



FACULTAD DE INGENIERIA

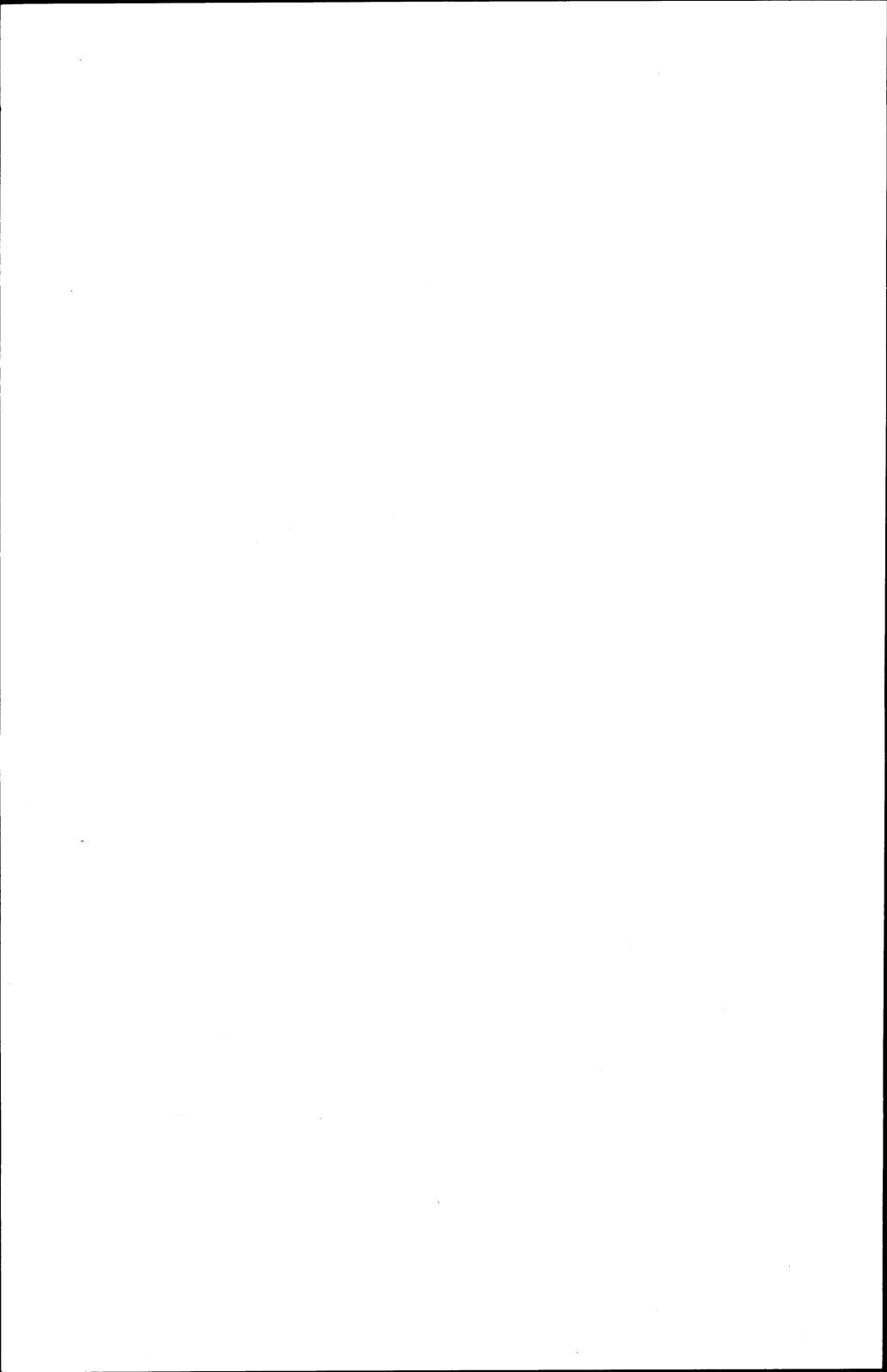
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Héctor García Gutiérrez

APUNTES DE

**DISEÑO DE UNA OBRA
DE DESVIO CON
CONDUCTOS EN TUNEL**



APUNTES DE

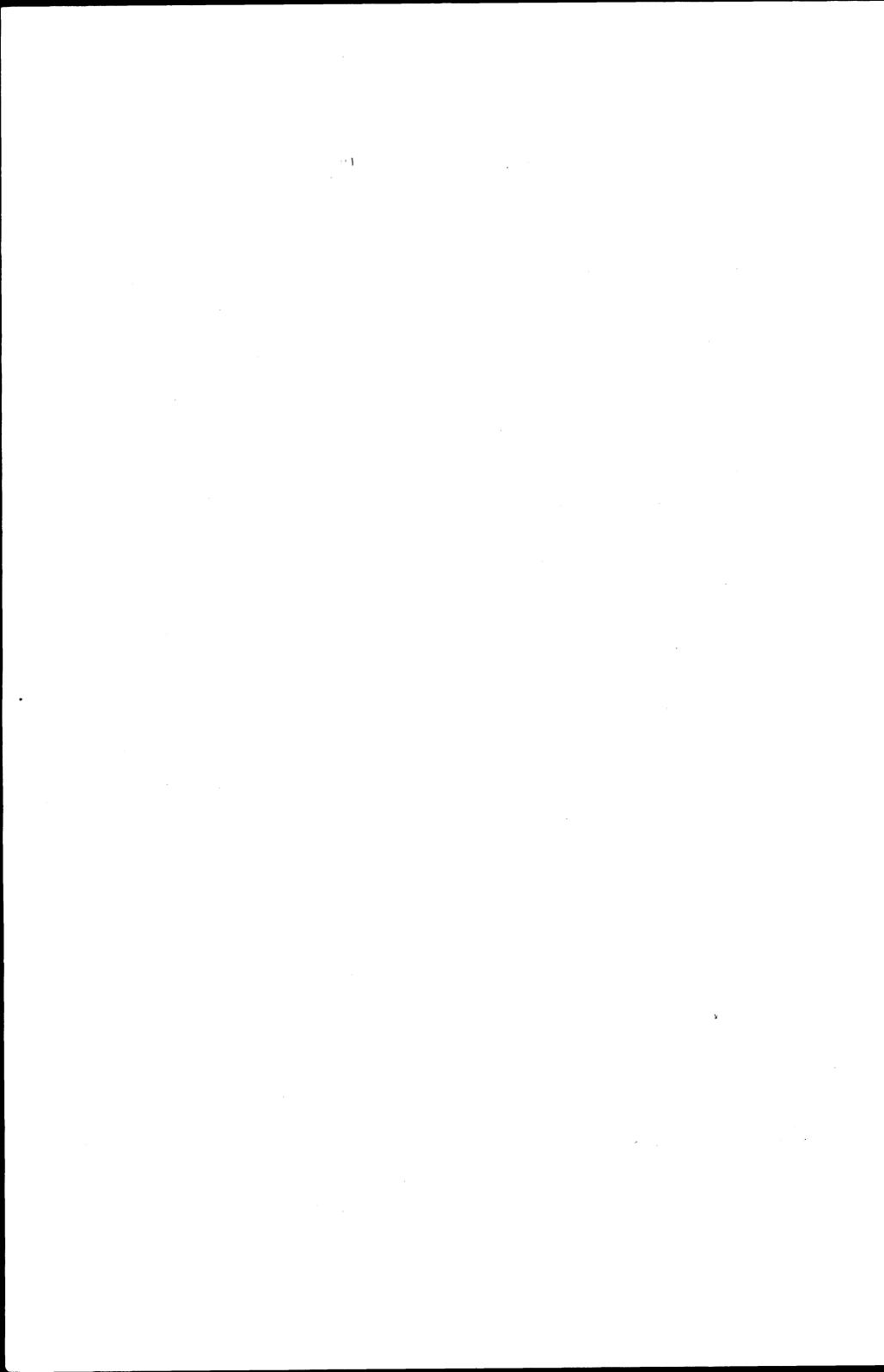
**DISEÑO DE UNA OBRA
DE DESVIO CON
CONDUCTOS EN TUNEL**

Héctor García Gutiérrez

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y
GEODESICA
DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA**

I N D I C E

<u>CONTENIDO</u>	<u>Página</u>
INTRODUCCION	1
A. INFORMACION GENERAL	2
a. Hidrología	2
b. Geología	7
c. Disposición de las obras	10
B. DETERMINACION DE LA AVENIDA MAXIMA PARA LA OBRA DE DESVIO	15
a. Riesgo de falla	15
b. Análisis estadístico	16
C. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTOS Y ATAGUIAS	19
a. Datos generales	19
b. Ecuaciones de energía y continuidad a través de los conductos	19
c. Análisis económico de las obras	27
D. CONCLUSIONES	34
Bibliografía	35



I N T R O D U C C I O N

En estos apuntes se describe el diseño de una Obra de Desvío, empleando dos conductos en túnel; en donde el alumno encontrará la aplicación de sus conocimientos adquiridos en las diferentes etapas de su formación y principalmente de los correspondientes a la carrera de Ingeniero Civil, como son la hidrología, hidráulica en conductos abiertos y trabajando a presión, geología, etc., no se pretende que se tome como un diseño modelo, porque cada corriente natural tiene sus propias características que definirán los criterios que deben emplearse para analizar las dimensiones y número de conductos que deben de emplearse para manejar las aguas de la corriente durante el tiempo que dure la construcción de las obras del aprovechamiento hidráulico que se pretende desarrollar.

El análisis se refiere a la obra de desvío del Proyecto Hidroeléctrico El Caracol localizado sobre el río Balsas, correspondiente a uno de los arreglos que la Comisión Federal de Electricidad contempló como posible solución.

A.- INFORMACION GENERAL

Se analiza la obra de desvío del proyecto hidroeléctrico de nominado "El Caracol", localizado sobre el río Balsas.

En la zona de la boquilla, el río Balsas fluye en dirección Este-Oeste y forma dos meandros, el de aguas arriba de 2 500 m de longitud y el de aguas abajo de 3 000 m de longitud. Se trata de una singularidad geomorfológica local, cuya utilización para fines de aprovechamiento hidroeléctrico es factible técnica y económicamente, según estudios realizados por la Comisión Federal de Electricidad, ver figura 1.

El aprovechamiento hidroeléctrico que se propone realizar - está caracterizado por los datos básicos siguientes:

- * Cortina de 135 m de altura con cota de corona al nivel - 525 m.s.n.m.
- * Vertedor para un pico de 17 500 m³/s con avenida de 17 - días de duración y 9 000 mill de metros cúbicos de volumen (frecuencia aproximadamente decamilenaria).
- * Central de picos con factor de planta 0.3 potencia instalada 570 MW, generación media anual 1 400 GWh.
- * Desvío del río durante la construcción para 3 316 m³/s.

a.- Hidrología.

El río Balsas uno de los grandes ríos de México, escurre al sur de la ciudad de México hacia occidente.

El sitio El Caracol se ubica en la parte media del río a unos 70 Km aguas abajo del puente Mezcala, sobre la carretera México-Acapulco.

En la cuenca se presentan varios tipos de clima desde el seco hasta el semihumedo.

Las precipitaciones se producen en correspondencia de huracanes de origen en el Pacífico y a veces del Atlántico. La precipitación media anual mensual es de 640 mm en la estación de S. Juan Tetelcingo.

La cuenca correspondiente al sitio El Caracol tiene un área de 48 800 Km² y abarca los ríos de nacientes próximas a la Cd. de México, Cuernavaca, Tehuacán y Puebla.

No existen aprovechamientos hidráulicos importantes sobre el río Balsas aguas arriba de El Caracol mientras - que aguas abajo si existen siendo el más importante el - proyecto hidroeléctrico del Infiernillo.

Entre las estaciones hidrométricas sobre el río Balsas -

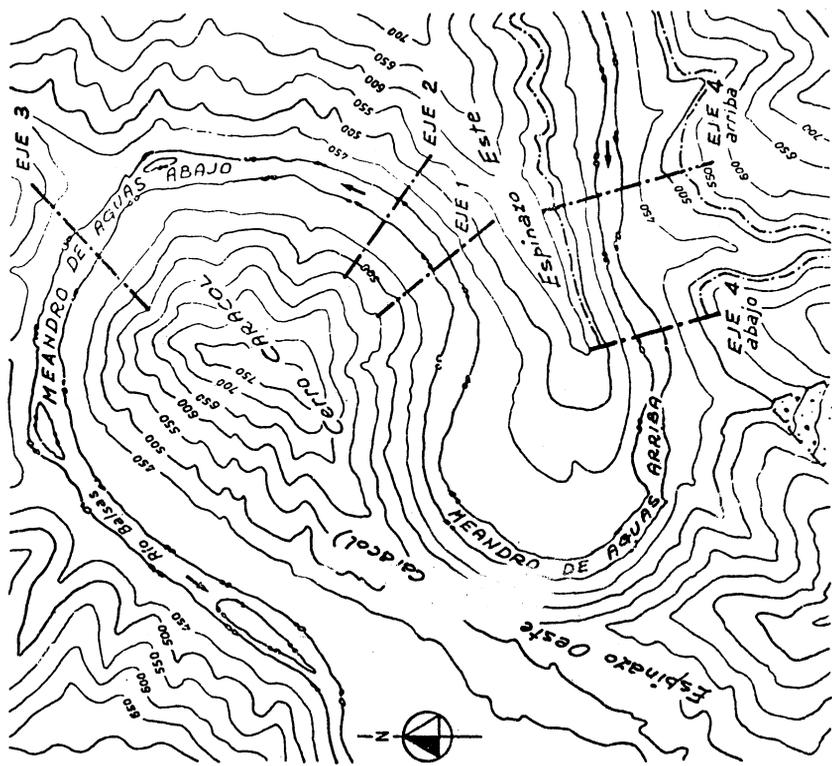


Fig. N° 1 - Planimetría de los meandros del Caracol

se encuentran las estaciones de San Juan Tetelcingo, El Caracol y Santo Tomas.

El gasto medio del río resultó ser de 200 m³/s produciéndose avenidas en los meses de julio a agosto -- los estiajes en los meses de noviembre a junio.

Los gastos medios mensuales extremos correspondientes a un periodo de 20 años llegan a los 1 250 m³/s como máximo y a 40 m³/s como mínimo.

El análisis estadístico de avenidas reales se desarrolla con el método de valores extremos tipo I' de Gumbel criterio Nash, con selección de series de gastos máximos anuales, descartando las series de excedentes anuales, debido a que en la cuenca del río Balsas en su parte media predomina un clima seco y caliente y por lo tanto la región no es de carácter lluvioso, donde no puedan esperarse grandes avenidas consecutivas.

Los datos básicos referentes al río se enlistan a continuación:

Area de la cuenca	48 800 Km ²
Temperatura Máxima	43°C
Temperatura Mínima	10°C
Precipitación media anual	641/mm/año
Precipitación media mensual máxima	258 mm/mes
Precipitación media mensual mínima	0 mm/mes
Evaporación media anual	2 600 mm/año
Gasto medio anual	200 m ³ /s
Gasto medio anual (en creciente)	1 250 m ³ /s
Gasto medio mensual (en estiaje)	40 m ³ /s

Gastos máximos anuales: en m³/s.

AÑO	GASTO	AÑO	GASTO
1953	780	1969	2 417
1954	1 591	1970	1 606
1955	2 828	1971	1 692
1956	1 701	1972	1 352
1957	1 075	1973	2 534
1958	2 047	1974	1 586
1959	2 151	1975	1 312
1960	1 662	1976	2 842
1961	1 970	1977	1 144
1962	1 850	1978	1 149
1963	882	1979	1 705
1964	1 234	1980	1 482
1965	1 749	1981	1 613
1966	1 223	1967	1 125
1968	935		

PRECIPITACIONES

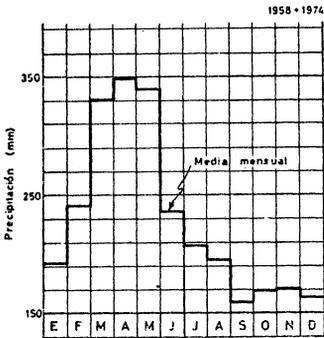


FIGURA 2

TEMPERATURAS

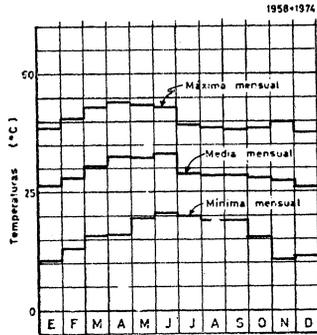


FIGURA 3

GASTOS MEDIOS

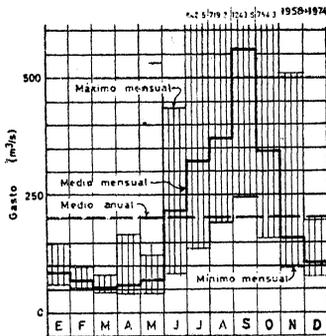
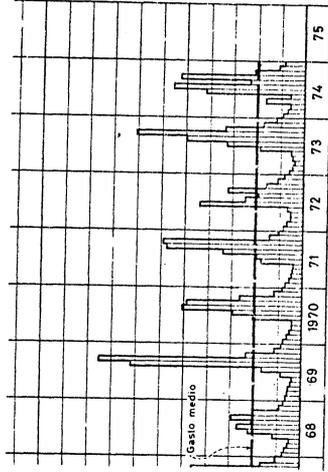
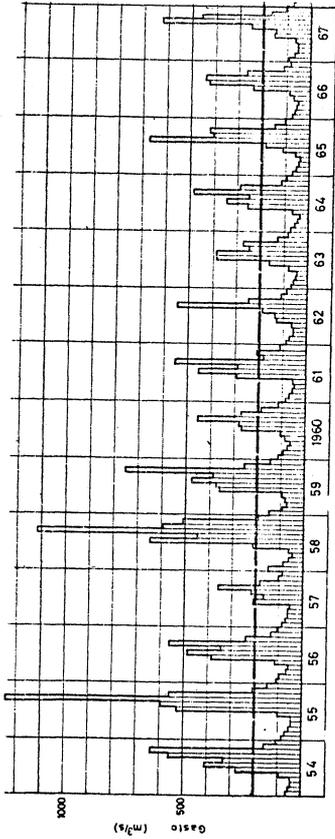


FIGURA 4.



GASTOS MENSUALES
Sección "El Caracol"

FIGURA 5

b)- Geología

En la zona de El Caracol predominan las areniscas y lutitas alternadas, las cuales constituyen la formación denominada - - Mezcala.

La estructura regional se compone de una serie de anticlinales y sinclinales con dirección cercana a la línea Norte-Sur. La zona de El Caracol se encuentra al oeste del eje de uno de los ejes anticlinales principales lo que produce una estructura general de dirección Norte-Sur y buzamiento al Oeste.

Las características mecánicas de la roca en la zona, varían de regulares a buenas.

La recuperación de testigos de las perforaciones varía entre 70 y 90%. El índice de calidad (RQD) en la mayoría de los casos entre 30 y 40% debido a la presencia de lutitas las cuales, aunque mecánicamente resistentes, se parten en lajas según la estratificación. Sobre corazones sacados de los sondeos se midieron valores de resistencia a la compresión no confinada que varía entre 50 y 1 300 Kg/cm² siendo máxima la frecuencia de los valores entre 200 y 500 Kg/cm².

El módulo de Young es del orden de 60 000 a 80 000 Kg/cm². La cohesión en masa de 10 a 15 Kg/cm² y un ángulo de fricción entre 30° y 40°.

Por lo que se puede ver, la roca no sufre importantes -- efectos de intemperismo. En algunos sacavones abiertos desde -- hace más de 10 años no aparece descomposición apreciable .

Bajo el punto de vista de la permeabilidad la roca en la -- zona de la boquilla puede clasificarse como de permeabilidad -- baja. Los valores de ensayo de las pruebas Lugeon arroja valores entre 1 y 5, los valores extremos alcanzan 40. Los valores menores corresponden a las lutitas mientras que los valores -- más altos corresponden a las areniscas, cuya permeabilidad es esencialmente debida al sistema de fracturamiento.

En virtud de su morfología que es fuera del común, el sitio El Caracol llama inmediatamente la atención y ofrece condiciones muy favorables para un desarrollo hidroeléctrico.

El río en la zona de El Caracol ha venido erosionando un -- doble meandro muy cerrado y casi simétrico. Observando con -- atención la figura 1 se puede apreciar como el tramo de río, -- está formado por dos arcos en forma de C opuestos y consecutivos.

La sobreposición de la acción erosiva del río y de factores geológicos ha dejado un espinazo delgado y de reducida al-

tura formando una barrera entre las dos puntas de cada C.

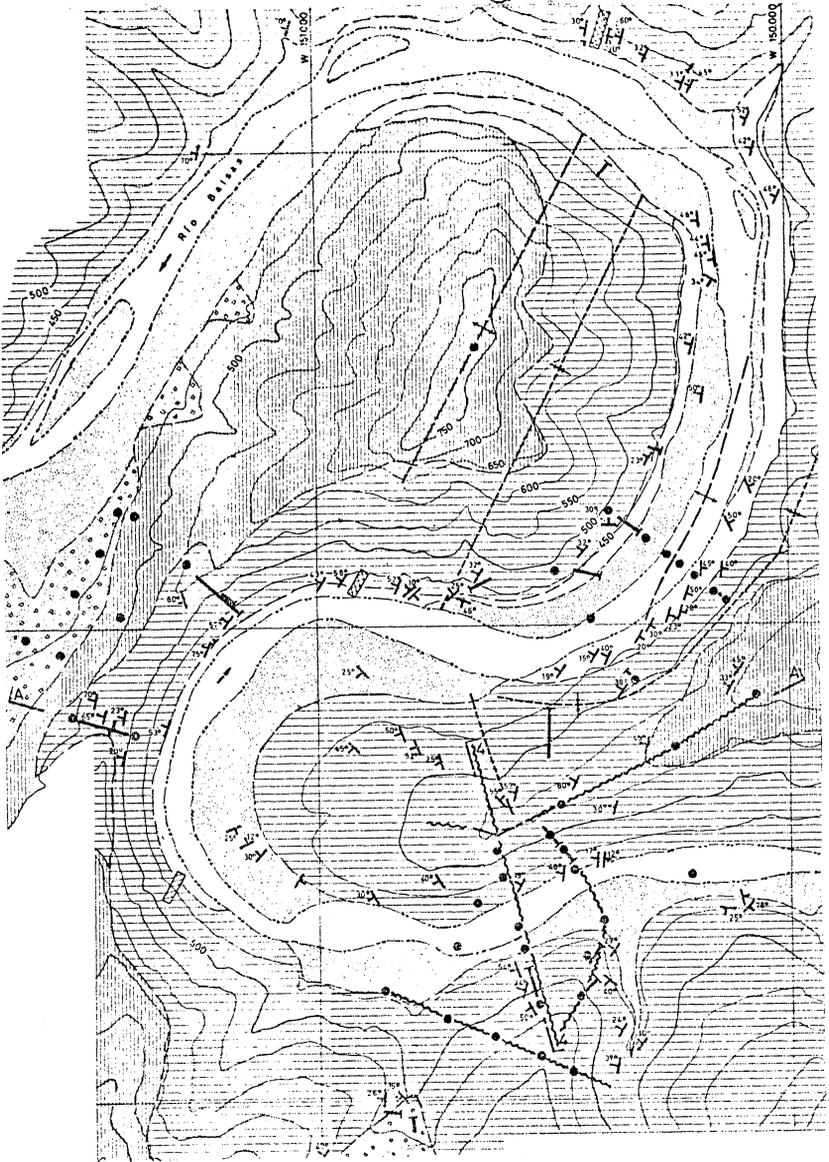
Si despreciamos las pequeñas diferencias geométricas y morfológicas, no es difícil darse cuenta que en la zona de El Caracol el río traza dos veces la misma figura. Existiendo, a una corta distancia una de otra, dos posiciones en las cuales se puede pensar en el mismo esquema de obras y contar con condiciones casi idénticas.

Es natural que en los primeros estudios la atención se haya fijado sobre el meandro de aguas abajo y sobre el espolon que lo parte, por ser este el más bajo y delgado. En realidad con examen de la situación llevado más allá de la morfología, hasta cubrir los aspectos relacionados con la seguridad a largo plazo de una planta hidroeléctrica, permite apreciar algunas diferencias.

De la evaluación en términos técnicos de estas diferencias se determinó la decisión de aprovechar el meandro de aguas arriba.

Las diferencias mencionadas se relacionan con los rasgos sobresalientes de la configuración de que se menciona y son esencialmente:

- * El espinazo de El Caracol, que es el filo que parte el meandro de aguas abajo.
- * Y un derrumbe que se ubica más o menos al centro de la margen exterior del meandro de aguas arriba.



C.- Disposición de las obras.

El esquema de aprovechamiento está formado por: cortina de materiales graduados, obra de excedencia formada por dos vertedores en canal abierto atravesando el espinazo, casa de máquinas subterránea en la margen izquierda, ver figura 7 y 8.

Cortina de materiales graduados.--desde el punto de vista de la cimentación para una cortina de este tipo, no hay duda sobre la bondad del sitio. Las laderas están formadas por arenas y lutitas. En el cauce del río hay una capa de 15-metros de aluvión, desde arena hasta gravas gruesas y cantos rodados que no constituyen un problema ni desde el punto de vista de construcción ni de deformaciones de la obra después de terminada. Por lo que se refiere a los materiales a disposición para la realización de una obra de materiales graduados; hay dos depósitos de arcilla, situados en Acatlán del río en la margen izquierda a unos 11 Km en línea recta aguas arriba del sitio (1.5 millones de metros cúbicos) y el Amacahuite a 10 Km en línea recta aguas abajo de El Caracol también en la margen izquierda, ver figura 9.

Gravas y arenas medianas existen a lo largo del cauce. Especial en el sitio de El Caracol se puede aprovechar el aluvión en un espesor de unos 7 metros promedio.

En lo que se refiere a materiales para enrocamiento se puede contar con las lutitas producto de las excavaciones.

En base a los materiales disponibles y a las características de la roca de cimentación es posible realizar una estructura con núcleo de arcilla.

El volumen total de la cortina con los taludes asignados de 2:1 aguas arriba y 2.25:1 aguas abajo, llega a los 6 millones de metros cúbicos incluyendo la ataguía de aguas arriba, figura 10.

Es necesario remover el aluvión del río en la correspondencia con el núcleo impermeable, formando un atajo abierto; esto requiere que se eliminen las filtraciones a través de los aluviones. El esquema más adecuado, empleado en otros proyectos, es el de construir una pequeña pre-ataguía de roca, impermeabilizada con un delantal de arcilla o material limoso a volteo y, atrás de esta primera protección construir un diafragma de tipo ICOS, pero plástico. Al diafragma plástico será conectado un núcleo de arcilla respaldado por grava y roca formando así una ataguía con cota de su corona al amparo de la cual se podrán ejecutar las excavaciones para el núcleo impermeable, los trabajos de consolidación de la roca la cortina de inyección y sucesivamente poner en obra los distintos materiales de la cortina.

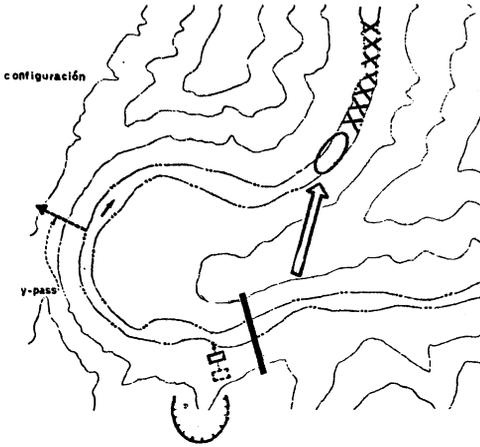


FIGURA 7

-  Derrumbe
-  Zona de erosiones consecuentes a la disipación de energía del chorro
-  Zona de posibles barras

Obra de excedencias, corresponde a vertedores en canal - - abierto, los cuales requieren cortes importantes e introducen el problema de estabilidad de taludes. En vista de las características de la roca de altos taludes es una operación de -- cuidado.

Casa de máquinas subterránea, las excavaciones que requiere la planta El Caracol, en las rocas de la zona, que son bastante estratificadas y tienen buzamiento variable que puede - llegar a ser próximo al horizontal en tramos largos de las bóvedas, es un trabajo de máximo cuidado.

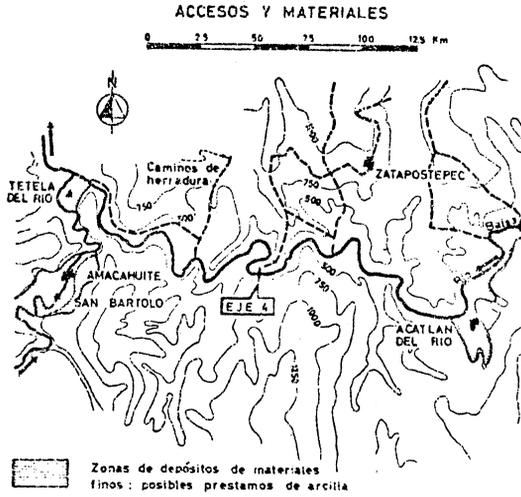


FIGURA 9

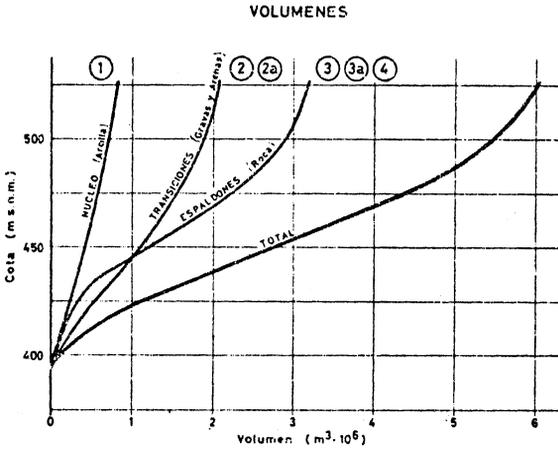


FIGURA 10

B.-DETERMINACION DE LA AVENIDA MAXIMA PARA LA OBRA DE DESVIO,

Con base a los análisis estadísticas de los datos históricos registrados en 29 años de observación, se elabora un diagrama probabilístico de Gumbel, desde el cual se puede asignar el valor de la avenida de frecuencia 50 años-determinada para el sitio de El Caracol, resultando ésta de 3 316 m³/s.

Este valor ha sido escogido como gasto de diseño de las estructuras de desvío; debido a la escasa regulación del embalse a elevaciones bajas. La frecuencia en años seleccionada parece razonable debido a que como se decia anteriormente la cuenca del río Balsas en su parte media, predomina un clima seco y caliente y por lo tanto la región no es de carácter lluvioso y las obras que se protegen corresponden a los trabajos para cimentar una cortina de materiales graduados. El costo esperado por falla es reducido y se puede cuantificar.

a).- Riesgo de falla.

La probabilidad de que el gasto de diseño sea igualado o superado, cuando menos una vez durante los primeros cinco años, tiempo que normalmente dura en servicio una obra de desvío, es de 10%, esta probabilidad en hidrología se llama riesgo (R) y se determina con la siguiente expresión:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^n$$

n = número de años de servicio de la obra de desvío.

T = frecuencia en años, asociado al gasto q, cuyo recíproco es la probabilidad de que en un año cualquiera ocurra ese gasto o uno mayor.

A continuación se muestra una tabla que asocia número de años de servicio, frecuencia en años y riesgo.

		NUMERO DE AÑOS DE SERVICIO				
RIESGO EN %	3	4	5	6	7	
75	2.7	3.4	4.1	4.9	5.6	
50	4.9	6.3	7.7	9.2	10.6	
40	6.4	8.3	10.3	12.3	14.2	
30	8.9	11.7	14.5	17.3	20.1	
25	10.9	14.4	17.9	21.4	24.8	
20	14.0	18.4	22.9	27.4	31.9	
15	19.0	25.1	31.3	37.4	43.6	
10	29.0	38.5	48.0	57.5	66.9	
5	59.0	78.5	98.0	117.5	137.0	
2	149.0	198.5	248.5	297.5	347.0	
1	299.0	398.0	498.0	597.5	697.0	

En obras de desvío, los valores del riesgo van desde el 29% en obras pequeñas o de poca importancia, hasta 9.6% para obras hidráulicas de gran magnitud, aún en casos excepcionales es del orden de 5%. En el caso de El Caracol el riesgo para el gasto de diseño es del 10% aproximadamente.

b).- Análisis Estadístico

El método estadístico empleado para ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos históricos, es el de Gumbel, utilizando el criterio Nash para determinar los parámetros de la función - el cual es un procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados de la función.

La función es de la forma

$$q = a + c \text{ Ln Ln } \frac{T_m}{T_m - 1}$$

donde:

q = variable que representa los gastos máximos

a y c = parámetros de la función

Ln = logaritmo natural

T_m = frecuencia en años, asociada al gasto q, cuyo recíproco es - la probabilidad de que en un año cualquiera ocurra ese gasto o uno mayor.

ANALISIS DE GASTOS MAXIMOS ANUALES.

n	Año	Gasto m ³ /s	Frecuencia en años T _m	LnLn $\frac{T_m}{T_m - 1}$
1	1976	2 845	30.00	-3.38
2	1955	2 828	15.00	-2.67
3	1973	2 534	10.00	-2.25
4	1969	2 417	7.50	-1.94
5	1959	2 151	6.00	-1.70
6	1958	2 047	5.00	-1.49
7	1961	1 970	4.28	-1.32
8	1962	1 850	3.75	-1.17
9	1965	1 749	3.33	-1.02
10	1979	1 705	3.00	-0.90
11	1956	1 701	2.72	-0.78
12	1971	1 692	2.50	-0.67
13	1960	1 662	2.30	-0.56
14	1981	1 613	2.14	-0.46
15	1970	1 606	2.00	-0.36
16	1954	1 591	1.87	-0.26
17	1974	1 586	1.76	-0.17
18	1980	1 482	1.66	-0.08
19	1972	1 352	1.57	0.013
20	2975	1 312	1.50	0.094

n	Año	Gasto	Frecuencia en años	$\text{LnLn} \frac{T_m}{T_m-1}$
21	1964	1 234	1.42	0.19
22	1966	1 223	1.36	0.28
23	1978	1 149	1.30	0.38
24	1977	1 144	1.25	0.47
25	1967	1 125	1.20	0.58
26	1957	1 075	1.15	0.71
27	1968	935	1.11	0.83
28	1963	882	1.07	1.00
29	1953	780	1.03	1.26

Los resultados del análisis estadístico son:

$$\begin{aligned}
 n &= 29 \\
 \sum X_i &= -15.373 \\
 \sum X_i^2 &= 43.872 \\
 \sum q_i &= 47.240.0 \\
 \sum q_i^2 &= 85\ 262\ 074 \\
 \sum X_i q_i &= -42\ 111.866 \\
 \bar{q} &= 1\ 628.9655 \\
 \bar{X} &= -0.5301
 \end{aligned}
 \qquad
 X_i = \text{LnLn} \frac{T_m-1}{T_m}$$

Los valores de los parámetros a y c de la función de linealización son:

$$a = 1\ 375.66 \qquad c = -477.84$$

quedando la función

$$q = 1\ 375.66 - 477.84 \text{ LnLn} \frac{T}{T-1}$$

a continuación se enlistan algunos valores de la función

Frecuencia en años, T	Gasto q en m ³ /s	Intervalo de confianza q en m ³ /s
5	2 092	32
10	2 451	44
20	2 750	58
50	3 240	76
100	3 574	91
500	4 345	124
1 000	4 676	139
5 000	5 446	173
10 000	5 777	188

ANALISIS ESTADISTICO DE GASTOS MAXIMOS

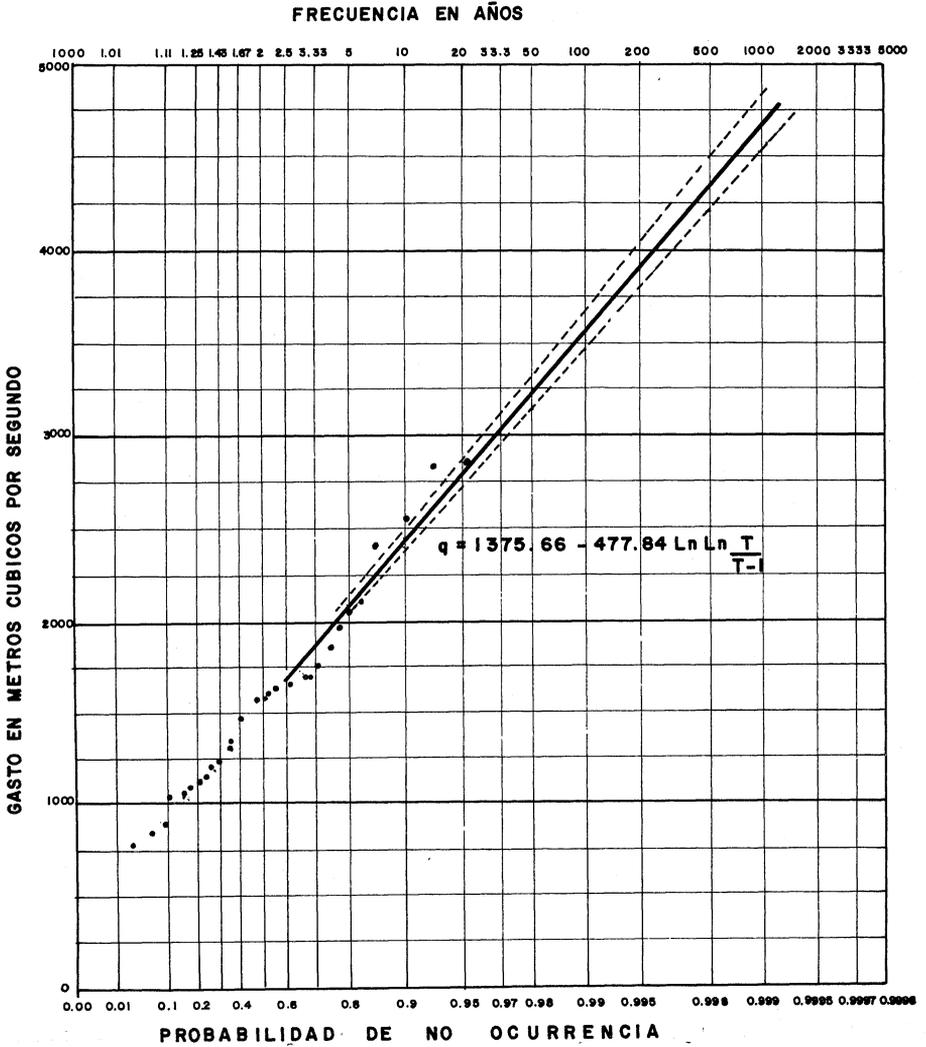


Figura II

C.-DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTOS Y ATAGUIAS

El manejo del río durante la construcción será efectuado por túneles de dimensiones adecuadas para hacer frente a avenidas de frecuencia 50 años, localizados en una posición bastante desplazada hacia el Este, con longitudes aceptables. Las ataguías estarán racionalmente colocadas para facilitar la construcción de la cortina.

En consideración de las características regulares de la roca, de la forma en lasjas de la misma y de las dimensiones de los túneles de desvío, el problema de soporte de la excavación puede presentar en algún momento peligro. La sección en portal es la que permite un apuntalamiento fácil de la bóveda, más espacio para los equipos de construcción, una hidráulica satisfactoria y al mismo tiempo no presenta problemas especiales en el cierre.

a).- Datos generales.

Se hace un análisis tipo económico, para determinar las dimensiones más adecuadas de la obra de desvío.

El problema se resuelve con dos conductos de desvío en túnel, con estructura de control, operadas a través de lumbreras como se muestra en las figuras 12 y 13.

<u>TUNELES</u>	<u>TUNEL No.1</u>	<u>TUNEL No.2</u>
Sección	Portal	Portal
Longitud total	391.65 m	396.00 m
Longitud sin revestimiento	278.9	322.20 m
Longitud con revestimiento	112.8	74.80 m
Pendiente	0.001	0.013616
Elev.plantilla portal de entrada	422.00	427.00
Elev.plantilla portal de salida	421.608	421.608

Para el gasto de diseño de $3\ 316\ m^3/s$ el remanso en el río en la zona de descarga de los conductos de desvío alcanza la elevación de 424.00 m aproximadamente; para cualquier dimensión de los conductos se consideran que descargan libremente, figura 14.

b).- Ecuaciones de energía y continuidad a través de los conductos.

Túnel No.1

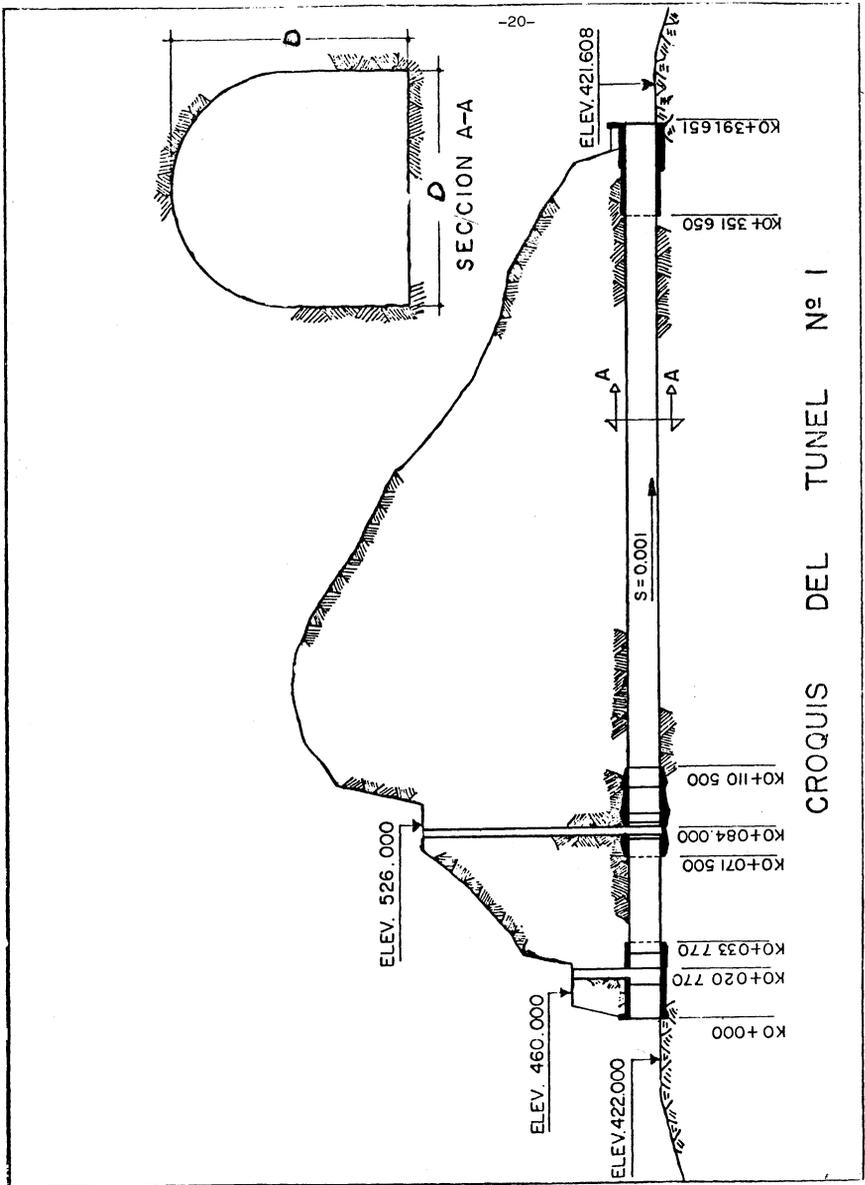
Considerando que el ancho y alto de la sección portal de los túneles sea D; el área (A), perímetro mojado (P), y el radio hidráulico (R), sus magnitudes se determinan con:

$$A = 0.8927 D^2$$

$$P = 3.5708 D$$

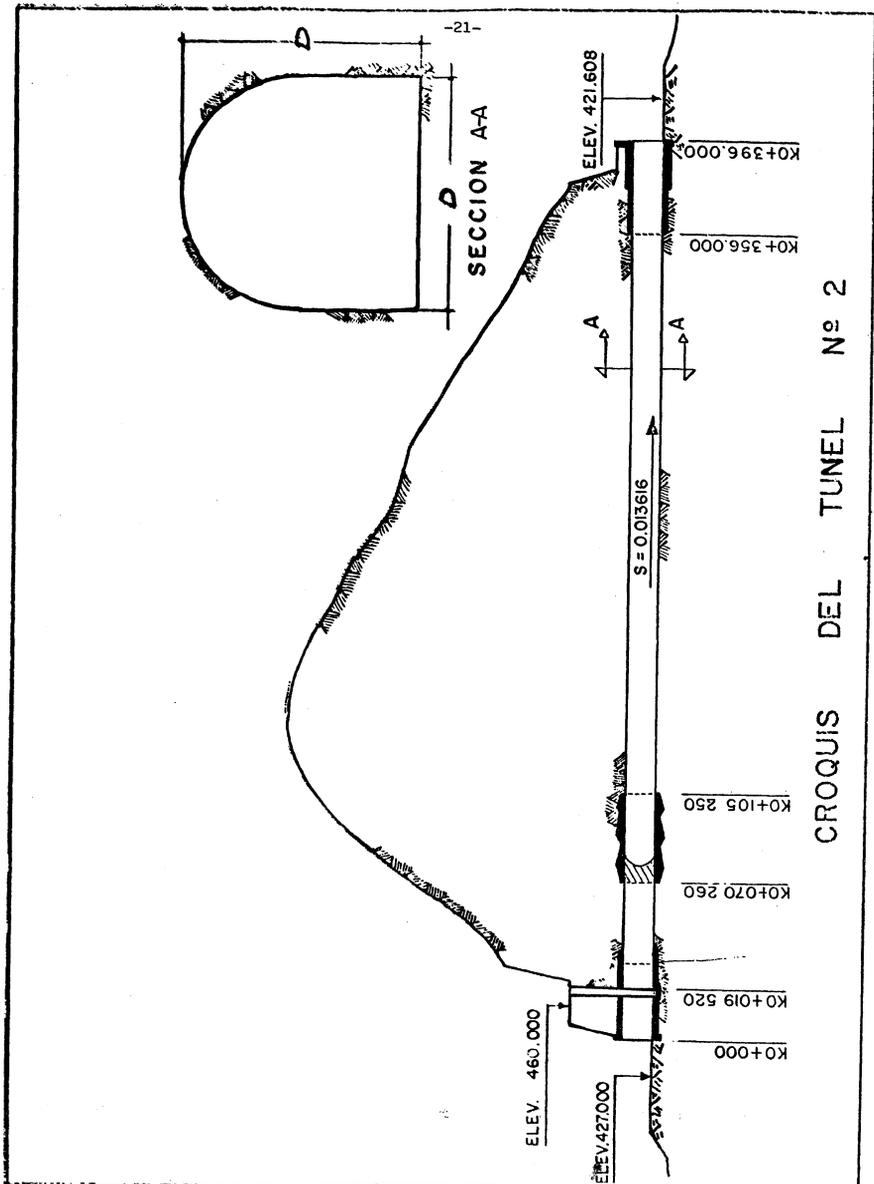
$$R = 0.25 D$$

$$R^{2/3} = 0.3968 D^{2/3}$$



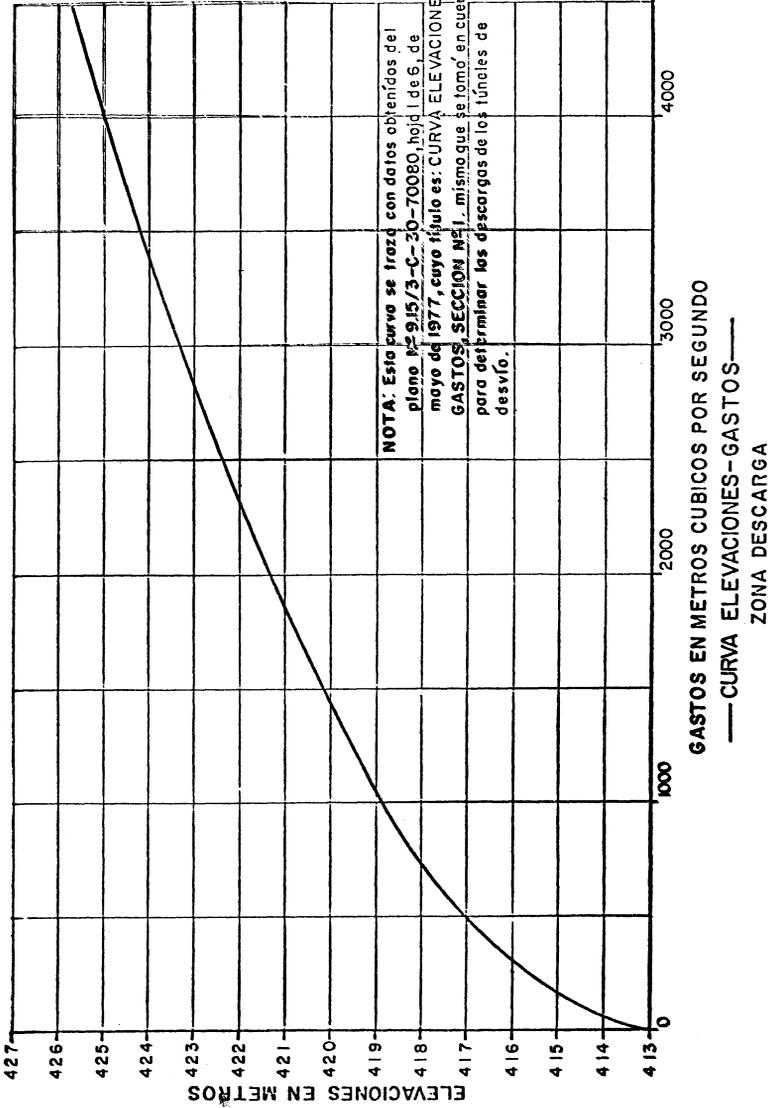
CROQUIS DEL TUNEL N° I

FIG. 12



CROQUIS DEL TUNEL N° 2

FIG. 13



NOTA: Este curva se trazó con datos obtenidos del plano N° 915/3-C-30-70080, Hoja I de G. de mayo de 1977, cuyo título es: CURVA ELEVACIONES GASTOS, SECCION N° 1. mismo que se tomó en cuenta para determinar las descargas de los túneles de desvío.

FIG. 14

Pérdida de carga por entrada, considerando la estructura de control con pilas intermedia.

$$h_e = 0.5 V_1^2 / 19.62$$

Pérdida de carga, debida a la estructura de cierre definitivo, con pila intermedia.

$$h_c = 0.15 V_1^2 / 19.62$$

Pérdida de carga debida a la fricción de los tramos con revestimiento

$$h_r = (0.015 V_1 / 0.3968 D^{2/3})^2 112.8$$

Pérdida de carga debida a la fricción en el tramo sin revestimiento.

$$h_{sr} = (0.039 V_1 / 0.3968 D^{2/3})^2 278.9$$

Pérdida de carga debida a la descarga en la salida.

$$h_s = V_1^2 / 19.62$$

Túnel No.2

Pérdida de carga por entrada, considerando la estructura de control, con pila intermedia.

$$h_e = 0.5 V_2^2 / 19.62$$

Pérdida de carga debida a la fricción en los tramos con revestimiento.

$$h_r = (0.015 V_2 / 0.3968 D^{2/3})^2 74.8$$

Pérdida de carga debida a la fricción en el tramo sin revestimiento.

$$h_{sr} = (0.039 V_2 / 0.3968 D^{2/3})^2 322.2$$

Pérdida de carga debida a la descarga en la salida.

$$h_s = V_2^2 / 19.62$$

La ecuación de continuidad para el problema que se nos presenta es.

$$3\ 360 = A_1 V_1 + A_2 V_2$$

Para tener una solución que sea factible desde el punto de vista técnico en la perforación y estabilidad de la bóveda de los --

túneles y de la colocación del volumen de material necesario para formar la ataguía de aguas arriba, en el lapso de tiempo que resta de la época de estiaje; se analizan dimensiones mayores de 11 x 11 con límite de 15 x 15; para dimensiones menores la solución en la construcción de la ataguía no es factible en el tiempo disponible.

c).- Determinación de la elevación de la corona de las ataguías de aguas arriba y aguas abajo.

Túneles con dimensiones de 11 x 11 m'

<u>Pérdidas de carga</u>	<u>Túnel No.1</u>	<u>Túnel No.2</u>
Entrada	0.0255 V_1^2	0.0255 V_2^2
Fricción tramo con revestimiento	0.0101 V_1^2	0.0066 V_2^2
Fricción tramo sin revestimiento	0.1685 V_1^2	0.1945 V_2^2
En estructura para cierre definitivo	0.0076 V_1^2	- -
Salida	0.0510 V_1^2	0.0510 V_2^2
Suma	$H = \frac{0.2627 V_1^2}{}$	$H = \frac{0.2776 V_2^2}{}$

Resolviendo estas dos ecuaciones de energía y la de continuidad se tiene

$$H = 48.15 \text{ m. ; } V_1 = 15.49 \text{ m/s ; } V_2 = 15.22 \text{ m/s}$$

Para este caso en que la descarga de los túneles es libre, la carga necesaria para vencer las pérdidas de energía, se mide a partir de la clave de los túneles.

$$\text{Elevación del embalse} = 432.60 + 48.15 = 380.75$$

Elevación de la corona de la ataguía aguas arriba = 380.75 + 2.25 m de bordo libre

$$\text{Elev} = 383.00 \text{ m.}$$

Túneles con dimensiones de 12 x 12 m.

<u>Pérdidas de carga.</u>	<u>Túnel No.1</u>	<u>Túnel No.2</u>
Entrada	0.0255 V_1^2	0.0255 V_2^2
Fricción tramo con revestimiento	0.0059 V_1^2	0.0038 V_2^2
Fricción tramo sin revestimiento	0.0981 V_1^2	0.1132 V_2^2
En estructura para cierre definitivo	0.0076 V_1^2	---
Salida	0.0510 V_1^2	0.0510 V_2^2
SUMA	$H = 0.1881 V_1^2$	$H = 0.1935 V_2^2$

Resolviendo estas dos ecuaciones de energía y la de continuidad se tiene.

$$H = 31.76 \text{ m ; } V_1 = 12.99 \text{ m/s ; } V_2 = 12.81 \text{ m/s}$$

$$\text{Elevación del embalse} = 433.60 + 31.76 = 465.36 \text{ m}$$

Elev. corona atagüía
aguas arriba = 465.36 + 264 = 468.00 m

Túneles con dimensiones de 13 x 13 m.

<u>Pérdidas de carga</u>	<u>Túnel No.1</u>	<u>Túnel No.2</u>
Entrada	0.0255 V_1^2	0.0255 V_2^2
Fricción tramo con revestimiento	0.0053 V_1^2	0.0035 V_2^2
Fricción tramo sin revestimiento	0.0881 V_1^2	0.1017 V_2^2
En estructura para cierre definitivo	0.0076 V_1^2	---
Salida	0.0510 V_1^2	0.0510 V_2^2
SUMA	H= 0.1881 V_1^2	H= 0.1935 V_2^2

Igualmente resolviendo las tres ecuaciones se tiene:

$$H = 21.70; \quad V_1 = 11.1 \text{ m/s} \quad V_2 = 10.9 \text{ m/s}$$

Elevación del embalse = 434.6 + 21.70 = 456.30 m

Elevación corona atagüía
aguas arriba = 456.30 + 2.70 = 459.00

Túneles con dimensiones de 14 x 14 m.

<u>Pérdidas de carga</u>	<u>Túnel No.1</u>	<u>Túnel No.2</u>
Entrada	0.0255 V_1^2	0.0255 V_2^2
Fricción tramo con revestimiento	0.0048 V_1^2	0.0031 V_2^2
Fricción tramo sin revestimiento	0.0799 V_1^2	0.0922 V_2^2
En estructura para cierre definitivo	0.0076 V_1^2	---
Salida	0.0510 V_1^2	0.0510 V_2^2
SUMA	H= 0.1688 V_1^2	H= 0.1718 V_2^2

Igualmente resolviendo las tres ecuaciones se tiene:

$$H = 15.28 \text{ m}; \quad V_1 = 9.52 \text{ m/s}; \quad V_2 = 9.43 \text{ m/s.}$$

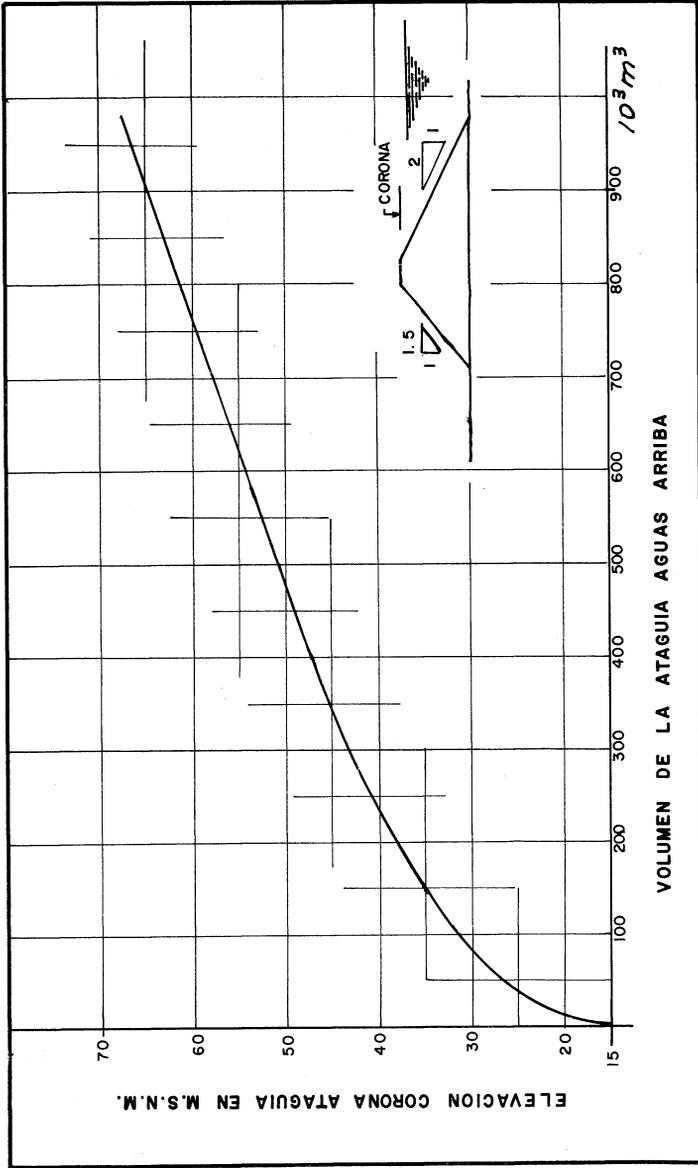
Elevación embalse = 435.6 + 15.28 = 450.88 m

Elevación corona atagüía

aguas arriba = 450.88 + 2.12 = 453.00 m.

Túneles con dimensiones de 15 x 15 m.

<u>Pérdidas de carga</u>	<u>Túnel No.1</u>	<u>Túnel No.2</u>
Entrada	0.0255 V_1^2	0.0255 V_2^2
Fricción tramo con revestimiento	0.0044 V_1^2	0.0029 V_2^2
Fricción tramo sin revestimiento	0.0728 V_1^2	0.0841 V_2^2
En estructura para cierre definitivo	0.0076 V_1^2	---
Salida	0.0510 V_1^2	0.0510 V_2^2
SUMA	H= 0.1613 V_1^2 ;	H= 0.1635 V_2^2



Resolviendo:

$$H = 11.06 \text{ m}; V_1 = 8.28 \text{ m/s}; V_2 = 8.22 \text{ m/s}$$

Elevación embalse = $436.6 + 11.06 = 447.66 \text{ m}$.

Elevación corona ataguía

aguas arriba = $447.66 + 2.34 = 450.00 \text{ m}$.

Para todos los casos la elevación de la corona de la ataguía aguas abajo es la misma y corresponde a la elevación $424 + 1.5$ de bordo libre = 425.50 m .

c).- Análisis económico de las obras.

El costo de los túneles, corresponde unicamente al de los conceptos más representativos como son, excavación en túnel, revestimiento de tuneles, acero de refuerzo, marcos metálicos para ademe, otros costos como anclaje, concreto lanzado, malla de alambre, etc., no se analizaron para los diferentes tamaños de los túneles.

Excavación.- Se determinó el volumen neto de excavación para cada dimensión, sin considerar sobre excavación.

El área de excavación en función de la dimensión (D) es:

$$A_{exc} = 0.8927 D^2$$

Concreto.- Los tramos con revestimiento están sobreexcavados para conservar la misma área hidráulica en todo el conducto; el espesor de revestimiento se considera de $D/10$, el área transversal de concreto es

$$A_{concreto} = 0.3971 D^2$$

Acero de refuerzo.- Generalmente el proceso de refuerzo es para tomar los esfuerzos debidos a cambio de temperaturas, un promedio de la cantidad de acero por metro cúbico de concreto en 60 Kg/m^3 .

Marcos de ademe.- Se consideran para apuntalar los primeros y últimos 50 metros correspondientes a la entrada y salida de los túneles respectivamente, separados a dos metros centro a centro: formados por vigetas H de 6" .

$$\begin{aligned} \text{Longitud de cada marco} &= 2.57 D \\ \text{peso} &= 35.87 \text{ Kg/m.} \end{aligned}$$

Material de la ataguía.- Se anexa la figura 15 que muestra la variación del volumen de la ataguía con respecto a la elevación de su corona.

Los precios unitarios utilizados para calcular el importe de las obras son:

Excavación en túnel	\$ 7 900/m ³
Concreto en revestimiento de túneles	\$ 56 000/m ³
Acero de refuerzo	\$190 000/ton
Marcos de ademe	\$641 000/ton
Ataguías de materiales graduados	\$ 950/m ³

En las tablas de las páginas siguientes se muestran las cantidades de obra y el importe de las mismas para diferentes dimensiones de los túneles, se --

Observa que desde el punto de vista económico, la obra de desvío más conveniente corresponde a la formada por dos conductos de 12 x 12 m.

En las figuras 16 y 17 se muestran los resultados para la alternativa seleccionada, en donde se vé la sección máxima de la cortina y la disposición de las ataguías.

C A N T I D A D E S D E O B R A

CONCEPTO	D I M E N S I O N E N M E T R O S.				
	11x11	12x12	13x13	14x14	
EXCAVACION EN TUNEL (m ³)					
Túnel 1	42 343	50 390	59 138	68 586	78 734
Túnel 2	42 775	50 905	59 743	69 288	79 540
CONCRETO EN REVESTIMIENTO (m ³)					
Túnel 1	5 419	6 448	7 568	8 777	10 076
Túnel 2	3 545	4 218	4 951	5 742	6 591
ACERO DE REFUERZO (ton)					
Túnel 1	325	386	454	527	605
Túnel 2	213	253	297	345	395
MARCOS DE ADEME (ton)					
Túnel 1	58	63	68	74	79
Túnel 2	39	42	46	49	53
VOLUMEN MATERIAL ATAGUIA (m ³)					
	1 350 000	940 000	700 000	520 000	460 000

IMPORTE DE LAS OBRAS EN MILLONES DE PESOS

CONCEPTO	D I M E N S I O N D E L O S T U N E L E S (D e n m e t r o s)		
	11x11	12x12	13x13 14x14 15x15
Excavación en túnel.			
Túnel 1	334.5	398.1	467.2 541.8 622.0
Túnel 2	337.9	402.1	472.0 547.4 628.4
Concreto en revestimiento de túnel.			
Túnel 1	303.5	361.1	423.8 491.5 564.3
Túnel 2	198.5	236.2	277.3 321.6 369.1
Acero de refuerzo			
Túnel 1	61.8	73.3	86.3 100.1 115.0
Túnel 2	40.5	48.1	56.4 65.6 75.1
Marcos de ademe			
Túnel 1	37.0	40.4	43.8 47.2 50.5
Túnel 2	24.7	26.9	29.2 31.4 33.7
Total túneles	1 338.4	1 586.2	1 856.0 2 146.6 2 458.1
Ataguía	1 282.5	893.0	665.00 494.0 437.0
T O T A L	2 620.9	2 479.2	2 521.0 2 640.6 2 895.1

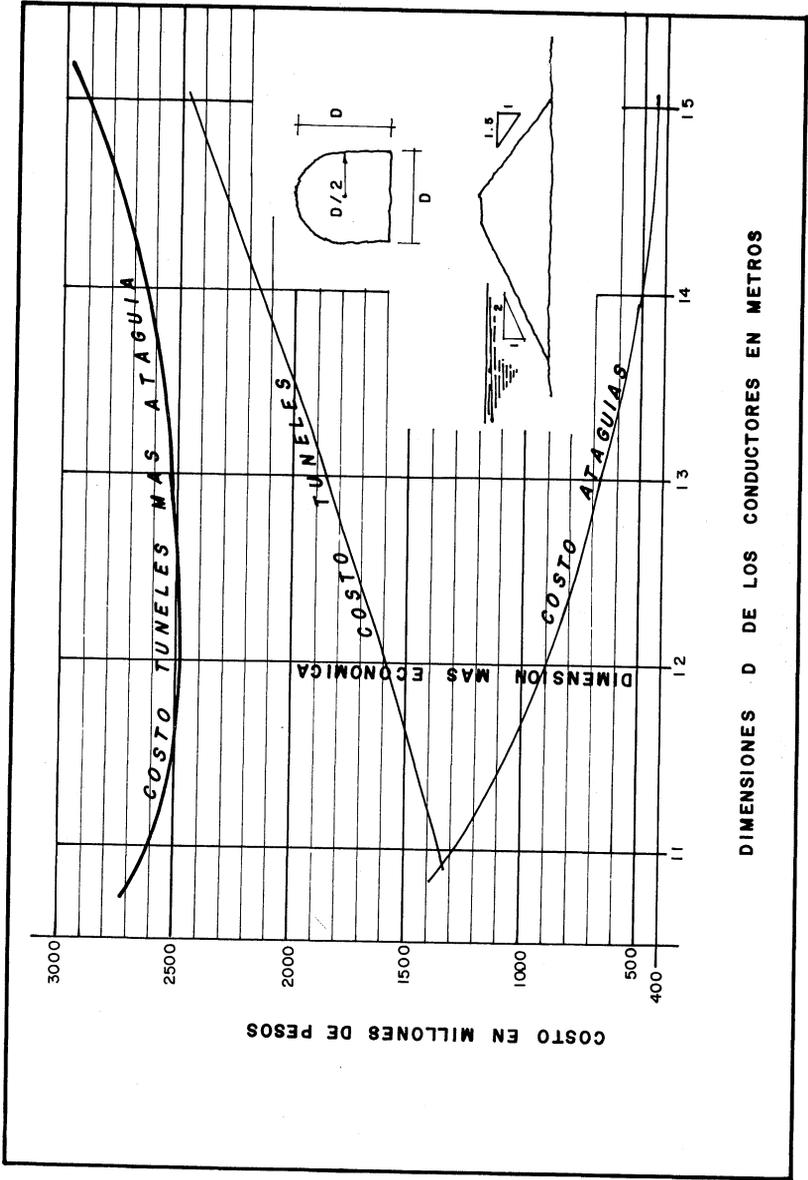
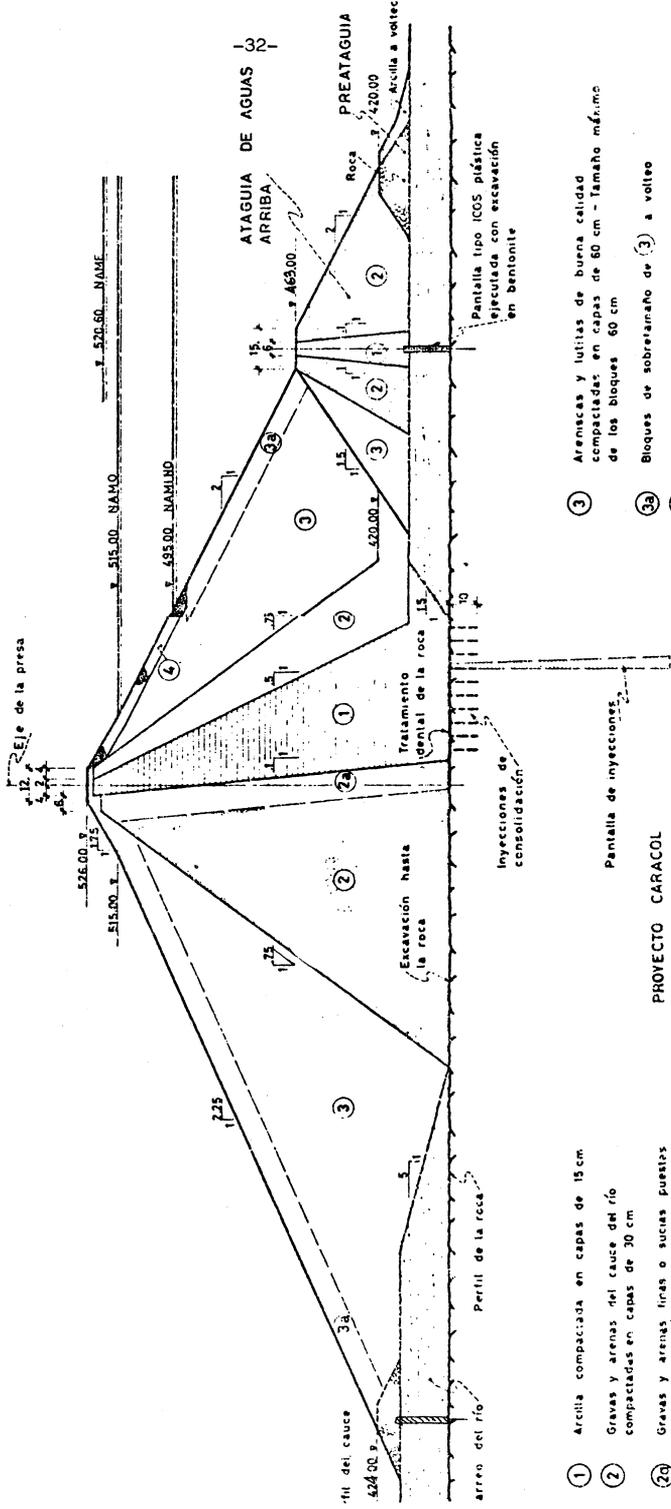


FIGURA 16

CORTE TIPICA



- ① Arcilla compactada en capas de 15 cm
- ② Gravas y arenas del cauce del río compactadas en capas de 30 cm
- ②a Gravas y arenas finas o sucias puestas en obra con ②

- ③ Arenas y lutitas de buena calidad compactadas en capas de 80 cm - tamaño máximo de los bloques 60 cm
- ③a Bloques de sobretamaño de ③ a volteo
- ④ Bloques selectos de caliza o granito para protección del talud

PROYECTO CARACOL
CORTINA DE MATERIALES GRADUADOS

FIGURA 17

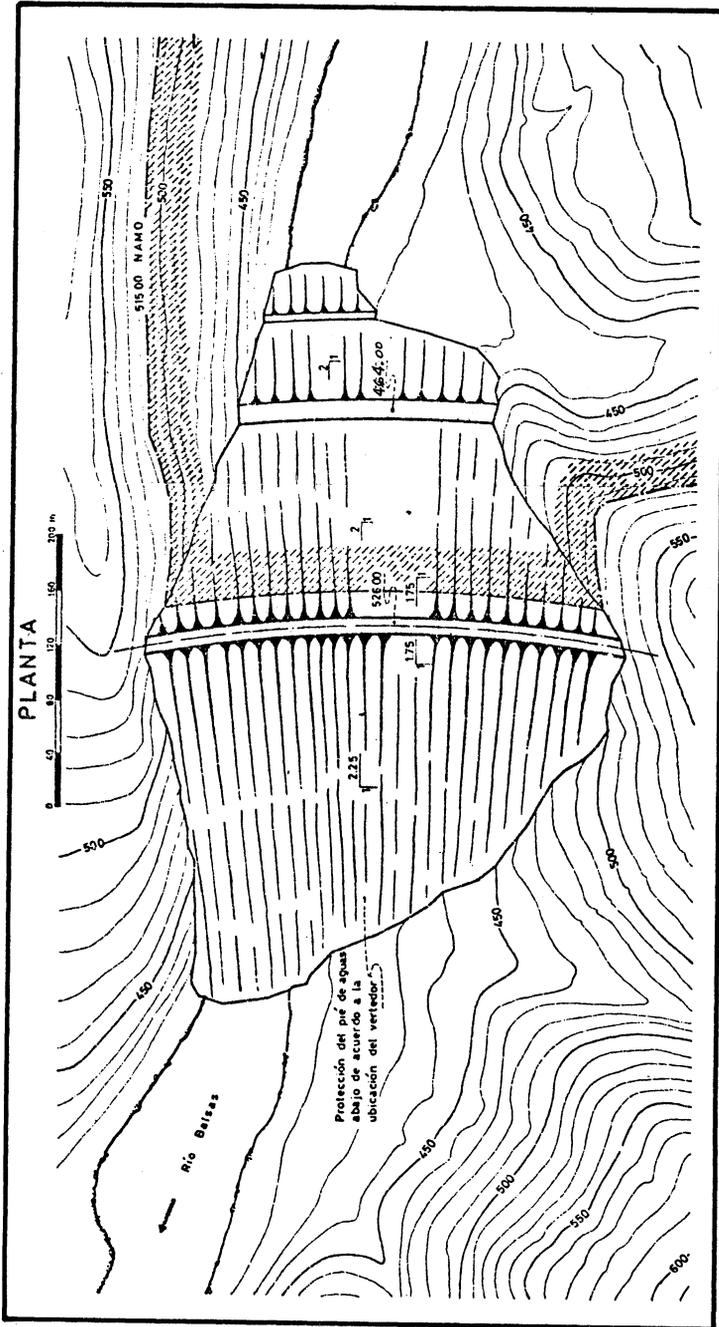


FIGURA 17-Bis

D.- C O N C L U S I O N E S.

Para hacer frente a la avenida de frecuencia 50 años, es factible el empleo de dos conductos en túnel de sección por tal de 12 x 12 m., y dos ataguías incorporadas a la cortina, con su corona a la elevación 424 y 463, la aguas abajo y -- aguas arriba respectivamente.

Si el cierre del río se realiza a fines de febrero ó a principios de marzo el material de la ataguía aguas arriba puede colocarse en el tiempo que resta del estiaje y así -- quedar el recinto entre las dos ataguías protegido de cualquier eventualidad que se presente, el material de la ataguía que puede colocarse en promedio es de 250 000 m³ / mes.

Como ejercicio para que los alumnos practiquen la hidráulica en conductos abiertos y a presión, deberán calcular -- las curvas de descarga de los túneles trabajando aisladamente cada uno y descargando ambos a la vez.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Obras Hidráulicas.- Francisco Torres Herrera.

- 2.- Introducción to hydrology.- Viessman, Knapp, Lewis and Harbaugh.

- 3.- Frequency and Risk Analyses in Hydrology.- G.W.Kite. (Water Resources Publications).

- 4.- Sistema Hidroeléctrico del río Balsas; Proyecto El Caracol.- Electroconsult, (Comisión Federal de Electricidad)

- 5.- Revisión de la obra de desvío del proyecto hidroeléctrico - "Ing.Carlos Ramírez Ulloa".-Héctor García Gutiérrez (Comisión Federal de Electricidad)

Esta obra se terminó de imprimir
en julio de 1992
en los talleres del Departamento de
Publicaciones y Difusión
de la Facultad de Ingeniería
Ciudad Universitaria, México, D. F.,
C.P. 04510

Secretaría de Servicios Académicos

El tiraje consta de 300 ejemplares
más sobrantes de reposición