

83  
2/9/85



*Universidad Nacional Autónoma  
de México*

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN LA CORTINA  
DEL P. H. "ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA"  
( EL CARACOL, GRO. )**

**TRABAJO ESCRITO**

*Que para obtener el Título de:*  
**INGENIERO CIVIL**

*p r e s e n t a*

**ISIDRO HERRERA PRIOR**

**México, D. F.**

**1985**



## **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.

## INTRODUCCION

En este trabajo he querido explicar de una manera sencilla lo que para mí son las fases más importantes de la construcción de esta obra. (procedimiento constructivo).

En primer término hablo de la descripción general de ésta, para dar una idea más o menos clara de lo que es, además de presentar a ustedes la interpretación de la información adquirida.

Después me refiero a las alternativas preliminares, que presentan la problemática que se tiene para elegir el sitio donde se desplantará la cortina. Para esto se tomaron una serie de proposiciones que se fueron analizando una por una, hasta llegar a tener la más adecuada y satisfactoria para que se realizara el desplante.

En seguida hablo de las obras necesarias que se tienen que hacer para desplantar y colocar todos los materiales que forman la cortina.

También doy una explicación de los Bancos de Material; aquí me refiero a la localización, extracción, tratamiento, colocación y compactación. Además menciono el equipo necesario que se tiene que utilizar. También tomo en cuenta el control de calidad de todos los materiales que se están utilizando para la formación de la cortina.

En el último capítulo hablo en forma general de los precios unitarios, pero en especial de las terracerías, ya que el volumen que se tiene en esta obra es bastante considerable e importante.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN LA CORTINA

DEL P. H. "ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA"

(EL CARACOL, GRO.)

TRABAJO ESCRITO

## I N D I C E

- I.- DESCRIPCION DE LA OBRA
  - I.1 ACCESO AL SITIO
  - I.2 GEOLOGIA EN LA ZONA DE LA CORTINA
  - I.3 CORTINA
  
- II.- ALTERNATIVAS PRELIMINARES PARA EL DESPLANTE DE LA CORTINA.
  - II.1 ELECCION DEL EJE DE LA CORTINA
  - II.2 ELECCION DEL TIPO DE CORTINA
  
- III.- OBRAS NECESARIAS PARA EL DESPLANTE DE LA CORTINA
  - III.1 CONSTRUCCION DE LOS TUNELES DE DESVIO Y ATAGUIAS
  - III.2 TUNELES DE DESVIO
  - III.3 ATAGUIAS
  - III.4 LIMPIA DEL CAUCE
  - III.5 BOMBEO
  - III.6 AFINAMIENTO DE LA ZONA DE DESPLANTE
  - III.7 AFINAMIENTO DE LAS LADERAS
  - III.8 CONCRETO DENTAL
  - III.9 LOSAS
  - III.10 TRINCHERAS
  - III.11 PANTALLA PROFUNDA
  - III.12 INYECCIONES DE TAPETE DE CONSOLIDACION
  - III.13 DRENAJE DESDE GALERIAS

- IV.- BANCOS DE MATERIAL
- IV.1 SELECCION Y EXPLOTACION DE LOS BANCOS DE MATERIAL
- V.- CONTROL DE CALIDAD
- V.1 TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES
- VI.- COLOCACION DE LOS MATERIALES
- VI.1 PROCEDIMIENTO DE CARGA Y TRANSPORTE
- VI.2 TENDIDO Y COMPACTACION
- VI.3 EQUIPO PARA LA COLOCACION DE TODOS LOS MATERIALES
- VII.- PRECIOS UNITARIOS
- VIII.- COMENTARIOS Y REFERENCIAS

## I. DESCRIPCION DE LA OBRA

El sistema hidroeléctrico del Río Balsas cuenta con abundantes recursos hidráulicos, algunos han sido desarrollados a la fecha, de los cuales tenemos:

Sistema hidroeléctrico "Miguel Alemán"  
Capacidad instalada de 386 000 Kw.

Sistema hidroeléctrico "Infiernillo"  
Capacidad instalada de 624 000 Kw.

Sistema hidroeléctrico "La Villita"  
Capacidad instalada de 300 000 Kw.

Posteriormente se procedió a ampliar el proyecto hidroeléctrico de "Infiernillo" con dos unidades con capacidad de 346 000 Kw.

El proyecto hidroeléctrico "Ing. Carlos Ramírez - Ulloa", tendrá una capacidad de 570 000 Kw adicionales, para cubrir la demanda pico de energía de todo el país.

La obra se localiza a 68 Km. aguas abajo del puente Mezcala (Carretera México-Acapulco). Las coordenadas geográficas son 17°57'30" de latitud norte y 99°59'08" longitud oeste. El área de la cuenca es de 48 847 Km<sup>2</sup> con un escurrimiento medio anual de  $6\ 346 \times 10^6$  m<sup>3</sup> y gasto medio anual de 201.5 m<sup>3</sup>/seg.

El embalse estará formado por una presa de enrocamiento, con corazón impermeable de 126 m de altura y con un volumen aproximado de materiales de  $5.5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

### I.1 ACCESO AL SITIO

El acceso es por la carretera México-Iguala (cuota federal) hasta el Km 173, se continúa por carretera pavimentada de Iguala hasta Teloloapan hasta el Km 56.5 donde se inicia un camino de terracería de 68 Km, pasando por los poblados de Chapa, Las Cruces, Apaxtla, Cacalotepec, que permitirá llegar al

sitio de la obra. En épocas de lluvia el río es navegable y se puede llegar al sitio, con lanchas de poco calado.

## I.2 GEOLOGIA EN LA ZONA DE LA CORTINA

Antecedentes.- Con el fin de conocer las condiciones geológicas, estructurales, fracturamiento, permeabilidad y litología de las rocas, se han llevado a cabo una serie de barrenos y socavones que cubren el área de la cortina y ataguías.

De los resultados obtenidos se han elaborado una serie de planos que contienen las secciones transversales y barrenos efectuados que abarcan la zona donde se construyó la cortina.

Cauce del Río.- Con los datos obtenidos de los barrenos perforados en el cauce, se ha configurado el lecho del río teniendo un espesor de acarreo de 14 m.

## I.3 CORTINA

Descripción.- La cortina será de materiales graduados de 112 m. de altura sobre el lecho del río y 126 m. de altura desde la cimentación.

Se realizaron sondeos para determinar el tipo de material que se tiene en la obra, además de comprobar que tuviera las características necesarias para poder ser utilizados en la construcción de la cortina. Con esto se localizaron varios bancos de prestamocercanos a ésta que servirán para abastecer de los materiales necesarios para dicha obra.

Sobre la cortina se contruyó un camino carretero a la elevación 478.509 m. S.N.M. con una longitud aproximada de 340 m.

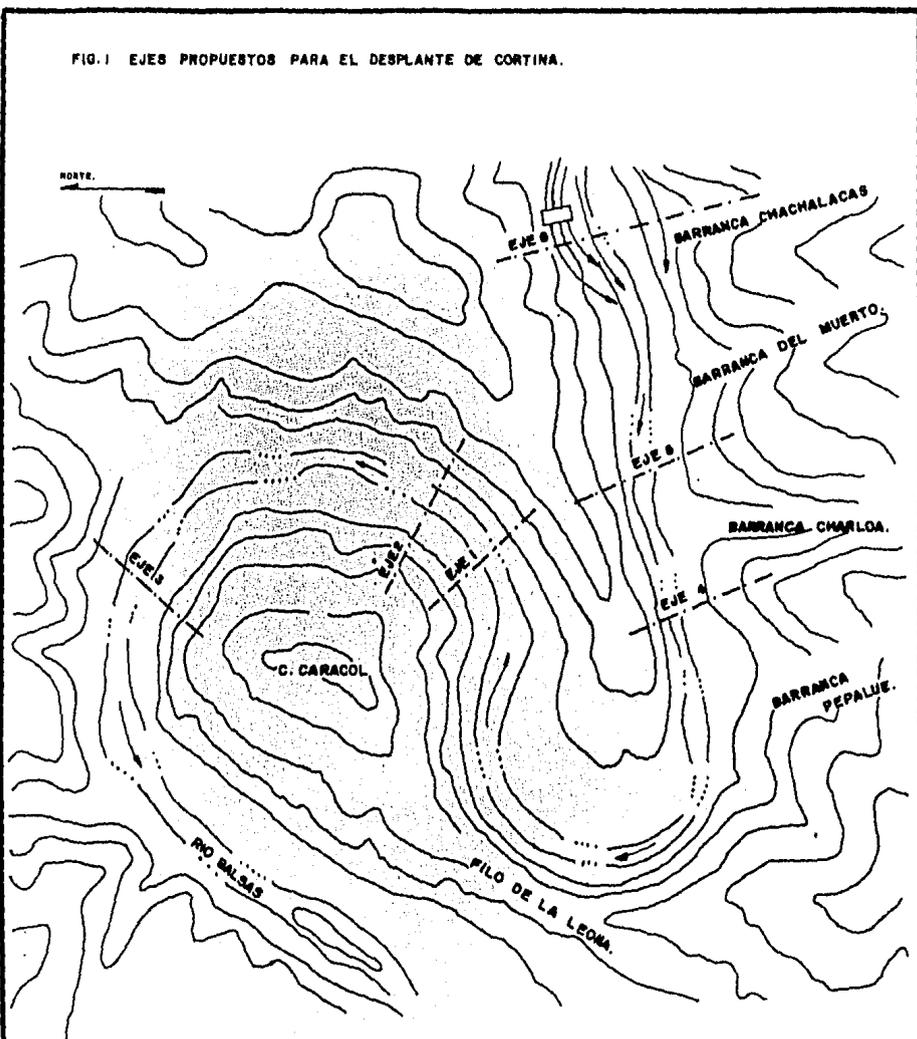
## II.1 ALTERNATIVAS PRELIMINARES PARA EL DESPLANTE DE LA CORTINA.

Los estudios que se tienen, como son los topográficos, geológicos, hidrológicos, geofísicos, así como anteproyectos realizados en base a dichos estudios, contemplaron esta doble posibilidad: - desplantar la cortina en el meandro de aguas abajo, o en el de aguas arriba. En la Fig. 1, los tres ejes localizados en el meandro de aguas abajo y en el meandro aguas arriba.

En los primeros estudios realizados se encontró en el sitio la alternancia de lutitas-areniscas finamente estratificadas de la formación Mezcala. Así también, las exploraciones efectuadas indicaban que las condiciones geológicas eran bastante aceptables. Posteriormente conforme se avanzaba en los estudios del área, se encontró que no era muy favorable el desplante de la cortina meandro aguas abajo ya que presentaba ciertos inconvenientes como:

- 1).- El filo del espinazo que parte el meandro de aguas abajo denominado La Leona, se presentaba como un delgado filo de roca; además, el talud que cae hacia el Oeste de dicho espinazo lo cubría un fuerte espesor de detritos, lo que hacía que disminuyera la sección resistente y que se dudara de la estabilidad y seguridad de la cortina.
- 2).- Inclinación desfavorable de los estratos de la roca, es decir, hacia aguas abajo de lo que sería el embalse, lo que hacía pensar que debido a la infiltración de aguas y por efectos de un probable sismo, podría haber un deslizamiento en la zona.
- 3).- Inestabilidad de la roca, provocada por las excavaciones que se proyectarían en el sitio.
- 4).- Existencia de sistemas de fracturamiento que facilitaban la penetrabilidad del agua en el macizo rocoso.
- 5).- La existencia de una zona inestable, producto

FIG.1 EJES PROPUESTOS PARA EL DESPLANTE DE CORTINA.



<b>FACULTAD DE INGENIERIA UNAM</b>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL</b>	
<b>P. N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA</b>	
<b>1984</b>	<b>HERRERA PRIOR.</b>

de un deslizamiento en la margen izquierda - del sitio, que debido a la saturación del material, esta zona podría convertirse potencialmente en una falla.

Estos factores fueron determinantes para desechar el sitio y analizar otro.

Como resultado de las observaciones, respecto a la esbeltez del espinazo (Filo de la Leona) y la posibilidad de tener un deslizamiento del vaso en la zona, originó que se localizara otro sitio para desplantar la cortina (ejes 4 y 5).

La estructura que adoptaba el eje 4, es semejante al del sitio anterior, es decir, alternancia de lutitas y areniscas, sólo que los estudios realizados indicaron mayor grado de alteración de la roca. En la margen derecha, las exploraciones indicaban roca sana; sin embargo en lo correspondiente a la izquierda, se encontró, como ya se dijo, roca con mayor alteración por oxidación, algunas fracturas cerradas que fueron detectadas con barrenos y socavones, y en la ladera de este margen una morfología especial como: roca alterada, zonas con pequeñas oquedades con desprendimientos de rocas a lo largo de posibles fallas, zonas de cantiles y zonas de pequeñas mesetas, por lo que se recomendaba en este sitio efectuar estudios más cuidadosos.

En cuanto al cauce del río se encontró un espesor de material de aluvión de entre 13 y 17 metros.

En cuanto al eje 5, en lo que respecta a la estabilidad de la roca, no hubiese existido ningún problema, ya que actualmente, la cantera Chachalacas, a unos 500 m. de donde se encuentra la Cortina, la roca está en buen estado. Este sitio se desechó porque cambiaba el esquema de la planta con túneles de desvío y de conducción más largos y paralelos al río.

## II.2 ELECCION DEL EJE DE LA CORTINA

A pesar de los problemas geológicos que visualizaron

los estudios preliminares en el eje 4, éste fue elegido. Se consideró que desde el punto de vista racional y constructivo era el mejor. Sin embargo, el que se haya elegido este sitio, es cuestionable porque conocida mejor la geología del sitio, han quedado descubiertos los problemas geológicos que en los estudios preliminares no aparecieron. Algunos de éstos afectan directamente a lo que será la estructura de la cortina, así como a la estabilidad de la roca en ambas margenes ( la izquierda principalmente).

Dentro de los problemas geológicos que afectan a la cortina como son las discontinuidades y algunas intrusiones se tiene:

- 1).- La falla geológica F-4 que cruza el eje de la cortina.
- 2).- La presencia de dos diques en la margen izquierda.
- 3).- La presencia de fallas y fracturas en la margen derecha.
- 4).- La presencia de roca fracturada, alterada y oxidada en el cauce del río.

### II.3 ELECCION DEL TIPO DE CORTINA

Después de haber seleccionado el eje cuarto de la boquilla, se compararon dos tipos de alternativas para el diseño de la cortina estas son:

- 1.- Arco de Concreto
- 2.- Materiales graduados

Teniendo estas dos opciones y debido a las condiciones geológicas estructurales, la composición litológica y la alta sismicidad de la región dio como resultado que se eligiera una cortina de materiales graduados. La cortina tiene una altura de 126 m. con cota en la corona de 526 m. y de desplante del núcleo 400 m. El nivel normal de operación del em-

balse (N.A.M.O.) tiene una cota de 515 m. y en condiciones excepcionales de avenidas es de 521 m. Siendo para ello la cota mínima normal del embalse (N.A.M.I.N.) 495 m, resultando entonces una oscilación del nivel de reserva de 20 m.

En el sitio de desplante de la cortina las laderas están formadas por areniscas y lutitas.

La cortina que contará con un volúmen total de - 5.262,463 m3, se distribuyen en las siguientes zonas:

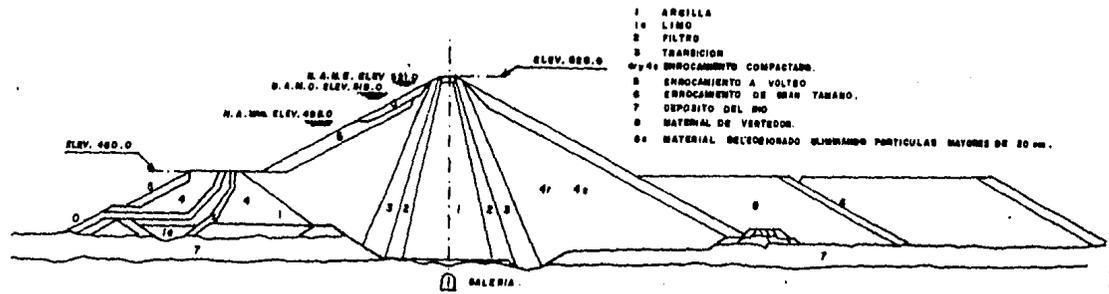
Zona de Corazón impermeable	962,127 m3
Zona de Filtros	429,088 m3
Zona de Transición	542,763 m3
Zona de Enrocamiento Compactado-respaldos	2.710,178 m3
Compactado-rotección contra lluvias	566,367 m3
Grande protección contra oleaje	57,940 m3

Las ataguías aguas arriba y aguas abajo, que cuentan con un volúmen de 998,655 m3, van a quedar incluidas dentro de los taludes de la cortina.

Se tiene un volumen para toda la estructura de - 6.261,118 m3.

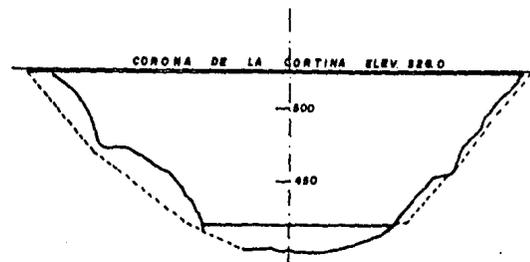
El volumen de material de las ataguías se distribuye así:

Para la atagüa aguas abajo	952,140 m3
Para la atagüa aguas arriba	46,515 m3



- 1 ARCILLA
- 10 LIMO
- 2 FILTRO
- 3 TRANSICION
- 4a ENROCAMIENTO COMPACTADO
- 5 ENROCAMIENTO A VOLTO
- 6 ENROCAMIENTO DE GRAN TAMAÑO
- 7 DEPOSITO DEL SUD
- 8 MATERIAL DE VESTEDOR
- 8a MATERIAL DELCORNADO ULTRAFINO PARTICULAS MAYORES DE 50 mm.

SECCION MAXIMA



PERFIL DEL EJE DE SIMETRIA

- | No | DESCRIPCION                                   |
|----|---|
| 1  | ARCILLA (CORAZON IMPERMEABLE)                 |
| 2  | GRAMA-ARMA (LIMPIA GRADADA TAMAÑO MAX. 0.5m.) |
| 3  | GRAMA ARMA (BIEN GRADADA TAM. MAX. 15cm.)     |
| 4a | REJAS O MATERIAL DE CANTERA.                  |
| 5  | ENROCAMIENTO TAMAÑO DE 30cm o no 1.00m        |
| 6  | ENROCAMIENTO GRANES TAMAÑO MAYOR DE 1.00m     |

ESC. 1:3

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. MR. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

HERRERA PRIOR

### III OBRAS NECESARIAS PARA EL DESPLANTE DE LA CORTINA

#### III.1 CONSTRUCCION DE LOS TUNELES DE DESVIO Y ATAGUIAS

Objeto.- Las obras de desvío o derivación son - parte primordial en la construcción de una presa, la función de estas obras es desviar el río de su cauce natural para ejecutar las operaciones subsecuentes en seco.

Es importante señalar la escasez de información geológica y topográfica con que se contaba por ahí de los años 70-74, debido a la ausencia de carreteras y caminos de acceso y a su vez la información por medio de fotografías aéreas era escasa, sin embargo estas difíciles etapas se lograron superar poco a poco. Fue muy difícil definir la hoy conocida formación Mezcala. Se hicieron varios recorridos de campo y se intercambiaron información geológica con otras instituciones del estado, como son: Pemex, I.M.P., Instituto de Geología principalmente, que permitieron identificar perfectamente la zona.

Las investigaciones sobre la geología regional y local se iniciaron en el año de 1976 y en julio de - 1978 se presentó un anteproyecto del estudio geológico y en septiembre del mismo año ya se contaba - con la información necesaria y suficiente para iniciar los trabajos de construcción de la presa.

En 1975 se empezó a construir una brecha de acceso con pendientes de más de 15% para vehículos de doble tracción, aprovechando un camino ubicado en la margen derecha del río que comprendía 56 Km. Pavimentando a partir de Iguala, (desviación Chapa) y 57 Km. de terracerías (desviación Chapa-Zacapoxtepec).

Para prolongar el acceso al Proyecto Hidroeléctrico El "Caracol", se construyó la ruta Apaxtla-Dos Cruces-Puerto Escobas-Las Escaleras-Los Amates-El Caracol.

En 1978 se comenzaron propiamente las obras del Caracol con la construcción de dos túneles de desvío

sobre la margen derecha del Río Balsas. El gasto máximo de la avenida de desvío se estimó en 4172 m<sup>3</sup>/seg. y fue obtenido en base a los análisis estadísticos de los datos registrados en 25 años de observación, con los cuales se contruyó un diagrama, probabilístico de Gumbel y con un período de retorno de 25 años.

En términos generales se puede decir que el método de derivación depende de los siguientes factores:

- La magnitud de la avenida por derivar
- Las características físicas de la boquilla.
- Del tipo de presa que se va a construir.
- La naturaleza de las obras auxiliares como el vertedor, obras de toma, etc.
- De la secuencia de las operaciones de construcción.

Se debe tomar en cuenta la viabilidad, costos y riesgos para la selección del método óptimo de derivación.

Los métodos más comunes para la derivación son los siguientes:

- 1.- Túneles perforados en laderas.
- 2.- Conductos a través o debajo de la presa.
- 3.- Derivaciones a diferentes niveles sobre los lechos superiores de los bloques de construcción de una cortina de concreto.

Por lo general la construcción de los túneles de desvío, se hace buscando que éstos no sean una inversión muerta, o sea que además de cumplir la función para lo que están destinados, pueden servir como parte de otras obras, como parte de la galería de conducción, o parte del vertedor, o como acceso a casa de máquinas durante la operación, etc.

Los elementos que forman la obra de derivación son:

1.- Atagüa aguas arriba.

2.- Túneles de Desvío

3.- Atagüa aguas abajo.

La atagüa aguas arriba trabaja como obstáculo al pasar el agua por su cauce natural, obligándola a desviarse a través de los túneles de desvío, para desembocar aguas abajo y luego seguir su mismo cauce. No siempre se puede garantizar que toda el agua que sale por los túneles se vaya por el río sin que regrese por efecto del remanso hasta el lugar de los trabajos, por lo cual para mayor seguridad se construye la atagüa aguas abajo.

El tipo de cortina es un aspecto muy importante para la selección de la magnitud de la avenida por derivar (período de retorno) y a su vez el gasto máximo probable, ya que si eligieramos una cortina de concreto se podría pensar que en caso de presentarse una avenida superior a la esperada, el agua pudiera pasar por encima de la atagüa y de la cortina sin causar daños considerables como los que se tendrían en presas de tierra y/o enrocamiento. Por lo cual la avenida de diseño para la obra de derivación en presas de concreto podrá considerarse por un período de retorno menor del orden de 5 a 20 años que el empleado para el caso de presas de tierra o enrocamiento (50 a 100 años).

Los estudios que deben realizarse para el diseño de las obras de desvío son las siguientes:

-Análisis de frecuencia de gastos máximos instantáneos.

-Selección de la avenida máxima probable.

-Tránsito de avenida máxima probable.

-Estudio comparativo de costos para las diversas alternativas.

Para determinar el gasto máximo instantáneo para el diseño de la obra de desvío.

El primer paso del análisis de frecuencia consistente en seleccionar las estaciones hidrométricas que para nuestro caso (Caracol) resultaron ser las estaciones:

1.- San Juan Tetelcingo

2.- Santo Tomás

Datos generales de las estaciones hidrométricas:

C O O R D E N A D A S

ESTACIONES

San Juan Tetelcingo

Santo Tomás

LATITUD NORTE LONG-OESTE ELEV.

17°56'                    99°31'    510 m

18°03'                    100°18'   351 m

ESTADO Y DEPENDENCIA

Guerrero            C.F.E.

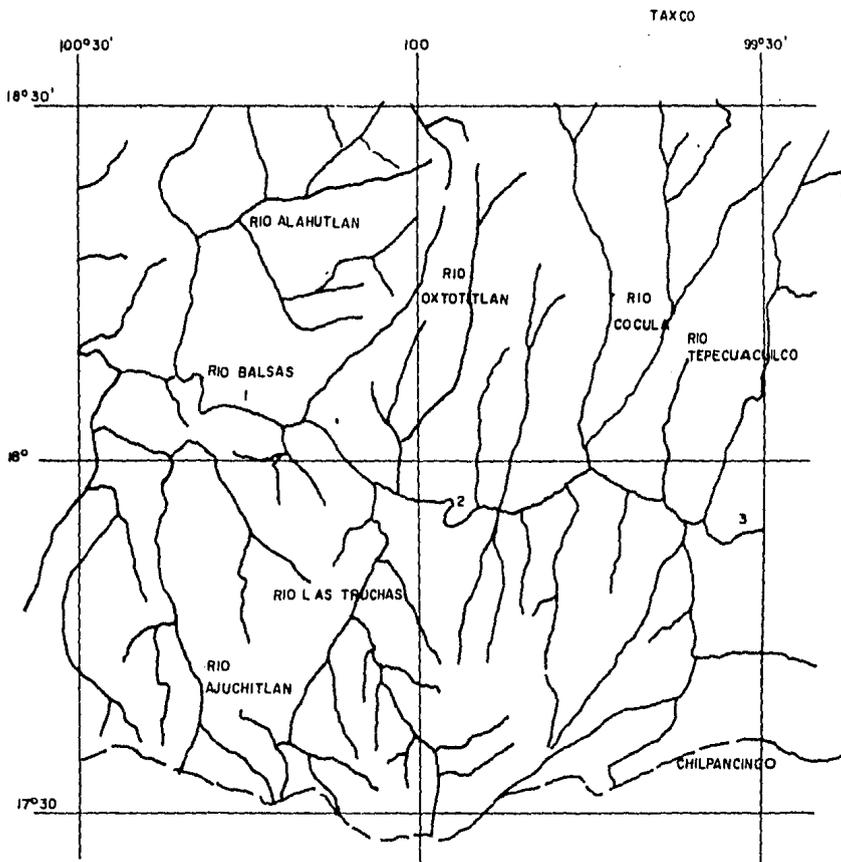
Guerrero            C.F.E.

Estación hidrométrica San Juan Tetelcingo.

Objeto de la estación.- Determinar el régimen hidráulico de la corriente para futuros aprovechamientos.

Localización.- Se encuentra instalada sobre el - Río Balsas, aguas arriba del Proyecto Hidroeléctrico Ing. Carlos Ramírez Ulloa, el Caracol, Gro., junto al pueblo de San Juan Tetelcingo, a 6 Km. aproximadamente aguas arriba del puente Mezcala-Carretera México-Acapulco).

CROQUIS DE LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS SAN JUAN TETELCINGO  
Y STO. TOMAS EN LA CUENCA DEL RIO BALSAS.



1. SANTO TOMAS.
2. CARACOL
3. SAN JUAN TETELCINGO.

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR**

Acceso.- Se parte del pueblo de Mezcala, utilizando caballo y se emplean aproximadamente 3 hrs.

Características Generales.- La estructura para efectuar aforos es de cable y canastilla con claro de 140 m.

El cable se encuentra anclado en la margen derecha y en la izquierda apoyada en una torre de concreto. Los niveles de agua se determinan mediante un limnógrafo y escala de aluminio de 7.5 m. de longitud seccionada en varios tramos.

Se toman lecturas de escala, diariamente a las 6, 12 y 18 horas. Se afora por el método de sección y velocidad.

Estación Hidrométrica Santo Tomas.

Objeto de la Estación.- Determinar el régimen hidráulico de la corriente.

Localización.- Se encuentra instalada sobre el Río Balsas, aguas abajo de la presa (Caracol), junto al pueblo de Santo Tomás, Gro.

Acceso.- Se hace por la carretera de Iguala a Cd. Altamirano aproximadamente a 2 Kms. de Arcelia, y del lado izquierdo, se inicia una brecha que conduce al pueblo de Santo Tomás.

Para el recorrido de la brecha en tiempo de lluvias es necesario utilizar vehículos de doble tracción.

Características Generales.- Para aforar se cuenta con estructuras de cable y canastilla con un claro de 180 m. y se utiliza molinete hidráulico de copas.

Para determinar los niveles de agua se tiene instalado un limnógrafo de registro semanal y escala de aluminio de 7.50 m de longitud, se toman lecturas de escala diariamente a las 6, 12 y 18 hrs.

En las estaciones hidrométricas se observan y se

registran diariamente los gastos medios en m<sup>3</sup>/seg. por medio de lecturas de escala, o sea, se realizan durante el día tres lecturas, a las 6, 12 y 18 horas y se registra el valor medio de las tres.

El análisis de frecuencia generalmente consiste en sumar los gastos máximos de una estación con los gastos máximos de la otra para cada año, sin importar en que mes del año sucedió el gasto - máximo. O sea en nuestro caso, se tomaría el gasto máximo de la estación San Juan Tetelcingo y lo sumaríamos al gasto máximo ocurrido en la estación de Santo Tomás o viceversa. Otra forma podría ser sumar los gastos máximos de una estación con otra, pero en este caso si importa la co-relación en el tiempo. La experiencia demuestra que los resultados son muy semejantes para ambas consideraciones.

El paso siguiente es ajustar la suma de los gastos anteriores por medio de la distribución de Gumbel para cada una de las alternativas.

Para el análisis de las avenidas, se seleccionan períodos de retorno de 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo la construcción de una cortina de arco-bóveda, y en cortinas de materiales graduados como Caracol, los períodos de retorno serán 50, 60, 70, 80, 90 y 100 años.

Avenida máxima probable.- Con base al gasto máximo para los diferentes períodos de retorno se incrementa o disminuye la avenida máxima.

Se tomó el valor de 671 m<sup>3</sup>/seg. del período de estiaje (Diciembre-Mayo), teniendo en cuenta que al colocar 300,000 m<sup>3</sup> mensuales en la construcción de la cortina, la atagüa aguas arriba llega a la cota 440.50 m. Esto proporciona sobre los túneles de desvío, una carga suficiente para conducir un gastos de 4172 m<sup>3</sup>/seg., que es la capacidad para la cual está diseñada la obra de derivación.

Tránsito de las avenidas.- Para el tránsito de las avenidas se realizan una curva de elevaciones

gastos para diferentes secciones que en nuestro caso resultaron ser tipo portal, tratando de encontrar la sección que más se ajuste a la avenida de diseño. Cuando los túneles de desvío trabajan parcialmente llenos se consideran como canales y el gasto a través de estos se puede calcular por la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde: Q = Gasto en m<sup>3</sup>/seg.  
A = Area en m<sup>2</sup>  
R = Radio hidráulico en m.  
S = Pendiente  
n = Rugosidad

El diseño consiste en proponer una sección, de manera que se cumpla la ecuación anterior ya que el gasto es conocido e igual a la avenida de diseño que para el caso (Caracol) fue de 4172 m<sup>3</sup>/seg., en caso de no cumplirse la igualdad, se seguirán proponiendo secciones por tanteos hasta que se cumpla dicha igualdad.

$$4172 \text{ M}^3/\text{seg.} = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

La rugosidad depende del tipo de revestimiento que se vaya a utilizar, y la pendiente se propone según las necesidades requeridas por las obras de derivación.

Estudio comparativo de costos para las diversas alternativas.- En esta etapa son muy importantes las visitas de campo para conocer a ciencia cierta la situación real del problema y así poder cuantificar la solución más conveniente que satisfaga las condiciones de economía y riesgos.

De este análisis y del estudio del funcionamiento, así como de las visitas de campo, se desprenderán las -

conclusiones y recomendaciones para el diseño y construcción de la obra de derivación como:

- 1.- Si se necesita o no revestimiento dependiendo de la calidad de la roca.
- 2.- El diámetro o sección del túnel más adecuado.
- 3.- Otros.

### III.2 TUNELES DE DESVIO

Los túneles de desvío requeridos por el Proyecto - Hidroeléctrico Ing. Carlos Ramírez Ulloa fueron - los túneles 1 y 2, que entre ambos son capaces de desalojar una avenida de 4172 m<sup>3</sup>/seg.

Datos generales de los túneles de desvío.

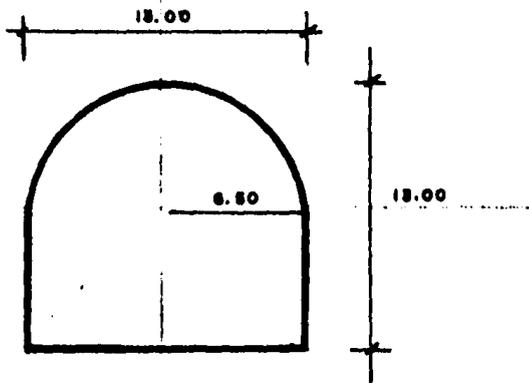
TUNEL	LONGITUD(m)	SECCION	VOL.EXCAV.(m <sup>3</sup> )	PENDIENTE(s)
1	391.65	13X13m.	73,341.09	0.001
2	396.00	13X13m.	68,983.04	0.013616

TUNEL	ELEV.ENTRADA (M.S.N.M.)	ELEV. SALIDA (M.S.N.M.)	RADIOS DE LA BOVEDA (M)
1	422	421.608	Línea A 6.50
2	427	421.608	Línea B 6.70

En un principio se pensó revestir totalmente los túneles con concreto hidráulico durante toda su construcción, sin embargo los refuerzos de la excavación fueron mínimos en ambos túneles, sólo fue necesario el uso de concreto hidráulico en los portales de entrada y de salida de ambos túneles, cuya profundidad de estos portales es de 15 m.

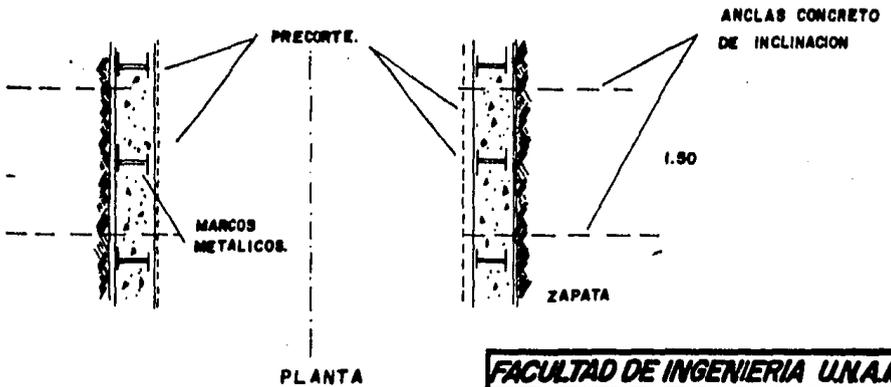
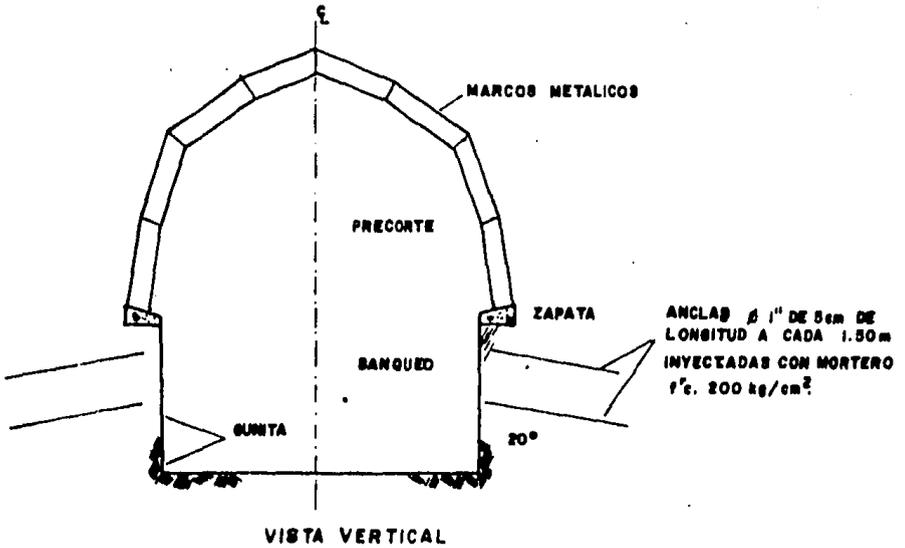
En esta zona se encontró que la roca era de pobre - calidad en los primeros 25 m., lo cual obligó a desplazar los portales la longitud arriba mencionada hacia el filo, quedando así con mayores cortes pero con mayor estabilidad.

Estos portales están constituidos por 6 marcos de



**SECCION PORTAL**

PRECORTE Y ANCLAJE DE LA ROCA EN LA PARTE  
INFERIOR DE LOS APOYOS DE LOS MARCOS.



FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

HERRERA PRIOR

acero y concreto colado en las zapatas de apoyo de los marcos.

El portal de salida del túnel 1, presentó una situación mas crítica requirió 25 marcos y concreto colado para soportar la roca que parecía afectada por una falla y próxima a una zona inestable de - flujo plástico.

En el túnel 2 en cambio, las condiciones de estabilidad fueron mejores, por lo que se requirió de la colocación de sólo 6 marcos.

Volumen de concreto hidráulico utilizado (túnel 1 y 2).

TUNEL	PORTALES	
1	Entrada y Salida	6,892.78 m3
2	Entrada y Salida	4,113.41 m3
Lumbrera del obturador Túnel No. 1		830.66 m3
Lumbrera del obturador Túnel No.2		675.65 m3
Lumbrera de cierre final		1,895.01 m3
Lumbrera de la pila central túnel No. 1		312.52 m3
		<hr/>
		14,220.03 m3

Se utilizó concreto hidráulico a todo lo largo del túnel, pero sólo en los muros, para contrarrestar el efecto de fricción producido por el flujo de agua, y en la bóveda se consideró que era suficiente con un sistema de anclaje y reforzado con concreto - lanzado (gunita) para evitar caídos.

Se optó por usar anclas de fricción inyectadas con mortero de cemento fluido. En la parte central del túnel se utilizaron anclas que no son mas que simples varillas corrugadas, que para nuestro caso la residencia de mecánica de rocas en un estudio previo recomendó que estas fueran de 1" y de 5 y 6 m. de longitud en dirección radial.

Una vez colocadas las anclas se debe verificar que están correctamente tensadas, sobre todo en los portales de entrada y salida, para ello se utilizan unos aparatos llamados torquímetros. Cuando

las anclas no están tensadas correctamente, es necesario aplicar un torque de tal magnitud que nos de la tensión buscada.

La excavación de los túneles se llevó a cabo en tres etapas:

- 1.- Excavación de la bóveda
- 2.- Banqueo de la sección oriente
- 3.- Banqueo de la sección poniente

La roca producto de las excavaciones de los túneles de desvío 1 y 2 presentó buena fragmentación y calidad por lo que se usó hasta donde fue posible en la construcción de las obras auxiliares.

En un principio se pensó utilizar la rezaga producto de las excavaciones de los túneles 1 y 2 en la construcción de las ataguías, en una parte de la cortina (zona de transición), pero se observó que la cantera de charloa proporcionaba material con mejores características, por lo que finalmente se utilizó ésta en las ataguías y actualmente se sigue explotando para la construcción de la cortina.

Después de terminados los túneles de desvío, éstos se aforaron en los portales de entrada con una escala de elevaciones y se realizaron unas curvas de elevaciones-gastos. Es decir, se midió la velocidad para diferentes elevaciones y ya que la sección es constante se calculó el gasto correspondiente a tal elevación, y se fueron graficando respectivamente.

Actualmente estas gráficas nos sirven para conocer el gasto que está pasando por el río en el momento que se desee, sólo basta ir a los túneles de desvío y medir la elevación del río para entrar en las gráficas con esta elevación y buscar el gasto correspondiente.

La gráfica cuenta con tres curvas; una para el túnel No. 1, otra para el túnel No. 2, y otra que es la suma de las dos, ya que no siempre tra

bajan los dos juntos, y a su vez mantienen una diferencia de elevación para facilitar el control de avenidas en el período de construcción de la cortina, ya que cuando se presentan las avenidas, los túneles de desvío están diseñados para regular el gasto, o sea hacen el papel de vertedor mientras se construye la cortina (día de cierre final) o la puesta en marcha de la presa, se taponéan éstos con concreto por medio de una lumbrera de 2.4 m de diámetro.

### III.3 ATAGUIAS

El proyecto de las ataguías se basó en los gastos máximos registrados en las estaciones hidrométricas de San Juan Tetelcingo y Santo Tomás, de la misma forma que se diseñó la avenida de los túneles de desvío. La avenida máxima de diseño es de 4,172 m<sup>3</sup>/seg., sin embargo la avenida máxima que supone pueda ocurrir es de 3,881 m<sup>3</sup>/seg., que es la máxima registrada en 50 años.

Las ataguías proyectadas para obstaculizar el gasto de estiaje son dos:

- 1).- Ataguía aguas arriba
- 2).- Ataguía aguas abajo

El papel de estas ataguías es impedir la llegada del agua hasta el fondo de la excavación central durante la primera fase de construcción (excavación hasta la roca sana, limpieza de la roca, inyección del tapete de fondo).

El problema viene de que se construyeron las ataguías sobre los aluviones del río y que estos - aluviones del río son constituidos de materiales muy permeables de 8 a 20 metros de espesor.

La ataguía de aguas arriba tiene la corona en la elevación 460 m. y si el gasto de 3,881 m<sup>3</sup>/seg. corresponde a la elevación 459m (de la curva de elevaciones-gastos), se observa que el bordo libre de la ataguía aguas arriba es simplemente la diferencia entre las elevaciones 460 m y 459 m

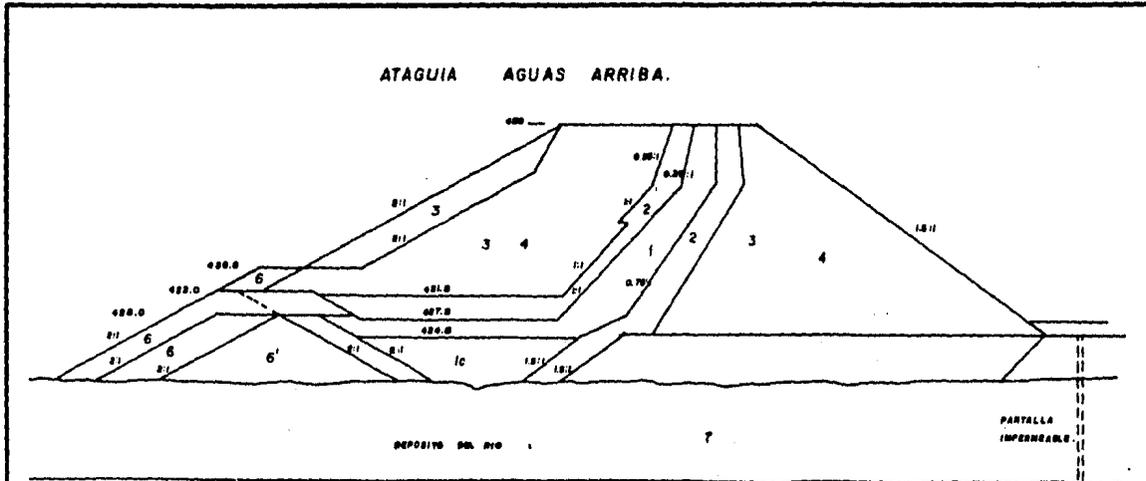
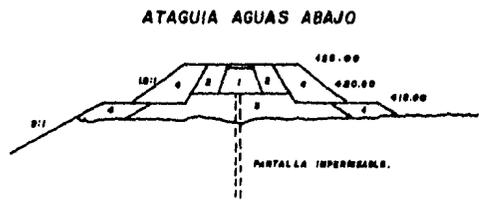


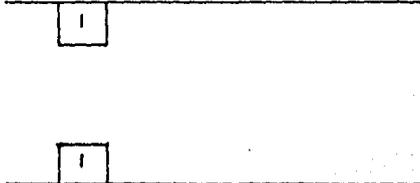
FIG. II



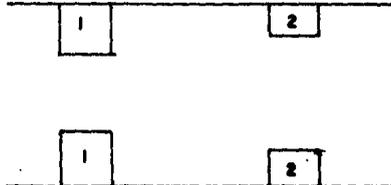
<b>FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.</b>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL</b>	
<b>P.H. MR. CARLOS RAMIREZ ULLOA</b>	
<b>1984</b>	<b>HERRERA PRIOR</b>

# PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS ATAGUIAS.

## 1 INICIO DEL PEDRAPLEN DE DESVIO

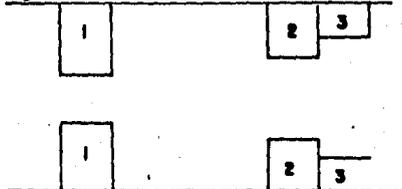


## 2 PREATAGUIA



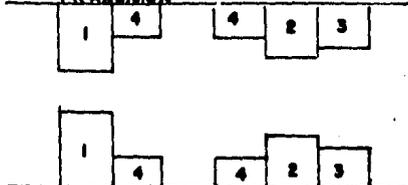
- 1 ROCA DE 0.5-1.5 m<sup>3</sup>
- 2 REZAGA
- 3 GRAVA-ARENA
- 4 "
- 4' "

## 3 PANTALLA FLEXIBLE

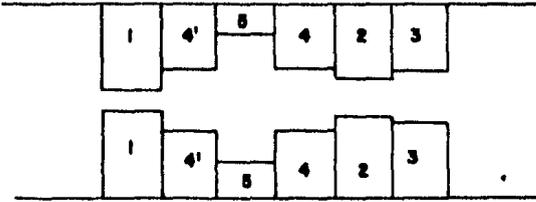


## 4 FILTROS

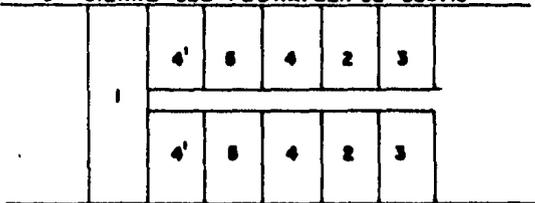
### 4' TRANSICION



**5 LIMO ARENOSO**

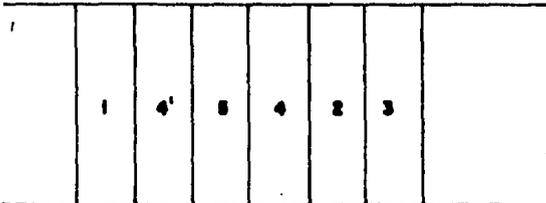


**6 CIERRE DEL PEDRAPLEN DE DESVIO**

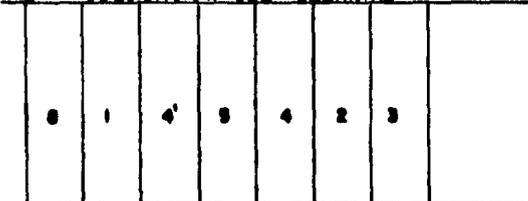


6 LIMO ARENOSO  
 6 MATERIAL PRODUCTO DE  
 EXCAVACION DE LADERAS.

**7 HABILITADO DE LOS DEMAS MATERIALES.**



**8 COLOCACION DEL DELANTAL**



por lo que el bordo libre de diseño es de 1 m.

La atagüa de aguas abajo tiene la corona de elevación 425m. Ambas son de materiales graduados, con corazón impermeable de arcilla.

En forma esquemática se describe a continuación el proceso constructivo de la atagüa aguas arriba.

Con la colocación del material que forma parte del delantal queda completamente cerrado el cauce del río. Este cierre se llevó hasta la elevación 425m con el fin de que a partir de esta elevación la colocación del material se llevara en forma más uniforme, hasta la terminación de la atagüa y además para construir las pantallas flexibles.

La construcción de la atagüa aguas abajo se hace con el fin de proteger la construcción de la cortina en caso de presentarse avenidas por los túneles de desvío y que por efecto del remanso se dirijan hacia esa zona. La construcción de esta atagüa consiste en ir colocando los diferentes materiales en las zonas respectivas.

Las atagüas tanto la de aguas arriba como la de aguas abajo cuentan con una pantalla flexible (sin armado), para absorber los movimientos producidos por los asentamientos de los materiales.

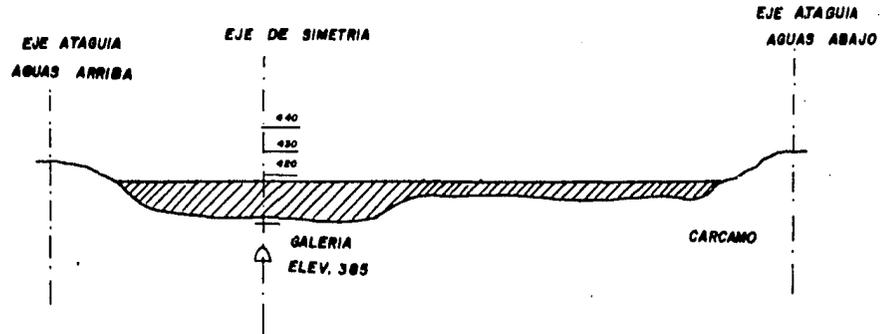
El problema viene de que se construyeron las atagüas sobre los aluviones del río, y que esos aluviones están constituidos de materiales muy permeables de 8 a 20 m de espesor.

Por otra parte de la roca misma se encontró muy alterada y fracturada en su parte superficial (hasta 8 m de profundidad), lo que le confirió una permeabilidad incompatible con la buena ejecución de los trabajos.

#### III.4 LIMPIA DEL CAUCE

Esta operación consiste en extraer el aluvión,

# PERFIL DE LA LIMPIA



 DEPOSITO DE RIO

ESC. 1:2000

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR.**

alojado en el recinto de la cortina (entre las ataguas) una vez terminado el desvío del río, y es de la elevación 417 m a la 400 m., que - son los límites de aluvión (17 m promedio).

La limpia del cauce o extracción del aluvión va aunada a las operaciones de bombeo. El volumen total excavado fue de 434,008 m<sup>3</sup> de material - aluvial.

El procedimiento de limpia fue de la manera siguiente: una vez terminado el desvío, se inició la extracción del material en el perímetro del recinto, ya que la zona central estaba cubierta de agua, la cual se extrajo por bombeo al mismo tiempo que se excavaba en las orillas.

Se construyó un acceso en la orilla sobre la margen derecha para colocar el equipo, luego se - prolongaron los accesos a todo el perímetro entre las ataguas, conforme se excavaba y se abatía el agua por bombeo. Desde las rampas y caminos de acceso, el tractor habilitaba el material en las zonas más secas, para que el cargador lo colocará en camiones para su retiro a bancos de desperdicio; mientras que la draga y la retroexcavadora extraían el material en las zonas donde existía agua. Al mismo tiempo las bombas trabajaban diariamente para abatir el - agua, para así ir prolongando los accesos y - acelerar en esta forma el proceso de limpia y regularización del cauce.

### III.5 BOMBEO

Se inicia la etapa de bombeo eligiendo el tipo de equipo necesario que se tenía que utilizar. El objeto de los sistemas de bombeo utilizados en el P.H. "El Caracol, Gro.", fue el de abatir el nivel de agua en la zona de las excavaciones, controlar durante toda la construcción de la cortina las filtraciones provenientes del río y además, si fuese necesario, controlar las - posibles avenidas.

Las operaciones de bombeo son totalmente necesarias, ya que al efectuar el desvío, siempre que da alojado un volumen considerable de agua en el recinto de la presa, entre las ataguías aguas arriba y aguas abajo, por lo que si no se realizara el desalojo de agua residual, no se podrían llevar a cabo las operaciones subsecuentes, como las referentes al tratamiento de la cimentación.

El gasto que se consideró que era necesario extraer diariamente del recinto de la cortina - fue de 52,000 m<sup>3</sup> (600 litros/seg.). El número de bombas requeridas para satisfacer los 600 lit./seg. diarios fue de 6 bombas, con capacidad a la descarga de 100 lit./seg. cada una.

Las operaciones de bombeo consisten en tres etapas:

- 1.- Etapa de Abatimiento
- 2.- Etapa de Mantenimiento
- 3.- Etapa de Emergencia

- 1.- Esta etapa es la primera de las tres y consiste en disminuir hasta donde sea posible el volumen de agua del recinto entre ataguías, tuvo una duración de 20 días de calendario y estuvo integrada a base de bombeo superficial, el cual se efectuó utilizando bombas de tipo sumergible, con una capacidad de 150 lts./seg. Estas bombas se instalaron sobre una plataforma hecha de tanques de 200 lts. para que pudiesen ser movidas a donde fuese necesario y tuvieran flotación.
- 2.- Esta etapa consiste en desalojar el agua infiltrada en el recinto. Se construyeron 3 cárcamos de bombeo para alojar las bombas de pozo profundo, con esto se pretende desalojar toda el agua que se encuentra en el sitio de desplante.
- 3.- Este sistema se programó para 150 días du-

rante la temporada de avenidas, y está constituido por dos bombas centrífugas, con una capacidad de bombeo total de 350 lts./seg. También se tenía un cárcamo de emergencia que se utilizó como auxiliar del cárcamo No. 1.

### III.6 AFINAMIENTO DE LA ZONA DE DESPLANTE

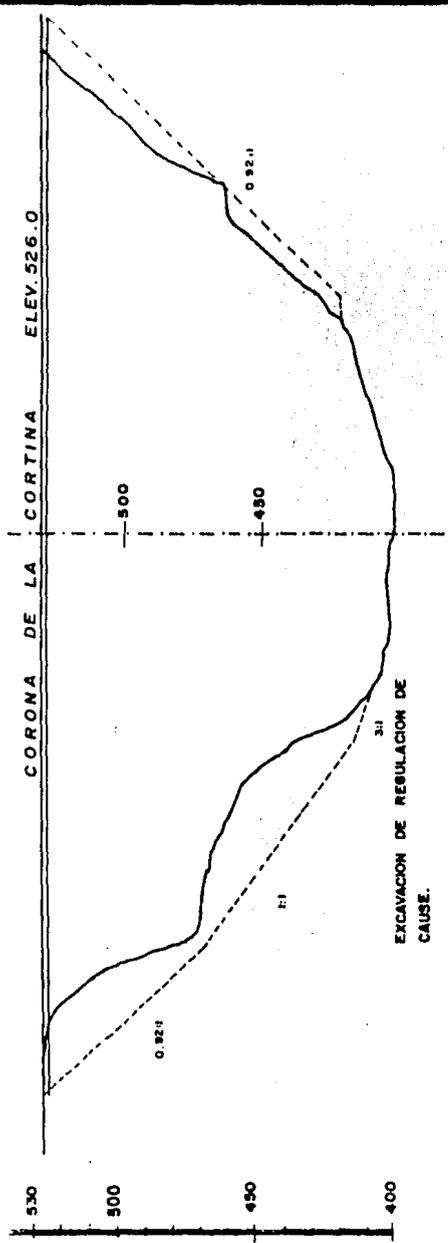
Para el desplante de una cortina se requieren - trabajos previos tendientes a controlar las filtraciones que pueden ocurrir a través de la zona de cimentación, así como mejorar las características de la roca sobre la cual estará cimentada la cortina. Estos trabajos deberán realizarse en función del suelo o roca expuesta en la cimentación y de los materiales componentes de la infraestructura.

El tratamiento que se le dio a la cimentación, antes de desplantar la cortina del P.H. "Carlos Ramires Ulloa", consistió en regularizar el -cauce del río, colocando concreto dental, losas, rellenos, regularización con mortero aplicado a mano y construcción de tapete de consolidación e impermeabilización. Además se realizaron obras auxiliares para el inyectado de la pantalla principal de algunas discontinuidades geológicas que delimitan bloques inestables de roca.

### III.7 AFINAMIENTO DE LAS LADERAS

Para realizar las excavaciones de regularización en las laderas hubo necesidad de realizarlas en tres etapas conforme se fuera colocando el material con la finalidad de no alterar los apoyos de la cortina.

Durante la etapa de regularización se tuvieron serios problemas con la margen izquierda, debido a que se encuentra afectada por las fallas



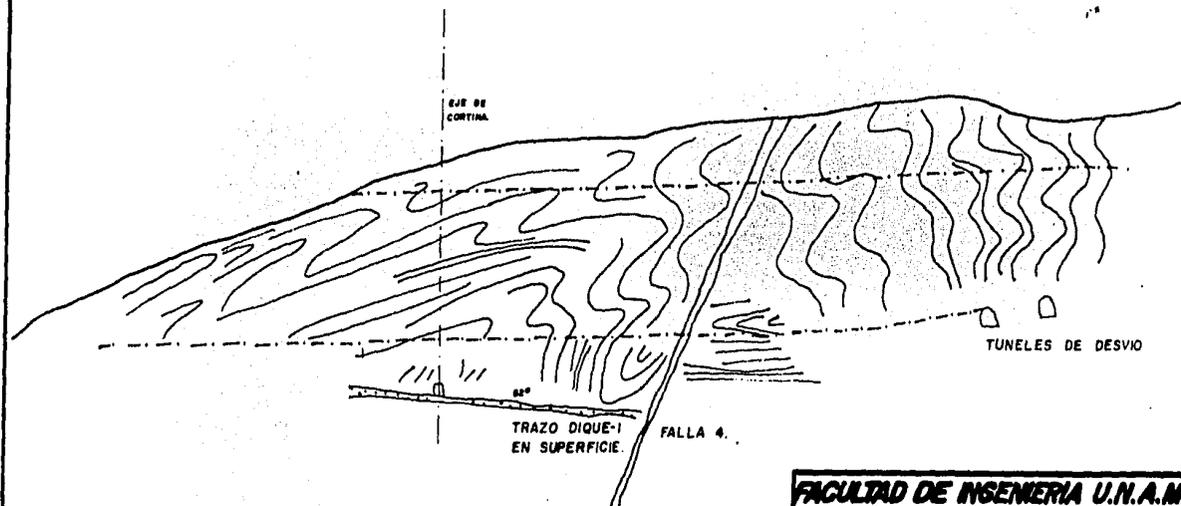
P E R F I L D E L E J E D E S I M E T R I A

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM  
 PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
 P. N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

HERRERA PRIOR.

ESQUEMA GEOLOGICO ESTRUCTURAL MARGEN DERECHA

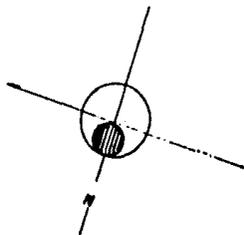


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

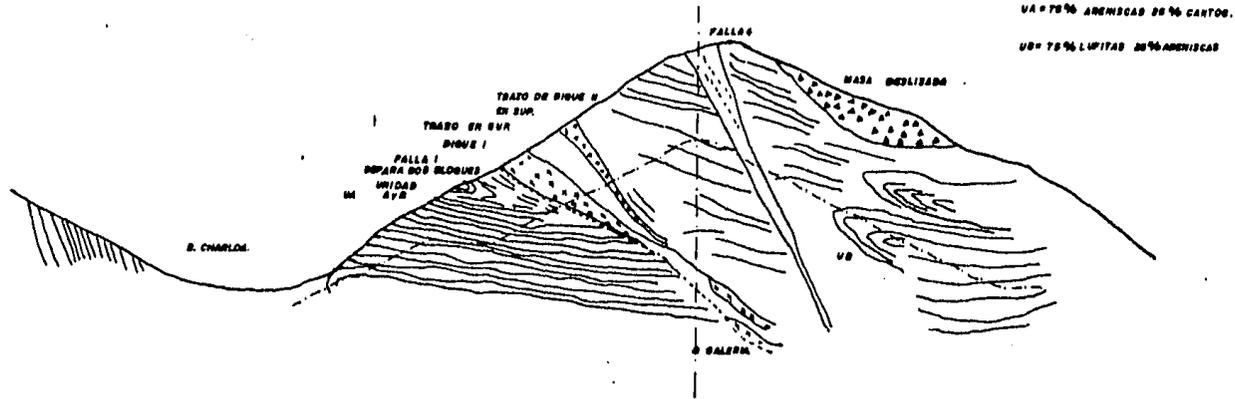
**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR.**



ESQUEMA GEOLOGICO ESTRUCTURAL DE MARGEN IZQUIERDA.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. MRS. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR.**

F1, F3 y F4, siendo ésta última la más importante pues atraviesa todo el cauce, además de que se halla intrusionada por los diques gelológicos 1 y 2 a través de los cuales se producen filtraciones desde el lado aguas arriba hasta la falla 4 donde el agua brota en manantiales.

La primera etapa de regularización en la margen izquierda se efectuó durante los meses de febrero a agosto de 1981 y se inició de la elevación 403 m a la 450 m con la debida inclinación, además se construyeron bermas de seguridad en las elevaciones 427 m y 449 m.

La sección transversal de la ladera se excavó en forma de trinchera, es decir, con límites arredondados y evitando posibles escalones. Con esto se conseguiría una mejor distribución de esfuerzos de los materiales de la cortina, evitando concentraciones de esfuerzos en la cimentación y posibles asentamientos diferenciales.

Para la margen derecha, esta primera etapa se le dió un tratamiento no tan extenso como la margen izquierda, pues no presentaba demasiada alteración de roca, por lo que sólo se removieron los crestones de anticlinal invertido y se hizo el relleno de concreto entre los crestones y las depresiones.

Para la excavación en las laderas se realizó con voladuras de precorte para dejar los taludes limpios y sin rompimiento de la roca. Es decir, con el precorte se pretende proteger la superficie de roca remanente para que tenga una superficie lisa, lo mas posible que se pueda, pero no solamente esto, sino también proteger la roca del agrietamiento pues la eliminación de las fisuras lleva consigo muchas ventajas.

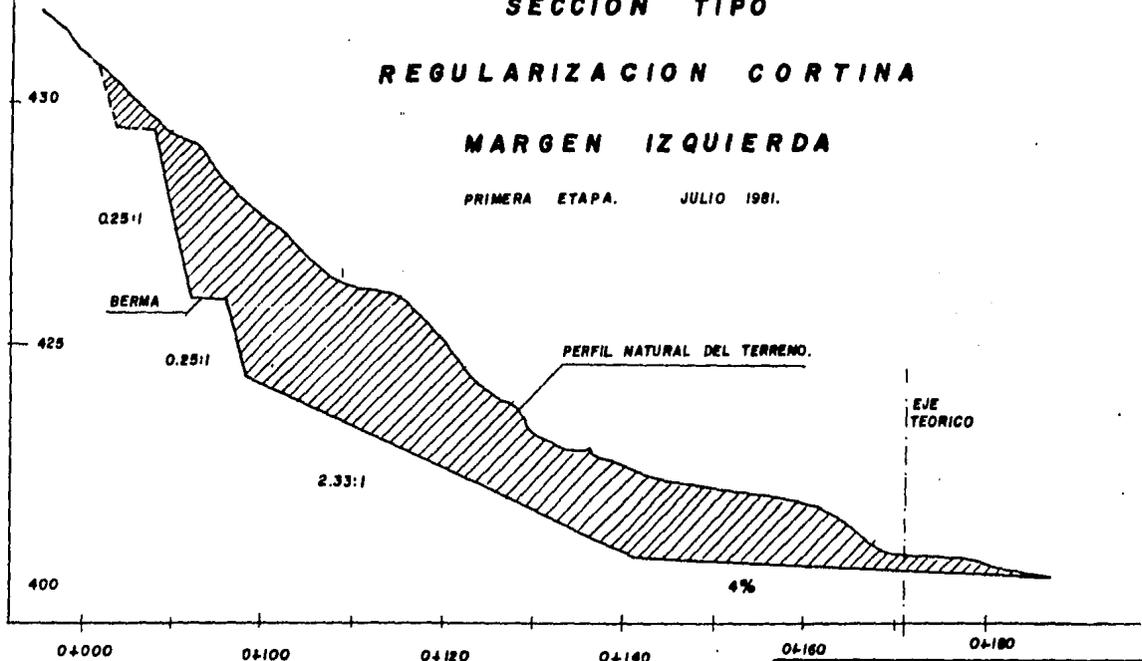
### III.8 CONCRETO DENTAL

Una vez que se terminó de usar explosivo y haber adquirido la ladera la pendiente requerida se procedió a un tratamiento superficial. Estas opera-

**SECCION TIPO**  
**REGULARIZACION CORTINA**

**MARGEN IZQUIERDA**

PRIMERA ETAPA. JULIO 1981.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. MR. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR.**

ciones consisten en limpiar, amacizar y rellenar de las discontinuidades de la roca (oquedades, fracturas y juntas abiertas).

El tratamiento se realizó en dos zonas de apoyo de la cortina que son el contacto entre las zonas del núcleo impermeable y filtros. Se realizó todo lo que fue posible para conformar y consolidar las paredes de las laderas, removiendo perfectamente todas las rocas que se encontraban defectuosas, sueltas y potencialmente inestables.

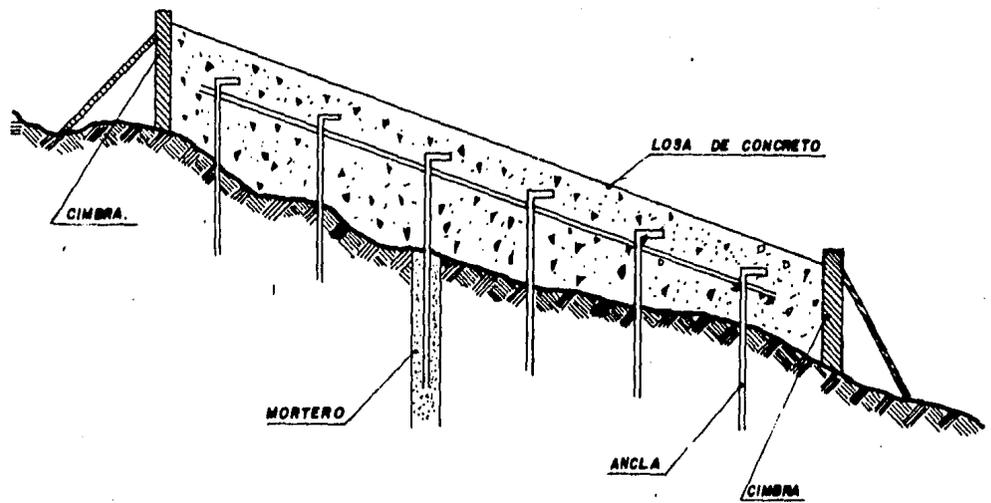
En lugares donde el amacizar ya se había ejecutado, se procedía a la limpieza a base de chiflones de aire y agua a presión para eliminar finos y pequeños fragmentos de roca removibles.

El uso de concreto dental consiste en rellenar todas las discontinuidades que se presentan una vez que se ha llevado a cabo la limpieza y amacizar. En este tipo de concretos de relleno se necesita utilizar anclas de fricción. El concreto dental nos proporciona una buena superficie de contacto entre la roca y la arcilla del núcleo, pues en ocasiones el material impermeable no alcanza a rellenar las fracturas teniendo mala liga.

### III.9 LOSAS

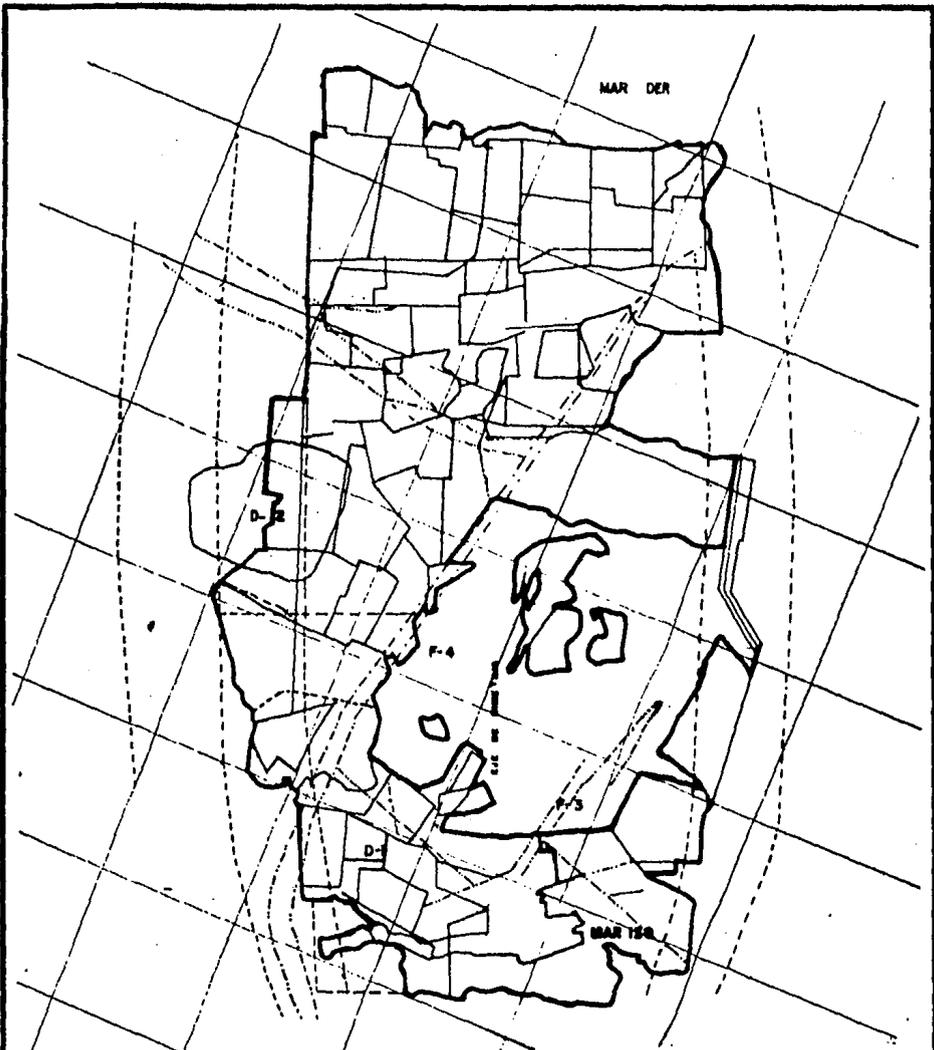
La etapa de regularización del recinto se llevó a cabo en la zona que aloja el corazón impermeable. La colocación de las losas de concreto fue un punto muy importante en la cimentación de la cortina, pues estas servían para el inyectado de la cimentación, además de que durante la limpieza y el amacizar, el terreno presentaba una área irregular; con las losas se uniformizaba la superficie y se tenía una mejor distribución de las cargas.

Procedimiento constructivo.- Una vez determinado el lugar donde se colocaría la losa, se hacía una limpieza con pico y pala para remover material suelto y donde se encontraban zonas muy alteradas se excavaban hasta cierta profundidad con el fin de eliminar el material intemperizado. En seguida -



DETALLE DE LOSA.

<b>FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.</b>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL</b>	
<b>P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA</b>	
<b>1984</b>	<b>HERRERA PRIOR.</b>



**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
R.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR.**

se procedía a la localización topográfica de la plantilla de anclaje. Ya determinados estos puntos se procedía a barrenar a diferentes profundidades 2, 4, 6, 8 m, dependiendo del lugar para instalar las anclas, que se dejaban saliendo con una cierta longitud y se les hacía un gancho para que la losa tuviera mejor agarre. Los barrenos, ya colocadas las anclas, se les rellenaba con mortero. En seguida se colocaba la cimbra y se empezaba a dar una limpia al lugar con chiflones de aire y agua a presión con el fin de que tuviera buen contacto el concreto con la roca.

El concreto era transportado por camiones revolventoras "sapos" el cual era descargado en canales que lo distribuían en todas las partes por colar; en ocasiones se requirió la bomba de concreto para las partes altas. Cuando el concreto había endurecido se procedió a la limpia de la losa que consistía en quitar delgadas capas de cemento que se producían durante el fraguado. La limpia se realizaba con peones que utilizaban picos, chiflones de aire, y agua, ésta última limpia era para garantizar el contacto de la arcilla con la losa.

### III.10 TRINCHERAS

Las trincheras o tapones son aquellas obras que requieren cantidades masivas de concreto, tal es el caso de la falla F-4 en la margen derecha y dique 1 en la margen izquierda.

La falla F-4 pasa por debajo del núcleo impermeable, los trabajos para su tratamiento fueron hacer una sobre-excavación en la zona de falla que se localiza en margen derecha aguas arriba abarcando una distancia de 15 a 20 m. Las excavaciones eran por lo menos de 3 m de profundidad y en forma de zanja con taludes adecuados, a la zanja se le hicieron trabajos de limpia, como los ya antes mencionados.

La finalidad de la zanja rellena de concreto es

la de trabajar como tapón para dificultar el paso del agua a través de la falla por debajo del núcleo, así también como tapón de reacción para las inyecciones profundas de consolidación bajo la falla.

### III.11 PANTALLA PROFUNDA

El objeto principal de la pantalla profunda es el de impermeabilizar la zona donde se desplantará y empotrará la cortina. Esta pantalla está formada por la inyección de una serie de perforaciones dispuestas en una línea, aunque en la zona del recinto se inyectó una paralela a ésta con el objeto de mejorar las características de la roca e impermeabilizar el sitio.

### III.12 INYECCIONES DE TAPETE DE CONSOLIDACION

Este tratamiento se le dio a la cimentación en la zona del recinto y en las márgenes, en el contacto corazón-roca con los objetivos siguientes:

- 1.- Aumentar la resistencia de la roca.
- 2.- Disminuir deformaciones de la misma.
- 3.- Disminuir la permeabilidad para evitar la erosión, sellando los pasos de filtración de agua a través de las discontinuidades de la roca.
- 4.- Lograr una cimentación homogénea.

Para nuestro caso, se limitó el tapete a un tratamiento somero del orden de 7.4 m de espesor, con barrenos de 10 m de profundidad y diámetro de 3" con inclinaciones variables entre 30° y 40° según la zona a tratarse.

### III.13 DRENAJE DESDE GALERIAS

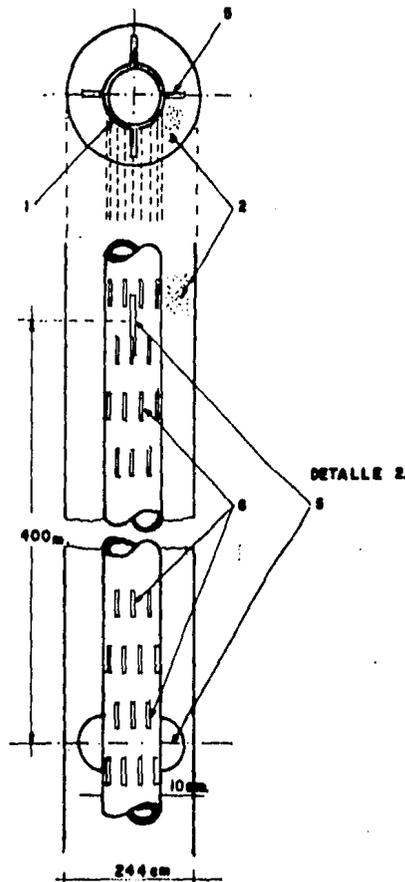
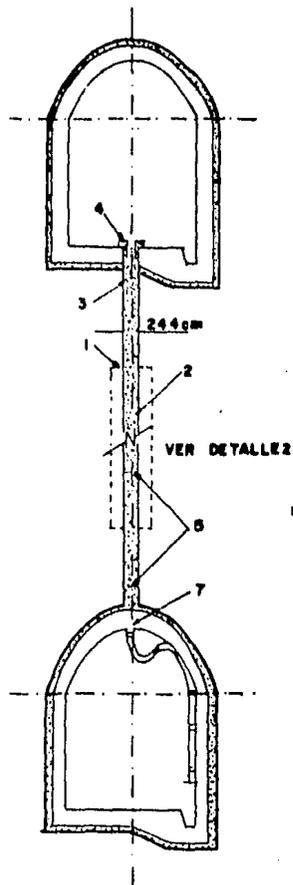
El alivio de las presiones en la roca tiene contem-

plado hacerse mediante una pantalla de drenaje -  
aguas abajo del eje de la cortina.

Las perforaciones para efecto de dicha pantalla se efectuarán en forma ascendente cuando exista galería interior, cuando esto no ocurra, dichas perforaciones tendrán que llevarse a cabo en forma descendente para que funcione como piezómetro.

La profundidad de los barrenos dependerá de los límites establecidos para el diseño de la pantalla, así como las elevaciones que existan entre una galería y otra. Estos tendrán un diámetro de 3" y en cuanto a su separación y dirección, estará en función de las condiciones geológicas del sitio a drenar. Es decir, se buscará que éstos crucen el mayor número de contactos de las discontinuidades geológicas existentes en la roca.

Finalmente, el agua que capten las galerías que tienen acceso lateralmente en superficie (galerías 1 y 2, margen izquierda) se desalojará hacia aguas abajo de la cortina mediante cunetas construídas en éstas. Para la extracción de la galería 3 y 4, previamente se están construyendo en cada margen para alojar los cárcamos de bombeo, y así poder desalojar el agua hacia el exterior.



**SISTEMA DE DRENAJE EN ZONAS DELEZNABLES.**

**DIQUES DE M. IZQUIERDO.**

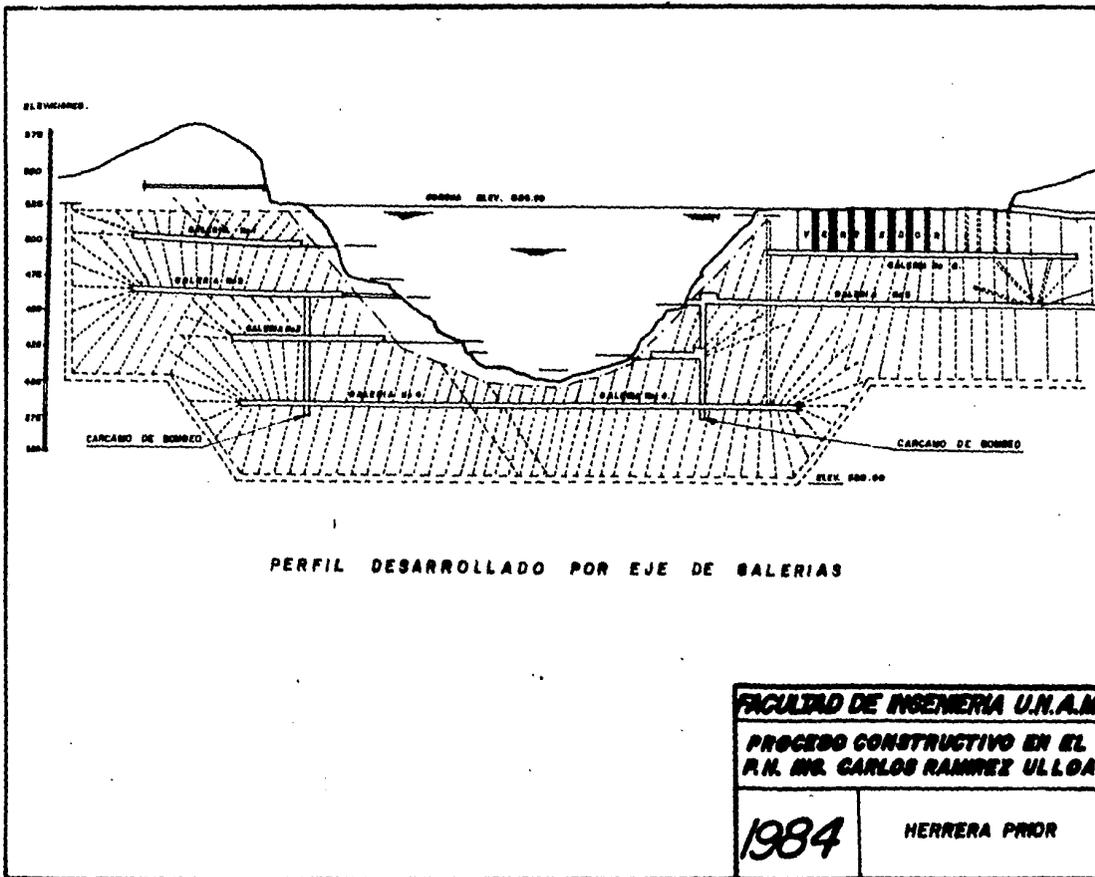
1. TUBO DE PLASTICO PERFORADO A 10 cm.
2. FILTRO DE GRAVA.
3. ARCILLA COMPACTADA.
4. BLOQUE DE CONCRETO
5. GUAS DE PLASTICO. A 400 m
6. VENTANAS O RANURAS DE 2 x 50 mm
7. TAPON DE CONCRETO.

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. MR. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR**



#### IV BANCOS DE MATERIAL

##### IV.1 SELECCION Y EXPLOTACION DE LOS BANCOS DE MATERIAL

Selección de los Bancos.- Para la construcción de la cortina se contempló la utilización de los materiales existentes en la región tales como aluvión de los depósitos de río y parte de las excavaciones de la obra.

Los materiales de construcción fueron localizados en las cercanías del proyecto, de los cuales se seleccionaron aquellos que sus propiedades físicas cumplieran con las normas de especificación para su uso.

##### Bancos de Arcilla

Estos bancos proveerán de material arcilloso a la cortina que constituirá el corazón impermeable. Los bancos más importantes son el de San Marcos, El Remolino y El Naranjo y se encuentran localizados aguas abajo del proyecto.

##### Banco San Marcos

Está localizado sobre la margen derecha del río a 8 Km. aguas abajo del proyecto, tiene una superficie de 370,000 m<sup>2</sup> con espesor de 0.5 m a 6.5 m, se divide en tres plataformas de almacenamiento para su tratamiento, proporciona material arena/arcilloso (SW) con un contenido de finos de 20 a 30% de gravas, presenta una coloración café-amarillento, la potencialidad del banco es de 400,000 m<sup>3</sup> de material aprovechable.

##### Banco El Remolino

Se encuentra localizado a 10 Km. de la cortina - aguas abajo sobre la margen derecha, tiene una superficie de 115,000 m<sup>2</sup>, el material que se extrae es arena-arcillosa color amarillenta con un 20% de finos y en ocasiones con gravas y boleas.

## Banco El Naranja

Se ubica en la margen derecha a 5 Km. aguas abajo del sitio, cuenta con una superficie de - 82,000 m<sup>2</sup> el tipo de material es similar que los anteriores pero con un contenido de finos del 30% y de coloración café-amarillento, se cuenta con un volumen disponible de 100,000 m<sup>3</sup>.

## Bancos de Materiales Granulares.

Estos bancos son aquellos que se forman por los depósitos de aluvión y su utilización requerirá de un previo lavado y cribado y se usará en las zonas de filtros y transición de la cortina. - Los bancos analizados son:

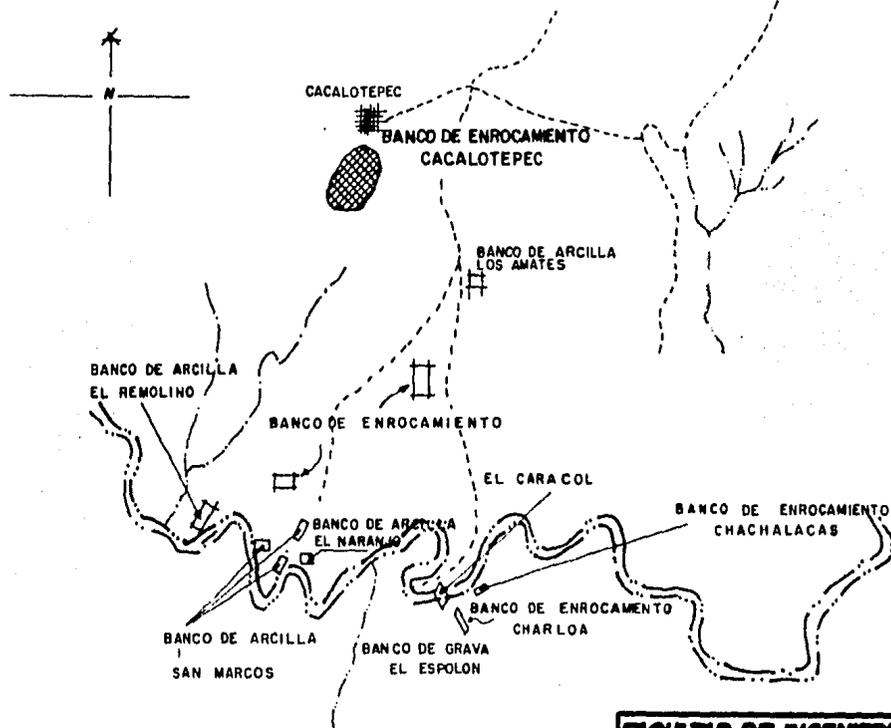
Banco El Espolón, se encuentra situado en la matriz del filo de los ajonjolies, contó con un espesor de 3 m y se obtuvo un volumen de - - 1.037,000 m<sup>3</sup>. Otro banco lo consistió el cauce del río donde se extrajo material y fue desde el pie de la plataforma aguas abajo, hasta el desfogue de los túneles de desvío del que se obtuvo 1.300,000 m<sup>3</sup>.

Los otros bancos son el Torreón y el Yetla localizados a 6.5 km del eje de la cortina, cuenta con un espesor de 2 m limitado por el nivel freático. Su granulometría varía de gravas y arenas bien y mal graduadas. Actualmente estos bancos se están utilizando, durante la etapa de regularización de laderas en cortina se estuvo almacenando.

## Banco de Enrocamiento.

Para el enrocamiento de los taludes exteriores de la cortina, se estudiaron varios bancos de préstamo como el de Charloa, Cacalotepec y San Marcos el Alto, los cuales se localizaron a 600 m, 20.5 Km., y 10 Km. de la obra, como se puede observar la distancia a la que se encontraba era demasiado lejos, por lo cual se desecharon como alternativas.

Sólo el banco de Charloa se utilizó para la cons-



BANCO DE MATERIALES.

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. MR. CARLOS RAMREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR**

trucción de las ataguías, pero se abandonó pues ya existían problemas de estabilidad.

Debido a los problemas que existían se estudió la Barranca de Chachalacas que se encuentra a 1 Km. de distancia de la cortina. La calidad de la roca es excelente, se encuentra formada por estratos de arenisca con 3 m de espesor.

El material rocoso explotado de la cantera será como mínimo de 4,000,000 m<sup>3</sup>, que se distribuirán en tres zonas de enrocamiento, pero con tamaños diferentes. Este tamaño estará en función del patrón de barrenación que se utilice pues con una barrenación muy cerrada se obtendrán tamaños menores. No sólo se utilizará enrocamiento de cantera, sino que se podrá utilizar el material producto de las excavaciones subterráneas y vertederos que se encuentran en buen estado, el volumen aproximado que se obtendrá será de 3.000,000 m<sup>3</sup>.

Explotación.- Para poder explotar los bancos con mayor efectividad y que tengan una producción adecuada se llevan a cabo los siguientes trabajos:

Desmante: En las áreas que ocupan los bancos de préstamo, así como los lugares de almacenamiento, se quitarán todos los árboles, tocones, raíces, breña, escombros y otros materiales perjudiciales.

Clasificación de las Excavaciones.

Se tienen dos tipos de excavaciones:

a) Excavación en roca.

Las excavaciones en roca son las que se hacen en materiales naturales que no se pueden extraer - sin el auxilio de explosivos, barras o cuñas. La roca sólida es la que corresponde a esta clase; en contraste con la roca blanda o desintegrada, que se clasifica como excavación común, cuando hay necesidad de explosivos para extraerla se le considera como roca sana, de tal dureza y textura que no se puede aflojar o quebrar con zapapicos operados a mano.

Toda la roca que se encuentre suelta, pero que haya sido removida por medio de explosivos se considerará como excavación en roca.

#### b) Excavación Común

La excavación común incluye todos los materiales que no se consideran roca, incluyendo, pero no de manera exclusiva, tierra, grava y - también materiales densos y compactos, como - tepetate, grava cementada, roca blanda o desintegrada que se puede extraer económicamente con maquinaria de excavación.

Los materiales de las excavaciones y terraplenes se clasifican de la siguiente manera:

Roca.- Son masas sólidas de material mineral, - de tal dureza y textura que no se pueden atacar con zapapico de mano.

Material Común.- Todos los materiales terrosos que no llenan los requisitos para la roca.

Caliza Terrosa.- Es un material de dureza variable que consiste en un agregado de partículas muy finas, especialmente de carbonato de calcio, de color gamuza, pero que puede variar del blanco al gris obscuro.

Esquisto Arcilloso.- Es un material de grano fino, consolidado y parcialmente laminado.

Toba.- Es un material compuesto de los detritos volcánicos.

#### Componentes de los suelos:

Arcilla.- Suelo plástico que pasa por la criba estándar de E.E.U.U. No. 200.

Limo.- Suelo no plástico que pasa por la criba estándar de E.E.U.U. No. 200.

Arena.- Granos minerales que pasan por la criba estándar de los E.E.U.U. No. 4 y son retenidos en la 200.

Grava.- Fragmentos de roca que no son mayores de 3 plg. en su mayor dimensión, y que son retenidos en la criba estándar de los E.E.U.U. No. 4.

#### Otros Materiales

Cantos rodados.- Fragmentos de roca redondeados que no son mayores de 12 plg. pero que tienen una dimensión máxima mayor de 3 plg.

Boleo.- Fragmentos redondeados de roca que no son mayores de 1 yd<sup>3</sup> en volumen, pero que tienen una dimensión máxima mayor de 12 plg.

Fragmentos de roca.- Son rocas que no están redondeadas y que no son mayores de una yd<sup>3</sup> en volumen.

## IV.2 TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES

### Explotación y tratamiento de las arcillas

Una vez elegido el banco de arcilla se procede a - realizar las operaciones de desmonte y despalme. Para la etapa del desmonte se utiliza un tractor D-8K que retira los arbustos y plantas que se encuentran en el lugar. Una vez que la zona ha quedado sin vegetales se procede a escarificar el terreno con el ripper del tractor, ya que el material ha sido aflojado. Con la cuchilla se levantan capas hasta alcanzar una profundidad de 50 cm., el producto desperdicio se deposita en un lugar que no estorbe a posteriores maniobras. Una vez que el banco ha quedado listo, se comienza a explotar en rampa, pues por medio de este método se logra obtener un material más homogéneo, ya que el ataque se realiza en forma inclinada. Es decir, el tractor comienza a cortar los estratos de la parte superior y conforme va bajando el material cortado se va revolviendo hasta llegar a la parte inferior; los bancos tenían una profundidad de 5 mts. en promedio, ya que se dejaba una capa de colchón para no contaminar el material - extraído. En seguida con un cargador frontal se comenzaba a cargar los camiones de 7 m<sup>3</sup> que los transportaban a los almacenes donde se procedía

a darles un tratamiento.

El tratamiento consiste en tender arcilla con-motoconformadoras, las capas son de 30 a 40 cm. de espesor, en seguida se le daba un riego por medio del sistema de aspersion a manera de garantizar una completa homogenización de esta agua con el material hasta que tenga un contenido de agua ligeramente mayor a 1 o 2% que el especificado. Se requieren dos zonas de tratamiento, una para la zona central del núcleo, y la otra para la zona en contacto con los filtros y las laderas; en la última requiere un contenido mayor de agua.

#### Tratamiento de Filtros.

En la zona de filtros se utilizará material granular (grava-arena) procedente de los bancos antes mencionados.

La explotación de los bancos consiste en extraer el material por medio de una draga aluvión del fondo del río, la draga lo depositará en camiones de volteo que lo transportarán a una planta clasificadora. Aquí el material se pasaba por cribas que lo clasificaban en tamaños menores de 2", el material era llevado a la trituradora de cono para cumplir con el tamaño requerido. Todo el material era lavado para eliminar finos. Una vez que el material ha sido clasificado se depositaba en los almacenes.

#### Transiciones

Para la transición se utilizó un tipo de material consistente en grava arena de los bancos.

En este material la explotación de los bancos de grava-arena es similar al de filtros, sólo con el inconveniente de que el tamaño máximo es de 5" y se eliminaban los tamaños menores de 1/4".

Se utilizó material proveniente de la cantera de Chachalacas el cual requería un tratamiento previo, y consistía en pasar material por una

planta clasificadora, la cual tiene una trituradora primaria que recibe el material de la cantera reduciendo los tamaños grandes, en seguida pasa una banda transportadora que lo lleva a la trituradora secundaria, de aquí sale a las cribas que nos dará el material con las dimensiones requeridas en especificación. Posteriormente se almacena o se coloca dentro de la cortina.

#### Enrocamiento Compactado-Respaldos.

Se utiliza material de rezaga producto de la cantera Chachalacas y material producto de excavaciones de las otras que se tienen, estos materiales deben de cumplir con la granulometría requerida.

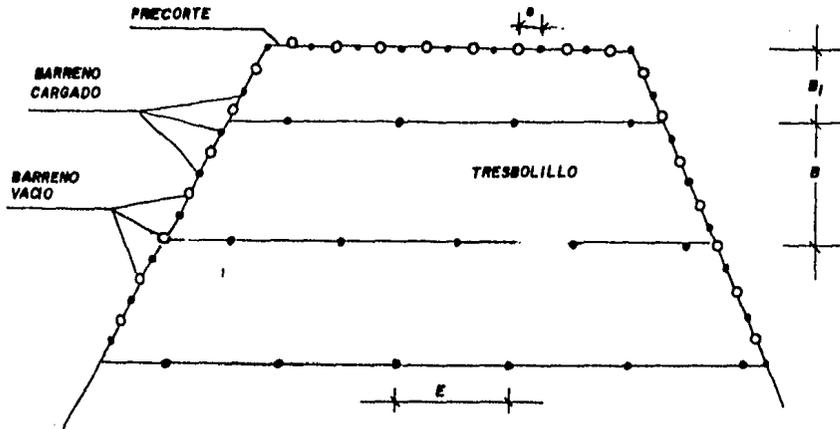
La granulometría de diseño específica que existan tamaños mayores de 30 cm. y que no contenga más de un 5% de finos medidos en cortina. Para su explotación se hicieron banqueos de 9 m. con un patrón de barrenación específico para obtener los tamaños requeridos.

La barrenación se ejecutó con perforadora "Crawl-air". Ya ejecutado el barreno, se colocaron los explosivos para posteriormente detonarlos. El material obtenido se cargaba en camiones terex de 35 ton. que lo conducían a las clasificadoras donde se obtenía el tamaño especificado y se almacenaba o en su caso se llevaba directamente a la cortina en camiones de volteo para su colocación.

Cuando se utilizó el material producto de las excavaciones se observó que no tenía una granulometría muy buena, pues tenía material de desperdicio, es decir en las excavaciones subterráneas los patrones de barrenación son variados y el material que se obtiene presenta diferentes tamaños ya que sólo se requiere desprender la roca.

Para los enrocamientos de protección contra lluvia y contra el oleaje, los tamaños serán de 30 a 100 cm. y rocas mayores de 1 m<sup>3</sup>, respectivamente. Para ambos casos se requería que no existieran finos a más de un 5%. Otro tipo de colocación en la cortina, consiste en material que

DISEÑO DE VOLADURA  
UTILIZADA :



$B = 2.00 \text{ m.}$

$E = 2.50$

$B_1 = 1.50 \text{ m}$

$\phi = 0.50$

TIPO DE EXPLOSIVO: TOVEN 100 y MEXANON

CARGA: BARRENOS DE CORTE 200 gr/ml.  
BARRENOS DE BANQUEO 450 "

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. MRS. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

HERRERA PRIOR

se utiliza para la formación de una plataforma hasta la elevación 460 m, no requiere de una granulometría especial pues no está considerada en el diseño de la cortina, este material procede de las excavaciones del vertedor y se encuentra sumamente alterado, sólo se pide que cumpla con el talud. La causa por la cual se decidió hacer esta plataforma fue con el fin de evitar sobre-acarreos de los materiales, ya que los desperdicios se deberían de depositar en zonas que no afecten la construcción de la obra, lo que requería grandes distancias aguas abajo de la obra para poder titular el material. La plataforma no afecta en absoluto a la cortina pues de acuerdo a un análisis hecho, se observó que proporcionaba una mejor estabilidad a los taludes.

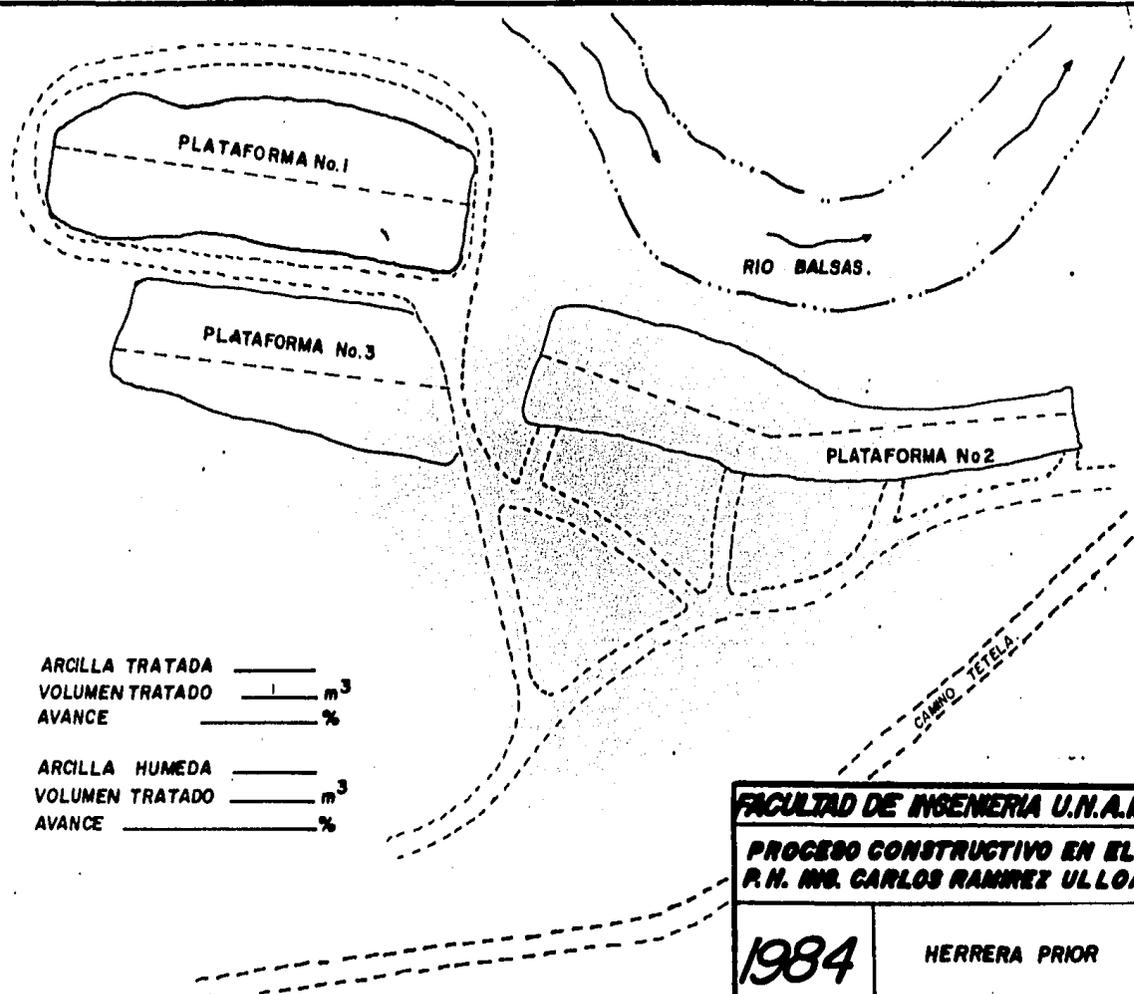
## V CONTROL DE CALIDAD

### V.1 TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES

Arcilla (núcleo impermeable).- Para el núcleo impermeable se controlan las siguientes actividades de acuerdo con las especificaciones de proyecto:

- Corte en rampa con tractor, altura de corte y avance de explotación en el banco.
- Formación de almacén por medio de capas de 40 cm. de espesor tendido con motoconformadora.
- Eliminación mediante pepena de tamaños mayores de 3".
- Adición de agua mediante sistema de riego por aspersión en caso de que sea necesario.
- Verificación del contenido de agua final después de riego, y autorización del tendido de la siguiente capa.

El cumplimiento de las normas anteriores garan-



ARCILLA TRATADA \_\_\_\_\_  
 VOLUMEN TRATADO \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>  
 AVANCE \_\_\_\_\_ %

ARCILLA HUMEDA \_\_\_\_\_  
 VOLUMEN TRATADO \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>  
 AVANCE \_\_\_\_\_ %

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. MR. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR**

tizarán en el material la homogeneidad de sus características: granulometría, plasticidad, y contenido de humedad óptimo.

El sistema de riego por aspersión a diferencia del método de inundación de melgas, permite distribuir de manera uniforme el agua por agregar al suelo, sobre todo a un espesor relativamente pequeño.

Durante el tratamiento de material arcilloso se toman muestras para conocer granulometría, plasticidad y características de compactación, que confirman durante el proceso los resultados de homogeneidad que se persiguen; por ejemplo se confirma que el contenido de agua óptimo está variando entre 11 y 12% y se continua adicionando agua hasta 3% arriba de este óptimo.

Se especifica almacenar en distintas plataformas material para la zona normal y para las franjas húmedas. La primera adición de agua es de 3% arriba del óptimo y la segunda es de 5%. La razón es de que en almacén el material tratado deberá tener 2% arriba del contenido de agua especificado para su colocación en cortina, por aquello de que por el manejo del material se registre una pérdida de humedad, la cual se estimó en un 2%. Para lograr un contenido de agua deseado en el material, usando el sistema de riego por aspersión, se mide el espesor de la capa por humedecer, su peso volumétrico seco y su contenido de agua (inicial). Este contenido de agua y el deseado definen una diferencia de humedad que es la que hay que añadir. Por lo tanto con los datos anteriores se puede conocer la cantidad de agua por m<sup>2</sup> de superficie ( $8/100 \times PVS \times \text{espesor}$ ), con la cual, conocida la intensidad de la lluvia que proporciona el equipo de aspersión, se puede calcular el tiempo que debemos mantener el riego. Posteriormente al riego se mide el contenido de agua final y se determina la continuidad del proceso. Cuando un almacén tiene la altura suficiente y existe un tramo de colocación en cortina, se inicia su envío cortando en rampa con el tractor,

ya que de esta manera se logra un mezclado que homogeneiza tanto la granulometría como el contenido de agua del material; más bien con esto se garantiza la calidad de dicho material. Para tener seguridad que se llevan a cabo todos los pasos necesarios para el control de calidad de dicho material se cuenta con normas, además de supervisores y laboratoristas que atestiguan la calidad de dicho material.

#### Grava Arena (Filtros).

El control de calidad del material destinado para esta zona exige que sean eliminados con cribados los tamaños mayores de 5cm. (2"), verificando además, que el material no contenga finos plásticos (partículas menores que la malla 200).

Este material es llevado de los bancos a la zona de tratamiento, en este lugar el material es pasado por una malla que separa el material que tiene la granulometría necesaria, y el que no, es pasado por una criba que le da el tamaño necesario; también a todo el material se le da una limpieza por medio de chorros de agua que permiten eliminar toda la serie de impurezas que tiene (finos).

#### Grava Arena (Transiciones).

El tamaño máximo del material destinado para esta zona es de 12.5 cm (5"), por lo que los materiales mayores de 5" deben ser eliminados por cribado. Este material es llevado a una zona de tratamiento, donde es pasado por una criba primaria y que además tiene una malla que selecciona el material aprovechable. Si el material no tiene la granulometría necesaria, es pasado por una criba secundaria que se encarga de darle el tamaño adecuado.

Se permite sustituir grava-arena por material de rezaga (también limitando su tamaño a 12.5 cm). provenientes de las excavaciones de las canteiras de Charloa y Chachalacas.

Material 4r y 4c (respaldos).

Se debe verificar que el material producto de las excavaciones subterráneas esté completamente sano (arenisca sana), o bien de las canteras de Charloa y Chachalacas. El tamaño máximo del material será de 30 cm., en este material el porcentaje de finos (menor que la malla 200) deberá ser menor que el 5%.

Material 5 (Protección contra lluvia).

Este material de enrocamiento es producto de excavaciones subterráneas o a cielo abierto, de la cantera de Charloa y Chachalacas, además de las excavaciones de los túneles de las obras de desvío y de la obra de toma.

En este material, el porcentaje de finos (menor que la malla 200) deberá ser menor del 5%, el tamaño del material será entre 30 y 100 cm.

Material 6 (Protección contra oleaje)

Enrocamiento de gran tamaño colocado a volteo, también se obtendrá del producto de excavaciones subterráneas o a cielo abierto, de las canteras de Charloa y Chachalacas y también de las excavaciones de la obra de desvío y obra de toma.

En este material, el porcentaje de finos (menor que malla 200) deberá ser menor que el 5%.

## VI COLOCACION DE LOS MATERIALES

Al llegar al sitio del núcleo de la cortina, los camiones descargarán el material en los lugares indicados por los inspectores o encargados de frente, procediendo posteriormente a extenderlo, de manera que se forme una capa de 25 cm. de espesor en estado suelto, utilizando para ello una motoconformadora quedando a juicio del residente de cortina de C.F.E. si se requiere o no remplazarlo.

Se supervisa que la compactación sea por medio de un compactador Pata de Cabra de 4 tambores Mod. 825, que da el número correcto de pasadas que anda entre 4 y 6, hasta alcanzar el 100% de grado de compactación respecto a la prueba proctor, con energía de compactación de 7.0 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

Antes de colocar la siguiente capa, deberá es-carificarse la superficie de la ya compactada cuantas veces sea necesario para asegurar la li-ga entre ellas. Además de material en contac-to con las laderas, debe tener un contenido de humedad superior al óptimo del orden de 2 ó 3%, compactándolo con bailarinas.

La superficie sobre la cual se vaya a desplan-tar el material impermeable deberá ser roca sa-na, tratando previamente como lo indiquen los planos de proyecto y/o las instrucciones del residente. El piso estará libre de materiales extraños o sueltos, tales como residuos de las perforaciones e inyecciones, y se deberá em-papar inmediatamente antes de colocar la primera capa. Todas las capas de material que se colo-quen subsecuentemente a la primera, se deberán apoyar sobre material que no presente agrieta-mientos por secado, ni contaminación de materia-les extraños y que tenga un contenido de agua uniforme, cercano al óptimo de compactación con su superficie húmeda. El espesor de las capas sueltas, antes de la compactación deberá ser uniforme en toda la zona de trabajo.

En caso de lluvias el personal de C.F.E. exige al contratista una protección de la zona imper-meable, para que no se formen encharcamientos que provoquen saturación de la superficie del material, ni saturación del material suelto. Entre los procedimientos de protección se pue-den usar los siguientes:

Cubrir con lonas la zona impermeable en el mo-mento de lluvia, o formar una superficie pla-na en el material compactado, mediante el em-pleo de rodillos lisos, con pendiente hacia las

zonas permeables, ésto cuando se interrumpa la colocación por más de 4 horas.

Todo material suelto con exceso de humedad debido a lluvias que se encuentre en la zona de compactación, así como aquel ya compactado que debido a encharcamientos pierda su compactación deberá ser retirado, reponiéndole con material con el contenido de humedad estipulado.

El personal de C.F.E. efectúa como mínimo dos calas volumétricas diarias, de 30 cm. de diametro en la vecindad del eje del núcleo para su estudio en el laboratorio de suelos.

Grava arena (filtros).

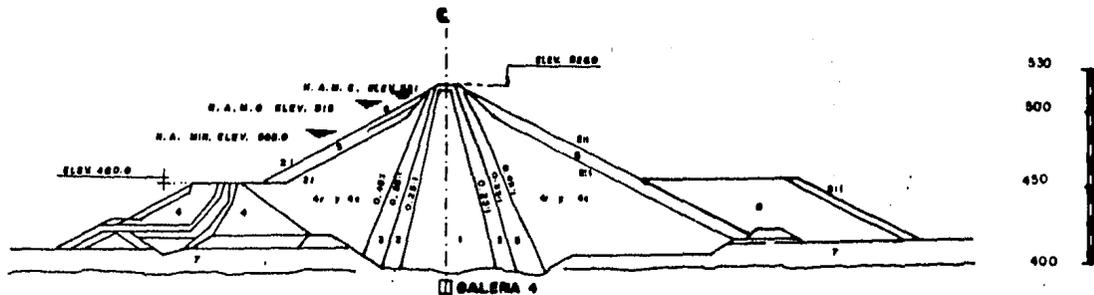
Para evitar segregación durante el transporte y colocación de estos materiales se requiere el empleo de cajas distribuidoras que permitan depositar los filtros sobre el terraplén desde una altura apropiada. En ocasiones no se tienen estas cajas distribuidoras o el depósito no se realiza en la forma especificada, para salvar este efecto es necesario el uso de una motoconformadora o en su lugar un tractor D-8 hasta que a juicio del residente de C.F.E. se encuentren los materiales perfectamente homogeneizados.

Además se supervisa que el material se extienda en capas de 30 cm. de espesor en estado suelto y que la compactación se realice por cualquiera de las dos opciones siguientes: ya sea utilizando rodillo liso vibratorio cuyo mínimo de pasadas es de dos, ó si se utiliza tractor D-8 el número mínimo de pasadas es de cuatro.

La compacidad relativa debe ser como mínimo 80%, todas estas actividades están controladas por el laboratorio de campo.

Grava-Arena (Transiciones)

El control de calidad que se efectúa en la zona de transiciones, es exactamente a la zona de filtros.



**S E C C I O N   M A X I M A  
D E   C O R T I N A**

- 1. ARCILLA
- 2. FILTRO
- 3. TRANSICION
- 4r y 4c ENROCAMIENTO COMPACTADO
- 5. ENROCAMIENTO A VOLTEO
- 6. ENROCAMIENTO DE GRAN TAMARO
- 7. DEPOSITO DEL RIO.

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**  
**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL**  
**R.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR**

Material 4r y 4c (Respaldos).

Durante la colocación y el tendido se debe supervisar que el espesor de capa sea de 50 cm. en estado suelto. El tendido debe de realizarse con tractor D-8 empujando los tamaños grandes hacia la zona 5, esta operación deberá realizarse adaptando al tractor un peine. A continuación se procederá a compactar dicha capa con cuatro pasadas de rodillos lisos vibratorios de 13.5 toneladas de peso estático.

Además se debe verificar que a cada 10 mts. de altura de enrocamiento compactado se le de un riego de un volumen equivalente a 280 - litros de agua por cada m<sup>3</sup> colocado. En estas zonas se realizará por lo menos una vez a la semana una cala volúmetrica de 150 cm. de diámetro, alternando estas calas en las zonas de aguas arriba y aguas abajo.

Material 5 (Protección contra lluvia)

En esta zona se debe revisar que el tamaño del material sea entre 30 y 100 cm. y que la colocación sea en capas de 1.50 m. de espesor en estado suelto, extendiéndolo hacia la zona 6, compactado con dos pasadas de tractor D-8 o su equivalente.

Material 6 (Protección contra oleaje).

El tamaño del material será igual o mayor a un metro cúbico y será colocado a volteo acomodándolo con tractor en capas de 2 mts. de espesor.

## VI.1 PROCEDIMIENTO DE CARGA Y TRANSPORTE

Material impermeable.- El equipo utilizado de carga y transporte de este material se sintetiza más adelante.

Al cargar, debe atacarse el almacén en rampa, para obtener un mejor mezclado del material. En cuanto al transporte, se está realizando en camiones de volteo Ford o Dodge/600 de 7 m<sup>3</sup> de capacidad.

Material 3.- (Transición).- La carga de este material se está llevando a cabo directamente de las tolvas clasificadoras. Para el transporte, se están utilizando camiones de volteo de 7m<sup>3</sup>.

Enrocamiento.- Para la carga de este material, se está utilizando un cargador frontal neumático, ayudado de un tractor D-8 que prepara el material que deberá ser cargado. El acarreo del material de enrocamiento de los respaldos, de protección contra lluvia e incluso cuando se empieza a colocar la protección contra oleaje, se hace con camiones Terex R-35 B.

## VI.2 TENDIDO Y COMPACTACION

Material 1.- (Arcilla para la formación del núcleo impermeable). El tendido de este material posterior a la descarga, se realizó con tractor D-8k y la colocación es en capas de 25 cm. de espesor. La compactación se lleva a cabo mediante un compactador Pata de Cabra 815, siendo prismáticas las áreas de contacto de dichas patas. El número de pasadas del equipo en cada capa es de 4, y se está alcanzando un grado de compactación de aproximadamente el 95% respecto a la prueba próctor (las especificaciones marcan el 100%, pero utilizando el Dynapac CA25 vibratorio de almohadillas, el cual no pudo ser utilizado).

Por otra parte, cabe señalar que el material que está en contacto con ambas laderas y con los filtros aguas arriba y aguas abajo, debe colocarse con un contenido de humedad 2 o 3% mayor que el óptimo.

La compactación del material en estas zonas, se efectúa mediante compactadores neumáticos manuales (bailarinas).

Para la liga entre capas, lo que se hace es escarificar la superficie cuantas veces sea necesario para asegurar la unión entre ellas. También se riega con el mismo propósito.

Material 2 (Grava arena).- Filtros.- En virtud de no contarse con cajas distribuidoras que eviten la segregación, los filtros son mezclados y remezclados hasta lograr una buena homogenización. Utilizando para ésto una motoconformadora, tendiendo en capas de 30 cm. de espesor y la compactación se lleva a cabo con un compactador vibratorio liso; el número de pasadas mínimo del equipo es dos, hasta lograr una compacidad relativa mayor que el 80%.

Material 3 (Transición).- El tendido y compactación se hace de la misma manera en que se hizo para el material anterior hasta la elevación - 418m. A partir de esta elevación, el material se esta procesando del banco Chachalacas, resultando por lo tanto material más homogéneo que el que se estaba utilizando. Por lo que se suprime el mezclado con motoconformadora; así también la compactación, ya que de otra manera la transición quedaría muy rígida.

Material 4 r y 4c.- El tendido de este material se hace mediante un tractor D-8k en capas de 50 cm. En cuanto a la compactación, ésta se efectúa con un compactador vibratorio liso Ingersol-Rand Mod. SP-60 DD y el número de pasadas es de 2.

Se han realizado modificaciones en el tendido y riego en el enrocamiento de aguas abajo, a causa de que el material de relleno del vertedor mejora la estabilidad del talúd de aguas abajo, puesto que los 280 lt/m<sup>3</sup> que se estaban utilizando para riego se suprimieron. Por otra parte, el tendido de capas que era de 50 cm. podrá ser ahora de 80 cm.

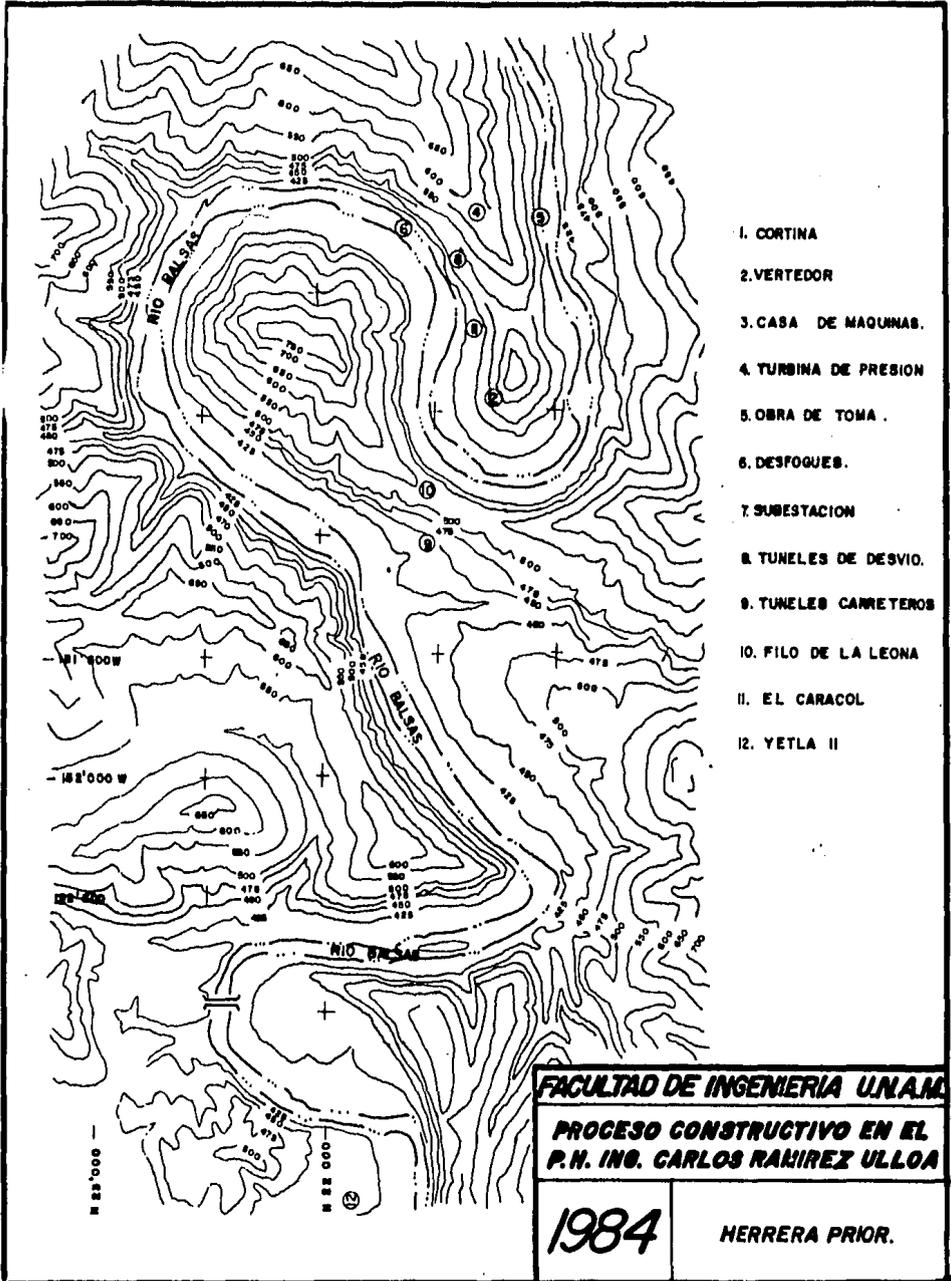
Material 5 r.- Enrocamiento acomodado con tractor, enrocamiento contra lluvia. Para el extendido y acomodamiento de este material se utiliza precisamente el tractor D-8k y se hace en capas de 1.5 m, la compactación se realiza con dos pasadas del mismo tractor.

Material 6.- Enrocamiento de gran tamaño colocado a volteo, protección contra oleaje.

La colocación se hará a volteo y utilizando un tractor para acomodarlo en capas de 2m.

### VI.3 EQUIPO PARA LA COLOCACION DE TODOS LOS MATERIALES

Material	Carga en Banco	Transporte
Arcilla	1 Cargador Frontal de oru- gas Caterpillar Mod. 955L. 1 Motoconformadora Cater- pillar. Mod. CM 17.	Camiones Ford o Dodge-600 Cap. 7m3.
Tendido y Compactación	- 1 Tractor D-5 k 1 Compactador pata de cabra Mod. 815 Cat. 1 Pipa Ford-600 Cap. 7000 lts. Compactadores manuales - (bailarinas)	
Gravas arenas	1 Cargador Frontal 45B Michigan o un Cargador Frontal 9551. cat. Retroexcavadora	Camiones Ford o Dodge-600 Cap. 7m3.
	Compactador Ingersol Rand. mod. SP-60 DD. Tractor D8k. Motoconformadora Mod.CM17.	
Rezaga Transición	1 Cargador Frontal 45B Michigan o un cargador frontal 9551 cat.	Camiones Ford o Dodge-600 Cap. 7m3. Camiones auto- car cap. 14m3.
	Compactador Ingersol Rand mod. SP-60DD Tractor D8k Motoconformadora mod.CM17.	



1. CORTINA
2. VERTEDOR
3. CASA DE MAQUINAS.
4. TURBINA DE PRESION
5. OBRA DE TOMA .
6. DESFOQUES.
7. SUBESTACION
8. TUNELES DE DESVIO.
9. TUNELES CARRETEROS
10. FILO DE LA LEONA
11. EL CARACOL
12. YETLA II

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**  
**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL**  
**P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**HERRERA PRIOR.**

Material	Carga en Banco	Transporte
Enrocamiento	1 Cargador Frontal neumático Cat. mod. 988B.	Camiones Terex mod. R-35B Cap. 35 ton.
Tendido y Compactación	Compactador Ingersol Rand Tractor DBk.	

## VII PRECIOS UNITARIOS

Para tener un panorama general de los Precios unitarios, es importante tener en cuenta las definiciones de los siguientes conceptos que forman parte de éstos.

**Costo Indirecto.-** Aquellos gastos que no pueden tener aplicación a un producto determinado (administración).

**Costo Directo.-** Aquellos gastos que tienen aplicación a un producto determinado.

### INTEGRACION DE UN PRECIO UNITARIO EN CONSTRUCCION

Precio Unitario	Indirectos	De Operación De Obra
	Directos	Preliminares Finales
	Utilidad	

**Costo Indirecto.-** Es la suma de gastos técnico - administrativos necesarios para la correcta realización de cualquier proceso productivo.

**Costo Indirecto de Operación.-** Es la suma de gastos que, por su naturaleza intrínseca, son de aplicación a todas las obras efectuadas en un tiempo determinado. (Año Fiscal, Año Calendario, Ejercicio, etc.)

- Costo Indirecto.- Es la suma de todos los gastos de Obra que, por su naturaleza intrínseca, son aplicables a todos los conceptos de una obra en especial.
- Costo Directo.- Es la suma de material, mano de obra y equipo necesario para la realización de un proceso productivo.
- Costo Directo.- Es la suma de gastos de material, mano de obra y equipo necesario para la realización de un sub-producto.
- Costo Directo.- Es la suma de gastos de material, mano de obra, equipo y subproductos para la realización de un producto.

$$P.U. = C.D. + C.I. + UTILIDAD$$

P. U. = Precio Unitario

C. D. = Costo Directo

C. I. = Costo Indirecto

## ESQUEMA GENERAL DE COSTOS

### COSTOS INDIRECTOS

De Operación	Cargos técnicos y de Admón	Técnicos y de Admón
	Alquileres y depreciaciones	Traslados de personal
	Obligaciones y seguros	Comunicaciones y fletes
	Materiales de Consumo	Const. Provisionales
	Capacitación y Promoción	Consumos y varios
	Imprevistos	
	Financiamiento	
	Utilidad	
	Fianzas	
	Impuestos Reflejables	

### COSTOS DIRECTOS

Preliminares	Afinamiento de la zona de desplante
	Afinamiento de laderas
	Perforación de túneles
	Concretos
	Extracción de Material
	Acero de Refuerzo
	Cimbras
	Equipos
Finales	Cimentaciones
	Tratamiento de Material
	Acarreos
	Colocación del Material
	Colocación de Marcos
	Utilización de Material producto de la excavación
	Colocación de Concreto

## VII.1 PRECIO UNITARIO (TERRACERIAS)

Explotación de cantera, procesamiento y colocación por m3.

### 1.- ACTIVIDADES INCLUIDAS:

- Desmonte y habilitado de la plataforma de trabajo.
- Extracción del banco
- Remoción del material
- Carga del material en greña
- Acarreo en 1 km. del material en greña a la criba.
- Eliminación por cribado de tamaños menores de 5".
- Carga de material procesado
- Acarreo en 1 km. del material cribado
- Extendido y colocación.

### ANALISIS

1.- Desmonte y habilitado de plataforma de trabajo.        \$7.01/m3

2.- Extracción de material

### 2.1 BARRENACION

#### a) EQUIPO

El ataque de la pedrera se hace con perforadora sobre orugas con plantilla de barre

nación de 2.0 m X 3.0 m y barrenos de 6 m de profundidad para obtener 5.40 m en promedio.

Coefficiente de barrenación

$\frac{60.0 \text{ m}}{5.40 \text{ m X } 2 \text{ m X } 3 \text{ m}} =$	0.1852 m/m <sup>3</sup>
Rendimiento perforadora/orugas=	7.5 ml/hr
Perforadora sobre orugas	\$1832.44/hr
Compresor 600 Pcm	<u>1628.18/hr</u>
	\$3460.62/hr
Cargo = $\frac{3460.62/\text{hr} \times 0.1852 \text{ m/m}^3}{7.5 \text{ m/hr} \times 0.53} =$	\$ 161.43/m <sup>3</sup>

b) MANO DE OBRA

1/4 cabo de barrenación \$2544.73	\$ 636.19/t
1 Compresorista	1999.21/t
1 Operador Track-Drill	3271.85/t
1 Aydte. Op. Track-Drill	<u>1363.65/t</u>
	7270.90/t
Herr. y Eq. de Seg. 3%	<u>218.12/t</u>
	7489.02/t
Cargo = $\frac{\$7489.02/\text{t} \times 0.1852 \text{ m/m}^3}{8 \text{ hr/t} \times .75 \times 7.5\text{m/hr}}$	30.82/m <sup>3</sup>

c) HERRAMIENTA USADA PARA LA BARRENACION

<u>Descripción</u>	<u>Durac.</u>	<u>Costo</u>	<u>\$/ml</u>
Barr.de Ext. de 1 1/2"	360 m	\$26352.00/pza. =	\$ 73.20
Cople de 1 1/2"	360 m	\$ 4237.20/pza. =	\$ 11.77
Barra de golpeo	1550 m	\$18197.00/pza. =	\$ 11.74
Broca tipo "X" de 3" Ø	250 m	\$25162.50/pza. =	<u>\$ 100.65</u>
Cargo por barrenado			\$ 197.36 m
Cargo por herramienta:			
\$ 197.36 /ml X 0.1852 m/m <sup>3</sup>			<u>\$ 36.55/m<sup>3</sup></u>
			<u>\$ 74.95/m<sup>3</sup></u>

## 2.2 CARGO POR EXPLOSIVOS

### a) MATERIALES

Volumen a extraer por barreno

$$2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 5.40 \text{ m} = 32.40 \text{ m}^3/\text{barreno}$$

$$\text{Densidad de carga} = 0.50 \text{ kg/m}^3$$

Tovex 700:

$$0.15 \text{ kg/m}^3 \times 581.33/\text{kg} = \$ 87.19/\text{m}^3\text{-bco.}$$

Anfomex "X"

$$0.35 \text{ kg/m}^3 \times 168.84/\text{kg} = \$ 50.09/\text{m}^3\text{-bco.}$$

Estopines MS de 5 m

$$0.069 \text{ pza/m}^3 \times 879.71/\text{pza.} = \$ 60.70/\text{m}^3\text{-bco.}$$

Alambre para conexión, explosor, galvanómetro, etc. =

$$\$ 0.50/\text{m}^3\text{-bco.}$$

Cargo por materiales =

$$\$197.98/\text{m}^3\text{-bco.}$$

b) MANO DE OBRA

Cuadrilla para poblado y tronado

1 Poblador X	\$953.53/t =	\$2908.26/t
2 Cargadores X	\$715.16/t =	\$2181.23/t
2 Ayudantes X	447.10/t =	<u>\$1363.65/t</u>
		\$6453.14/t
Herr. y Eq. de Seg. 3%		<u>\$ 193.59/t</u>
		\$6646.73/t
Cargo =	$\frac{\$6643.75/t}{10 \text{ barr./t} \times 32.40 \text{ m}^3/\text{barr.}}$	20.51/m <sup>3</sup> -cco.

c) EQUIPO PARA SOPLETEADO

Compresor de 600 pcm.		\$1174.46/hr
Operador:		
	$\frac{1774.46 \times 1.03}{8 \text{ hr/t} \times 0.75}$	<u>\$ 304.61/hr.</u>
		2079.07/hr.
Cargo =	$\frac{2079.07/\text{hr} \times 10 \text{ min}/\text{barr.}}{60 \text{ min}/\text{hr} \times 32.40 \text{ m}^3/\text{barr.}}$	\$ 10.69/m <sup>3</sup> -cco.

Cargo por tronada \$ 222.85/m<sup>3</sup>-cco.

Peso específico de la roca = 2.6 ton/m<sup>3</sup>

Peso volúmetrico del mat. suelto = 1.750 ton/m<sup>3</sup>

Peso volúmetrico del mat. compac. = 1.925 ton/m<sup>3</sup>

Se considera que durante el proceso de cribado se eliminará el 25% del material explotado.

Cargo por extracción:

$$\frac{234.53 \text{ m}^3}{0.75} + \frac{222.85}{2.600 \text{ ton/m}^3} \times \frac{1.925 \text{ ton/m}^3}{2.600 \text{ ton/m}^3} = \$ 457.98/\text{m}^3$$

### 3.- REMOCION DEL MATERIAL

#### a) EQUIPO

Tractor D8K            \$ 5834.00/hr

Rendimiento =  $70\text{m}^3\text{-bcc/hr.}$

Cargo =  $\frac{5834.00/\text{hr}}{70\text{m}^3\text{-bcc/hr}}$         \$ 83.34/ $\text{m}^3\text{-bcc.}$

#### b) OPERACION

Operador de tractor \$ 3998.39/t

Ayudante            \$ 1363.65/t

\$ 5362.04/t

Herr.yEq.de Seg.3% \$ 160.86/t

\$ 5522.90/t

Cargo =  $\frac{\$ 5522.90/\text{t}}{8\text{hr/t} \times 0.75 \times 70\text{m}^3\text{-bcc/hr}}$     = \$ 13.15/ $\text{m}^3\text{-bcc.}$   
96.49/ $\text{m}^3\text{-bcc.}$

Cargo por remoción

$$\frac{96.49/\text{m}^3\text{-bcc}}{0.75} \times \frac{1.925 \text{ ton}/\text{m}^3}{2.600 \text{ ton}/\text{m}^3} = 95.25/\text{m}^3\text{-bcc.}$$

### 4.- CARGA MATERIAL EN GREÑA

#### a) EQUIPO

Cargador sobre neumáticos 988 B

Costo horario =        \$ 6840.27/hr.

Rendimiento =    180  $\text{m}^3\text{-suelto/hr}$

Cargo =  $\frac{\$ 6840.27/\text{hr}}{180\text{m}^3\text{-suelto/hr}}$         \$ 38.00/ $\text{m}^3\text{-bcc.}$

b) MANO DE OBRA

Se tiene además del operador del cargador, un señalero o banderero y un peón quitando las piedras del camino.

Operador del cargador \$3998.40/t

Banderero \$1363.65/t

Peón \$1181.63/t

\$6543.68/t

Herr.y Eq.de Seg.3% 196.31/t

\$6739.99/t

Cargo por Operación:

$$\frac{\$6739.99/t}{8\text{hr/t} \times 0.75 \times 180\text{m}^3\text{-suelto/hr}} = \$12.48/\text{m}^3\text{-suelto}$$
$$50.48/\text{m}^3\text{-suelto}$$

$$\text{Cargo por Carga} = \$50.48/\text{m}^3 \times \frac{1.925\text{ton}/\text{m}^3}{1.750\text{ton}/\text{m}^3} \times \frac{1}{0.75} = \$74.03/\text{m}^3$$

5.- ACARREO A 1 KM. (DEL BANCO A LA CRIBA)

a) EQUIPO

El acarreo se hace con Euclid R-35 con una capacidad de:

$$\frac{35 \text{ ton} \times 0.908}{1.750 \text{ ton}/\text{m}^3} = 18.2 \text{ m}^3$$

Costo Horario = \$5426.83/hr

Ciclo del Camión:

Acomodo = 0.01 hr

Carga  $\frac{18.2 \text{ m}^3}{180\text{m}^3/\text{hr}}$  = 0.10 hr

$$\text{Acarreo } \frac{2 \text{ km}}{15 \text{ km/hr}} = 0.13 \text{ hr}$$

$$\text{Descarga y viajes} = \frac{0.01 \text{ hr}}{0.250 \text{ hr}}$$

$$\text{Rendimiento } \frac{18.2 \text{ m}^3}{0.25 \text{ hr}} = 72.8 \text{ m}^3\text{-suelto/hr}$$

$$\text{Cargo por Equipo} = \frac{\$5426.83}{72.8 \text{ m}^3\text{-suelto/hr}} = \$74.54 \text{ m}^3\text{-suelto}$$

b) MANO DE OBRA

$$\text{Operador de volteo pesado} \quad \$5335.52/\text{t}$$

$$\text{Herr.y Eq. seg. 3\%} \quad \$160.06/\text{t}$$

$$\$5495.58/\text{t}$$

$$\text{Cargo} = \frac{\$5495.58/\text{t}}{8 \text{ hr/t} \times 0.75 \times 72.8 \text{ m}^3/\text{hr}} = \frac{\$12.58 \text{ m}^3\text{-suelto}}{\$87.12 \text{ m}^3\text{-suelto}}$$

Cargo por acarreo local:

$$\$87.12/\text{m}^3\text{-suelto} \times \frac{1.925 \text{ ton/m}^3 \times 1}{1.750 \text{ ton/m}^3 \times 0.75} = \$127.78/\text{m}^3$$

6.- ELIMINACION DEL CRIBADO DE LOS TAMAÑOS MAYORES DE 5"

a) EQUIPO  $\$31.23/\text{m}^3$

b) MANO DE OBRA  $\$28.09/\text{m}^3$

$$\$59.32/\text{m}^3$$

$$\text{Cargo por cribado} = \$59.32/\text{m}^3 \times \frac{1.925 \text{ ton/m}^3}{1.750 \text{ ton/m}^3} = 65.25/\text{m}^3$$

7.- CARGA DEL MATERIAL CRIBADO

a) EQUIPO

Cargador 988-B \$6840.27/hr

Rendimiento=220m<sup>3</sup>-suelto/hr

$$\text{Carga} = \frac{\$6840.27/\text{hr} \times 1.5}{220\text{m}^3\text{-suelto/hr.}} = \$46.63/\text{m}^3$$

b) OPERACION

Operador de cargador \$3998.40/t

Herr. y Eq. de Seg.3% \$ 119.95/t  
\$4118.35/t

$$\text{Carga} = \frac{\$ 4118.35/\text{t} \times 1.5}{8 \text{ hr/t} \times 0.75 \times 220\text{m}^3/\text{hr}} = 4.68/\text{m}^3 = \$ 51.31/\text{m}^3$$

Carga por material procesado:

$$\$ 51.31/\text{m}^3 \times \frac{1.925 \text{ ton}/\text{m}^3}{1.750 \text{ ton}/\text{m}^3} = \$ 56.44/\text{m}^3$$

8.- ACARREO A 1 KM. DEL MATERIAL CRIBADO

a) EQUIPO

Camión volteo pesado R-35 = \$ 5488.90/hr

Ciclo:

Acomodo = 0.01 hr

Carga  $\frac{18.2 \text{ m}^3}{220 \text{ m}^3/\text{hr}}$  = 0.08 hr

$$\text{Acarreo } \frac{2.0 \text{ km}}{15 \text{ km/hr}} = 0.13 \text{ hr}$$

$$\text{Carga y acomodos} = \frac{0.01 \text{ hr}}{0.23 \text{ hr}}$$

$$\text{a) Carga} = \frac{5488.90/\text{hr} \times 0.23 \text{ hr}}{18.2 \text{ m}^3} = \$ 69.37/\text{m}^3$$

b) OPERACION:

$$\text{Op. de volteo pesado} \quad \$3998.40$$

$$\text{Herr. y Eq. de seg. 3\%} \quad \underline{119.95}$$

$$\$4118.35$$

$$\text{Carga} = \frac{\$4118.35/\text{hr} \times 0.23 \text{ hr}}{8 \text{ hr/t} \times 0.75 \times 18.2 \text{ m}^3} = \frac{\$ 37.71/\text{m}^3}{\$107.08}$$

Cargo por acarreo a 1 Km. de material procesado

$$\$107.08/\text{m}^3 \times \frac{1.925 \text{ ton}/\text{m}^3}{1.750 \text{ ton}/\text{m}^3} = \$117.79/\text{m}^3$$

9.- EXTENDIDO Y COLOCACION

a) EQUIPO

$$\text{Tractor D8-K} \quad \$4727.83/\text{hr}$$

$$\text{Compactador CA-25} \quad \underline{\$1406.36/\text{hr}}$$

$$\$6134.19/\text{hr}$$

Rendimiento - 150 m<sup>3</sup>-suelto/hr

$$\text{Carga} = \frac{\$6134.19 / \text{hr}}{150 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 40.89/\text{m}^3$$

b) MANO DE OBRA

Operador de tractor	\$3998.40/t
Ayudante	\$1363.65/t
Op. de compactador	\$3362.87/t
Bordero	<u>\$1363.65/t</u>
	\$10088.57/t

$$\text{Cargo} = \frac{\$10088.57/t \times 1.03}{8 \text{ hr/t} \times 0.75 \times 110 \text{ m}^3/\text{hr}} = \frac{\$ 15.74/\text{m}^3}{\text{-----}}$$
$$\$ 56.63/\text{m}^3$$

$$\text{Cargo por extendido y colocación} = \$56.63 \times \frac{1.925 \text{ ton}/\text{m}^3}{1.750 \text{ ton}/\text{m}^3} = 62.29/\text{m}^3$$

R E S U M E N

	EQUIPO (\$/m3)	MANO DE OBRA (\$/m3)	MAT. <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	SUMA
1.- DESMONTE	\$ 5.59	1.52	-	\$ 7.01
2.- EXTRACCION	172.12	51.33	234.53	457.98
3.- REMOCION	82.27	12.98	-	95.25
4.- CARGA DE MAT. EN GREÑA	55.73	18.30	-	74.03
5.- ACARREO 1 KM EN GREÑA	109.32	18.46	-	127.78
6.- CRIBADO	34.35	30.90	-	65.25
7.- CARGA DE MAT. PROCESADO	51.29	5.15	-	56.44
8.- ACARREO 1KM. AGREGADO	76.31	41.48	-	117.79
9.- EXT. Y COLOCACION	44.98	17.31	-	62.29
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	\$631.86	\$197.43	\$234.53	\$1063.82
	(59.40%)	(18.56%)	(22.04%)	

COSTO DIRECTO \$1063.82

INDIRECTOS Y UTILIDAD  
49% \$ 521.27

PRECIO UNITARIO \$1585.09

Después de conocer toda la obra podemos referirnos a ésta. Es impresionante ver una obra de tal magnitud y poder llegar a captar todo lo que se tiene dentro de ella, pero en forma general voy a explicar lo más interesante de ésta.

Uno de los problemas que se tuvieron fue la localización del eje de la cortina, ya que se tenían varios sitios para desplantarla y gracias a los estudios geológicos que se hicieron se llegó a elegir el más adecuado. También se llevó a cabo el tratamiento de la zona de desplante debido a los problemas geológicos que se tenían dentro de ésta.

La localización extracción, carga y acarreo de los bancos de material fue bastante acertada ya que estos estaban cercanos al sitio de desplante y evitaron los acarreos bastante largos que podían ocasionar un cierto retraso en el avance de la obra y costo.

El control de calidad que se tenía en esta obra era bastante eficiente para todos los materiales que conforman la cortina del Proyecto Hidroeléctrico Carlos Ramírez Ulloa "El Caracol".

Los precios unitarios de las terracerías tienen un mayor peso dentro de esta obra, ya que el volumen que se tiene es bastante considerable, es por ello que hago referencia de estos.

## REFERENCIAS

Normas y Especificaciones  
C.F.E. (1983)

Proyecto Terminal I y II  
Universidad Autónoma Metropolitana  
C.B.I. Azcapozalco

Diseño de Presas Pequeñas  
Edit. Cecsá (1982)

Catálogo de Precios Unitarios  
C.F.E. (1983)

Información General del Proyecto Hidroeléctrico  
Ing. Carlos Ramírez Ulloa  
Subdirección de Construcción  
C.F.E. (1983)

Obras Hidráulicas  
Francisco Torres Herrera  
Edit. Limusa (1981)

Costo y tiempo en edificación  
Suárez Salazar 3a. Edición  
Edit. Limusa (1981)