALUVION				
Cargador frontal sobre neumáticos	TEREX	90 e	5	5
	Caterpillar	966 E	2.4	2
ACARREO				
Volteo ligero	varios		5.5	70
Volteo Tortón	varios		11	200
Tractocamión Oóndola	varios		15.39	30
Vagonetas	varios		27	6
Puera de Carretera	TEREX	R50	25	4
ACONDICIONAMIENTO DE BANCOS				
Tractor a/orugas	Caterpillar	D4N		2
MANTENIMIENTO DE CAMINOS				
Motoconformadora	Caterpillar	CN-17		3
Compactador de rodillo	Caterpillar	SP-60	10 ton	1
Camión Pipa	varios		3000 lu	3

IV.10 PROGRAMA GENERAL DE EXTRACCION DE ALUVION

El Programa General de Extracción de Aluvión que se efectuó se muestra a continuación, por mes desde el inicio y hasta diciembre 1992, en el que se puede comparar la explotación programada y la ejecutada.

PROGRAMA GENERAL DE EXTRACCION DE ALUVION

FECHA	PROGRAMADO		REAL EJECUTADO				DIFERENCIA ACUMULADO	
	PARCIAL	ACUMULADO	1	2F	3B	PARCIAL		ACUMULADO
OCT 90	439,868	439,868				439,868	439,868	0
NOV 90	207,371	647,239				116,219	116,219	566,087
DIC 90	137,551	785,169				10,812	10,812	566,899
ENE 91	416,182	1,201,351				268,093	268,093	834,992
FEB 91	477,692	1,679,043				409,019	409,019	1,244,011
MAR 91	466,372	2,145,365				394,210	394,210	1,638,221
ABR 91	529,542	2,674,907	13,215			444,470	459,685	2,097,996
MAY 91	423,205	3,100,112	12,751	1,198		382,770	396,719	2,494,625
JUN 91	376,004	3,476,116	18,443	600		259,628	278,671	2,773,296
JUL 91			7,818	215			8,033	694,787
AGO 91			15,049	894			15,943	678,844
SEP 91			3,920	321			4,241	674,603
OCT 91	341,244	3,817,360	27,331	193		237,932	265,455	3,066,968
NOV 91	333,765	4,151,125	40,514	207		296,494	337,275	3,404,183
DIC 91	317,279	4,468,404	26,381	758		211,294	268,433	3,622,616
ENE 92	331,283	4,799,687	20,223	1,290		229,005	250,516	3,923,134
FEB 92	330,662	5,130,349	35,321	1,544		222,948	259,614	4,182,744
MAR 92	331,903	5,462,252	32,693			488,166	550,839	4,733,607
ABR 92	310,708	5,772,960	33,174	335		517,137	550,646	5,284,253
MAY 92	327,861	6,100,822	29,436	806		527,156	597,308	5,841,651
JUN 92	256,484	6,357,306	12,652	44		544,836	557,512	6,399,183
JUL 92	190,814	6,548,120	8,653	917		205,522	215,092	6,614,275
AGO 92	32,851	6,580,971	18,956				18,956	6,633,231
SEP 92	33,616	6,614,587	21,035	516			22,551	6,656,782
OCT 92	190,976	6,785,563	53,614	392		68,437	122,413	6,779,225
NOV 92	543,814	7,329,377	67,894	663		186,840	255,397	7,034,622
DIC 92	414,104	7,743,481	32,813			174,536	207,349	7,241,971

V. PLANTAS DE PROCESAMIENTO

Una parte del volumen de aluvi3n extraído de los bancos se destin3 a la producci3n de materiales. Estos son: agregados para concreto (grava y arena) y los filtros para la cortina de Aguamilpa. Antes de pasar a la descripci3n de las plantas y los procedimientos de trituraci3n empleados en dicho proyecto, considero necesario presentar un resumen de las generalidades del equipo utilizado en toda producci3n de materiales t3rreos, a fin de lograr una mejor claridad en la explicaci3n de los procesos en esta fase, para obtener determinado tipo de material.

V.1 DESCRIPCION GENERAL DE LOS EQUIPOS DE TRITURACION

Para iniciar esta descripci3n, se hace necesario conocer primero las caracteristicas de los materiales que se desea producir. Estos son generalmente los agregados p3treos.

Los agregados son fragmentos duros y resistentes, libres de materiales contaminantes, de acuerdo a la clase de material especificado en cada tipo de obra; vgr. el balasto empleado en vias f3rreas, o los agregados para concretos hidr3ulicos. Estos 3ltimos son producidos en tamaños estandarizados:

Arena	1/4" - 0"
Grava 1	3/4" - 1/4"
Grava 2	1 1/2" - 3/4"
Grava 3	3" - 1 1/2"
Grava 4	6" - 3"

La naturaleza geol3gica de los diferentes tipos de roca es uno de los factores que se debe conocer antes de producir cualquier material 3til, dependiendo del lugar de donde se obtiene; as3 la explotaci3n puede realizarse sobre bancos de roca, dep3sitos aluviales, conglomerados, etc. El grado de dureza y el grado de abrasividad (dado por el contenido de sílice) son las dos principales propiedades que influyen en la selecci3n de equipo.

Las m3quinas que participan directa o indirectamente en la ejecuci3n de esos trabajos constituyen los EQUIPOS DE TRITURACION Y COMPLEMENTARIO, respectivamente. En el esquema PT-1 se muestran las clasificaciones de equipo a nivel general.

1. Trituración *primaria*: Material en Greña a 10"-4"
2. Trituración *secundaria*: 12"-4" a 3"-1"
3. Trituración *terciaria*: 3"-1" a 3/4"-1/4"
4. Trituración *cuaternaria*: 3/4" - 1/4" y menores

1. Trituración Primaria

En la primer etapa de reducción de tamaño, se convierte al material producto de la explotación (roca o "en greña") a fragmentos de tamaños comprendidos entre 12" y 4"; y que para ejecutarlo existen 2 principales tipos de maquinaria:

Quebradora de quijadas

Su trabajo consiste en comprimir la roca e impactarla, usando para ello 2 placas (1 móvil y otra fija) llamadas quijadas, que se le transmite movimiento de vaivén, con suficiente potencia para romper la roca, mediante una conexión con una rueda de acero que gira a altas velocidades y cuya inercia es la que genera la fuerza necesaria.

Quebradora giratoria

Estas máquinas reducen el material cuando pasa por entre un anillo cóncavo (bastidor anular fijo) y el pilón o cabezal, accionada por un excéntrico en su parte inferior, produciendo un movimiento circular. Tienen gran capacidad pero tienen el inconveniente de ser muy costosas y pesadas, por lo que resultan poco prácticas en instalaciones portátiles.

2 y 3. Trituración secundaria y terciaria

La reducción del tamaño secundario va a partir el producto de la trituración primaria (12" a 14") a fragmentos de 3" a 1". Las principales máquinas son:

Trituradora de rodillo

La reducción la logra a través de compresión y corte. Actualmente son empleadas para materiales suaves poco abrasivos (como caliza, carbón y yeso) debido a que los surcos en la superficie del cilindro se desgastan con facilidad, lo que significa altos costos de mantenimiento.

Trituradoras de impacto y martillo

En ambas se emplea el efecto de impactación fuerte de la roca contra placas del bastidor, impulsadas por uno o dos rotores que giran a altas revoluciones por minuto. Estas máquinas pueden tener $1r = 20$ a 1 y a veces hasta 30 a 1, pero no son adecuadas cuando el material contiene más del 6% de sílice.

Trituradoras de cono

Son las más utilizadas. Son semejantes a la quebradora giratoria y, análogamente funcionan al moverse el pilón (cono móvil o "nuez). A diferencia de las quebradoras, en las de cono, la flecha se sostiene desde la parte inferior. Estas máquinas, al tener un alto $1r$, son muy eficientes y no son de grandes dimensiones,

CONCEPTOS BASICOS

En seguida se detallan los conceptos básicos previos que enmarcan los procedimientos de trituración.

EFFECTOS MECANICOS

La trituración es la reducción del tamaño de un material pétreo; y para lograrlo se aplican esfuerzos a la roca hasta provocar se ruptura o falla mediante efectos tales como: impacto, desgaste, corte y compresión.

COEFICIENTE DE FORMA

Es la relación entre el volumen real de un fragmento de roca y el volumen virtual de una esfera envolvente de diámetro igual a la dimensión mayor del fragmento.

$$Cf = v/V = v/\{4/3\pi(d/2)^3\} = 6v/\pi d^3$$

De los fragmentos más comúnmente obtenidos, los valores promedio son:

FORMA	Cf
Esférico	1
Cúbico	0.37
Canto redondo	0.34
Grava triturada	0.22
Lajas	0.07

PROCESOS DE TRITURACION

La producción de materiales tiene como objetivos:

- cumplir con las normas (tamaños y calidad)
- Producción a costo mínimo

INDICE DE REDUCCION

Se define como la relación entre el tamaño D del fragmento de roca a la entrada de la máquina y el tamaño d del producto a la salida.

$$I_r = D/d$$

ETAPAS DE TRITURACION

Aún hoy en día no existe una máquina universal que transforme en un solo paso al material en grueña en productos útiles a la construcción, sino que debe procederse en etapas según las características del material alimentado y del que se quiere producir.

De este modo y como pue de observarse en el Esquema PT-1 la trituración se constituye en 4 etapas, de acuerdo a los tamaños que las máquinas son capaces de producir, las cuales son:

por lo que resultan ser muy prácticas. El tamaño es regulado subiendo o bajando el anillo cóncavo y puede triturar cualquier material por abrasivo que sea. Se designa a este equipo por el diámetro inferior del pilón (plg) y son las más comunes: 24", 36", 48" y 66". Existen varias marcas, como la Telesmith, que denomina a estos equipos como GIROESFERAS; y se fabrican para cumplir con la etapas secundaria hasta cuaternaria, conforme a modelos especiales para cada una de ellas (ver figura PT-2):

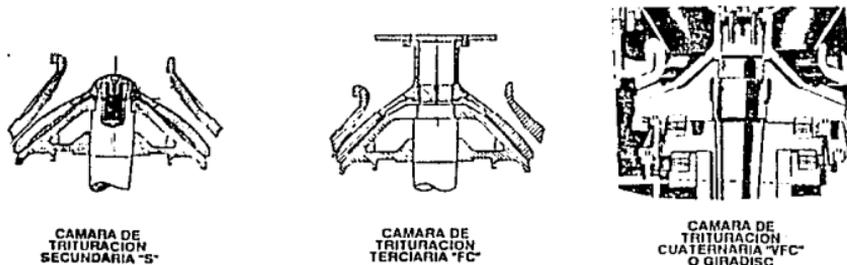


Figura PT - 2

4. Trituración cuaternaria

En esta etapa se producen tamaños a partir de 3/4" a 1/4" hasta convertirlo en arenas entre las malla 4 y 50. Los equipos realizan trabajos llamados de "molienda" y los principales son:

- Giroesferas VFC
- Molinos

Equipo Complementario

Este equipo interviene no directamente en el triturado de los materiales, por ser su función la transportar, depositar, distribuir y clasificar las producciones de las diferentes etapas de trituración.

Tolvas

Es el dispositivo en el que se depositan los materiales, los cuales entran a él por su parte superior y por la inferior, mediante un sistema mecánico lo descarga en ciertas cantidades. Entre sus usos se cuenta el de recibir el material en "greña" a limentado a la planta, y dosificar el material almacenado en su cuerpo.

Cribas

En ciertas partes del tren de proceso se requiere clasificar el material y para ello se emplean las cribas, mismas que dirigen, separan y controlan al material según los tamaños de las partículas.

En la etapa primaria el Pre-cribado separa del material apto los sobretamaños, para ser usado sin necesidad de tritular todo, reduciendo la carga total de la quebradora y, de este modo se incrementa la productividad total de la planta, aunque se genere mayor desperdicio. En las etapas subsiguientes el uso de las cribas tiene como fin la clasificación por tamaños de los materiales procesados. La clasificación se efectúa haciendo pasar el material a través de canas o pisos formados de mallas de alambre entrelazado o por placas con perforaciones con aberturas estandarizadas para obtener los tamaños requeridos. En México se emplea la estandarización siguiente de los claros de mallas:

Designación de la Malla	Claros (aberturas en mm)
3"	76
1 1/2"	38
3/4"	19
1/4"	6.3
# 4	4.76
# 8	2.38
# 16	1.19
# 30	0.59
# 50	0.297
# 100	0.149
# 200	0.074
# 400	0.037

Alimentadores

Generalmente la alimentación se efectúa mediante tolvas que descargan a los alimentadores colocados en la parte inferior de estas, y antes de las quebradoras, aunque puede alimentarse directamente. La función de estas máquinas es regular la entrada del material a la planta, de modo que sea uniforme y continua. Los más usuales son: de mandil, reciprocante, grizzly (con o sin rejilla de precribado), de banda. El más empleado actualmente es el Grizzly.

Bandas transportadoras

Para el manejo y conducción de materiales producto del procesamiento, se emplean las bandas transportadoras, al ser equipos de alta eficiencia y de simple configuración. Estas constan de una banda de hule reforzada con capas de lona o de nylon de diferentes anchos, montada en trenes con un número variable de rodillos, espaciados uniformemente y accionados por una polea de cabeza motriz que transmite el movimiento generado por un motor-reductor eléctrico que es capaz de imprimirle a la banda una velocidad lineal entre 30 a 180 m/min. En la figura PT-3 se muestran las piezas que integran una banda transportadora.

V.3 PROCESAMIENTO DE MATERIALES

Estudiados los equipos principales que integran a una planta trituradora, pasaré ahora a describir a mayor detalle los materiales producidos que formarán parte del cuerpo de la Cortina del P. H. Aguamilpa, quedando fuera de este estudio los agregados pétreos para concreto.

MATERIALES PROCESADOS

Los materiales producidos en las plantas para ser colocados en la Cortina son:

Filtro fino	Material 2F
Filtro grueso	Material 2
Boleo	Material T

MATERIAL 2F

Como se especifica, el material 2F es un filtro fino cuyo tamaño máximo es de $1\frac{1}{2}$ " a 0", incluyendo de un 5 al 10% finos no plásticos. El destino final en la colocación de este material en Cortina, es la Junta Perimetral entre el Plinto y el macizo rocoso de cimentación.

El material 2F fue producido en su totalidad mediante *trituration*, para alcanzar un volumen de $10,077.56 \text{ m}^3$ e que por especificación se le adicionó, en cantidad necesaria, arena fina limosa para cubrir el rango de finos. En toda su producción no se presentaron problemas, pues siempre se cumplió con los requerimientos de calidad.

MATERIAL 2

El material 2 inició su producción en abril de 1991, después de varios ajustes para lograr obtener un material que cumpliera con las características señaladas. En la práctica el material fue producido primeramente empleando el tamiz de 4", pero las muestras obtenidas de los lotes producidos de este modo, indicaban que se salía completamente de la banda especificada. Posteriormente se decidió volver a procesar el material, ahora a partir de 3" a 0", cuyas pruebas granulométricas arrojaron resultados por fuera de la banda especificada (fig. PT-3).

Como se aprecia en la figura PT-3, se presenta una saliente entre los diámetros de las mallas 4 y 20 y entre las mallas 20 y 60 muestra una pendiente muy pronunciada, para finalmente regularizarse entre los tamaños finos de las mallas 100 y 200. esto significa que *la producción*

real de material 2 presentó una carencia de arenas gruesas, en promedio un 8% a 10%, y en cambio, se excede en arenas medias (diámetros mallas 20-60) con 20% al 25%.

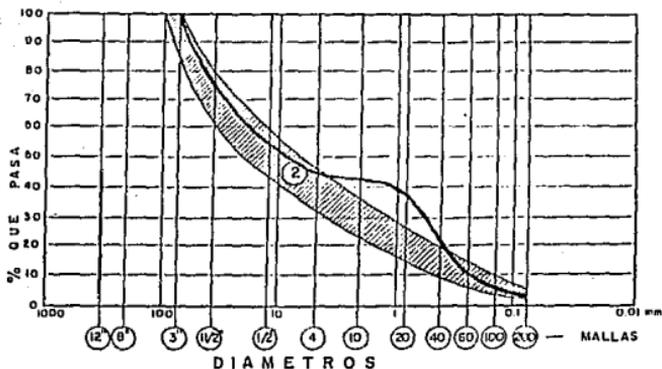


fig. P1-3

El material 2 producido fue aceptado finalmente por CFE, para su colocación en la Cortina, pero con la observación de que toda la producción de dicho material mantuviera esas mismas características, que ciertamente se cumplió porque el aluvión en el tramo de los bancos de explotación sobre el Río Santiago, presentó una distribución de arenas semejante y poca variación.

BOLEO

Es otro material, aunque no fue producido directamente por el equipo triturador, sí es derivado del proceso. Se denominó Boleo a aquellos tamaños resultantes del desperdado en el proceso de producción de los filtros y agregados, con tamaños mayores a 3".

Originalmente este producto iba a ser utilizado en la formación de los Drenes de la Cortina (Materiales 3D y D), pero al modificarse el proyecto de la distribución de materiales en la Presa, se eliminó su uso y pasó a ser desperdicio (véase el capítulo "Descripción de Obras de Contención"). Tras realizar un análisis sobre su utilización, se vio la conveniencia de emplearlo considerando los siguientes aspectos:

- Alto volumen generado
- Se requería un área muy extensa para formar un tiradero de desperdicio
- No emplearlo aumentaría los costos de extracción y procesamiento

Finalmente se decidió aprovechar este volumen de desperdicio (boleo) para ser colocado en el cuerpo de la Cortina en la zona de Material T, entremezclándolo con la roca y regido bajo las mismas normas técnicas referidas para la colocación de rezaga (material 3C).

V.4 PLANTAS PROCESADORAS DE AGUAMILPA

En esta sección se describen los equipos que integraron las plantas de trituración empleadas para la obtención de materiales térreos para la construcción del P.H. Aguamilpa.

ANTECEDENTES

Con el fin de contar con agregados pétreos suficientes para la producción de concretos para los diferentes frentes de obra, se realizó desde sus inicios, una planeación que condujera a seleccionar los equipos adecuados, basándose en necesidades previstas. De ello se desprende la cuantificación de materiales de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA PP-A

MATERIAL	TAMAÑO	VOLUMEN NECESARIO (m ³)	VOLUMEN DE PRODUCCION (ton-cortas)	% VOLUMEN
Filtro Fino	(4"-0)	592,000	1,107,040	
Filtro Grueso	(1 1/2"- 0)	180,000	336,600	
Parcial		772,000	1,443,640	70%
Grava 1	(3/4"-No.4)	36,500	68,255	
Grava 2	(1 1/2"-3/4")	104,000	194,480	
Grava 3	(3"-1 1/2")	8,600	16,082	
Arena	(No.4-0)	176,000	329,120	
Parcial		325,100	607,937	30%
TOTAL		1,097,100	2,051,577	100%

Peso volumétrico = 1.70 ton/m³

Factor de conversión = 1.10

La producción de materiales por trituración se mide en toneladas-cortas, conforme a los manuales de fabricante. Para convertir los volúmenes (m³) a ton-cortas, se emplea la expresión:

$$\text{Ton-cortas} = \text{volumen} \times \text{Peso Volumétrico} \times \text{factor de conversión}$$

En el caso que nos ocupa, fue considerado un $\gamma = 1.70 \text{ ton/m}^3$ y un factor de conversión de 1.10. Como se puede apreciar en la tabla, el material de filtro para la Cortina constituye el 70% del volumen total y el 30% restante a los agregados para concreto hidráulico. Cabe destacar que del volumen total de agregados:

- el 54% corresponde a arenas,
- el 11% a grava 1,
- el 32% a grava 2,
- el restante 3% a grava 3.

Sin embargo, tal como se indicó en la descripción de las características del aluvión, la granulometría media de los bancos arroja un 36% de arena natural, muy por abajo del 54% requerido, por lo que se hace necesaria su producción por medio mecánicos.

En la planeación preliminar se consideró que el total de la producción debería efectuarse en 19 meses, a fin de cumplir con el programa de obra. Con base en la información anterior, se determinó que la alimentación promedio a la planta debiera ser de 360 TPH (ton por hora), para una utilización de 300 horas/mes, es decir, 10 horas-día. Posteriormente se realizaron los análisis de las alternativas de equipo, originadas según las producciones base (o producción dominante) para cada tipo de material. A continuación se muestra un ejemplo del cálculo para la determinación de la producción requerida.

CALCULO

PRODUCCION TOTAL REQUERIDA = 2'051,700 TON-CORTAS

TIEMPO DE EJECUCION = 19 MESES

HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO DIARIO = 10 HORAS/DIA

TIEMPO MENSUAL DE PRODUCCION = 10 HORAS/DIA x 30 DIAS/MES = 300 HRS/MES

DETERMINACION DE LA PRODUCCION REQUERIDA

$$\begin{aligned} \text{PRODUCCION PROMEDIO} &= 2'051,700 \text{ TON-CORTAS} / (19 \text{ MESES} \times 300 \text{ HRS/MES}) = \\ &= 359.95 = 360 \text{ TON CORTAS/ HORA} \end{aligned}$$

Después del análisis de alternativas se decidió producir los filtros y los agregados en dos etapas:

- 1.- La primera consistió en utilizar 3 equipos de trituración para la obtención de filtro y agregado fino, durante un período de 5 meses aproximadamente (1,418 H. E.).
- 2.- La segunda consistió en el uso de 2 equipos de trituración (primario y secundario) para obtener los volúmenes de los materiales restantes, durante 13 meses (3,800 H.E.).

* - Horas Efectivas

En la primera etapa se instaló una planta en las inmediaciones del Banco "El Carrizal" para producir exclusivamente material de filtro (2 y 2F) por trituración, y posteriormente se instalaron otras (plantas Nos. 2, 4, 5 y 6) produciendo agregados. La planta No. 3 se acondicionó para la producción de filtro mediante cribado.

En la segunda etapa se retiraron las instalaciones de las plantas 2 y 5, reubicando las plantas 3 y 4 en una sola instalación, cerca del Banco "San Rafael". Adicionalmente, se instaló la planta No. 7 ubicada en la plataforma de almacenamiento de aluvión a un lado del banco de materiales "Blancas M.D.", en la que se instaló un cuaternario para la producción de arenas y de filtro. La ubicación de las plantas se muestra en la figura PT-4.

V.5 PROCEDIMIENTOS DE PRODUCCION

MATERIAL 2

El material 2 presenta dos procedimientos alternativos para su producción:

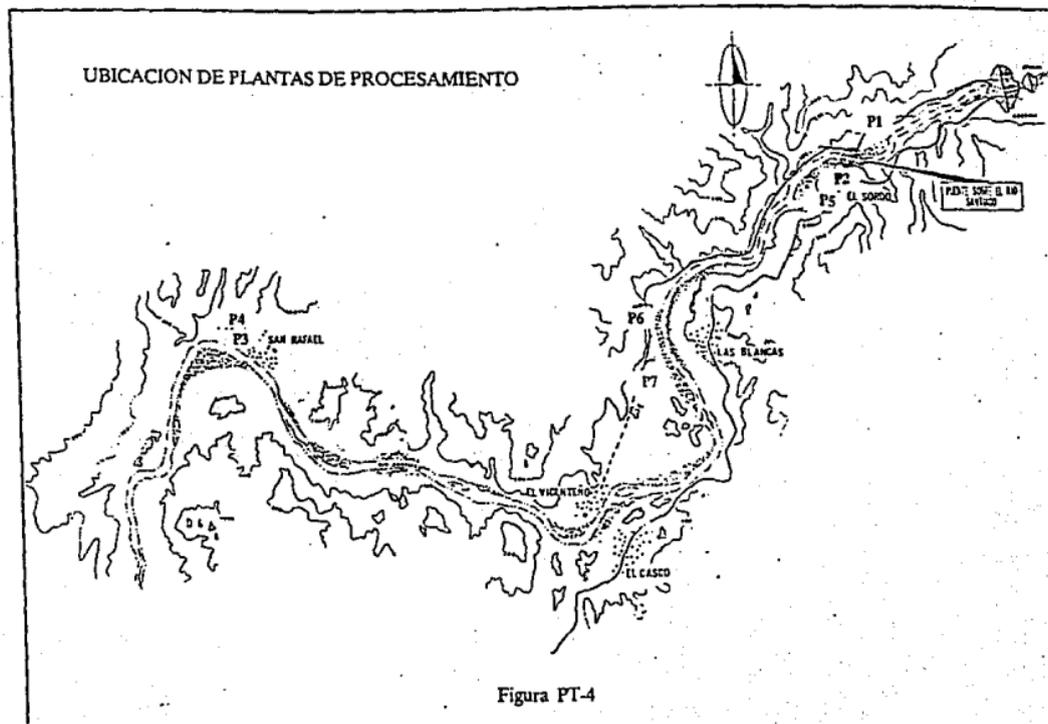
a) mediante cribado

b) por trituración

Ambas opciones fueron tomadas en Aguamilpa, distribuyéndose las producciones en las plantas de la manera siguiente:

PLANTA	METODO	VOL APROX (producción)
P1	Trituración	50% Vtotal
P3	Cribado	40% Vt
P7	Cribado	<u>10%</u>
		100%

Hay que aclarar que debido al procedimiento constructivo de colocación de material 2 en Cortina, se considera una sobrecolocación del 18.75%, además de los desperdicios (aprox. 10%) se hace necesaria una producción mayor al volumen estimado a colocarse en la presa.



A continuación se presentan los procedimientos que se siguieron en las Plantas 1, 3 y 7, para la producción del filtro grueso (Material 2).

PLANTA No.1

Tal como se indicó, esta planta produjo material 2 por medio de trituración, en la que se siguió esta secuencia:

- 1.- El material extraído de los bancos llega a la plataforma de alimentación en camiones volteos ligeros (6 m^3) en "greña", y descarga a la boca de la tolva de entrada (100%)
- 2.- El material cae al alimentador Grizzly vibratorio con rejilla 36×14 ", el cual dosifica la entrada de aluvión al triturador primario.
- 3.- El primario (quijadas 36×42 ") recibe el material y lo reduce a 4".
- 4.- El material triturado en esta primer etapa, y el que pasó por el alimentador menor a 4" cae a una banda de evacuación, misma que lo deposita sobre una banda transportadora la cual lo conduce hasta la parte superior de una criba vibratoria horizontal, con cama de 5×16 ".
- 5.- La criba retiene el material mayor a 3" y lo conduce con un movimiento de vaivén hasta la boca del secundario (aprox. 30%).
- 6.- El triturador secundario -girosfera 489s - lo reduce ahora de 4" a 3" y menores, y que es desalojado por otra banda transportadora que retorna el material hasta la primer banda, antes de la criba. Esta etapa se repite la veces necesarias hasta que la criba permita el paso del material menor o igual a 3.
- 7.- Mediante otra banda transportadora, el material que pasó por el Tamiz de la criba es llevado hacia la tolva de almacenamiento, donde retiene la producción para cargar a los camiones de volteo, que trasladarán el material a los patios de almacenaje.

PLANTAS 3 y 7

En las plantas 3 y 7 el material 2 se produjo por cribado, es decir, no todo el material de alimentación destinado a filtros se aprovechó, por lo que se produjo desperdicio (entre el 10 y el 20% del volumen alimentado). He de señalar aquí que este material alimentado a las plantas pasa primero por una reducción primaria y posteriormente se divide para ser procesado para filtros y agregados. El proceso de producción es idéntico en las ambas plantas, cuya descripción es la siguiente:

EQUIPOS
PARA LA
PRODUCCION
DE
MATERIALES
PETREOS

EQUIPO DE
TRITURACION

EQUIPO
COMPLEMENTARIO

TRITURACION PRIMARIA

Quebradoras de quijadas
Quebradoras giratorias

TRITURACION SECUNDARIA y TERCARIA

Trituradoras de rodillos
Trituradoras de impacto y martillo
Trituradoras de cono

TRITURACION CUATERNARIA

Molinos
de barras
de bolas
Pulverizadoras

Tolvas

Cribas Vibratorias inclinadas
Horizontales
Giratorias

Alimentadores

De mandil o tablero metálico
Reciprocante o de plato
vibratorio con o sin rejilla (Grizzly) de cribado
Equipo de lavado
Flautas de riego
Desenlodadores (scrubbers)
Gusanos lavadores
Tambores clasificados

Transportadores de Banda

Elevadores de canchales

ESQUEMA PT-1

PI-P2

1.- El material "en greña" se descarga a la tolva de de alimentación, misma que lo deposita a la boca del triturador primario, el cual consiste en una quebradora de quijadas 30"x42".

2.- Reducido el material a 3" cae a una banda de evacuación para conducirlo a un chute o tolva de canales, separando el material en dos partes iguales, una de ellas se destinaba para producción de agregados pétreos, dirigiendo el material a las instalaciones de la planta 4; y el resto (50%) se translada por medio de otra banda a una criba horizontal vibratoria 5'X16' de 3 pisos con una cama o tamiz de 3".

3.- El material retenido (boleo) se lleva a su cono de desperdicio con otra banda para posteriormente retirarlo, y el material cribado es conducido a una tolva de producción mediante una banda para almacenar temporalmente el material.

La principal diferencia entre las planta 3 y 7 es que esta última cuenta a la salida de la tolva de alimentación con un alimentador grizzly vibratorio, y que la criba es inclinada en vez de ser horizontal como la de la P3. El resto de la maquinaria y sus instalaciones son iguales.

MATERIAL 2F

Como ya se indicó, el 100% de la producción de material 2F (10,077 m³c) se realizó a base de trituración.

El procedimiento seguido para la obtención de este material es idéntico al del material 2 por trituración, pero cambiando el tamiz de la criba vibratoria horizontal por otro con abertura de 1 1/2", reteniendo tamaños mayores a este, que se procesan en el secundario hasta que se obtienen los adecuados. La banda granulométrica especificada para el 2F es más amplia que la del material 2.

V.6 CARGA YACARREO DE MATERIALES PRODUCIDOS

Completo todo el proceso de trituración y cribado, los materiales (filtros, agregados y boleos) son cargados y acarreados a los depósitos destinados para cada uno. Así, los agregados se retiran del pie de las bandas para llevarlos a su almacenaje cercano a la planta de trituración. Los boleos no se almacenan, sino que se envían directamente a la Cortina para su colocación.

En cuanto a las producciones de material 2 y 2F, se descarga de las tolvas de producción a camiones que acarrear el material al almacén "El Carrizal" para posteriormente colocarlo en Cortina. En las plantas, el equipo de carga consistió en un cargador frontal Caterpillar 966E, con capacidad de bote de 2.4 m^3 sobre neumáticos, en cada una, para un total de 4 cargadores.

El acarreo tanto de alimentación como de desalojo de la producción estuvo dado por camiones -volteo ligero- de 6 m^3 de capacidad de caja, y por camiones torton (12 m^3). Los primeros en una proporción del 80% y el resto por camiones torton. Aproximadamente en una jornada normal laboraban 70 volteos ligeros y 20 torton en promedio.

VI. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

VI.1 FINALIDAD

El almacenamiento de materiales térrcos tuvo la siguiente finalidad:

Contar con volúmenes suficientes de material para evitar atrasos y consiguientes problemas, debidos a la escasez de los mismos durante las temporadas de lluvias (junio, julio, agosto y septiembre).

Dado que la época de lluvias tiene una duración alrededor de 3 a 4 meses, la extracción durante el estiaje destina una 3a. parte de todo el volumen (33% promedio anual) para el almacenamiento de aluvi6n, para contar con un mínimo de 350,000 m³ para cuando se presenten las lluvias, pues al incrementarse el gasto del Río Santiago, el tirante aumenta y se debe retirar la maquinaria pesada a lugares seguros en las cercanías de los bancos.

Cabe mencionar que esta fase es importante para el buen cumplimiento de los programas de obra, pues de los almacenes se envía material a la Cortina y se alimentan las plantas trituradoras dando continuidad en los meses lluviosos, ya que de otro modo la falta de agregados pétreos puede afectar seriamente otros frentes de trabajo donde se coloque concreto.

VI.2 UBICACION DE LOS ALMACENES

A lo largo del Río Santiago, aguas abajo del sitio de construcción de la Cortina, se ubican los almacenes de cuya proximidad a los bancos recibieron su nombre, contándose con 7 en total:

- Carrizal
- Vicenteño I
- Vicenteño II
- San Rafael
- Las Blancas II (M.I.)
- Ramavi
- Mónico

Todos estos fueron usados para almacenar aluvi6n, a excepción del Almacén "El Carrizal", que fue exclusivo para materiales de filtro (2 y 2F), y "Ramavi", que fue un área destinada inicialmente para producciones de filtro también y posteriormente aprovechado para aluvi6n (Material 3B).

En la figura A-1 se muestra esquemáticamente la ubicación de los almacenes y de los bancos de los que procedía su mayor entrada. Se puede observar que sólo el almacén "Las Blancas II" se ubicó en la margen izquierda, junto al banco del mismo nombre, esto es debido a que se

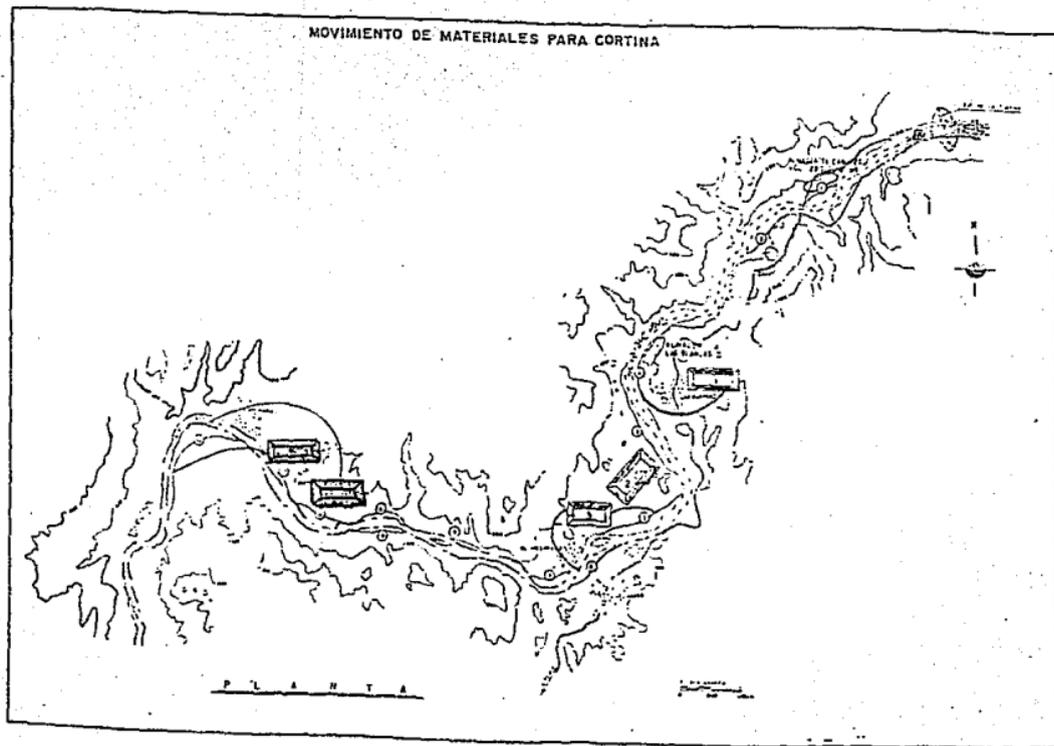


FIGURA A-1

dió acceso a esa zona aprovechando el camino Tepic - Aguamilpa, y el área colindante al banco se prestaba para acondicionar un almacén.

VI.3 ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO DE ALMACENAJE

Para poder iniciar el almacenamiento se buscaron e identificaron superficies que presentaran a la vista una regularidad tal para que los cortes o rellenos fueran mínimos. Todos los almacenes, excepto el "Blancas II" por la explicación previa, se acondicionaron junto al Camino Margen Derecha en aquellas áreas que cubrían los requerimientos.

Después de localizada el área sobre la que se formaría el almacén, se procedió a despejar la vegetación con tractor (desmonte y despalme) llevando el desperdicio a tiraderos cercanos; mientras tanto se regularizaba la superficie rellenando oquedades con el mismo material que se almacena (aluvión), extendiéndolo dejando una capa de 15 a 20 cm terraplenando la plataforma. Cuando se tuvo regularizada la superficie se realizó un levantamiento topográfico inicial para que con posteriores seccionamientos, se estimaría el volumen de almacenamiento. Teniendo ya un volumen tal que el material llegaba a las laderas de los montes vecinos, se iba despalmando siguiendo el contorno natural del terreno, conforme crecía el almacenaje.

VI.4 PROCEDIMIENTOS DE ALMACENAJE

Dadas las características de los materiales el almacenamiento efectuado en Aguamilpa, se puede dividir en 2 tipos:

A.- Para material 3B (Aluvión)

B.- Para material 2 y 2F (Filtros)

A continuación se describen ambos tipos de almacenaje, no obstante sus diferencias; en todas las plataformas, así como en la formación de vialidades dentro de ellas, se dejó siempre un mínimo de 5% de pendiente, por especificación, lo cual tuvo como finalidad permitir el drenaje de aguas pluviales en los almacenes para evitar en lo posible la erosión.

A. ALMACENAMIENTO DE MATERIAL 3B (ALUVION)

En este inciso se hace referencia a las técnicas generales utilizadas para almacenar enormes cantidades de aluvión (más de 300,000 m³); el mismo sistema se empleó en todos los almacenes y solo se presentaron variaciones muy localizadas, debidas principalmente a la configuración topográfica delimitante.

Se depositaba el material "en greña" extraído, en el área de almacén formando montones, que descompactaba un tractor, extendiendo el material y dando solo con su peso propio una pasada para semicompactarlo en su última capa, formando simultáneamente terraplenes y vialidades, para el tránsito del equipo de acarreo.

La formación de terraplenes fue completamente libre y la única restricción que se exigió fue que, a fin de evitar que el material se segregara y se generaran desperdicios (fig. A-2), se debería proceder dejando bermas o descansos, cuyo ancho variara entre 1 y 1.5 m como rango mínimo y reiniciar el almacenaje en bancales de 3 m de altura, siguiendo la ladera del cerro como apoyo, previa limpieza y despalme del mismo (fig. A-3)

Volumen perdido
por segregación y
generación de
desperdicio

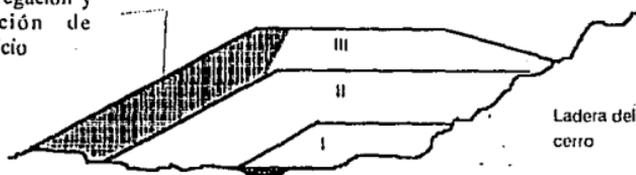


Figura A-2. Almacenamiento incorrecto

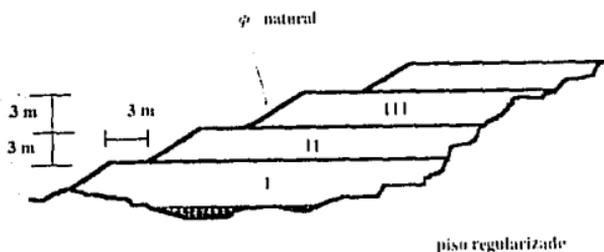


Figura A-3. Forma correcta de almacenar material

Como en estas figuras se observa, al "balconarse" el material, se propicia segregación y desperdicio; por ello se indica dejar bermas entre el piso superior de un talud y el "pateo" del siguiente, en un ancho suficiente para que el material tome su ángulo de reposo natural en "banquitos" no mayores de 3 m, sin que se segregue.

B. ALMACENAMIENTO DE MATERIAL FILTRO (2 y 2F)

Para ambos materiales la técnica de almacenamiento por lotes (terraplenes) fue la misma, a excepción de que el tratamiento dado de homogenización al material 2 fue adición de arena y al 2F, de limo.

El almacenamiento de estos filtros se efectuó en una plataforma acondicionada con material de desperdicio, en una superficie aproximada de 100m X 400m en la Margen Derecha, junto al banco "El Carrizal". Un pequeño volumen (Mat. 2F) se almacenó en un espacio libre de 80m X 60m en las inmediaciones de las instalaciones de la compañía Techint, a unos 1,000 m del almacén "El Carrizal".

Relacionadas con el almacenaje de filtros, se efectúan las actividades que a continuación se detallan:

1. Formación de bermas
2. Muestras y pruebas granulométricas
3. Tratamientos al material
Adición de arena o limo
y Homogenización
Integración de Humedad
4. Protección en época de lluvias

1. Formación de Bermas

Consiste propiamente en el almacenamiento, depositando en montones los volúmenes producidos de filtro, acamellonándolos en filas de 3 a 4 montones a lo ancho, sobre la plataforma acondicionada para ello, como se muestra en la fig. A-4

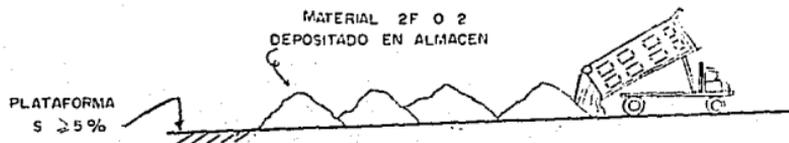


Figura A - 4

Al completar en volumen suficiente (300 a 400 m³) se descopetan los montones formando un terraplén, utilizando en esta operación un tractor (D8N) y repitiendo las descargas y descopetes hasta formar un lote (o berma) con promedio de 3,000 m³ (metros cúbicos sueltos), que llegaban a tener hasta 3 m de alto. En la fig. A-5 se muestra el terraplén descopetado.

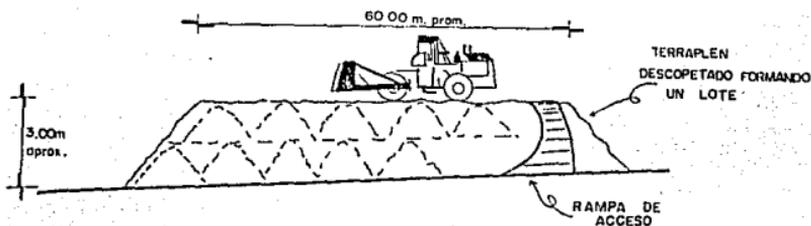


Figura A-5

2. Muestreos y Pruebas Granulométricas

Cuando se almacenaba una berma con un volumen aproximado entre 3,000 y 4,000 m³, se solicita el muestreo. El Laboratorio de Mecánica de Suelos de CFE oficialmente fue el encargado de que se observara el Control de Calidad, por lo que realizó las actividades de muestreo, ensayo y obtención de los resultados para los filtros.

Se tomaban 3 muestras por lote, abriendo una ventana en su periferia, cortándolo con un cargador frontal (CAT 966), extrayendo del cuerpo las muestras al azar. Con las muestras se ensaya el material en el laboratorio para obtener su Peso Volumétrico Suelto (PVS), su distribución granulométrica y su contenido de arena, así como para determinar si requiere homogenización.

Hay que hacer notar que en algunas ocasiones llegó a suceder que el material muestreado presentaba un resultado dentro de la banda granulométrica especificada, pero era rechazado por heterogéneo, al dispararse entre sí, los porcentajes de arena contenida, lo mismo que si se detectaba contaminación por exceso de finos o por traer materia orgánica. Si el material resultaba aceptado, se procedía a su envío a Cortina.

3. Tratamientos

ADICION DE ARENA Y HOMOGENIZACION

Ambas actividades siempre van unidas por obvias razones. Cuando un lote resultaba rechazado por bajos contenidos de arena o por falta de homogenización, se hizo necesario corregir esto, para lo cual se llevaron arenas naturales al lote rechazado en su porcentaje en peso necesario. En otras ocasiones, cuando se requería aumentar los contenidos de arena gruesa, se aprovechó el *granzón**. El material arenoso, sea natural o *granzón*, se enviaban al almacén y se depositaban sobre el lote indicado de filtro (Material 2), en cantidades determinadas (el 10% del volumen en peso en promedio, fue lo que se le adicionaba) y se procedía a su homogenización.

El proceso de homogenización es el siguiente:

El tractor rompe la estructura de la berma atacándola describiendo una trayectoria diagonal a su cuerpo, en un solo sentido, con lo que el material se extiende y se revuelve, desplazando el volumen unos 3 m de su posición original (fig. A-6). Posteriormente se ataca en sentido contrario y se vuelve a dar forma al lote, retornándolo a su posición original para dejar espacios entre los lotes de 3 a 5 m.

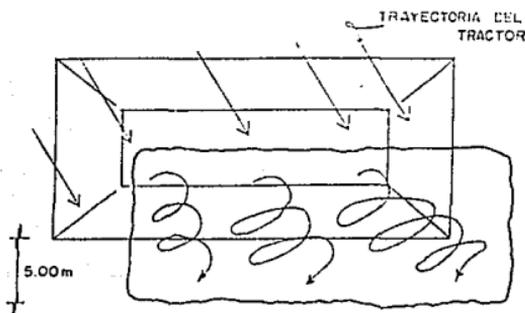


Figura A-6

INTEGRACION DE HUMEDAD

A todas las bermas se les integra agua, con el objeto de que el material contenga la humedad requerida para garantizar una compactación adecuada en el cuerpo de la Cortina. Dicho contenido de agua debe quedar entre el 6% y el 8%, para que en su colocación registre su humedad óptima, sin estar saturado ni seco.

* Se le llamó *granzón* a las partículas térreas de granos gruesos entre las arenas y las gravas, que era producto de desperdicio en las plantas procesadoras

Esta integración se efectuó mediante el riego con camiones pipa descargando uniformemente en cada lote el agua, a través de una flauta de riego y dando las pasadas que requería cada uno.

Al material 2F no se le adicionó arena, pero sí finos no plásticos, en un rango entre el 5% y el 10%, por especificación. Dicho material se tomaba de algunos depósitos naturales junto al Camino Margen Derecha; y su homogenización es idéntica a la aplicada al Material 2. Dentro del procedimiento constructivo de este material sí se contemplaba la adición, por medios mecánicos, de dichos finos, no así para el material 2, al que se le dió este tratamiento debido a que el suministro de aluvión a las plantas no se realizó de los bancos señalados para tal efecto, sino que se mezclaron de diferentes al irse agotando uno u otro.

4. Protecciones en época de lluvias

Con el fin de proteger los lotes de los filtros en almacén durante las épocas de lluvias, se cubrieron con poliuretano, para evitar por un lado, que se saturara el material; y por otro, que se degradaran los taludes de las bermas y se erosionaran.

VI.5 CARGA Y ACARREO

Para el material 3B en almacén, la carga se realizaba empleando un cargador frontal de neumáticos (TEREX 90 C), con capacidad de cucharón de 5 m^3 ; cargando a camiones tipo Torton, de 12 m^3 de capacidad de caja.

Para el material 2 y 2F, se utilizó para cargar en almacén un cargador frontal de neumáticos (CAT 966E), cuya capacidad es de 2.4 m^3 . Su acarreo se realizaba con:

camiones volteo ligero (6 m^3)

camiones "cola de pato" (10 m^3)

VI.6 VOLUMENES DE MATERIAL ALUVIAL ALMACENADO

En las siguientes tablas se muestran los resúmenes de almacenamiento de aluvión (material en greña) desde que inició el almacenamiento en enero de 1990 y hasta a Diciembre de 1992. Estos volúmenes fueron calculados con base en levantamientos topográficos en cada sitio de almacenaje. En la columna del "almacén Vicenteño" se incluyeron los almacenes Vicenteño

PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

FORMA No. 08

HOJA DE

OBRA CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN, GENERACION Y EXCEDENCIAS

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

CONTRATO

891049

ESTIMACION No.

PERIODO DEL

AL

CONCEPTO No. 188-35E. EXTRACCION Y ALMACENAMIENTO MAT. JB

NUMEROS GENERADORES PARA APLICACION DEL FACTOR 1.11 MJC - M3S SEGUN OFICIO LMRG/027/92 DEL 10 DE ENERO DE 1992

EST	PERIODO	RESUMEN DE MATERIALES ALMACENADOS SECCIONADOS SEGUN ESTIMACIONES					TOTAL	
		BLANCAS M.1	CARRIZAL	MONICO	SORDO	VICENTENO		TUNEL RECUP.
3	ENE'90				90,000.0		90,000.0	
4	FEB'90							
5	MAR'90			42,231.4			42,231.4	
6	ABR'90			51,091.2			51,091.2	
7	MAY'90			134,338.0			134,338.0	
8	JUN'90	158,540.0		40,919.4			199,459.4	
9	JUL'90							
10	AGO'90							
11	SEP'90			12,633.5			12,633.5	
12	OCT'90			5,827.0	23,246.0		29,073.0	
13	NOV'90			28,929.5			28,929.5	
14	DIC'90							
15	ENE'91	47,967.0					47,967.0	
16	FEB'91	150,454.1					150,454.1	
17	MAR'91	104,545.0				3,375.0	107,920.0	
18	ABR'91	125,376.3					125,376.3	
19	MAY'91	27,820.6	95,531.5	(18,171.7)	90,000.0	95,205.3	110,185.7	
20	JUN'91		99,456.0			42,777.0	142,233.0	
21	JUL'91	(255.0)				(12,767.0)	(13,022.0)	
22	AGO'91		(13,940.4)			(112,616.0)	(126,556.4)	
23	SEP'91							
24	OCT'91						40,745.4	
25	NOV'91					21,498.1	21,498.1	
26	DIC'91					52,073.0	52,073.0	
SUMA HOJA 1		457,708.0	339,587.1	297,798.3	23,246.0	89,545.4	40,745.4	1,248,630.2

EJECUTOR

FIRMA
NOMBRE

SUPERVISOR

FIRMA
NOMBRE

PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

FORMA No. 06

HOJA DE

OBRA CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE INSTALACION, GENERACION Y EXISTENCIAS

CONTRATISTA INGENIERIA CIVILES ASOCIADOS S.A. DE C.V.

831049

ESTIMACION No.

PERIODO DEL

AL

CONCEPTO No. 188-35E. EXTRACCION Y ALMACENAMIENTO MAT. 3B

NUMEROS GENERADORES PARA APLICACION DEL FACTOR 1.11 M3C - M3S SEGUN OFICIO LMRO/C27/92 DEL 10 DE ENERO DE 1992

EST	PERIODO	RESUMEN DE MATERIALES ALMACENADOS SECCIONADOS SEGUN ESTIMACIONES						TOTAL
		BLANCAS M.D	BLANCAS M.I.	CARRIZAL	MONICO	SORDO	VICENTENO I TUNEL RECUP.	
27	ENE'92							
28	FEB'92		31,347.2				15,296.6	46,643.8
29	MAR'92		116,861.5		40,958.2		26,506.5	184,326.2
30	ABR'92		35,752.0		166,017.0		38,371.9	240,140.9
31	MAY'92		6,520.3		163,344.8		149,356.0	319,221.1
32	JUN'92		7,751.6		269,186.0		134,051.6	410,989.2
33	JUL'92							
34	AGO'92		7,524.3		1,589.2		19,570.2	28,683.7
35	SEP'92							
36	OCT'92							
37	NOV'92							
38	DIC'92		(14,181.8)		(18,332.4)			(18,332.4)
SUMA HOJA 2			191,575.1		622,762.8		383,152.8	1,197,490.7
TOTAL		457,708.0	531,162.2	297,798.3	622,762.8	23,246.0	472,698.2	2,446,120.9

EJECUTOR

FIRMA
NOMBRE

SUPERVISOR

FIRMA
NOMBRE

I, Vicenteño II y Ramavi. En los almacenes "Blancas M.D." y "El Sordo", las cantidades corresponden a un almacenamiento sobre el propio playón.

TABLAS DE ALMACENAMIENTO

RELACION DE DISTANCIAS ENTRE LOS BANCOS Y ALMACENES DE ALUVION - EN METROS -

ORIGEN	DESTINO	CENTRO GEOMETRICO DEL BANCO	ALMACEN		DISTANCIA
			ENTRADA	CENTRO GEOMETRICO	
CARRIZAL	CARRIZAL	2,150	2,020	2,150	260
SORDO	CARRIZAL	3,450	2,020	2,150	1,560
BLANCAS I	BLANCAS I	7,563	7,000	7,250	.813
BLANCAS II Etapa I	BLANCAS II	7,495	6,640	7,410	1,625
BLANCAS II Etapa II	BLANCAS II	7,495	6,640	6,820	1,035
VICENTEÑO I	VICENTEÑO I	10,170	8,300	8,450	2,020
VICENTEÑO II	VICENTEÑO II	9,670	9,170	9,230	560
VICENTEÑO III	VICENTEÑO I	11,180	8,300	8,450	3,030
RIUHEÑA	VICENTEÑO I	13,229	8,300	8,450	5,079
TICUXTLE	VICENTEÑO I	13,550	8,300	8,450	5,400
MONICO	VICENTEÑO I	14,820	8,300	8,450	6,670
	MONICO		14,420	15,290	1,270
SAN RAFAEL secc.I	VICENTEÑO I	16,540	8,300	8,450	8,390
	MONICO		14,420	15,290	2,990
SAN RAFAEL secc.II	VICENTEÑO I	17,590	8,300	8,450	9,440
	MONICO		14,420	15,290	4,040
SAN RAFAEL secc.III	VICENTEÑO I	18,598	8,300	8,450	10,448
	MONICO		14,420	15,290	5,048
SAN RAFAEL secc.IV	VICENTEÑO I	19,188	8,300	8,450	11,038
	MONICO		14,420	15,290	5,638

TRANSPORTE DE MATERIALES

VL7 ALTERNATIVAS CONSIDERADAS PARA EL ACARREO DE ALUVION

La Compañía constructora presentó en sus análisis de precios unitarios 4 alternativas para realizar el transporte de aluvión y los materiales derivados de él, hasta la colocación en su sitio definitivo en la presa.

Estas alternativas fueron estudiadas para determinar el costo del "sobrecarreo" (se contempló en el costo de extracción el acarreo libre de 1 km), el cual fue del orden de 12 a 20 km. En las siguientes tablas se presentan las distancias de origen-destino entre:

- Bancos-Cortina
- Almacenes-Cortina y
- Banco-Almacenes.

Las alternativas para el transporte de aluvión fueron:

- I. Con banda Transportadora (9.9 km)
- II. Banda (7.2 km) y camiones fleteros
- III. Banda (3.7 km) y camiones fleteros
- IV. Sólo camiones fleteros.

Para cada una se muestra en el siguiente cuadro, la integración de sus costos.

ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE
(p e s o s)

ALTERNATIVA	MANO DE OBRA	MAQUINARIA	MATERIALES	FLETES	COSTO DIRECTO
I	\$519.86	\$253.93	\$3,624.82	\$69.14	\$4,467.75
II	\$428.74	\$221.78	\$2,675.07	\$368.53	\$3,694.12
III	\$339.51	\$174.99	\$1,594.01	\$1,375.23	\$3,483.74
IV	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$2,708.00	\$2,708.00

RELACION DE DISTANCIAS AL CENTRO GEOMETRICO DE LOS BANCOS DE ALUVION
- EN METROS -

ORIGEN	DESTINO		
	PORTAL DE CASA DE MAQUINAS	TUNEL DE RECUPERACION	TRAZA DE LA CORTINA
CARRIZAL	2,150	2,330	2,184
SORDO	3,450	3,630	3,484
BLANCAS I	7,563	7,743	7,597
BLANCAS II	7,495	7,675	7,529
VICENTEÑO I	10,170	10,350	10,204
VICENTEÑO II	9,670	9,850	9,704
VICENTEÑO III	11,180	11,360	11,214
RIUBEÑA	13,229	13,409	13,263
TICUXTLE	13,550	13,730	13,584
MONICO	14,820	15,000	14,854
AGUA CALIENTE	15,500	15,680	15,534
SAN RAFAEL sec.I	16,540	16,720	16,574
SAN RAFAEL sec.II	17,590	17,770	17,624
SAN RAFAEL sec.III	18,598	18,778	18,632
SAN RAFAEL sec.IV	19,188	19,368	19,222

RELACION DE DISTANCIAS AL CENTRO GEOMETRICO DE LOS ALMACENES DE ALUVION
- EN METROS -

ORIGEN	DESTINO		
	PORTAL DE CASA DE MAQUINAS	TUNEL DE RECUPERACION	TRAZA DE LA CORTINA
CARRIZAL			
ENTRADA	2,020		
CENTRO GEOMETRICO	2,150	2,330	2,184
BLANCAS I			
ENTRADA	7,000		
CENTRO GEOMETRICO	7,250	7,430	7,284
BLANCAS II Etapa I			
ENTRADA	6,640		
CENTRO GEOMETRICO	7,410	7,590	7,444
BLANCAS II Etapa II			
ENTRADA	6,640		
CENTRO GEOMETRICO	6,820	7,000	6,854
VICENTEÑO			
ENTRADA	8,300		
CENTRO GEOMETRICO	8,450	8,630	8,484
MONICO			
ENTRADA	14,420		
CENTRO GEOMETRICO	15,290	15,470	15,324
KAMAVI			
ENTRADA	8,210		
CENTRO GEOMETRICO	8,310	8,490	8,344

De ahí se consideró como la mejor opción, y así fue aceptada, la alternativa 4: solo camiones fletados, por ser claramente la más económica. Sin embargo, ya durante el desenvolvimiento de la obra, el acarreo de material se realizó con camiones fletados, apoyándose con camiones propios de la empresa, que representaron un 25% del total de las unidades de transporte, contra la indicación inicial de la alternativa seleccionada.

Adicionalmente, se empleó un Banda tipo ZIG-ZAG para subir el aluvión del pié de la Cortina a una tolva, con el fin de agilizar su colocación. Esta banda se consideró aparte de las alternativas señaladas.

VL8 MOVIMIENTOS DE MATERIAL ALUVION

Junto con las características particulares de los equipos, procederé ahora a describir la conformación de la cadena de transporte para el aluvión. En el esquema T-1, se ilustra de modo sencillo la cadena de transporte efectuada para el aluvión en la construcción de la Cortina del P. H. Aguamilpa.

Dicha cadena dá inicio con la Extracción, de la que se mueve el material hacia 3 puntos principales:

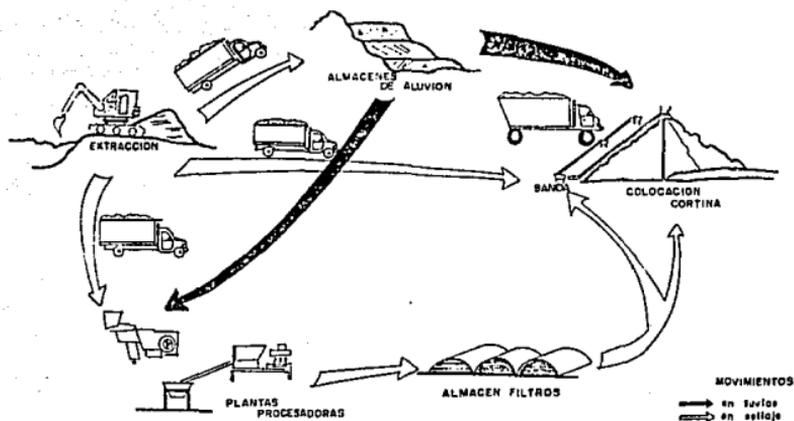
- Colocación directa en Cortina
- Envío a almacenes
- Alimentación a las plantas trituradoras

Dentro de la cadena hay que distinguir dos flujos: uno para la temporada de lluvias y otra para el estiaje. En esta última, se realiza la extracción del material e inicia la secuencia de los movimientos. En la época de lluvias, al no ser posible extraer material del río, debido a las crecientes, se convierten los almacenes en la fuente del suministro del material y dar así continuidad al movimiento de tierras.

Los materiales producidos en las plantas son enviados a sus respectivos destinos:

- Los agregados pétreos, a las plataformas acondicionadas en la vecindad de las trituradoras para posteriormente ser transportados a las plantas de concreto (ROSS 1, ROSS 2, ORU).
- Los filtros fueron movidos hasta el almacén respectivo (El Carrizal) para que sean muestreados los lotes por Control de Calidad. Ya aceptados los lotes, se envía el filtro a la Cortina para su colocación.

CADENA DE TRANSPORTE DEL ALUVION



Esquema T-1

Ya en Cortina, el movimiento de tierras continúa de modo exhaustivo, pues es el destino final del material extraído. Para la colocación, el transporte se efectúa de 2 maneras:

- Mediante la Banda ZIG-ZAG.
- Mediante las unidades de transporte (camiones).

Hay que señalar que dependiendo de las etapas constructivas de los terraplenes de la Cortina, se permitió descargar el material directamente con los camiones fletados (adicionalmente al transporte con la banda), y solamente, en la etapa final se restringió el paso a estos, debido a las reducidas dimensiones que toma el cuerpo de la cortina, dificultando las maniobras de los camiones.

VI.9 EQUIPO DE TRANSPORTE

Tomando como referencia el Programa General de Extracción de Aluvión, se deduce que el período comprendido entre marzo y junio de 1992, correspondió a la mayor explotación y, consecuentemente, al mayor movimiento del aluvión.

Camiones

Cabe mencionar que el uso de las unidades de transporte se incrementa o decrementa según las necesidades de la obra, por lo que su número varía durante los años de construcción de este tipo de obras, pero se puede decir existió, para el movimiento de aluvión y materiales procesados, en promedio 250 unidades de diferentes modelos y capacidades. Por lo anterior, durante la ejecución de los trabajos se decidió integrar un 25% de unidades propias de la empresa constructora, contrario a lo que se había determinado con el análisis de alternativas de transporte, del que se optó por realizar los movimientos con sólo camiones fleteros. Los camiones utilizados para el acarreo fueron:

NOMBRE LOCAL	Capacidad	Propiedad
BANCOS - ALMACEN - CORTINA		
Torton	12 m ³	Fleteros
BANCOS - PLANTAS - ALMACEN - CORTINA		
"Rabón"	6 m ³	Fietero
"Cola de pato"	10 m ³	Empresa
BANCOS - CORTINA		
"Góndola"	18 m ³	Empresa
TOLVA (BANDA ZIG ZAG) - COLOCACION EN CORTINA		
Fuera de carretera (TEREX R50 y R55)	25 m ³	Empresa

BANDA ZIG-ZAG

Otro equipo empleado fue la banda Zig-Zag, que lleva el material del pie de la Cortina hasta la Tolva, que a su vez alimenta a los camiones fuera de carretera para depositar el material sobre los terraplenes de la cortina para su compactación.

Sobre el cuerpo de la atagüfa aguas abajo se construyó un túnel que recoge o capta el material depositado al pié de la Cortina, denominado *Túnel de Recuperación*; dicho túnel de sección circular y paredes de concreto armado, cuenta en su clave con un sistema de alimentación de 3 tolvas, que permita regular la caída de aluvión al interior, dentro del cual inicia el primer tramo de la banda. El túnel tiene una longitud de 40 m de largo y 2 m de diámetro y se halla a la elevación 86.00 m.s.n.m.

Con un tractor se mueve el material ahí depositado para que caiga a la entrada de las tolvas. Del túnel se carga el segundo tramo de la banda transportadora, en dirección a la margen derecha y tiene una longitud de 195.20 m, hasta llegar a la elev. 121.40 m.s.n.m.

En ese punto entra a una tolva pequeña, donde cae el material al 3er. tramo con una longitud de 145.70 m, llegando al punto 4 bis a 148.50 m.s.n.m.

En ese punto es donde se hizo un cambio en la dirección de la banda, cuando los terraplenes llegaron a la elevación 130 m.s.n.m., hasta esa elevación la banda continuó en una etapa inicial con 3 tramos más de 21.09 m, 122.5 m y 51.4 m respectivamente, hasta llegar a la primera posición de la Tolva NOVA 500, a la elevación 135.00 m.s.n.m.

Posteriormente se reubicó la Tolva NOVA 500 a la elevación 185.00 m.s.n.m., con una distancia de 161 m desde el punto 4 bis.

En resumen, en una primer etapa, la banda acumuló una longitud de 555.82 m y para la segunda, una distancia acumulada de 521.77 m. Finalmente el material se deposita en dicha tolva, de 200 m^3 de capacidad nominal (ver fig. T-2) y con ella se carga, como ya se mencionó, a los camiones fuera de carretera, los cuales transportan hasta su destino final al material.

POSICION DE LA BANDA TRANSPORTADORA ZIG-ZAG

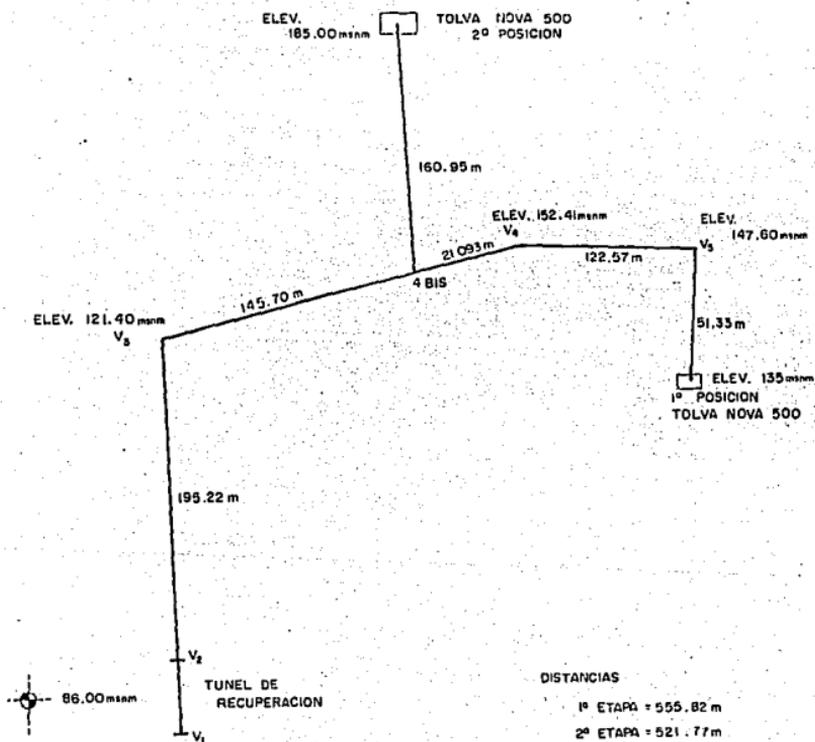


Figura 1'-2

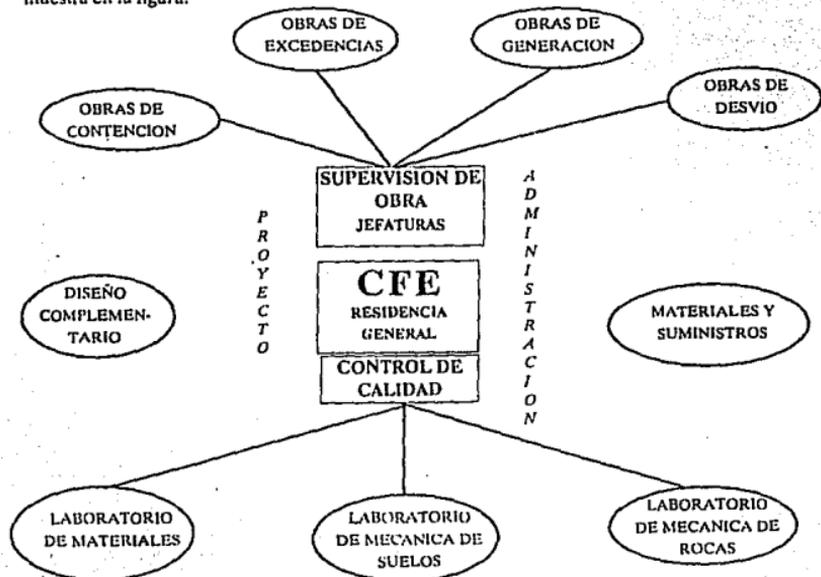
VII. SUPERVISION Y CONTROL

Después de estudiar los procedimientos empleados para el manejo de los materiales aluviales, se señalan en el presente capítulo las características de la supervisión de obra, así como el control de calidad ejecutados en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa.

VII.1 ORGANIZACION DE LA OBRA

Las obras civiles de este tipo, por su magnitud, se estructuran de diversos modos conforme a un marco institucional, bajo el que se desarrollan todos los procesos -desde los sociales y legales hasta los administrativos y financieros.

Para el P. H. Aguamilpa se estableció un marco de organización, como a continuación se muestra en la figura:



Sj.C. 1

Comisión Federal de Electricidad es simultáneamente el propietario de la obra, el supervisor de la construcción y determina el control de calidad. A través de 4 jefaturas de supervisión se encarga de resguardar y vigilar los intereses del propietario (de sí mismo), principalmente en lo que se refiere al cumplimiento del contrato con la compañía constructora en cuanto a tiempos, precios, estimaciones y procedimientos constructivos.

Para cubrir los aspectos de control de calidad, en el P. H. Aguamilpa, C.F.E. contó con 3 laboratorios: de materiales, de mecánica de suelos y de mecánica de rocas. El primero se encargó básicamente del control de la calidad de los agregados, concretos y aceros colocados en las estructuras que conformaron el proyecto. El laboratorio de mecánica de rocas tuvo la función de determinar las fallas, fracturas y procedimientos de estabilidad de macizos para las obras interiores, como túneles y galerías, así como cortes externos para llegar a las elevaciones proyectadas para cada estructura sobre las laderas. El laboratorio de mecánica de suelos se hizo cargo del muestreo y evaluación de los materiales extraídos de los bancos de aluvión, así como de los materiales producidos en las plantas de trituración cuyo fin era su colocación en la cortina, además de verificar la calidad de los materiales colocados, tanto en humedad, compactación y limpieza de los mismos.

El contrato establecido entre C.F.E. y la compañía constructora fue mediante *precios unitarios* y cuyo programa de construcción se presentó en el Capítulo III de esta tesis.

VII.2 CARACTERISTICAS DE LA SUPERVISION

Toda supervisión debe cumplir con ciertas reglas de aplicación básicas, cuyas principales son:

- a) La supervisión ordena y certifica
- b) La supervisión autoriza -lo que convierte al supervisor en corresponsable automáticamente- pero no corresponde a la supervisión autorizar cambios de proyecto
- c) La supervisión informa al contratista sobre situaciones, eventos, visitas oficiales, cambios de personal, mediante el uso de la *bitácora*
- d) La supervisión previene a través de notas sobre situaciones detectadas, que puedan perjudicar el adecuado cumplimiento de los programas y procedimientos

La *Bitácora de Obra* es un instrumento fundamental y de gran importancia en la construcción de obras civiles, pues en ella se asientan aquellas situaciones que tanto la supervisión como el contratista observen en el transcurso de la ejecución de los trabajos. Y su valor queda

justificado porque de ella se obtiene una descripción cronológica de los hechos, para la determinación y aceptación de las estimaciones presentadas por el contratista para el cobro de los conceptos, finalizar la obra; y para deslindar responsabilidades de orden civil y penal en aquellos casos que se presenten situaciones perjudiciales que afecten a los intereses del propietario, tanto económicos como de incumplimiento de los contratos.

Definición.

Bitácora.- Es un término marítimo: se refiere al cajón donde se guarda la aguja de navegar, además es el libro donde se anota el rumbo, velocidad, maniobras y acontecimientos que se presenten durante el viaje.

En construcción, la Bitácora de Obra es un anexo del contrato y es el medio de comunicación legal entre las partes que lo firman. Lógicamente, para su uso se tienen ciertas normas:

Cada contrato debe tener su propia bitácora, y está prohibido mezclar dos en una misma, pues en obras de enorme magnitud, como Aguamilpa, se tienen diversos contratos en cada frente.

- Las hojas deben estar foliadas, en numeración progresiva
- Las notas deben estar fechadas, con buena redacción, sin faltas de ortografía y sin borrones o enmendaduras. En caso contrario se cancela la nota.
- Solo la pueden firmar personal autorizado para ello expresamente.
- Es de responsabilidad compartida el buen uso, tanto de la supervisión como del contratista.

En este apartado haré referencia a las situaciones presenciadas en la Jefatura de Obras de Contención, específicamente en el frente de Extracción y Procesamiento de Aluvión, aunque no es posible generalizar a la totalidad de los frentes de trabajo, sí se puede asegurar que en toda la organización se vivieron semejanzas.

En Aguamilpa se presentó el caso siguiente:

La contratista consideró en sus precios unitarios referentes a la *Extracción, transporte y almacenamiento de aluvión en grúa* que dispondría para la explotación de los bancos hasta el Banco El Vicenteño III, con cuyo volumen acumulado según esos cálculos, se cubrirían los volúmenes necesarios para la totalidad de material aluvial a colocar en la Cortina, además de cubrir los materiales procesados (agregados para concreto y filtro para la presa).

Durante el desarrollo de los trabajos, la contaminación de algunas zonas en el río, debidos a los reabastecimientos de material de sedimento provocados por los períodos de lluvia, por una parte, pero principalmente la mala planeación de la explotación en los bancos, por otra;

"obligó" a la compañía contratista a solicitar la reconsideración a su precio unitario correspondiente, esto es, solicitó aumento a esos precios.

Mediante la recopilación de oficios, otros documentos y fundamentalmente notas de bitácora, se concluyó como improcedentes dichas solicitudes, pues se demostró que la mala planeación en la explotación, la gran cantidad de material desperdiciado, tanto durante el transporte, como con la contaminación con limos y materia orgánica por el deficiente acondicionamiento previo que se les debía aplicar a los playones (descrito en el Capítulo IV), determinaron la explotación de bancos más lejanos a los previstos en el cálculo de los precios.

Aunado a ello, cabe mencionar que la explotación se contempló hacerla con el uso de DRAGAS, no obstante, la contratista decidió cambiar el equipo por RETROEXCAVADORAS a fin de elevar su productividad en la explotación, pero sacrificando profundidad en la extracción, situación que obviamente los condujo a extraer material de bancos más alejados, al desaprovechar volumen explotable.

Y sin embargo, como comentario final al respecto y dejando la libertad de conclusión al lector, el precio solicitado en la reconsideración (aproximadamente 25% mayor que el establecido inicialmente) fue autorizado, gracias a las presiones políticas que la compañía contratista ejerció. Y así como esta situación, se presentaron otras más en este frente, y seguramente en otros también.

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

VIII. CONCLUSIONES

En esta tesis se han estudiado 2 aspectos básicamente diferentes:

- La estructura y composición de la Cortina
- Los procesos de obtención y manejo de los materiales (aluviales), para allegarlos a la Cortina.

Resulta entonces necesario conocer el proyecto, las especificaciones técnicas (clase de material requerido), para que se identifique la mejor manera de obtenerlo; sea mediante la simple extracción, o sea a través de una serie de procesos.

Desde el punto de vista de la supervisión, el objetivo a conseguir es el cumplimiento oportuno del programa de construcción, que lo previsto en el proyecto se realice lo más fiel posible evitando con ello sobrecostos que perjudicarían a la obra, así como mantener especial atención sobre la calidad de la ejecución de los trabajos.

La buena coordinación entre los trabajos ejecutados por el constructor y el supervisor, conlleva a la culminación exitosa de la obra. Por ello, es altamente recomendable la continua comunicación entre estos personajes, a fin de establecer acuerdos pertinentes y su consecuente cumplimiento. El criterio y experiencia en este tipo de obras, se vuelven instrumentos de utilidad constante. Cuando no se realiza la ejecución de los trabajos conforme a los acuerdos tomados, se cae en situaciones que afectan notablemente al natural desenvolvimiento de un programa de obra, e incide fundamentalmente sobre el aspecto financiero.

Prueba de ello, es lo mencionado en el Capítulo No. VII SUPERVISION Y CONTROL, en lo referente a las solicitudes de reconsideración de precios unitarios. El cambio de procedimiento en la extracción del aluvión, de dragas a retroexcavadoras, implicó un desperdicio de material bajo el nivel del río enorme. Se sacrificó volumen por obtener mayor productividad, y con esto se tuvieron otras implicaciones, tales como explotar depósitos más alejados, que a su vez obliga a la construcción de mayores distancias de caminos de acceso. Lo cual impacta a los costos básicos.

En el campo de la extracción de materiales, el buen juicio, el constante intercambio de opiniones, a través de reuniones de trabajo, y la experiencia previa son aspectos que se involucran en la planeación para el eficiente ataque sobre un frente de trabajo. Dado que la morfología física de los depósitos naturales de materiales es bastante caprichosa no es posible determinar un solo método de ataque para la explotación de los mismos, por lo que resulta que este campo de trabajo queda abierto a grandes posibilidades de acción; por ello es recomendable la planeación efectiva considerando como factores determinantes los aspectos

económicos y financieros para elegir entre las opciones de explotación más convenientes y físicamente factibles.

En el campo del Procesamiento de Materiales es importante la elección de maquinaria apropiada para obtener los resultados más cercanos al proyecto, pues en ocasiones, como se estudió en el Capítulo V. PLANTAS DE PROCESAMIENTO, el material natural no permite obtener materiales tales como los indicados en las especificaciones técnicas.

Las técnicas de almacenamiento implican:

por un lado, la continuidad de trabajos en época de lluvia,

por otra, la conservación del material en estado adecuado evitando la segregación, desperdicio y contaminación.

En cuanto al transporte de material puede repercutir en un costo que resulte crítico para la obra, pues es el rubro más notoriamente impactable desde el punto de vista financiero, véase lo sucedido al explotar bancos más alejados de la Cortina, Cap. VII.

CONCLUSION GENERAL

La planeación adecuada y con buen juicio, el conocimiento de los materiales naturales, la certera selección de equipo y procedimientos son las bases principales para alcanzar con éxito la realización de una obra de construcción pesada, como fue el movimiento de tierras para la presa Aguamilpa.

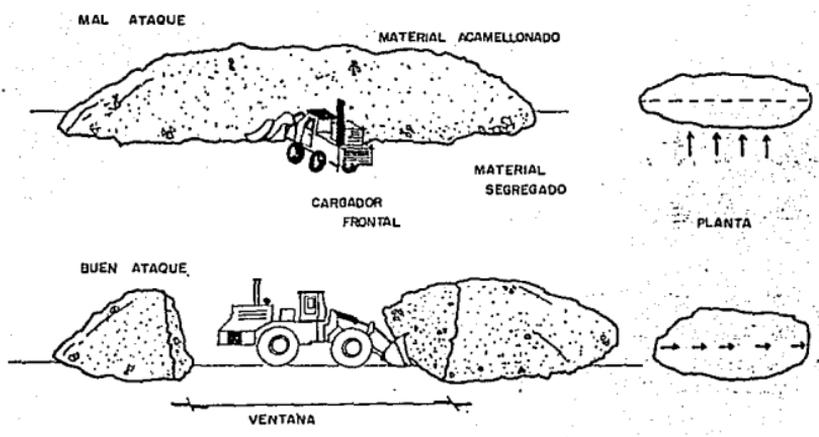
Sobre el aspecto de la supervisión, el tener conceptos claros y buen control de los trabajos, pero fundamentalmente una firme ética personal y profesional, son el sustento clave con el que es posible dirigir las acciones y trabajos con mejor calidad técnica y en el tiempo oportuno.

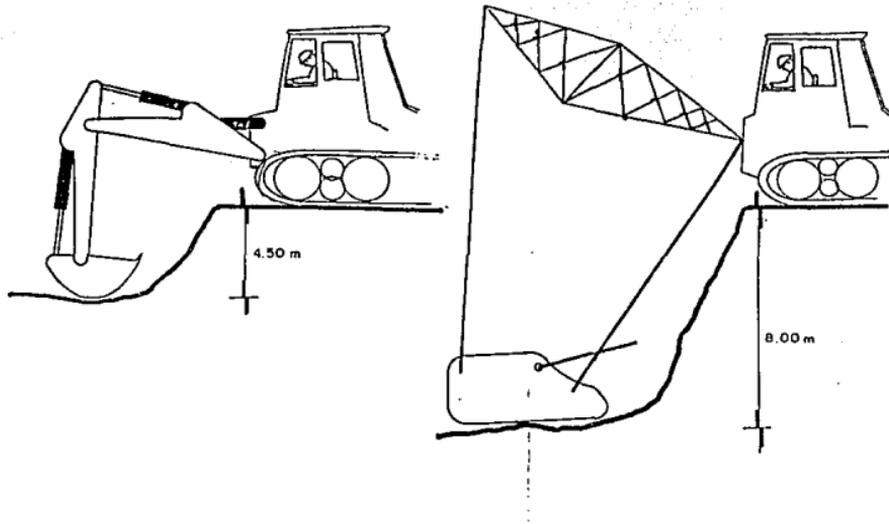
PROGRAMA GENERAL DE EXTRACCION DE ALUVION

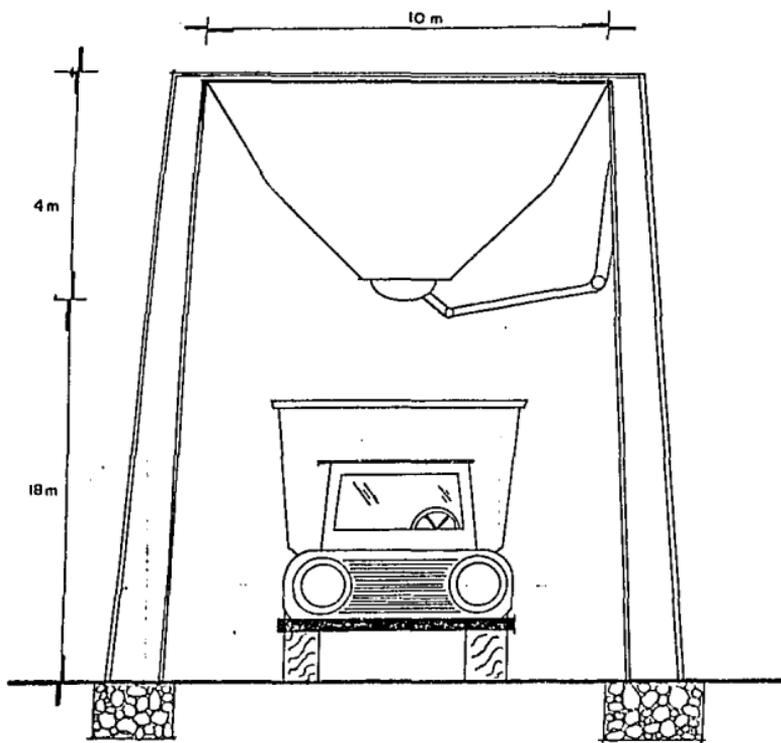
FECHA	PROGRAMADO		REAL EJECUTADO					DIFERENCIA	
	PARCIAL	ACUMULADO	2	2F	3B	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	
OCT 90	439,868	439,868				439,868	439,868	439,868	0
NOV 90	207,371	647,239				116,219	116,219	558,087	91,152
DIC 90	137,930	785,169				10,812	10,812	568,899	218,270
ENE 91	416,182	1,201,351				268,093	268,093	838,992	366,359
FEB 91	477,692	1,679,043				409,019	409,019	1,244,011	435,032
MAR 91	466,322	2,145,365				394,210	394,210	1,638,221	507,144
ABR 91	529,542	2,674,907	15,215			444,420	459,685	2,097,906	577,001
MAY 91	425,205	3,100,112	12,751	1,198		382,770	396,719	2,494,625	605,487
JUN 91	376,904	3,476,116	18,443	600		259,628	278,671	2,773,296	702,820
JUL 91			7,818	215			8,033		674,787
AGO 91			15,040	891			15,943		678,844
SEP 91			3,920	321			4,241		674,603
OCT 91	341,244	3,817,360	27,531	193	237,932	265,455	3,066,968	750,392	
NOV 91	333,765	4,151,125	40,514	207	296,494	337,215	3,404,183	746,942	
DIC 91	317,279	4,468,404	26,381	758	241,294	268,433	3,672,616	795,788	
ENE 92	331,283	4,799,687	20,223	1,290	229,005	250,518	3,923,134	876,553	
FEB 92	330,662	5,130,349	35,121	1,545	222,948	259,614	4,182,748	947,601	
MAR 92	331,903	5,462,252	52,693		498,166	550,859	4,733,607	728,645	
ABR 92	310,708	5,772,960	33,174	335	517,137	550,646	5,284,253	488,707	
MAY 92	327,861	6,100,822	29,436	806	527,156	557,398	5,841,651	259,170	
JUN 92	326,484	6,427,306	12,652	44	544,836	557,532	6,399,183	28,122	
JUL 92	190,814	6,618,120	8,657	917	205,522	215,092	6,614,275	3,844	
AGO 92	32,851	6,650,971	18,956			18,956	6,635,231	17,739	
SEP 92	33,616	6,684,587	23,035	516		23,551	6,656,782	27,804	
OCT 92	100,976	6,785,563	53,614	392	68,437	122,443	6,779,235	6,337	
NOV 92	543,814	7,329,377	67,894	663	186,840	255,397	7,034,622	294,754	
DIC 92	414,104	7,743,481	32,813		174,536	207,340	7,241,971	501,509	

TABLA BA-2. EQUIPO DE EXTRACCION DE ALUVION

EQUIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD m ³	CANTIDAD
EXTRACCION DE ALUVION				
Retrosavadora	OYK	R11-40D	5	4
	Liebherr	961	5	1
	Liebherr	982	3.5	1
	Caterpillar	235	2.4	4
	Caterpillar	245	3.5	3
Draga	Link-Belt	SL408	3.5	1
		SL418	3	2
CARGA DE ALUVION				
Cargador frontal sobre neumáticos	TEREX	90 c	5	5
	Caterpillar	966 B	2.4	2
ACARREO				
Volteo ligero	varios		5.5	70
Volteo Torston	varios		11	200
Tractocamión Góndola	varios		15.39	30
Vaguetas	varios		27	8
Fuera de Carretera	TEREX	R50	25	4
ACONDICIONAMIENTO DE BANCOS				
Tractor áorugas	Caterpillar	D4N		2
MANTENIMIENTO DE CAMINOS				
Mezcladora	Caterpillar	CM-17		3
Compactador de rodillo	Caterpillar	SP-60	10 ton	1
Camión pipa	varios		3000 lts	3







BIBLIOGRAFIA

1. **ESPECIFICACIONES TECNICAS.** Tomos I y II. Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa.
2. **MATERON, Bayardo.** Aspectos de proyecto y construcción de presas de enrocamiento y/o gravas con cara de concreto. Apuntes técnicos. 1989.
3. **PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA, NAY.** Publicación especial. Grupo ICA, México D.F. 1991.
4. **ROMO y COVARRUVIAS.** Estudio del comportamiento sísmico de la Presa Aguamilpa. Tecnología y Sistemas. Informe a C.F.E.
5. **PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA.** Recopilación de la Mesa Redonda "Homenaje al Profr. Raúl Marsal. Museo Tecnológico de C.F.E. - Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. Marzo 20, 1991.
6. **VALENCIA CRUZ, José Luis.** Estudio geofísico para estimar el espesor de aluvión bajo el cauce del Río Santiago en el P.H. Aguamilpa, Nay. Departamento de Geofísica, Zona Pacifico Norte. Noviembre 1988.
7. **CONDE ASIAIN, Alfonso.** Geología aplicada a la construcción de la casa de Máquinas del P.H. Aguamilpa, Nay. Tesis Profesional. Universidad de Guanajuato. 1992.
8. **JUAREZ BADILLO y RICO RODRIGUEZ.** Mecánica de Suelos. Vol I. Editorial LIMUSA, México, 1988.
9. **BENITEZ ESPARZA, Pedro Luis.** Técnicas modernas en la producción de agregados pétreos. FUNDEC, A.C. México 1986.
10. **MARSAL, Raúl.** Resistencia y compresibilidad de enrocamientos y gravas. 1972. Instituto de Ingeniería. UNAM. 1972.
11. **CARDENAS BARO, Agustín.** "Importancia de Aguamilpa dentro de la hidroelectricidad en México". Revista INGENIERIA CIVIL, Colegio de Ingenieros Civiles de México. Agosto-Octubre 1990.
12. **PALAFX RAMIREZ, Sergio.** "P.H. Aguamilpa. Concepción y Diseño". Revista INGENIERIA CIVIL, Colegio de Ingenieros Civiles de México. Agosto-Octubre 1990.
13. **ORTEGA MORENO, Próspero.** "Aguamilpa: La magnitud de una Obra". Revista INGENIERIA CIVIL, Colegio de Ingenieros Civiles de México. Agosto-Octubre 1990.
14. Reportes diarios de Actividades y concentrados mensuales del Frente EXTRACCION Y PROCESAMIENTO DE ALUVION. C.F.E. 1989 - 1993. Supervisión de Obras de Contención.
15. Procedimientos constructivos presentados por ICA a CFE. Residencia Técnica CFE.
16. Oficios de autorizaciones para cambios de proyecto. Diversos responsables. C.F.E.
17. Bitácoras de Obra para EXTRACCION DE ALUVION y PROCESAMIENTO DE MATERIALES.
18. Dictamen técnico para utilizar el boleo de desperdicio en la zona de Material T.
19. Finiquitos de obra (Memorias técnicas descriptivas) de: Atagufa Aguas Arriba, Atagufa Aguas Abajo, Galería de Captación de filtraciones, Muros pantalla.