

297  
70



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANTEPROYECTO DE LA PLANTA HIDROELECTRICA  
"SAN JUAN TETELCINGO" EN EL RIO BALSAS.

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a ;

FERMIN ISLAS ISLAS

México, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Al Pasante señor FERMIN ISLAS ISLAS,  
P r e s e n t e .

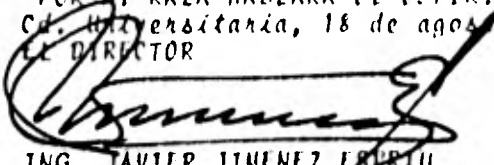
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Héctor García Gutiérrez, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

ANTEPROYECTO DE LA PLANTA HIDROELECTRICA "SAN JUAN  
TETELCINGO" EN EL RIO BALSAS

- I. Generalidades.
- II. Hidrología.
- III. Geología.
- IV. CORTINA.
- V. Obra de desvío.
- VI. Obra de excedencias.
- VII. Planta hidroeléctrica.
- VIII. Antepresupuesto.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 18 de agosto de 1980  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ERTU

ANTEPROYECTO DE LA PLANTA HIDROELECTRICA  
SAN JUAN TETELCINGO EN EL RIO BALSAS

- INTRODUCCION	5
I.- GENERALIDADES:	8
a) Antecedentes	
b) Objeto	
c) Localización de vías de acceso al proyecto	
d) Descripción de la cuenca	
II.- HIDROLOGIA:	22
a) Estaciones hidrométricas	
b) Avenida de diseño de la obra de excedencias	
c) Avenida máxima de desvío	
d) Tránsito de la avenida de diseño por el vaso	
III.- GEOLOGIA:	33
a) Geología regional	
b) Geología de la zona del proyecto	
c) Bancos de materiales	
IV.- CORTINA:	45
a) Generalidades	
b) Localización	
c) Clasificación	
d) Análisis de estabilidad	

V.- OBRA DE DESVIO:	70
a) Generalidades	
b) Localización	
c) Diseño de las estructuras	
VI.- OBRA DE EXCEDENCIAS:	85
a) Generalidades	
b) Localización	
c) Diseño de las estructuras	
VII.- PLANTA HIDROELECTRICA:	116
a) Generalidades	
b) Localización	
c) Diseño de la obra de toma y conducción a presión	
d) Dimensionamiento de la casa de máquinas y desfoque (capacidad instalada)	
VIII.- ANTEPRESUPUESTO:	148
- CONCLUSIONES	172
- BIBLIOGRAFIA	175
- PLANO GENERAL	177

A Ma.Teresa, mi esposa, por el apoyo y confianza que me ha -  
brindado.

A Yunhué y Julián, mis hijos, con todo mi amor de padre.

A mi madre, hermanos y abuela con mi agradecimiento.

A mis compañeros y amigos como un reconocimiento a su contri-  
bución en mi formación personal y profesional.

#### - INTRODUCCION

El notable crecimiento de necesidades de dotación de energía-  
eléctrica a los diversos sectores de población del país, así-  
como el encarecimiento de combustibles como generadores de  
energía eléctrica, han llevado a la intensificación de estu-  
dios y proyectos hidroeléctricos en las diversas cuencas hi-  
drográficas.

La cuenca del Río Balsas, con su área del 6% aproximadamente-  
del territorio nacional, representa una de las de mayor poten-  
cial hidroeléctrico por la diferencia de elevaciones y longi-  
tud total del cauce principal; por ello, se contempla aprove-  
char al máximo este recurso natural determinando en cada caso  
en estudio la mejor alternativa de funcionamiento dentro de -

un sistema hidroeléctrico.

El objeto de este anteproyecto es determinar las condiciones de funcionamiento de la presa de San Juan Tetelcingo con planta hidroeléctrica al pie de la cortina considerando las características geográficas y climatológicas de la región de Mezcala, Gro.

En la primera parte se describe la cuenca con los principales ríos que aportan su caudal al Balsas y se da el panorama general de alternativas en estudio así como la razón de la alternativa número tres y resultado de los estudios hidrológicos de la zona en estudio para poder determinar el gasto máximo de desvío.

Posteriormente se describe la información geológica regional y de la zona con el propósito de ubicar los bancos de materiales que no encarezcan el costo de la obra, y, principalmente, definir la ubicación de la cortina y sus condiciones de estabilidad.

En los capítulos de Obra de Desvío y Obra de Excedencias, se explica el panorama general de las obras así como el diseño -

hidráulico de las estructuras que las conforman de acuerdo a los métodos usuales y prácticos recomendados a través de estudios y experiencias anteriores.

La planta hidroeléctrica se diseña a partir de los datos obtenidos en los capítulos anteriores en cuanto a condiciones de niveles del agua en el embalse, con el objeto de determinar la capacidad requerida, que se obtiene después de aplicar todos y cada uno de los factores que intervienen, diseñando las dimensiones de las turbinas y estructuras adyacentes con lo que se tienen entonces todos los datos para poder calcular el antepresupuesto de la obra con los índices que la Comisión Federal de Electricidad tiene registrados para obras de esta naturaleza, y, finalmente, en las conclusiones se confirma la factibilidad técnica y económica de este anteproyecto.

Deseo agradecer al Ing. Héctor García Gutiérrez su dirección para la elaboración de esta tesis así como el haberme facilitado el acceso a la información técnica recopilada por la Comisión Federal de Electricidad que ha sido herramienta primordial para llevar a cabo este documento.

Junio, 1982



## I GENERALIDADES

### a) ANTECEDENTES:

La C.F.E. inició estudios en la cuenca del río Balsas en 1938, con el objeto de conocer su potencialidad hidroeléctrica y poder realizar una planeación integral de ella.

Inicialmente se estudiaron las subcuencas de los ríos Tilos, Valle de Bravo, San José Malacatepec, Ixtapan del Oro, Zitácuaro y Tuxpan, con cuyas aguas se operan las plantas del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

A partir de 1951 se incrementaron los estudios destinados a obtener la mayor información posible que comprendiera desde los principales ríos tributarios en las partes altas hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Con los datos que se obtuvieron hasta 1956, C.F.E. elaboró los estudios básicos para determinar el aprovechamiento más conveniente que suministrara energía a la zona central del país y se construyó primero la planta hidroeléctrica "El Infiernillo" que produciría mayor cantidad de energía a

bajo costo y empezó a funcionar en noviembre de 1964 con -- una capacidad de 672,000 KW constando de 4 unidades que ten drían un consumo máximo de 775.6 (m<sup>3</sup>/seg.) y desfogue a una elevación de 57.70 (m).

Buscando aprovechar al máximo este recurso natural y dado - el desnivel existente entre la planta hidroeléctrica El Infiernillo y el mar en una distancia de 68 km, se contruyó - la planta hidroeléctrica La Villita logrando obtener una ca pacidad de 300,000 KW.

A partir de 1960 se iniciaron los estudios tendientes a de finir aprovechamientos sobre el cauce principal del Río Bal sas localizados aguas arriba de la Planta El Infiernillo, - resultando el proyecto El Caracol como el de mayor poten--- cial hidroeléctrico y menor costo, razón por la que se en-- cuentra actualmente en proceso de construcción.

Una vez terminados los trabajos de recopilación de informa- ción de la cuenca del Río Balsas, levantamientos fotogramé- tricos, nivelaciones, reconocimientos geológicos regionales y de detalle de los sitios posibles de aprovechamiento,

información hidrométrica, climatológica y reconocimientos terrestres y aéreos, se definieron cuatro alternativas para aprovechar el cauce del Río Balsas aguas arriba de El Caracol:

1. San Juan Tetelcingo, Huixastla y Chiltepec
2. San Juan Tetelcingo y Ostutla
3. San Juan Tetelcingo y Huixastla
4. San Juan Tetelcingo Alto

La primera alternativa que en apariencia es la que mayor aprovechamiento implica, trae como consecuencia caídas bajas para producción de energía y dadas las condiciones de la zona tiene un tiempo corto de vida útil por los azolves.

La segunda alternativa implicaba una cortina alta y los estudios geológicos indican que solamente construyéndose aguas arriba de la desembocadura del Río Tepecuacuilco sería factible. De haber optado por esta alternativa se dejarían de regular las aguas del Río Tepecuacuilco en perjuicio del proyecto El Caracol.

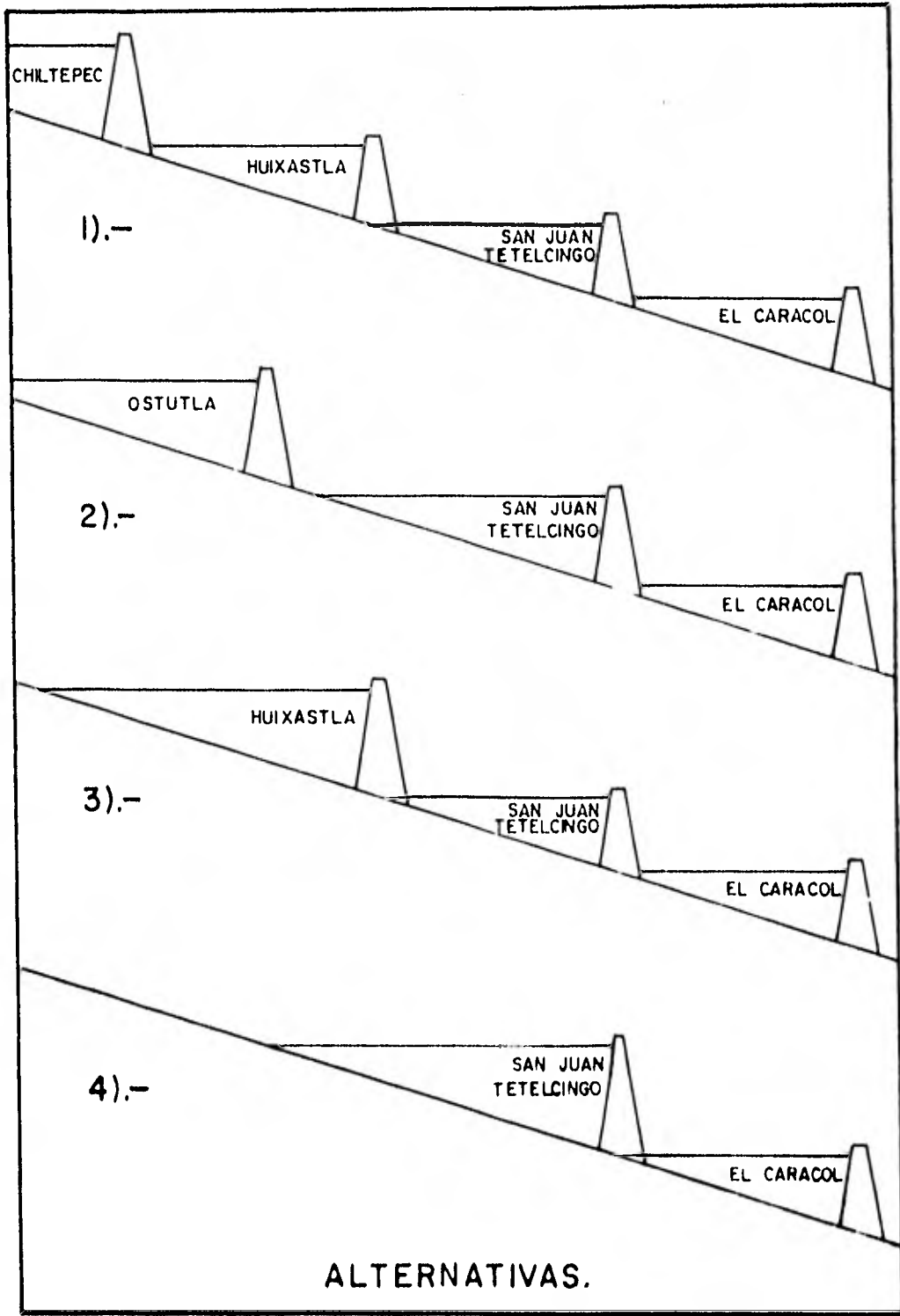
La tercera alternativa incluye estudios integrales de la

afluencia de los ríos que desembocan en los sitios Huixastla y San Juan Tetelcingo de manera que sea posible regular los escurrimientos aguas abajo sin perjuicio de ninguna de las otras presas. En esta misma alternativa se incrementa la capacidad del vaso Huixastla para controlar mejor todos los arrastres.

La cuarta alternativa suponía una cortina bastante alta en San Juan Tetelcingo con lo que se inundaría una basta zona que puede tener beneficio para explotar otros recursos naturales y se inundaría también una parte de la carretera México-Acapulco; y la diferencia en capacidad general de energía no lo justifica.

b) OBJETO:

Por considerarse al Río Balsas como uno de los más importantes en el país dado su cuantiosa potencialidad hidroeléctrica y a causa de la diferencia de niveles a través de toda su longitud y que en su recorrido cruza zonas de cuantiosos recursos minerales, forestales, agrícolas y ganaderos, se considera una necesidad inminente el explotar su recurso natural en beneficio de la sociedad.



ALTERNATIVAS.

Se ha demostrado que al llevar a cabo un proyecto de este tipo la región misma se beneficia por las vías de comunicación y resultados de los estudios preliminares para una mejor explotación económica de la zona.

Por lo anterior se han estudiado diferentes alternativas buscando que los volúmenes de escurrimiento en el Río Balsas sean provechados al máximo sin deterioro de las zonas aguas arriba de la cortina.

Las alternativas mencionadas en los antecedentes llevan a la conclusión de que la tercera de ellas, San Juan Tetelcingo y Huixastla, es la que reúne las condiciones y características para la construcción de una planta hidroeléctrica. En esta alternativa se presentó la mayor relación beneficio-costos. De los mismos estudios se concluye que se hace necesario construir aguas abajo del Sitio Caracol otro proyecto hidroeléctrico denominado Tepoa para que las cuatro plantas, Huixastla, San Juan Tetelcingo, El Caracol y Tepoa formen un sistema hidroeléctrico escalonado que opere en forma automática en una subestación ubicada en la propia región de Mezcala y de ahí se distribuya la energía a su destino fi-

nal.

Un sistema de aprovechamiento, independientemente de sus dimensiones y capacidad, deberá estar dotado de las instalaciones necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos.

Los requisitos de diseño implican considerar en el estudio una serie de elementos previos para establecer los elementos definitivos de diseño.

Para estudiar correctamente una presa y su vaso se toman en cuenta las posibles limitantes que puedan afectar la salud pública o en el proyecto mismo los azolves, arrastres, condiciones climatológicas, erosiones, etc. Los arrastres y azolves pueden reducir aceleradamente, en un caso extremo, el volumen del vaso y anular su capacidad.

Un aprovechamiento hidráulico puede ser lo mismo para dotación de agua potable, generación de energía eléctrica, riego, control de avenidas o como centros de recreo,

En el caso de San Juan Tetelcingo el objetivo es la genera-

ción de energía eléctrica para abastecer de ella principalmente a la zona central del país; por esto se determinó el régimen de la corriente para conocer los volúmenes disponibles que pueden satisfacer la demanda, considerando las pérdidas por infiltración, evaporación, volumen de azolves, y, una vez determinada la capacidad del vaso proceder al dimensionamiento de las estructuras que forman el proyecto integral.

c) LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

El eje elegido para la cortina del proyecto hidroeléctrico San Juan Tetelcingo sobre el Río Balsas tiene como coordenadas en sus dos extremos de corona los siguientes  $99^{\circ}33'58''44''$ ,  $N17^{\circ}55'13''$  y  $W99^{\circ}34'05''$ ,  $N17^{\circ}55'46''$ .

El acceso a la región es por la vía terrestre y se efectúa siguiendo por la carretera México-Acapulco hasta llegar al kilómetro 221, el entronque con la población de Mezcala se encuentra en el kilómetro 219; a partir de este lugar se construye un camino de terracería con una longitud aproximada de 2.7 a 3.0 kilómetros para llegar al campamento.



Como se puede ver, la localización es bastante sencilla para llegar al sitio y la construcción del camino de acceso será bastante rápida por lo que su costo es definitivamente bajo y la comunicación entre el campamento y las poblaciones vecinas se hará prácticamente utilizando la carretera México-Acapulco.

d) DESCRIPCION DE LA CUENCA:

La cuenca del Río Balsas está comprendida entre los meridianos  $103^{\circ}15'$  y  $97^{\circ}30'$  de longitud oeste y los paralelos  $17^{\circ}00'$  y  $20^{\circ}00'$  de latitud norte. Cubre una área de drenaje de  $108,000 \text{ (km}^2\text{)}$ , descontando  $3,300 \text{ (km}^2\text{)}$  de la cuenca del Río Atoyac hasta la presa Manuel Avila Camacho y representa aproximadamente el 6% del área total de la República Mexicana.

La cuenca está limitada por la cordillera Neovolcánica, La Sierra Madre Oriental, La Sierra Madre del Sur, abarcando áreas considerables de los estados de Oaxaca, Puebla, México, Morelos, Michoacán y Guerrero, principalmente.

Existe una gran variedad de climas debido a la posición geo-

gráfica y variaciones de altitud, los climas van desde el húmedo y frío en las regiones donde nacen los ríos, hasta el clima seco y caliente de la zona oaxaqueña pasando por regiones de clima caliente y húmedo cerca de la desembocadura al mar.

El sistema hidrográfico se encuentra formado por los siguientes ríos, considerados como principales:

RIO ATOYAC Se forma en el Valle de Puebla por los ríos San Martín y Zahuapan. El Río San Martín baja del Iztaccihuatl y recibe escurrimientos del Popocatepetl; el Zahuapan descende de La Malinche. Las dos corrientes juntas reciben el nombre de Río Atoyac, el cual sigue su curso hacia el sureste y luego al sur, después al suroeste y sigue hasta su confluencia con el:

RIO MIXTECO La corriente de este río se genera en la vertiente de la Sierra Madre del Sur precisamente en la zona conocida con el nombre de La Mixteca. Se forma por la unión de los ríos Mixtepec y Silacoyapan que juntos toman el nombre de Río Mixteco hasta su confluencia con el Río Atoyac en

las cercanías del pueblo de San Juan del Río.

Juntos, los Ríos Atoyac y Mixteco siguen hacia el SW con el nombre de Río Atoyac ó Río de Coacalco hasta que por su márgen derecha reciben al:

RIO NEXAPA Formado por la unión de los Ríos Alseseca y Apal que llevan los escurrimientos y deshielos del Popocatepetl descendiendo hacia Atlixco, Pue., y con dirección sur confluye con el Río Coacalco en el lugar denominado Paso Hondo a 17 (km) del poblado de Coetzala, Pue.

Aproximadamente a 10 (km) aguas abajo de esta confluencia y por la márgen izquierda, cerca del rancho de Chila de la Junta, Pue., entra el:

RIO TLAPANECO Que nace en la vertiente norte de la Sierra Madre del Sur y se forma por la unión de los Ríos Zapotitlán, Atlamajac y Tecaya, circulando de sur a norte hasta que confluye con el Río Coacalco. El gasto importante de esta corriente ocurre durante la estación seca. De ésta última confluencia hacia aguas abajo la corriente recibe el nom

bre de Río Mezcala ó Balsas.

RIO AMACUZAC (Ó RIO ATENANGO) Este afluente se forma en el Estado de México, al sur de la Sierra de Temascaltepec con el nombre de Río San Jerónimo, se pierde en la caverna caliza de Cacahuamilpa y después de gran recorrido brota en el Estado de Morelos al que drena casi en su totalidad. Al pasar la Sierra de Buenavista sigue su curso de norte a sur hasta confluir con el Río Balsas.

De esta última confluencia en adelante, el Río Balsas sigue en Dirección oeste y un poco antes de llegar a la población de Mezcala recibe las aguas del Río Tepecuacuilco, aguas abajo de la población de San Juan Tetelcingo.

El Río Balsas continúa con ese nombre recibiendo la aportación de arroyos menores hasta llegar a la región de Ciudad Altamirano, donde se le une el:

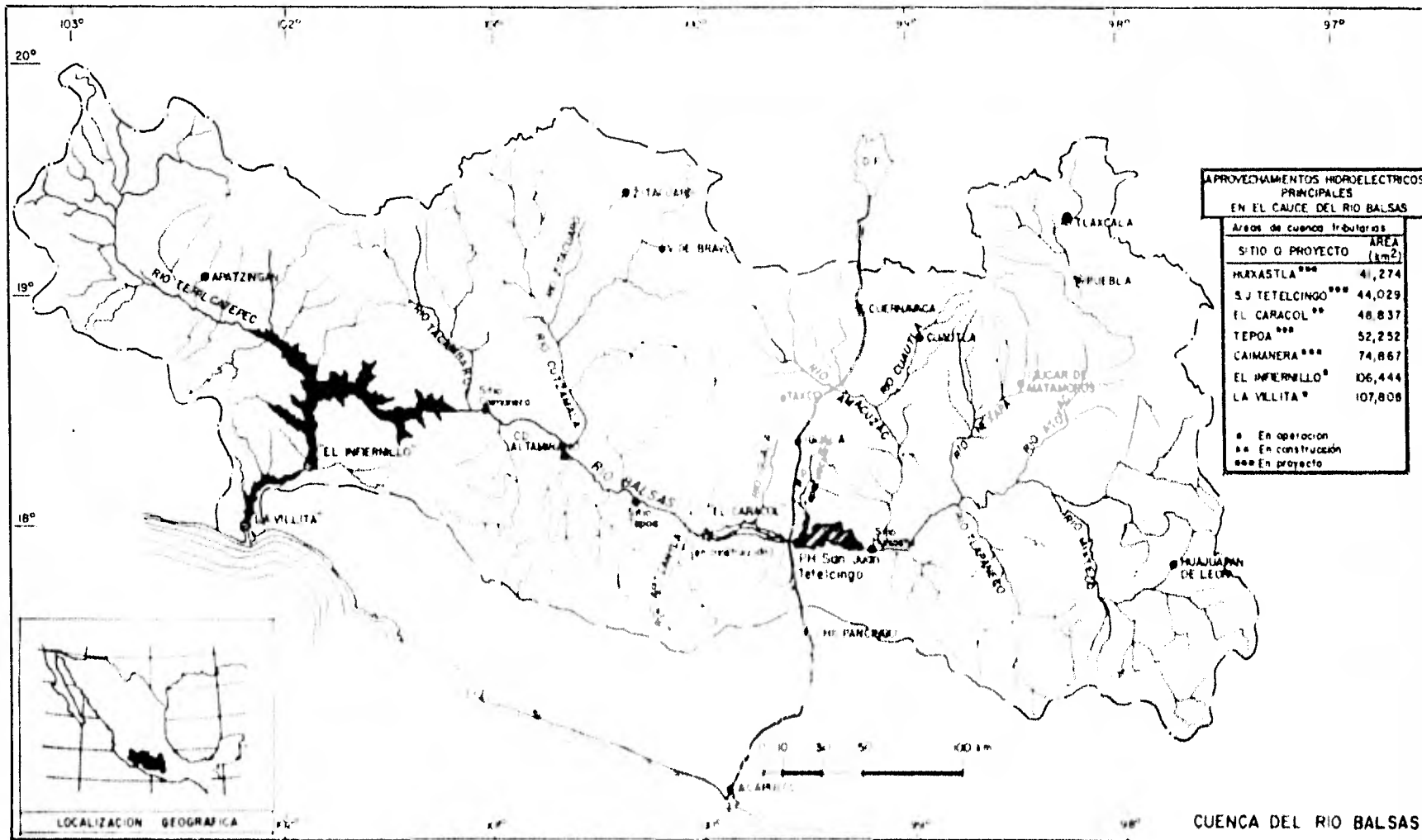
RIO CUTZAMALA Compuesto por las aguas de los ríos Temascaltepec y Zinapécuaro que tienen sus orígenes en las poblaciones de Temascaltepec y la zona de Zitácuaro-Ciudad Hidal

go respectivamente. La aportación de este río pasa directamente a incrementar el volúmen aprovechable en la presa del Infiernillo.

RIO TACAMBARO Este río es el último de importancia que aporta aguas al río Balsas y debido a su ubicación en el Estado de Michoacán, nace cerca de la Población de Tacámbaro, su caudal es constante durante la mayor parte del año.

Con todo esto la corriente principal del Río Balsas desde su nacimiento en la confluencia de los Ríos Mixteco y Atoyac hasta desembocar en el Océano Pacífico recorre una longitud total de 720 kilómetros aproximadamente.

La región considerada, cuenca del Río Balsas, está limitada al norte por el eje volcánico desde el Cerro de la Malinche hasta el límite de los estados de Jalisco y Michoacán; al este se encuentra la Sierra Madre de Oaxaca y al sur y oeste la Sierra Madre del Sur ocupando la llamada depresión austral o del Balsas - caracterizada por ser una región montañosa, de relieves quebradizos, pendientes pronunciadas y sólo pequeñas superficies planas. Lo anterior ocasiona que solo un pequeño porcentaje de la cuenca sea de uso agrícola y consecuentemente el mayor potencial sea forestal, minero y ganadero.



**APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS  
PRINCIPALES  
EN EL CAUCE DEL RIO BALSAS**

Areas de cuenca tributarias	
SITIO O PROYECTO	AREA (km <sup>2</sup> )
MUXASTLA ***	41,274
S J TETELCINGO ***	44,029
EL CARACOL **	48,837
TEPOA ***	52,252
CAIMANERA ***	74,867
EL INVERNILLO *	106,444
LA VILLITA *	107,808

\* En operación  
 \*\* En construcción  
 \*\*\* En proyecto



CUENCA DEL RIO BALSAS

## II HIDROLOGIA

### a) Estaciones Hidrométricas.

La cuenca de captación correspondiente a los sitios en estudio es altamente montañosa y con escasas áreas susceptibles de aprovechamiento en proyectos de irrigación; la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos no tiene -- planeados entre sus proyectos ninguno para crear importantes superficies de explotación en esta zona.

La Comisión Federal de Electricidad ha estudiado la potencialidad hidroeléctrica de la región instalando estaciones hidrométricas en Mezcala, San Juan tetelcingo y recientemente en Papalutla así como la estación Ixcamilpa sobre el río Tlapaneco, cerca de su confluencia con el río Nexapa, con cuyos registros se cuenta para definir las características hidrológicas de la cuenca en estudio con más detalle.

Por ser de importancia en este proyecto el resultado obtenido en la estación San Juan Tetelcingo, es el que se toma como base tomando en cuenta que su ubicación, muy cercana a la población del mismo nombre afora una área de 39,500

kilómetros cuadrados aproximadamente. Su estructura para efecto de aforos es de cable y canastilla con un claro de 1.40 m, el cable se encuentra anclado en la margen derecha y se apoya en la margen izquierda en una torre de concreto. Los niveles del agua se determinan mediante el uso de un limnógrafo y escala de 7.50 m de longitud seccionada en varios tramos; las lecturas se toman diariamente a las 0,6,12 y 18 horas empleando el método de sección y velocidad para calcular los escurrimientos.

La estación, junto con la de Mezcala, tienen registros iniciados desde 1951 y 1950 respectivamente por lo que se cuenta con un confiable registro estadístico para efecto de los cálculos de diseño.

b) Avenida de diseño de la obra de excedencias.

La avenida de diseño que puede presentarse en cada sitio de aprovechamiento, se determinó utilizando el método " Precipitación Máxima Probable " (PMP).

Primeramente se llevó a cabo un estudio hidrológico para determinar las avenidas máximas, que no concuerdan con --



los resultados obtenidos en el estudio hidrológico realizado para el P.H. Caracol, aún cuando se consideraron las mismas hipótesis básicas. Por lo tanto, se efectuó un nuevo estudio por el método PMP trasponiendo y maximizando tormentas ocurridas en otras zonas, en el que resultaron avenidas más congruentes, que son las que se tomaron para llevar a cabo las simulaciones de tránsito.

Descargas máximas por los vertedores.

Con objeto de tener una idea de la capacidad que deben tener los vertedores de las diferentes alternativas estudiadas trabajando en cascada, sobre el Río Balsas, se analizó la Alternativa No. 3, por ser la más viable a construirse, tomando los hidrogramas de las avenidas máximas defasadas 4 días, en los sitios Huixtla y San Juan Tetelcingo por la ocurrencia de las tormentas BEULAH-BEBE O BEBE BEULAH.

En este estudio se considera la incidencia de dos tormentas en sucesión; una de ellas abarca gran extensión y la otra es intensa, pero concentrada en áreas relativamente pequeñas.

Transitando primero los hidrogramas con la ocurrencia antes mencionada por el vertedor de Huixastla, resultó que la descarga mayor correspondió al hidrograma de la tormenta BEBE-BEULAH con un pico máximo de  $6976 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

A este hidrograma de salida se le sumó el hidrograma de entrada, con ocurrencia BEBE-BEULAH, de San Juan Tetelcingo defasada 4 días, obteniéndose un nuevo hidrograma para San Juan Tetelcingo, el que a su vez, se transitó por el vertedor propuesto en el Anteproyecto, resultando un pico máximo en la descarga del orden  $7848 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

c) Avenida máxima de desvío.

Para la determinación de la capacidad de los túneles de desvío y su dimensionamiento así como las alturas de atagufas se utilizaron los datos en la estación hidrométrica San -- Juan Tetelcingo tomando en cuenta que para un período de retorno de 25 años se tiene un valor bastante confiable ya - que su variación para 20, 25 ó 30 años de retorno se incrementa muy poco.

Con este criterio se utilizó el método de Gumbel que a par-

tir de los gastos máximos anuales registra estadísticamente una función de probabilidades y al aplicar el método o criterio de Nash es posible ajustar la curva con lo que el método se vuelve lo suficientemente confiable para determinar un -- gasto de este tipo; el gasto máximo que se utiliza a partir de esto resulta de  $2,470 \text{ m}^3/\text{seg.}$  según se muestra a continuación:

$m_i$	$q_i$	$\tau_m$	$\frac{\tau_m}{\tau_{m-1}}$
1	2226	27.00	1.038
2	2057	13.50	1.080
3	1973	9.00	1.125
4	1956	6.75	1.174
5	1871	5.40	1.227
6	1832	4.50	1.286
7	1768	3.86	1.350
8	1607	3.38	1.421
9	1415	3.00	1.500
10	1323	2.70	1.588
11	1315	2.45	1.688
12	1306	2.25	1.800
13	1287	2.08	1.929
14	1256	1.93	2.077
15	1250	1.80	2.250
16	1243	1.69	2.455
17	1180	1.59	2.700
18	1158	1.50	3.000
19	1156	1.42	3.375
20	993	1.35	3.857
21	956	1.29	4.500
22	951	1.23	5.400
23	865	1.17	6.750
24	857	1.13	9.000
25	765	1.08	13.500
26	549	1.04	27.000
35,115			

$\chi_i$	$q_i^2 \times 10^{-4}$	$\chi_i^2$	$\chi_i q_i$
- 3.277	495.51	10.739	- 7,294.7
- 2.564	423.12	6.576	- 5,275.1
- 2.139	389.27	4.575	- 4,220.1
- 1.830	382.76	3.351	- 3,581.1
- 1.586	350.06	2.515	- 2,966.9
- 1.381	335.62	1.907	- 2,530.1
- 1.204	312.51	1.449	- 2,127.8
- 1.046	258.24	1.094	- 1,680.7
- 0.903	200.22	0.815	- 1,277.3
- 0.771	175.03	0.594	- 1,019.8
- 0.648	172.92	0.420	- 851.7
- 0.531	170.57	0.282	- 694.0
- 0.420	165.64	0.177	- 541.1
- 0.313	157.75	0.098	- 393.8
- 0.210	156.25	0.044	- 262.0
- 0.108	154.58	0.012	- 133.8
- 0.007	139.24	0.000	- 8.0
+ 0.094	134.10	0.009	+ 108.9
+ 0.196	133.63	0.038	+ 226.5
+ 0.300	98.60	0.090	+ 297.9
+ 0.408	91.30	0.167	+ 390.0
+ 0.523	90.44	0.273	+ 497.0
+ 0.647	74.82	0.418	+ 559.5
+ 0.787	73.44	0.620	+ 674.6
+ 0.957	58.52	0.915	+ 731.8
+ 1.193	30.10	1.422	+ 654.3
-13.833	5,224.24	38.600	-30,717.5

Donde:

$m$  = Número de orden

$q$  = Gastos máximos anuales, en  $m^3/\text{seg}$ .

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

Entonces:

$$\bar{q}_i = \frac{35115}{26} = 1350.58$$

$$\bar{x}_i = \frac{-13.833}{26} = -0.532$$

$$c = \frac{\sum (X_i q_i) - n \bar{x} \bar{q}}{\sum X_i^2 - n \bar{x}^2} = \frac{(-30,717.5) - 26(-0.532)(1,350.58)}{38.6 - 26(-0.532)^2} = \frac{-12,036.554}{31.241} = -385.276$$

$$a = \bar{q} - c \bar{x} = 1350.58 - (-385.276)(-0.532) = + 1,145.593$$

$$Q_{\text{máx.}} = (a + c \text{Ln Ln } \frac{T}{T-1}) + \Delta Q$$

Para obtener intervalo de confianza,  $(\Delta Q)$  se determina la - varianza del error:

$$S_e^2 = \frac{(\sum X_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum q_i^2 - n \bar{q}^2) - (\sum X_i q_i - n \bar{x} \bar{q})^2}{(n-2)(\sum X_i^2 - n \bar{x}^2)}$$

$$S_e^2 = \frac{(31.24)(4'818,079.84) - (-12,036.55)^2}{(24)(31.24)} = \frac{150'516,814.2 - 144'878,535.9}{749.76} = 7520.11$$

$$S_e = 86.72$$

y el intervalo de confianza es:

$$\Delta q_i = \pm t_{\alpha/2} S_e \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2}}$$

donde:

$q_i$  = amplitud del intervalo de confianza  
 = probabilidad de que  $q(T_m)$  se salga del intervalo de confianza

$t_{\alpha/2}$  = Se obtiene de la tabla III.2 de Ayudas de diseño con  $\mathcal{V} = n - 2$  grados de libertad

$$X_0 = \text{LnLn} \frac{T_m}{T_m - 1}$$

$T_m$  = Período de retorno para el que se desea conocer  $q(T_m)$

De Tabla III-2 del Manual de Diseño de Obras Civiles A.1.10;  
 con  $\mathcal{V} = 26 - 2 = 24$  y  $\alpha = 0.05$ ;

$$t_{\alpha/2} = 2.064$$

$$\Delta q_i = \pm (2.064)(86.72) \sqrt{\frac{1}{26} + \frac{[X_0 - (-0.532)]^2}{38.6 - (26)(-0.532)^2}}$$

T	Q	$\Delta Q$	$Q_{\text{máx.}}$
2	1,286.80	35.50	1322
3	1,493.39	37.06	1530
4	1,652.61	41.89	1695
5	1,723.48	46.83	1770
6	1,801.33	51.34	1853
7	1,865.99	55.39	1921
8	1,921.31	59.01	1980
9	1,969.66	62.29	2032
10	2,012.61	65.27	2078
11	2,051.23	68.00	2119
12	2,086.33	70.51	2157
13	2,118.49	72.84	2191
14	2,148.17	75.02	2223
15	2,175.73	77.05	2253
20	2,289.94	85.61	2376
25	2,377.91	92.32	2470
30	2,449.48	97.85	2547
40	2,561.96	106.63	2668
50	2,648.92	113.48	2762
75	2,806.43	126.00	2932
100	2,917.92	134.92	3053
250	3,272.11	163.53	3436
500	3,539.55	185.30	3725
1000	3,806.79	207.15	4014



d) Transito de la avenida de diseño por el vaso.

Para el cálculo del tránsito de la avenida de diseño por el vaso se utilizó el método modificado de L.G.Puls. que se -- calcula resolviendo la siguiente ecuación de continuidad:

$$I + \frac{S_1}{T} - \frac{Q_1}{2} = \frac{S_2}{T} + \frac{Q_2}{2}$$

Para utilizar éste método se obtiene primeramente la curva gastos de descarga-almacenamiento del caso en los tiempos que se consideran tomando en cuenta los almacenamientos -- del vaso para diferentes elevaciones de la superficie del agua; el cálculo y gráficas obtenidas se muestran en el capítulo VI por ser necesarios los datos de esta obra para el cálculo de las descargas resultando una avenida de diseño de 7,848 m<sup>3</sup>/seg.

### III GEOLOGIA

#### a) Geología Regional

Los trabajos geológicos tienen como finalidad conocer -- las condiciones geológicas - estratigráficas y estructurales de la cuenca a efecto de seleccionar los sitios y ejes de las boquillas más adecuados.

En el área en general afloran rocas tanto sedimentarias como ígneas y metamórficas cuya edad va desde el paleozóico hasta el reciente. Las rocas varían en extensión tanto horizontal como verticalmente, además se ha observado que una misma formación tiene diferentes características litológicas y granulométricas de un sitio a otro.

La formación Acatlán, del paleozóico inferior contiene - rocas metasedimentarias de origen marino con esquistos, cuarcitas, filitas, lutitas, filitizadas y areniscas silicificadas que se encuentran intensamente plegadas y -- contienen cuarzo en las pequeñas fracturas y planos de - foliación.

Del período mesozóico inferior se encuentran la Forma---  
ción Morelos, y los Miembros Arrecifal, Chiltepec y Supe  
rior conteniendo la primera a los tres miembros siguien  
tes. El miembro Arrecifal se compone de calizas gris --  
claro en capas de 1 a 3 m; el Miembro Chiltepec contiene  
alternadamente areniscas, lutitas, lodolitas, conglomera  
dos de calizas, cuarzo y residuos volcánicos estratifica  
dos, todo esto en capas menores de 1 m. El Miembro Supe  
rior esta compuesto de calizas microcristalinas, calcare  
nitas y dolomitas con nódulos de perdenal negro en capas  
menores de 2 m.

Período mesozóico superior: de este período provienen -  
las formaciones Cautla y Mezcala de rocas sedimentarias  
y calizas en capas bastante tensas. En el sitio Huixas  
tla las capas llegan a ser mayores de 100 m. añadiéndose  
les fragmentos de yesos, lutitas y calizas.

La formación Balsas se remonta al período Cenozóico y --  
contiene lavas andesíticas y brechas volcanoclásticas --  
muy compactas.

El período Oligoceno-Mioceno se caracteriza por la formación de material ígneo-intrusivo de composición mineralógica de magma de tipo silicio; poco resistente al intemperismo.

En el período Mioceno-Plioceno, la formación Oapan contiene tobas arenosas y yeso en capas delgadas.

Del período Reciente se tienen Depósitos Fluviales y Deslizamientos, los primeros se constituyen principalmente por gravas, arenas y limos de granulometría generalmente bien clasificados; estos depósitos se encuentran en planicies desde Chila de la Junta hasta el Puente de Mezcala.

Los Deslizamientos existen en áreas restringidas ubicándose principalmente en las zonas de Ostutla y Chiltepec y en ellos hay fragmentos de rocas hasta de  $2\text{m}^3$  empacadas en materiales arcillo-arenosos.

b) Geología de la zona del proyecto

De los 4 posibles ejes de cortina se eligió el No. 4 que se localiza aguas abajo de la confluencia del río Tepe--

cuacuilco con el río Balsas, y a 3 Km. aguas arriba del Puente de Mezcala en la carretera México-Acapulco.

En el sitio No. 4, de San Juan Tetelcingo, se tienen rocas sedimentarias, como, areniscas y lutitas y rocas -- volcanoclásticas, (principalmente tobas y brechas que se encuentran alternadas).

La ladera derecha está labrada totalmente en rocas sedimentarias y rocas piroclásticas (tobas y brechas).

La estructura que guarda las rocas de la Formación Mezcala, consiste de un sinclinal (Sinclinal Carrizal), de más de 4 Km de ancho, que a su vez tiene pequeñas flexuras de hasta 200 m de amplitud. La amplitud exacta del Sinclinal Carrizal no se puede medir, pues al Centro-Oriente, está interrumpido por las emisiones de la Serie Volcanoclástica Tetelcingo, (Cerro Colorado y Coama co), pero se conoce bien la amplitud de su flanco poniente, siendo éste de 2850 m.

El eje del Anticlinal Valerio Trujano y el del Sincli--

nal Carrizal, como se indicó al principio, están orientados NE-SW, lo cual concuerda con los plegamientos regionales.

Por las características que presentan las rocas volcánicas, como son:

La expansibilidad en presencia de agua y su falta de cohesión, en particular de las capas Tobáceas, además de que no se conoce la profundidad del contacto entre las rocas volcanoclásticas y sedimentarias en la alternativa No. 2, y por aparecer un fuerte espesor de éstas, en ambas márgenes y debajo del río, ha hecho que no se pueda diseñar un proyecto de construcción sin un intenso tratamiento de estas rocas, razones por la cual se vio la necesidad de buscar el sitio No. 4, el cual queda -- ubicado aguas abajo del sitio No. 2, quedando geológicamente sobre el Miembro Superior de la Formación Mezcala.

El cierre del vaso en esta alternativa tiene que ser en las mismas rocas volcanoclásticas de la margen izquierda (Cerro Colorado), conociendo la estructura de las ro

cas volcanoclásticas, así como la profundidad del contacto con las rocas sedimentarias de la Formación Mezcala. Con la información se diseña la pantalla de inyecciones para el cierre del vaso, la cual evidentemente - deberá ser lo más pequeña posible.

Zona Cortina; Margen derecha, la cortina se alojará en rocas de la Formación Mezcala (Miembro Superior) según la clasificación local. En este sitio se tienen programados 3 socavones y 7 barrenos, que se encuentran en proceso, éstos en lo que va del avance, pueden estimarse basándose en observaciones de campo y en experiencias en El Caracol y San Juan Tetelcingo, de barrenos ejecutados anteriormente, que este tipo de roca presenta buena calidad, baja o casi nula permeabilidad y buenas condiciones de estabilidad, ya que no existen fallas, fracturas o sistemas de éstas, que sean de importancia.

#### Margen Izquierda:

La cortina se alojará en rocas de la Formación Mezcala Miembro Superior, (areniscas y lutitas) que por su dureza y alternancia se consideran rocas altamente competen

tes para recibir presiones hidrostáticas a más de  $20\text{Kg/cm}^2$

Durante la excavación del S-10, se localizó la existencia de un paleocanal, que posteriormente se delimitó con geología superficial y por medio de barrenos. Este paleocanal cruza diagonalmente al eje, entre las elevaciones: 555-570 teniendo un área de:  $15,092\text{ m}^2$  y ocupa menos del 30% del área de la zona de proyecto. El volumen de acarreo es de  $150.920\text{ m}^3$ , con un espesor promedio de 10 m.

Para el cierre del vaso se tienen que delimitar los contactos en el subsuelo por medio de barrenos y socavones.

Según las últimas exploraciones llevadas a cabo, a lo largo del eje No. 4, se localizó el contacto entre: tobas, brechas y rocas sedimentarias, éstas últimas de la Formación Mezcala, y se tienen programados los socavones Nos. 10 y 18, donde el S-10 se estima que llegará al contacto a los 315 m. y el S-18, a los 140 m. habiéndose localizado finalmente dicho contacto a los 150 m. de profundidad.



El socavón No. 10, junto con el socavón No. 13, se unirán para formar el tunel No. 13 que servirá para estudiar toda la secuencia volcanoclástica y poder determinar su comportamiento, dureza, calidad de la roca, fracturamiento y otros estudios que compete a mecánica de rocas y de suelos. Con los datos obtenidos, más la barrenación, se diseña y proyecta la pantalla de inyecciones necesaria para el cierre del vaso.

De lo observado en otras exploraciones (socavones S-11 y S-12 y barrenos Nos. 30, 31, 32, 33, 34 y 37), las tobas por su heterogeneidad, se comportan en las formas siguientes:

- a) Tobas que pierden su cohesión, volviéndose plásticas.
- b) Tobas que al saturarse aumentan de volumen.
- c) Tobas que se vuelven expansivas.
- d) Tobas de muy buena calidad de roca.

La permeabilidad de las tobas esta aún en estudio, pero se consideran poco permeables. Solamente el empotramiento de la cortina, arriba de la elevación 620, pre-

sentará problemas que conciernen a la mecánica de suelos.

Para el anteproyecto de la obra de toma, túneles a presión y casa de máquinas en la margen izquierda, se visualiza que la zona de obra de toma, quedará parte en rocas de la Formación Mezcala (rocas sanas) y parte en tobas y brechas cuyas características superficiales ya son conocidas.

La casa de máquinas y los desfogues se alojarán totalmente en arenizas y lutitas, que se consideran excelentes para su excavación.

Considerando que el Miembro Superior de la Formación Mezcala (areniscas y lutitas) tienen mayor resistencia, casi nula permeabilidad, menor índice de fracturamiento, a esencia de zonas plegadas que originen cambios de inclinación notable de las capas, por lo anterior, puede decirse que tanto los túneles de desvfo, como los túneles vertedores, presentarán problemas normales durante su excavación para ambas alternativas.

c) Bancos de Materiales.

Bancos de Enrocamiento:

Existen 3 posibles bancos para enrocamiento, dos de rocas ígneas (intrusivas y extrusivas) y uno de rocas sedimentarias (calizas).

Banco No. 1.- Se localiza en el Km 226 de la carretera Federal México-Acapulco y aproximadamente a 12 Km de la boquilla en el sitio conocido con el nombre de "Corte de Pedrote".

Este banco corresponde a un cuerpo intrusivo de roca -- diorítica, buenas características para su explotación -- en bloques de más de 1 m<sup>3</sup>.

Banco No. 2.- Se localiza en la ladera oriental del cerro de Coamanco, sobre la margen derecha, sobre un potente cuerpo de rocas volcanoclásticas (principalmente andesitas).

Banco No. 3.- Sobre la margen izquierda y a 6 Km al S de la boquilla, se tienen rocas calizas de la Formación

Morelos. Estas se caracterizan a diferencia de las rocas de la Formación Cuautla, en que se encuentran densas y en estratos hasta de 3 m de espesor.

#### Bancos de Agregados:

Pueden utilizarse todos los playones que existan desde el Puente Mezcala hasta la zona de la boquilla, ya que por su extensión puede proporcionar el volumen requerido para las necesidades de la obra. Además, se cuenta con 150,000 m<sup>3</sup> de limos, arenas y gravas del paleocanal y que podrían utilizarse parcialmente.

#### Bancos de Arcilla:

Banco San Juan Tetelcingo.- corresponde a una serie de franjas angostas paralelas al río, cuyo contenido principal es una arcilla muy plástica color rojizo y limo del mismo color, ambos, producto de la alteración de la serie volcanoclástica. La ubicación de éstas es de  $\pm$  3 Km aguas arriba del poblado de San Juan Tetelcingo, pueden dar el volumen suficiente para la obra.

Banco Xochipala - potente banco de arcilla color negro,

buen índice de plasticidad, producto de la alteración - de calizas, su volumen se estima en  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , y se localiza a unos 12 Km al SW de la boquilla en línea recta.

Banco San Agustín Oapan.- Son arcillas muy sucias, producto de alteración de la parte frontal de un abanico aluvial, se ubica a unos 25 Km del eje de la boquilla, (aguas arriba) y en las inmediaciones del poblado del mismo nombre. Su volumen se estima sea mayor a  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , incluyéndose dentro de este volumen los limos, arenas y gravas finas que se encuentran en forma lenticular.

Los bancos de Sabana Grande y Palula, se localizan a -- 25 Km al Norte por la carretera Federal México-Acapulco aunque no han sido estudiados, éstos pueden ser aprovechables.

#### IV CORTINA

##### a) Generalidades

Por contar en la zona inmediata al proyecto con los materiales descritos en el capítulo anterior, y considerando que se trata de una región sísmica así como la cercanía de los Bancos de Materiales, se diseña una cortina con las siguientes características.

De materiales graduados, taludes 2: 1, elevación de la corona 597.00 m.s.n.m., ancho de corona: 15.00 m, volumen  $4.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; coordenadas del eje siguiendo la dirección del río: margen derecha W 104°40'44", N 17°55'23" y margen izquierda W 104°51'22", N 18°19'01".

Corazón impermeable, central y simétrico con taludes 0.25:1 y ancho en la corona de 3.00 m.

Filtros aguas abajo y aguas arriba formados de gravas y arenas limpias bien graduadas, taludes 0.4:1.

Respaldo permeable de aguas arriba constituido por gravas y arenas del depósito aluvial, sin finos; respaldo permeable -

de aguas abajo constituido por el material extraído también del cauce del río. El respaldo aguas arriba se protegerá con una capa de enrocamiento grueso y bien graduado en contacto con la capa de grava y arena teniendo un espesor constante de 5.00 m y el enrocamiento de protección aguas abajo tendrá un espesor de 3.00 m.

#### b) Localización

Como se ha explicado, anteriormente se estudiaron cuatro diferentes ejes, los tres primeros aguas arriba de la afluencia del río Tepecuacuilco y la alternativa 4 aguas abajo de éste. La alternativa 4 que fue elegida finalmente responde de manera satisfactoria a los requerimientos de estabilidad desde los puntos de vista estático, dinámico e hidráulico; la longitud de la corona es razonable ya que resulta de aproximadamente 530 m y en la margen izquierda no se tiene ningún problema para el estribo; en la margen derecha, de pendiente pronunciada, los problemas que se presentan son los normales en una obra de este tipo.

#### c) Clasificación

Teniendo en cuenta los conceptos expresados en los incisos anteriores la clasificación de esta cortina es la siguiente: por su uso de

bido a que las aguas retenidas en el yaso serán utilizadas exclusivamente para la producción de la energía eléctrica desechándose su uso para el riego o cualquiera otro se considera de almacenamiento.

Por su altura, considerando ésta desde el lecho inferior del río hasta la elevación de la corona, la cual podría caer dentro de las de las de clasificación media es criterio general clasificar a este tipo de cortinas como altas.

Por el proyecto hidráulico, dado que no es propiamente una presa derivadora o reguladora y las compuertas sólo serán abiertas en el caso de tormentas extraordinarias, se considera como no vertedor.

Por el material que la compone, corazón impermeable, filtros, material de acarreo del río y enrocamiento se considera de materiales graduados.

Por el trabajo a que estará sometida y los materiales que la componen así como las condiciones de cimentación, su clasificación es flexible.



Por la geometría y configuración dadas las condiciones del terreno y el proyecto mismo se considera de eje recto.

d) Análisis de estabilidad

El método utilizado para hacer el análisis de estabilidad de la cortina es el llamado genéricamente Método Sueco, ya que comprende todos los procedimientos de análisis respecto a las fallas por rotación.

Dicho método se basa en la suposición de que las superficies de deslizamiento en talúdes de tierra son cilíndricas. El procedimiento más popular aplicado a suelos cohesivo-friccionantes es el de las "Dovelas" debido a Fellenius (1927), en el cual se expone que la sección en estudio deberá inicialmente dibujarse a escala. Se toma un radio tentativo para el círculo de deslizamiento, éste se escoge de una manera arbitraria de acuerdo al criterio del proyectista, la masa de tierra deslizante se divide en dovelas, el número de éstas es hasta cierto punto cuestión de elección, si bien, a mayor número de dovelas, los resultados se hacen más confiables. El equilibrio de cada dovela puede analizarse como se muestra en la fig. A, donde  $W_i$  = peso de la dovela de -

espesor unitario, el cual se obtendrá multiplicando el área de la dovela por el peso volumétrico del material. Las fuerzas  $N_i$  y  $T_i$  son las reacciones normal y tangencial respectivamente del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento --  $\Delta L_i$  las cuales deberán equilibrar a  $W_i$ .

Las dovelas adyacentes en estudio, ejercen ciertas acciones sobre ésta, que pueden representarse por las fuerzas normales  $P_1$  y  $P_2$  y por las tangenciales  $T_1$  y  $T_2$ .

En el procedimiento de Fellenius, se hace la hipótesis de que el efecto de las fuerzas  $P_1$  y  $P_2$  es nulo, es decir se considera que las dos fuerzas son iguales, colineales y contrarias.

También se acepta que el momento producido por las fuerzas  $T_1$  y  $T_2$  que se consideran de igual magnitud, es despreciable. Estas hipótesis equivalen a considerar que cada dovela actúa en forma independiente de las demás.

La resistencia total al cortante se determina utilizando la ecuación de Coulumb:  $s = C + N \tan \phi$

Donde:

S = Fuerza cortante resistente total

C = Cohesión total a lo largo del arco

$N$  = Presión normal total en el arco

$\emptyset$  = Angulo de fricción interna del material

Calculando el momento motor de las dovelas promedio con la --

ecuación:  $M_m = R \sum T_i$

Y el momento resistente debido a la resistencia del esfuerzo cortante,  $S_i$ , que se desarrolla en la superficie de deslizamiento de cada dovela, que equivale a:

$$M_r = R \sum S_i A l_i$$

Puede definirse el factor de seguridad.

$$F. S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum S_i A l_i}{\sum T_i}$$

Que para este caso se calcula con:

$$F. S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{C + N' \tan \emptyset}{\sum T_i}$$

Donde:

$N'$  = Presión normal total en el arco

$$N' = N_i - U_i$$

Y:

$U_i$  = Presión de poro

La línea de corriente superior para la obtención de la pre---

sión de poro se calcula por el Método de A. Casa Grande para presas de tierra ( $60^\circ \ll \ll 180^\circ$ ).

La experiencia ha demostrado que una superficie de falla, en que el F. S. sea mayor de 1.5, puede considerarse estable. -  
Los cálculos de estabilidad en la cortina para diferentes -  
círculos de falla se presentan a continuación.

Considerándose los siguientes datos generales:

$$\phi = 38^\circ$$

$\phi$  = Angulo de fricción interna

$$\gamma = 1.9 \text{ T/M}^3$$

$$c = 3.5 \text{ T/M}^2$$

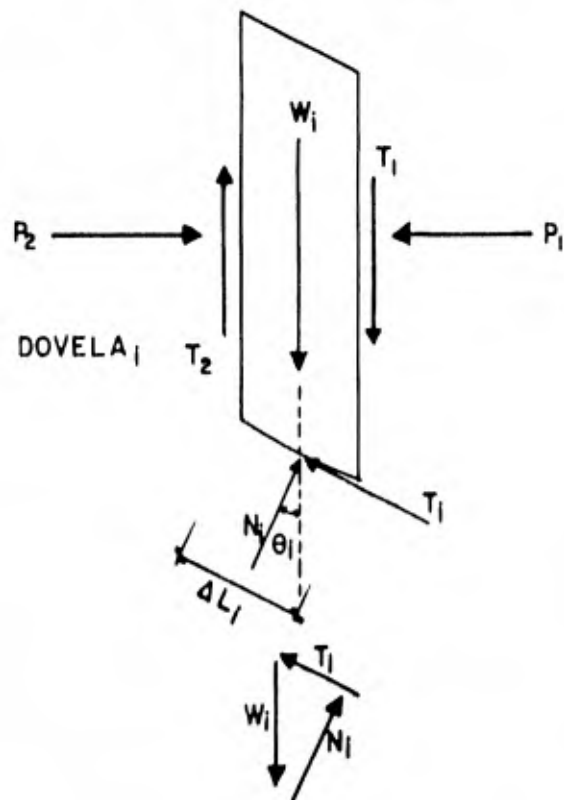
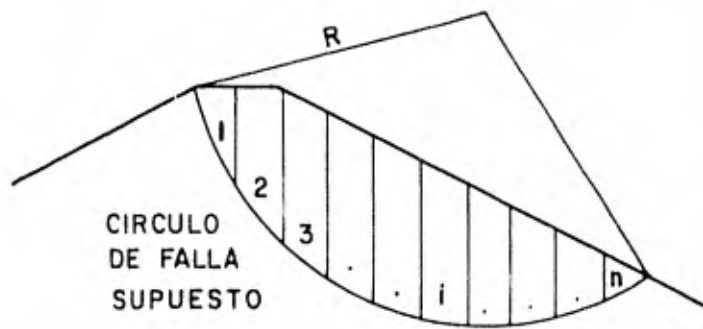
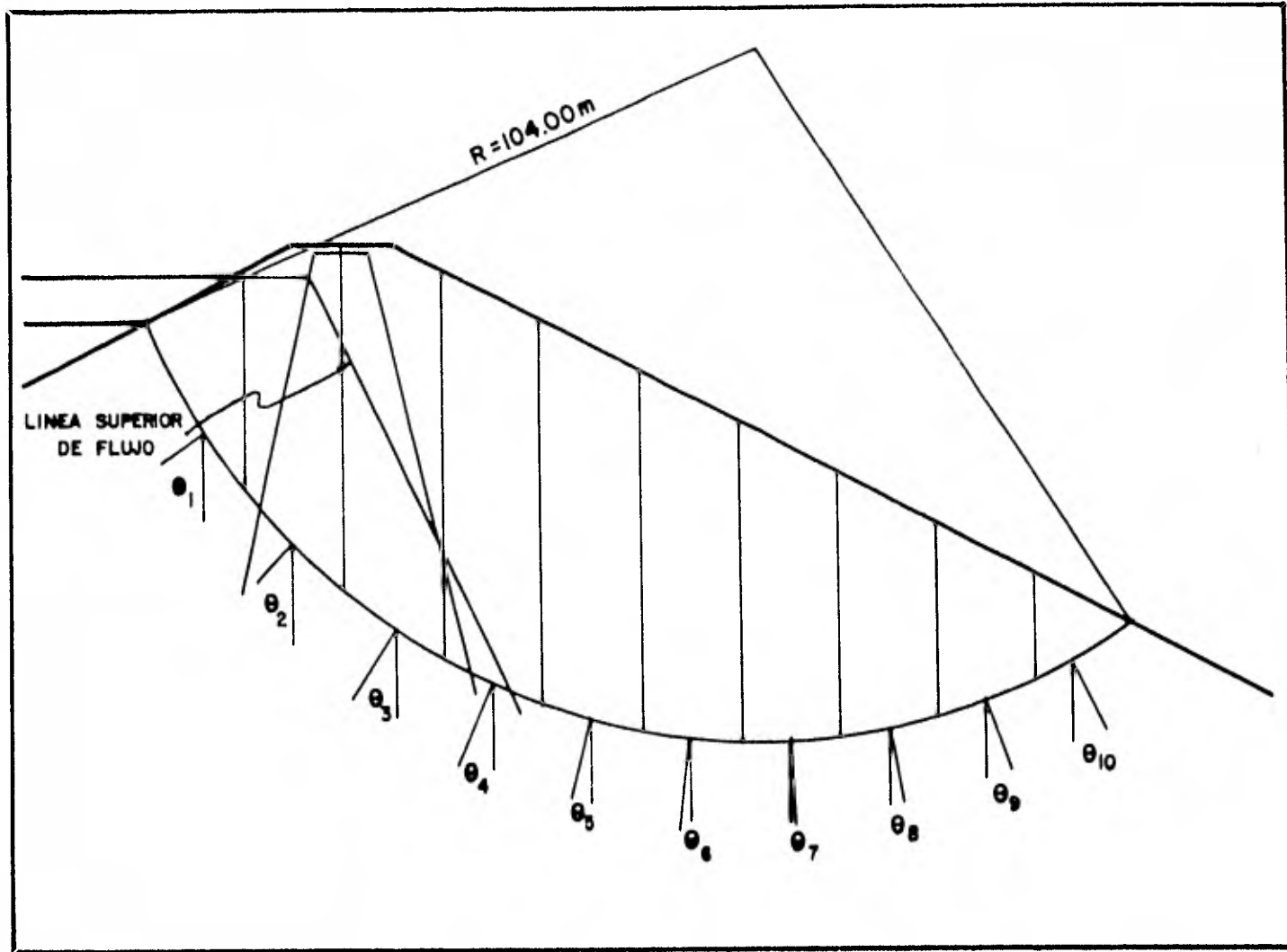


Fig. A



Dovela <sub>i</sub>	Ai	Wi	θi	Cos θi	Sen θi	Ni	Ti	Yi	H	Li	Ui	N <sub>i</sub> (Ni-Ui)
						Wi cos θi	Wi sen θi					
1	288	547	56.5	0.5519	0.8339	301.91	456.14	0.0	0.0	0.0	0.0	301.91
2	692	1315	44.5	0.7133	0.7009	937.92	921.70	43.0	43.0	21.78	936.54	1.38
3	950	1805	32.9	0.8396	0.5432	1515.51	980.43	29.0	29.0	18.33	531.57	983.94
4	924	1756	23.7	0.9157	0.4019	1607.90	705.82	0.0	0.0	0.0	0.0	1607.90
5	878	1668	14.9	0.9664	0.2571	1611.92	428.90	0.0	0.0	0.0	0.0	1611.92
6	816	1550	6.0	0.9945	0.1045	1541.51	162.02	0.0	0.0	0.0	0.0	1541.51
7	693	1317	-2.5	0.9990	0.0436	1315.75	-57.45	0.0	0.0	0.0	0.0	1315.75
8	554	1053	-6.3	0.9940	0.1097	1046.64	-115.55	0.0	0.0	0.0	0.0	1046.64
9	370	703	-19.9	0.9403	0.3404	661.02	-239.29	0.0	0.0	0.0	0.0	661.02
10	144	274	-28.0	0.8829	0.4695	241.93	-128.64	0.0	0.0	0.0	0.0	241.93
						10 782.01	3 114.08					9313.90

Momento motor:

$$M_m = \sum T_i = 3,114.08$$

Momento máximo resistente

$$M_R = C + N' \tan \phi ; N' = \sum N'_i$$

$$L_2 = \frac{\pi r \theta}{180} = \frac{\pi (104.0)(12.0)}{180} = 21.78$$

$$L_3 = \frac{\pi (104.0)(10.1)}{180} = 18.33$$

$$C = (3.5)(21.78 + 18.33) = 140.39$$

$$N' \tan \phi = (9,313.9) (\tan 30^\circ) = 7281.50$$

$$\therefore M_R = 140.39 + 7,281.50 = 7,421.89$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_m} = \frac{7,421.89}{3,114.08} = 2.38$$

2.38 > 1.50; el talud es estable



Momento motor:

$$M_m = \sum T_i = 3,114.08$$

Momento máximo resistente

$$M_R = C + N' \tan \phi ; N' = \sum N_i'$$

$$L_2 = \frac{\pi r \theta}{180} = \frac{\pi (104.0)(12.0)}{180} = 21.78$$

$$L_3 = \frac{\pi (104.0)(10.1)}{180} = 18.33$$

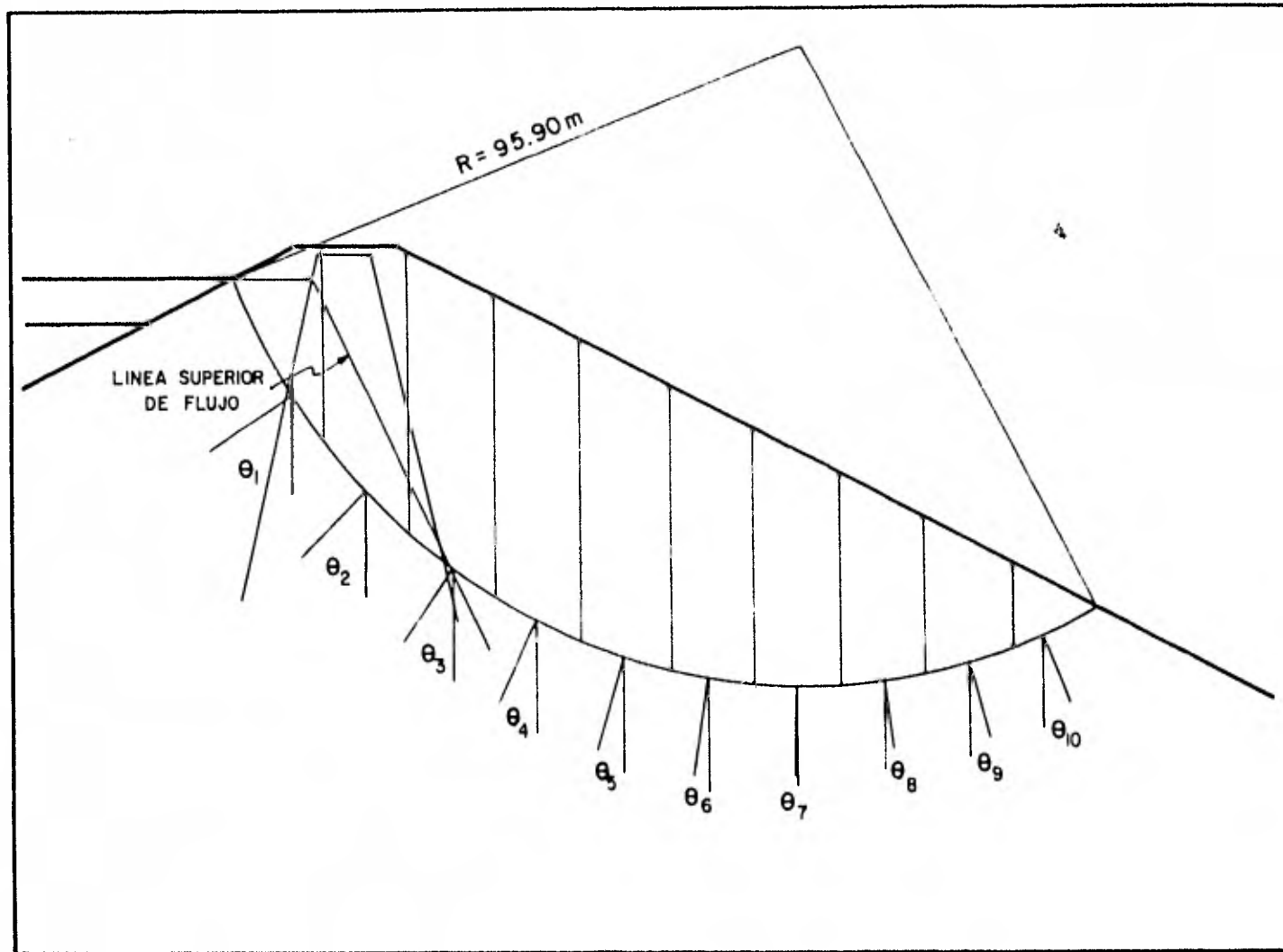
$$C = (3.5)(21.78 + 18.33) = 140.39$$

$$N' \tan \phi = (9,313.9) (\tan 36^\circ) = 7281.50$$

$$\therefore M_R = 140.39 + 7,281.50 = 7,421.89$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_m} = \frac{7,421.89}{3,114.08} = 2.38$$

2.38 > 1.50; el talud es estable



Dovela <sub>i</sub>	Ai	Wi	θi	Cos θi	Sen θi	Wi	Ti	Yi	H	Li	Ui	N <sub>i</sub>
						Wi cos θi	Wi sen θi					(Ni-yi)
1	183	348	56.4	0.5534	0.8329	192.58	289.86	0.0	0.0	0.0	0.0	192.58
2	510	969	45.7	0.6984	0.7157	676.76	693.51	18.0	18.0	15.90	286.20	390.56
3	590	1121	34.9	0.8202	0.5721	919.39	641.38	6.0	6.0	19.58	117.48	801.91
4	603	1146	25.9	0.8996	0.4368	1030.89	500.57	0.0	0.0	0.0	0.0	1030.89
5	590	1121	17.1	0.9558	0.2940	1071.44	329.62	0.0	0.0	0.0	0.0	1071.44
6	536	1018	9.0	0.9877	0.1564	1005.47	159.25	0.0	0.0	0.0	0.0	1005.47
7	469	891	1.0	0.9998	0.0175	890.86	15.55	0.0	0.0	0.0	0.0	890.86
8	375	713	- 7.5	0.9914	0.1305	706.90	- 93.07	0.0	0.0	0.0	0.0	706.90
9	248	471	-15.4	0.9641	0.2656	454.09	-125.08	0.0	0.0	0.0	0.0	454.09
10	88	167	-23.0	0.9205	0.3907	153.72	- 65.25	0.0	0.0	0.0	0.0	153.72
						7 102.10	2 346.34					6 698.42

Momento motor:

$$M_m = \sum T_i = 2,346.34$$

Momento máximo resistente:

$$M_R = C + N' \tan \phi \quad N' = \sum N'_i$$

$$L_2 = \frac{\pi r \theta}{180} = \frac{\pi (95.9)(9.5)}{180} = 15.90$$

$$L_3 = \frac{\pi (95.9)(11.7)}{180} = 19.58$$

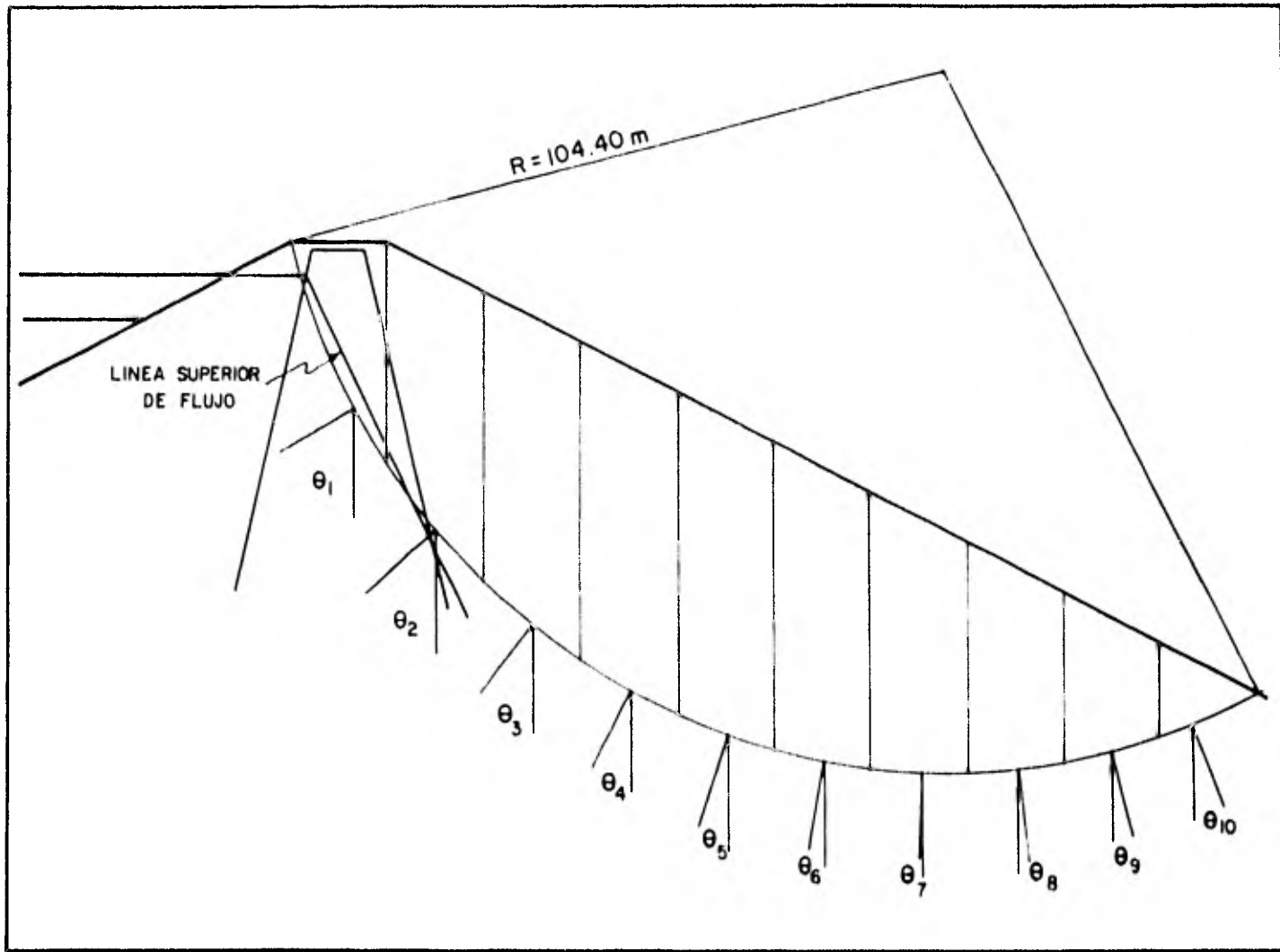
$$C = (3.5)(15.90 + 19.58) = 124.18$$

$$N' \tan \phi = (6,698.42)(\tan 38^\circ) = 5,233.38$$

$$\therefore M_R = 124.18 + 5,233.38 = 5,357.56$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_m} = \frac{5,357.56}{2,346.34} = 2.28$$

2.28 > 1.50; el talud es estable



Dovela <sub>i</sub>	A <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	θ <sub>i</sub>	Cos θ <sub>i</sub>	Sen θ <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	H	L <sub>i</sub>	U <sub>i</sub>	N' <sub>i</sub>
						W <sub>i</sub> cos θ <sub>i</sub>	W <sub>i</sub> sen θ <sub>i</sub>					(N <sub>i</sub> -U <sub>i</sub> )
1	500	950	61.0	0.4848	0.8746	460.57	830.89	5.0	5.0	35.71	178.57	282.00
2	570	1083	49.0	0.6561	0.7547	710.51	817.35	0.0	0.0	0.00	0.00	710.51
3	675	1283	38.0	0.7880	0.6157	1011.02	789.98	0.0	0.0	0.00	0.00	1011.02
4	713	1355	28.1	0.8821	0.4710	1195.28	638.02	0.0	0.0	0.00	0.00	1195.28
5	675	1283	19.3	0.9438	0.3305	1210.90	424.05	0.0	0.0	0.00	0.00	1210.90
6	645	1226	10.6	0.9829	0.1840	1205.08	225.52	0.0	0.0	0.00	0.00	1205.08
7	555	1055	2.4	0.9991	0.0419	1054.07	44.18	0.0	0.0	0.00	0.00	1054.07
8	450	855	-6.0	0.9945	0.1045	850.32	- 89.37	0.0	0.0	0.00	0.00	850.32
9	270	513	-14.0	0.9703	0.2419	497.76	-124.11	0.0	0.0	0.00	0.00	497.76
10	135	257	-22.0	0.9272	0.3746	238.29	- 96.27	0.0	0.0	0.00	0.00	238.29
							3460.24					8 255.23

Momento motor:

$$M_m = \sum T_i = 3,460.24 \text{ t-m}$$

Momento máximo resistente

$$M_r = c + N' \tan \emptyset ; N' = \sum N'_i$$

$$L = \frac{\pi r \theta}{180} = \frac{\pi (104.4)(19.6)}{180} = 35.71 \text{ (m)}$$

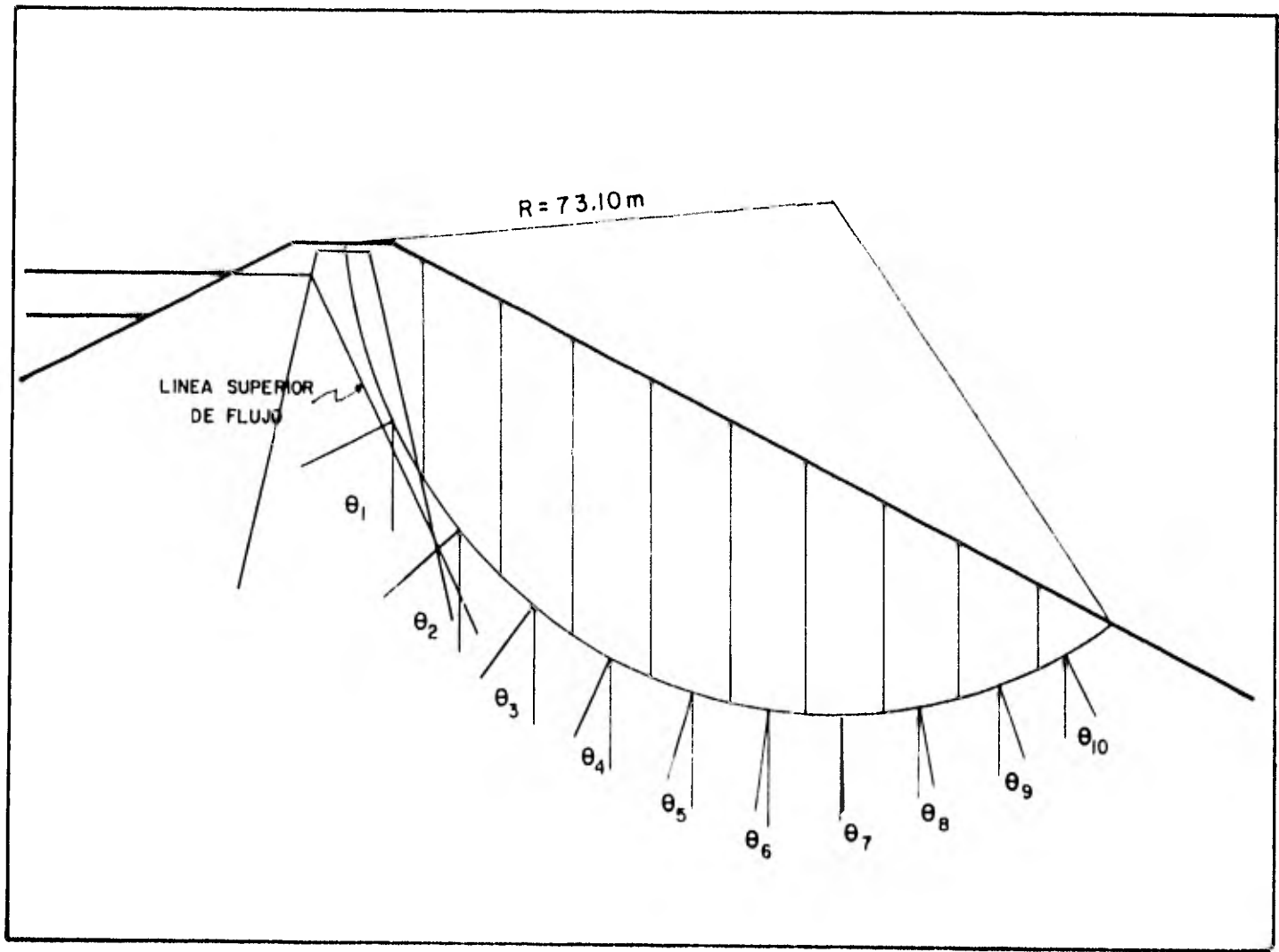
$$C = (3.5 \text{ t/m}^2)(35.71 \text{ m}) = 124.99 \text{ t/m}$$

$$N' \tan \emptyset = (3255.23)(\tan 38^\circ) = 6449.69$$

$$\therefore M_R = 124.99 + 6449.69 = 6574.68 \text{ t - m}$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_m} = \frac{6,574.68}{3,460.24} = 1.90$$

1.90 > 1.50; el talud es estable





Dovela <sub>j</sub>	A <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	θ <sub>i</sub>	Cos θ <sub>i</sub>	Sen θ <sub>i</sub>	N <sub>i</sub> W <sub>i</sub> cos θ <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> W <sub>i</sub> sen θ <sub>i</sub>
1	254	483	64.5	0.4305	0.9026	207.94	435.95
2	480	912	50.4	0.6374	0.7705	581.33	702.71
3	554	1053	38.0	0.7880	0.6157	829.78	648.29
4	578	1098	27.0	0.8910	0.4540	978.33	498.48
5	554	1053	17.0	0.9563	0.2924	1006.99	307.87
6	517	982	7.6	0.9912	0.1323	973.37	129.88
7	455	865	- 1.0	0.9998	0.0175	864.87	- 15.10
8	357	678	-10.4	0.9836	0.1805	666.86	-122.39
9	234	445	-20.1	0.9391	0.3437	417.90	-152.93
10	84	160	-28.3	0.8805	0.4741	140.88	- 75.85
						6 668.25	2 356.91

Momento motor

$$M_m = \sum T_i = 2,356.91$$

Momento máximo resistente

$$M_R = C + N' \tan \phi$$

$$N' = N - U$$

$$N = \sum N_i$$

$$U = 0$$

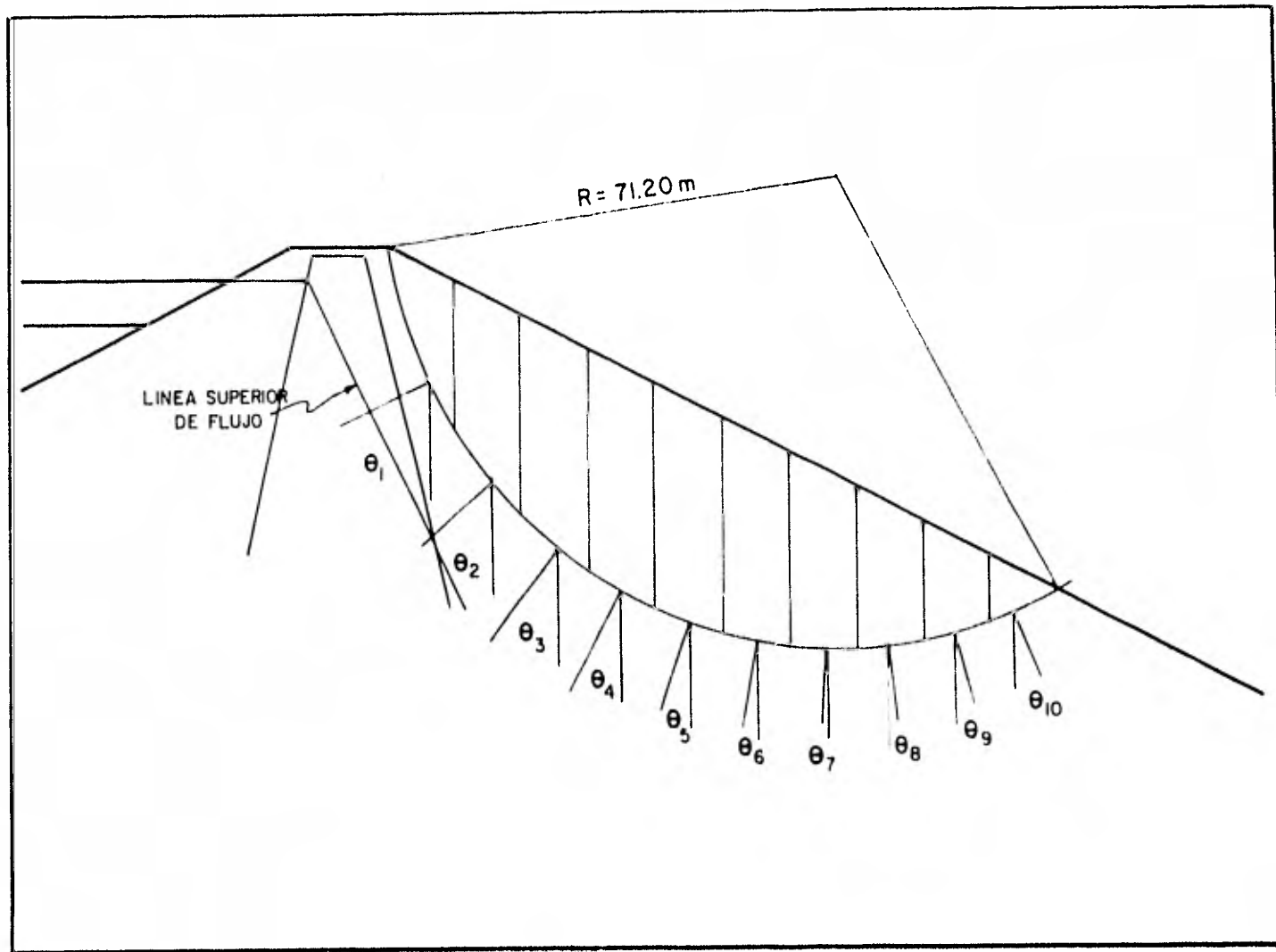
$$C = 0$$

$$\therefore N' = N \quad M_R = (\sum N_i) \tan \phi$$

$$M_R = (6,668.25)(\tan 38^\circ) = 5,209.81$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_m} = \frac{5,209.81}{2,356.91} = 2.21$$

2.21 > 1.50; el talud es estable



Dovela <sub>i</sub>	A <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	θ <sub>i</sub>	Cos θ <sub>i</sub>	Sen θ <sub>i</sub>	N <sub>i</sub> W <sub>i</sub> cos θ <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> W <sub>i</sub> sen θ <sub>i</sub>
1	132	251	64.6	0.4289	0.9033	107.66	226.74
2	286	543	50.2	0.6401	0.7683	347.58	417.18
3	337	640	38.5	0.7826	0.6225	500.87	398.41
4	354	673	28.7	0.8771	0.4802	590.32	232.19
5	343	652	19.4	0.9432	0.3322	614.97	216.59
6	322	612	10.7	0.9826	0.1857	601.36	113.63
7	286	543	2.1	0.9993	0.0366	542.64	19.90
8	229	435	- 6.0	0.9945	0.1045	432.62	-45.47
9	156	296	-14.7	0.9673	0.2538	286.31	-75.11
10	61	116	-22.5	0.9239	0.3827	107.17	-44.39
						4 131.50	1 459.67

Momento motor

$$M_m = \sum T_i = 1459.67$$

Momento máximo resistente:

$$M_R = C + N' \tan \phi$$

$$N' = N - U$$

$$N = \sum N_i$$

$$U = 0$$

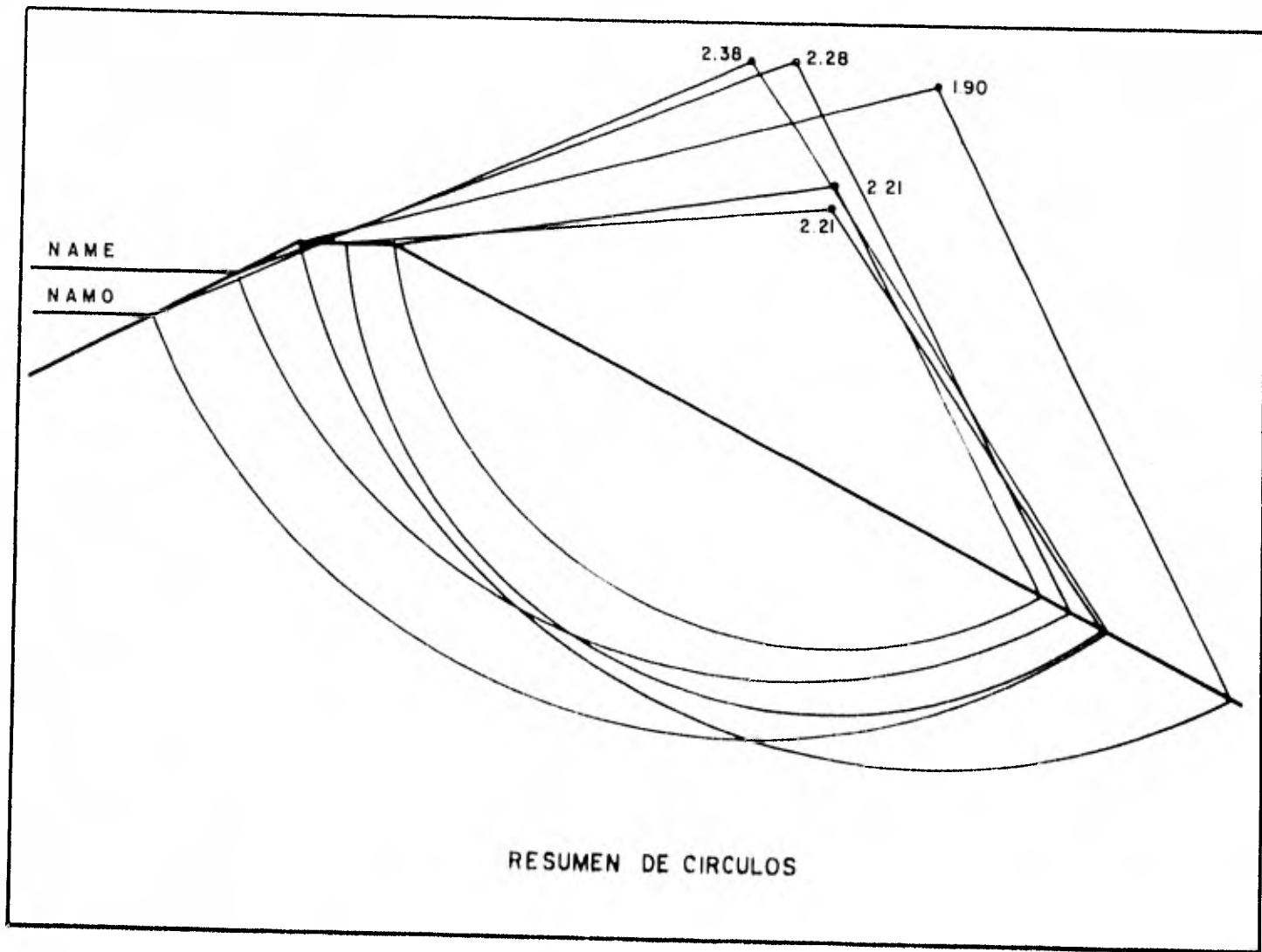
$$C = 0$$

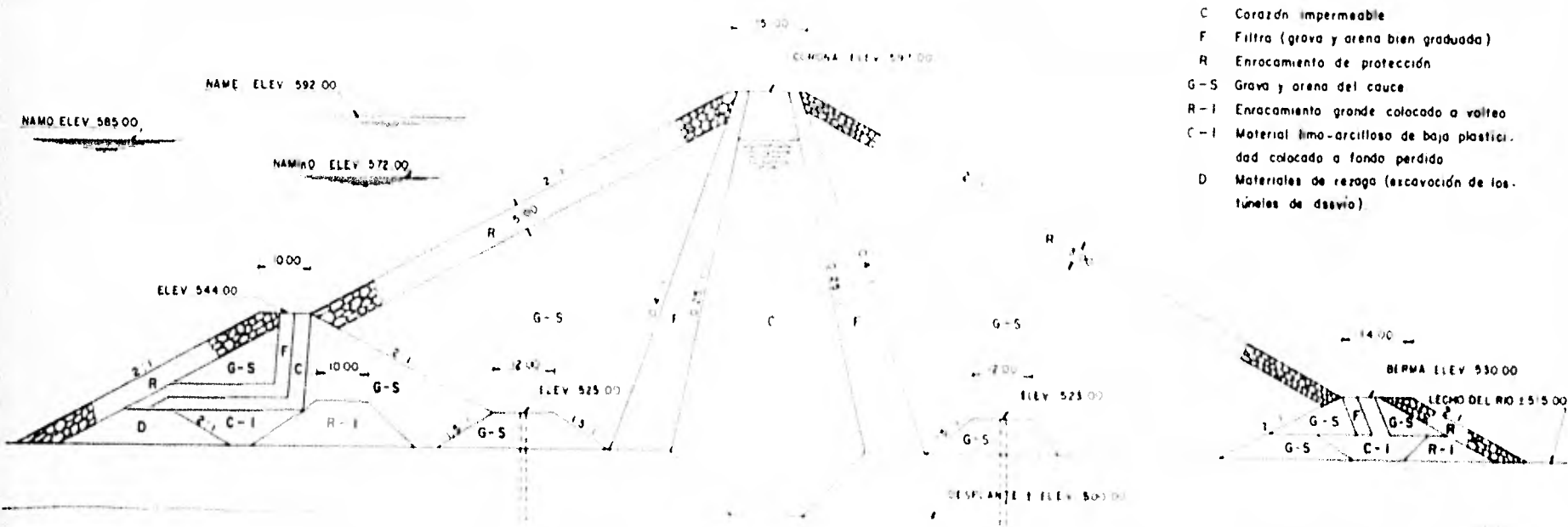
$$\therefore N' = N \quad M_R = \sum (N_i \tan \phi)$$

$$M_R = (4131.50)(\tan 38^\circ) = 3,227.88$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_m} = \frac{3,227.88}{1,459.67} = 2.21$$

2.21 > 1.50; el talud es estable





- C Corazón impermeable
- F Filtro (grava y arena bien graduada)
- R Enrocamiento de protección
- G-S Grava y arena del cauce
- R-I Enrocamiento grande colocado a volteo
- C-I Material limo-arcilloso de baja plasticidad colocada a fondo perdido
- D Materiales de reza (excavación de los túneles de desvío)

SECCION MAXIMA DE LA CORTINA

## V OBRA DE DESVÍO.

### a) Generalidades

La obra de desvío se ejecuta con el propósito de desviar las aguas del río y permitir los trabajos de construcción de la cortina y todas las obras adyacentes. Para este caso se diseñaron dos túneles paralelos con dos cambios de dirección - cada uno y elevación en la plantilla de entrada de 516.00 m. s.n.m. en el tunel No. 1 y 520.00 m.s.n.m. en el túnel No.2.

Los túneles se localizan en la margen derecha del río y se diseñan con una sección del tipo portal por ser prácticamente más factible su excavación. La separación entre ellos es de 50 m. eje a eje y sus plantillas de salida están a la elevación 515.00 m.s.n.m. en ambos casos; las longitudes de cada uno son de 440 m. y 500 m. respectivamente.

La sección portal mencionada tiene un diámetro  $D=11.00$  m. -- que resultó ser la más económica según se mostrará en los -- cálculos posteriores. En estos cálculos se toma en cuenta -



tanto el cambio de dirección como las pérdidas por fricción a efecto de cuantificar el volumen y costo de la ataguía --- aguas arriba para obtener finalmente el diámetro económico. Para evitar que la altura de la ataguía se incrementara demasiado fue necesario diseñar ambos túneles con recubrimiento de concreto en su longitud total.

#### b) Localización

La ubicación de los túneles de desvío se determinó tomando en cuenta las condiciones geológicas tanto de la margen izquierda como la de la derecha y las obras que complementan el proyecto resultando que la margen derecha era la que reunía las condiciones para localizar en ella los dos túneles de desvío.

Tanto la entrada como salida de ambos túneles se diseñan de manera que aguas arriba, con la diferencia de niveles de entrada de 4.00 m, se facilite la excavación y manejo de las aguas del río al construir las estructuras adyacentes y en el caso de la salida el efecto del remanso de las aguas así como el desfogue de la casa de máquinas no interfieran en su

funcionamiento.

Así mismo, tomando en cuenta los acarreos de sólidos y azules en general que se presenten en un futuro lejano en esta presa se considera que el túnel No. 1 quedará prácticamente imposibilitado y no así el túnel No. 2 que se puede utilizar posteriormente para servicio de descarga de fondo mediante el uso de válvulas.

c) Diseño

Para la obra de desvío se construyen dos ataguías: aguas arriba de materiales graduados, con corazón impermeable, filtros, y, pantalla de pilotes para desviar las aguas del río a los túneles 1 y 2.

La pantalla de pilotes se puede construir de manera independiente al desvío del río reduciendo el tiempo de construcción y evitando los riesgos que produce la época de lluvias. Los túneles deberán ser construidos en el orden en que están numerados resultando obvio que se terminará primero el No. 1 por su menor longitud y de ahí la conveniencia de diseñar su

cota de entrada menor que la del tunel No. 2.

Si el desvío del río se hace durante la época de estiaje no se tendrá ningún problema trabajando con el primer túnel lo cual redunda en beneficio de la construcción de ataguías e inicio de construcción de las obras integrales de la cortina.

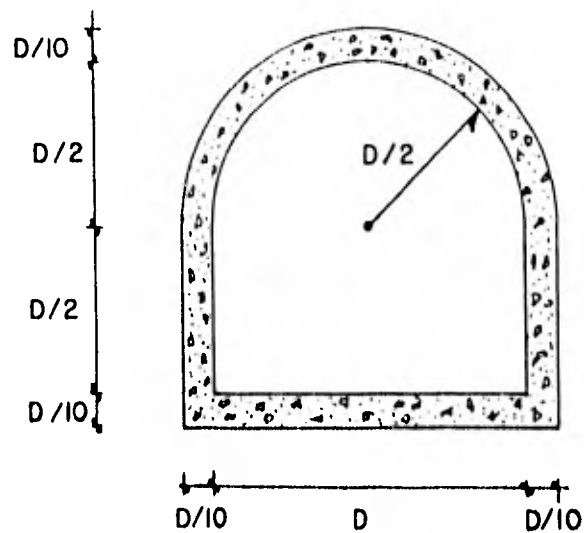
Como las dos secciones de túneles son de las mismas dimensiones uno sólo de ellos puede dar el servicio sin peligro de inundaciones y es factible trabajar aún durante los doce meses del año ya que la avenida máxima de desvío probable para un tiempo de retorno de 10 años es de  $2,681 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

La razón de revestir los túneles en toda su longitud se debe a que las pérdidas son menores y aunque esto incrementaba el costo de los túneles la altura de atagía aguas arriba se reduce considerablemente.

La estructura para el cierre definitivo del túnel No. 2 constará de una pila dentro de la sección que aloje dos obturadores tipo aguja de 5.50 m de ancho por 11.00 m de altura cada uno diseñados de tal manera que resistan una carga hidrostá-

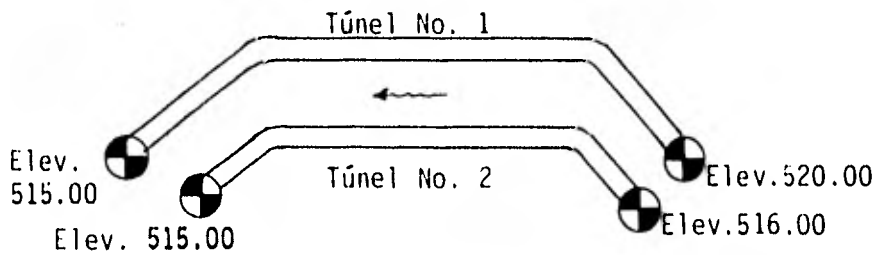
tica mayor de 81 m y que podrán ser recobrados y operados a través de una lumbrera a la elevación de 547.00 m.s.n.m.

Para el túnel No. 1 el cierre definitivo se hará por medio de un tapón de concreto tipo tímpano de 30 m de longitud.



SECCIÓN PORTAL DE TÚNELES  
PARA OBRA DE DESVÍO

## TUNELES DE DESVIO, DESCARGANDO A PRESION



T-1: L= 440.00 (m)

T-2: L= 500.00 (m)

s= 0.0023

s= 0.0010

n= 0.015

n= 0.015

La carga H, se determina sumando todas las pérdidas que se encuentran a lo largo de los túneles.

$$H = h_e + h_{c1} + h_{c2} + h_s + h_{fi}$$

donde:

$$h_e = \text{Pérdida por entrada} = KV^2/2g; \quad \therefore h_e = (0.50)(V^2/2g)$$

$$h_c = \text{Pérdida por cambio de dirección en el punto } i = C\sqrt{\Delta/90} V^2/2g \quad \therefore h_{ci} = (0.25\sqrt{\Delta/90}) \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$h_s = \text{Pérdida por salida} = \frac{Kv^2}{2g} \therefore h_s = (1) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_{fi} = \text{Pérdidas por fricción} = \left( \frac{Vn}{r^{2/3}} \right)^2 Li \therefore h_{fi} = \left( \frac{n}{r^{2/3}} \right)^2 Li 2g \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$H = \left[ 0.50 + (0.25 \sqrt{\Delta/90})_i + 1 + \left( \frac{n}{r^{2/3}} \right)^2 (Li) (2g) \right] \frac{v^2}{2g}$$

Cambio de dirección 1:  $\Delta = 48^\circ 52'$

$$\therefore h_{ci} = (0.1842) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Cambio de dirección 2:  $\Delta = 36^\circ 33'$

$$\therefore h_{c2} = (0.1593) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$\text{Fricción: Túnel 1, } h_f = \left( \frac{0.015}{r^{2/3}} \right)^2 (440) (19.62) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$= \left( \frac{1.9424}{r^{4/3}} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$\text{Túnel 2, } h_f = \left( \frac{0.015}{r^{2/3}} \right)^2 (500) (19.62) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$= \left( \frac{2.2073}{r^{4/3}} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$\therefore H_{t-1} = (1.8435 + \frac{1.9424}{r^{4/3}}) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$H_{t-2} = (1.8435 + \frac{2.2073}{r^{4/3}}) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

D	Túnel	A	P	r	$r^{2/3}$	$(h_e+h_{c1}+h_{c2}+h_s)$	$h_f$	$\Sigma h$	$\Sigma h/19.62$
4	1	14.2832	14.2832	1.0000	1.0000	1.8435	1.9424	3.7859	0.1930
	2	14.2832	14.2832	1.0000	1.0000	1.8435	2.2073	4.0508	0.2065
5	1	22.3175	17.8540	1.2500	1.1604	1.8435	1.4425	3.2860	0.1675
	2	22.3175	17.8540	1.2500	1.1604	1.8435	1.6392	3.4827	0.1775
6	1	32.1372	21.4248	1.5000	1.3104	1.8435	1.1312	2.9747	0.1516
	2	32.1372	21.4248	1.5000	1.3104	1.8435	1.2855	3.1290	0.1595
7	1	43.7423	24.9956	1.7500	1.4522	1.8435	0.9211	2.7646	0.1409
	2	43.7423	24.9956	1.7500	1.4522	1.8435	1.0466	2.8901	0.1473
8	1	57.1328	28.5664	2.0000	1.5874	1.8435	0.7708	2.6143	0.1332
	2	57.1328	28.5664	2.0000	1.5874	1.8435	0.8759	2.7194	0.1386
9	1	72.3087	32.1372	2.2500	1.7171	1.8435	0.6588	2.5023	0.1275
	2	72.3087	32.1372	2.2500	1.7171	1.8435	0.7486	2.5921	0.1321
10	1	89.2700	35.7080	2.5000	1.8420	1.8435	0.5725	2.4160	0.1231
	2	89.2700	35.7080	2.5000	1.8420	1.8435	0.6505	2.4940	0.1271
11	1	108.0167	39.2788	2.7500	1.9629	1.8435	0.5041	2.3476	0.1197
	2	108.0167	39.2788	2.7500	1.9629	1.8435	0.5729	2.4164	0.1232
12	1	128.5488	42.8496	3.0000	2.0801	1.8435	0.4489	2.2924	0.1168
	2	128.5488	42.8496	3.0000	2.0801	1.8435	0.5101	2.3536	0.1200
13	1	150.8663	46.4204	3.2500	2.1941	1.8435	0.4035	2.2470	0.1145
	2	150.8663	46.4204	3.2500	2.1941	1.8435	0.4585	2.3020	0.1173

Con los valores obtenidos en la tabla anterior en función de  $V_1^2$  y  $V_2^2$  para cada diámetro D de los túneles 1 y 2 respectivamente, se calcularán las diferentes alturas de ataguía - para poder cuantificarlas y así deducir el diámetro económico.

Los valores obtenidos en la última columna se sustituyen como el valor  $\alpha_i$  para la expresión:

$$H = V^2 / 2g \quad \therefore \quad H_{t-1} = V_1^2 / 2g = \alpha_1 V_1^2$$

$$\text{y } H_{t-2} = V_2^2 / 2g = \alpha_2 V_2^2$$

$$V_1 = \sqrt{H_{t-1} / \alpha_1}$$

$$V_2 = \sqrt{H_{t-2} / \alpha_2}$$

Como la carga total  $H_{t-1}$  debe ser igual a  $H_{t-2}$ , se da un valor tentativo de  $H=20.00(m)$  y se opera para deducir la velocidad real en los túneles así como la carga real para efecto de obtener las alternativas de alturas de ataguía aguas arriba, cuantificarlas y obtener los costos de ataguía y túneles de desvío para determinar el diámetro económico según se indica en las siguientes tablas.



D	V(H=20)	VA	%	Qr	Vr	Hr
4	10.18	145.40	50.85	1,256	87.94	1492.09
	9.84	140.57	49.15	1,214	85.00	1492.09
		<u>285.97</u>		<u>2,470</u>		
5	10.93	243.87	50.72	1,253	56.13	527.91
	10.61	236.90	49.28	1,217	54.54	527.91
		<u>480.77</u>		<u>2,470</u>		
6	11.49	369.12	50.63	1,251	38.91	229.60
	11.20	359.87	49.37	1,219	37.94	229.60
		<u>728.99</u>		<u>2,470</u>		
7	11.91	521.15	50.56	1,249	28.55	114.83
	11.65	509.70	49.44	1,221	27.92	114.83
		<u>1,030.85</u>		<u>2,470</u>		
8	12.25	700.08	50.50	1,247	21.83	63.48
	12.01	686.31	49.50	1,223	21.40	63.48
		<u>1,386.39</u>		<u>2,470</u>		
9	12.52	905.63	50.44	1,246	17.23	37.85
	12.30	889.72	49.56	1,224	16.93	37.86
		<u>1,795.35</u>		<u>2,470</u>		
10	12.75	1,137.87	50.40	1,245	13.95	23.94
	12.54	1,119.82	49.60	1,225	13.72	23.94
		<u>2,257.69</u>		<u>2,470</u>		
11	12.93	1,396.24	50.36	1,244	11.52	15.87
	12.74	1,376.26	49.64	1,226	11.35	15.87
		<u>2,772.50</u>		<u>2,470</u>		
12	13.09	1,682.14	50.34	1,243	9.67	10.93
	12.91	1,659.56	49.66	1,227	9.54	10.93
		<u>3,341.70</u>		<u>2,470</u>		
13	13.22	1,993.91	50.30	1,242	8.24	7.77
	13.06	1,969.96	49.70	1,228	8.14	7.77
		<u>3,963.87</u>		<u>2,470</u>		

Alturas de ataguía aguar arriba

Elev. Plantilla salida + D + H + B.L. = Altura de ataguía aguas arriba

Donde:

D = Diámetro de túneles

H = Carga total por pérdidas

B.L. = Bordo Libre = 2.00 (m)

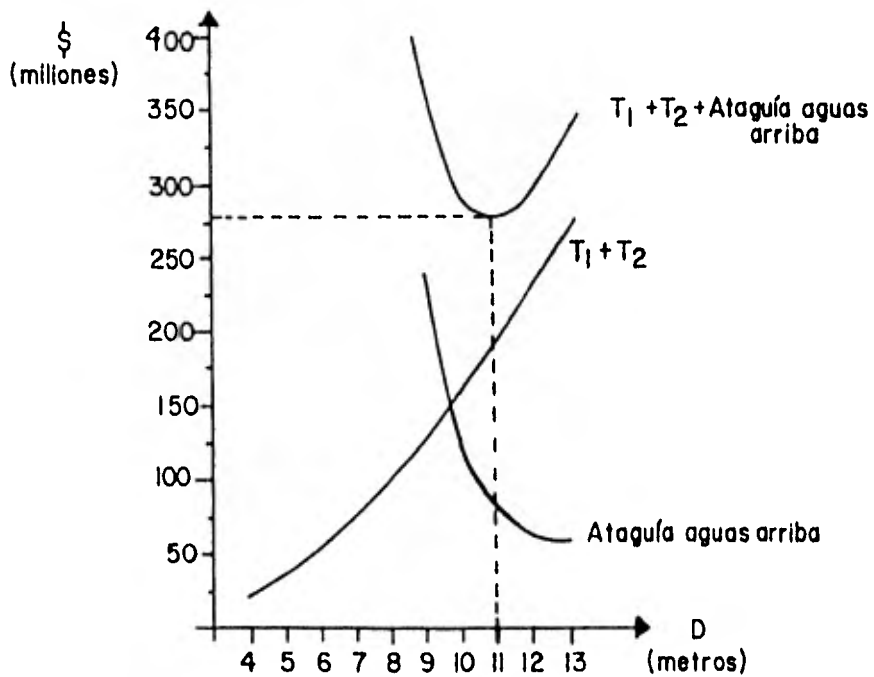
$$\therefore 515.00 + D + H + 2.00 = 517.00 + D + H$$

D	H	517.00 + D + H
4	1492	2013
5	528	1050
6	230	753
7	115	639
8	64	589
9	38	564
10	24	551
11	16	544
12	11	540
13	8	538

D (m)	Area de excavación(m <sup>2</sup> )	Area libre (m <sup>2</sup> )	Area de concreto (m) <sup>2</sup>	Volumen excavación (m) <sup>3</sup>	Volumen concreto (m <sup>3</sup> )	\$ Concreto (1,800.-/m <sup>3</sup> )
4	20.5678	14.2832	6.2846	19,333.72	5,907.52	10'633,530.-
5	32.1372	22.3175	9.8197	30,208.94	9,230.49	16'614,890.-
6	46.2775	32.1372	14.1403	43,500.88	13,291.91	23'925,442.-
7	62.9889	43.7423	19.2466	59,209.53	18,091.77	32'565,185.-
8	82.2712	57.1328	25.1384	77,334.90	23,630.07	42'534,119.-
9	104.1244	72.3087	31.8157	97,876.98	29,906.80	53'832,244.-
10	128.5487	89.2700	39.2787	120,835.78	36,921.98	66'459,560.-
11	155.5439	108.0167	47.5272	146,211.29	44,675.59	80'416,068.-
12	185.1101	128.5488	56.5613	174,033.52	53,167.75	95'701,767.-
13	217.2473	150.8663	66.3810	204,212.46	62,398.14	112'316,657.-

D	\$ Concreto (1,800.-/m <sup>3</sup> )	\$ Excavación (550.-/m <sup>3</sup> )	Ton. Acero (50 Kg/m <sup>3</sup> )	\$ Acero (16,000.-/Ton)	\$ (T-1 y T-2)
4	10'633,530.-	10'633,548.-	295.38	4'726,013.-	25'993,091.-
5	16'614,890.-	16'614,919.-	461.52	7'384,396.-	40'614,205.-
6	23'925,442.-	23'925,484.-	664.60	10'633,530.-	58'484,455.-
7	32'565,185.-	32'565,242.-	904.59	14'473,415.-	79'603,342.-
8	42'534,119.-	42'534,194.-	1 181.50	18'904,053.-	103'972,365.-
9	53'832,244.-	53'832,339.-	1 495.34	23'925,442.-	131'590,025.-
10	66'459,560.-	66'459,678.-	1 846.10	29'537,582.-	162'456,821.-
11	80'416,068.-	80'416,216.-	2 233.78	35'740,475.-	196'572,753.-
12	95'701,767.-	95'701,936.-	2 658.38	42'534,119.-	233'937,822.-
13	112'316,657.-	112'316,856.-	3 119.91	49'918,514.-	274'552,027.-

D \ S	T-1 y T-2	Ataguía a- guas arriba	(T-1)+(T-2)+ Ataguía aguas arriba
4	25'993,091.-	No factible	No factible
5	40'614,205.-	No factible	No factible
6	58'484,455.-	No factible	No factible
7	79'603,842.-	No factible	No factible
8	103'972,365.-	No factible	No factible
9	131'590,025.-	239'618,610	371'208,635
10	162'456,821.-	128'501,835	290'958,656
11	196'572,753.-	84'237,285	280'810,038
12	233'937,822.-	63'729,270	297'667,092
13	274'552,027.-	61'416,135	335'968,162



En esta gráfica se muestra el comportamiento de los costos de túneles 1 y 2 así como de las ataguías aguas arriba correspondientes a cada uno de los diámetros de túneles estudiados. Como puede observarse al sumar el costo de túneles y ataguías aguas arriba correspondientes, se obtiene una curva de costo total en la que existe un diámetro económico único que resulta ser el de 11 mts., y que es el que se elige para la obra de desvío de este proyecto.

## VI. OBRA DE EXCEDENCIAS

### a) Generalidades

La obra de excedencias cumple con el objetivo de eliminar los volúmenes de agua que no pueden o no deben ser almacenados o retenidos por el embalse protegiendo de esta manera a la cortina y las demás estructuras que pudieran ser dañadas. En el proyecto hidroeléctrico San Juan Tetelcingo la obra de excedencias está compuesta por tres unidades vertedoras con un canal de acceso común a la elevación 572 m.s.n.m. en la margen derecha. Cada unidad se controla mediante tres compuertas radiales de 5.85 m de ancho, apoyadas sobre el cimacio del perfil deprimido cuya cresta vertedora se encuentra en la cota 575.00 m.s.n.m. continuando a través de un túnel de sección circular de 13.00 m de diámetro y longitud total de 350.00 m.

Contando con los tres túneles, se diseña un vertedor de servicio al considerar que también se construirá aguas arriba el proyecto hidroeléctrico Huixtla y que una avenida de grandes dimensiones será regulada por el proyecto mencionado, además de que para el caso de presentarse una situación

de emergencia queda en posibilidad de utilizarse el túnel - No. 2 de desvío mediante las válvulas que para tal efecto - se preven en la obra de desvío. La estructura de control después del túnel se diseña con una cubeta de lanzamiento o salto de esquí a la elevación 546.00 m.s.n.m. para arrojar las aguas en la misma dirección de salida del río sin afectar para nada el desfogue de las turbinas gracias a la topografía de la misma margen derecha.

Al mencionar el proyecto Huixastla se toma en cuenta que el tránsito de la avenida máxima puede ser desalojado a través de los tres túneles, pero una vez construido el mencionado proyecto Huixastla la avenida máxima será menor y consecuentemente un túnel será suficiente como obra de servicio de excedencias quedando los otros como vertedores de emergencia.

#### b) Localización

Los vertedores se localizan en la margen derecha siguiendo la dirección del río desplantándose en material impermeable. El canal de acceso se localiza fuera de la zona de cortina permitiendo así su libre funcionamiento y al llegar a la zona de compuertas se tiene una plataforma común con la corona de la cortina para facilitar la operación de las compuertas.



tas.

A partir de la sección de compuertas los túneles vertedores 1, 2 y 3 tienen sus ejes paralelos y perpendiculares a la -- plataforma de operación de compuertas con lo que se da una - mayor eficiencia en el desalojo de aguas excedentes.

c) Diseño de las Estructuras

Tomando en consideración las recomendaciones de los diversos manuales de diseño se elige la relación:

$$\frac{H_{\text{máx.}}}{H_d} = 1.33$$

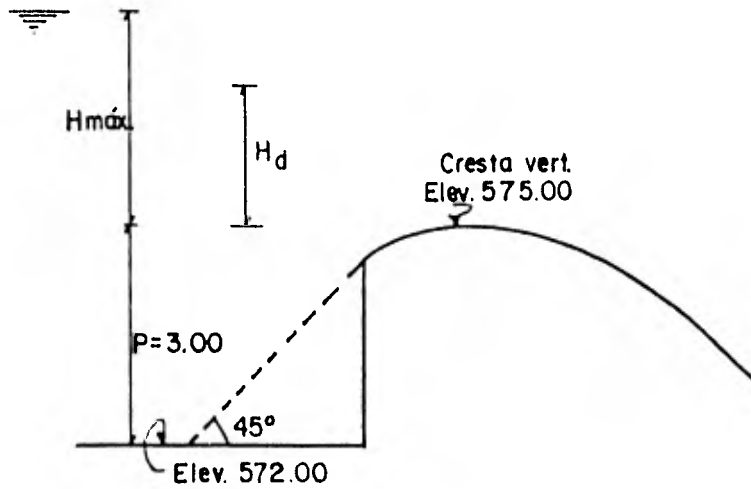
Donde:  $H_{\text{máx.}}$  = Carga máxima

$H_d$  = Carga de diseño

Con lo cual se tiene un perfil deprimido y consecuentemente al reducirse el volumen de material para la construcción del cimacio y disminuir las presiones negativas se concluye que:

$$H_d = \frac{H_{\text{máx.}}}{1.33}$$

NAME  
Elev. 592.00



El valor  $H_{m\acute{a}x.}$  se obtiene de la diferencia entre la elevación del nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.F.) y la elevación de la cresta vertedora.

Elev. NAME = 592.00

Elev. Cresta V. = 575.00

$H_{m\acute{a}x.} = 17.00$

Sustituyendo:

$$H_d = \frac{H_{m\acute{a}x.}}{1.33} = \frac{17}{1.33} = 12.782$$

Con lo cual de acuerdo a recomendaciones se tiene un perfil deprimido, y para obtener la longitud de la cresta, se utiliza la ecuación:

$$Q_{\text{máx.}} = CL_{\text{ef}}H^{3/2}$$

Donde:

$$Q_{\text{máx.}} = \text{Gasto máximo (m}^3/\text{seg.)}$$

$$C = \text{Coeficiente de descarga}$$

$$L_{\text{ef}} = \text{Longitud efectiva (m)}$$

$$H = \text{Carga sobre la cresta vertedora (m)}$$

Con la relación  $\frac{H_{\text{máx.}}}{H_d} = 1.33$ , de acuerdo a los manuales y teniendo un perfil deprimido y talud inclinado, se hacen las correcciones:

$$\frac{P}{H_d} = \frac{3.00}{12.72} = 0.2347; \text{ Gráficas, para } \frac{P}{H_d} = 0.2347$$

$$C = 1.985$$

Corrección por inclinación  $45^\circ$  (1:1)

$$\text{De gráficas; con } P/H_d = 0.2347; \frac{C_{\text{incl.}}}{C_{\text{vert.}}} = 1.03 \quad C_d = (1.03)(1.985) \\ = 2.04455$$

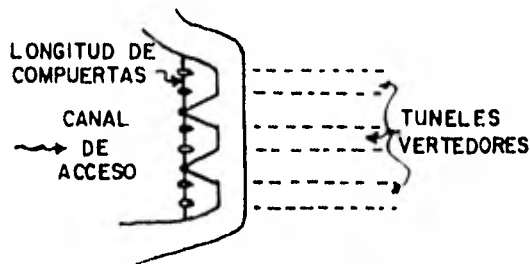
$$\text{Con } H_{\text{máx.}}/H_d = 1.33, \text{ de gráficas: } \frac{C_{\text{máx.}}}{C_d} = 1.42 \quad C_{\text{máx.}} = (1.04)(2.4455) \\ = 2.12633$$

$$Q_{\text{máx.}} = CLH^{3/2} = (2.12633)(17)^{3/2}(L) = (149.0404)(L)$$

$$QH_d = C_c L H_d = (2.04455)(12.782)^{3/2}(L) = 93.4321 (L)$$

$$\text{Para } Q_{\text{máx.}} = 7828 \text{ M}^3/\text{seg. } L = \frac{Q_{\text{máx.}}}{149.0404} = 52.52$$

Se consideran 3 compuertas de 5.85 (m) para cada túnel.



$$\frac{P}{H_d} = 0.235 < 0.3 \therefore \frac{h_v}{H_d} = 0.12$$

$H_d < H_{\text{máx.}}$ ; Perfil deprimido

-Perfil del Cimacio

Las coordenadas del perfil del cimacio se definen con la --  
ecuación:

$$\frac{Y}{H_d} = -K \left( \frac{X}{H_d} \right)^n$$

Con  $\frac{h_v}{H_d} = 0.12$  y talud aguas arriba 1:1

De gráficas  $K=0.525$  y  $N=1.747$

$$\frac{Y}{12.782} = (-0.525) \left( \frac{X}{12.782} \right)^{1.747} \Rightarrow Y = -0.07826 X^{1.747}$$

COORDENADAS DEL CIMACIO		
X	$X^{1.747}$	Y
0.0	0.0000	0.0000
0.5	0.2979	-0.0233
1.0	1.0000	-0.0783
1.5	2.0306	-0.1589
2.0	3.3566	-0.2627
2.5	4.9568	-0.3879
3.0	6.8160	-0.5334
3.5	8.9225	-0.6983
4.0	11.2668	-0.8817
4.5	13.8408	-1.0832
5.0	16.6380	-1.3021
5.5	19.6523	-1.5380
6.0	22.8786	-1.7905
6.5	26.3123	-2.0592
6.75	28.1057	-2.1995
6.878	29.0470	-2.2732

Para determinar el punto de tangencia de la plantilla del ci  
 macio con el canal de descarga se deriva de la ecuación:

$$Y = (-0.07826) (X)^{1.747}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0.07826 (1.747) X^{0.747} = \text{Tan } 30^\circ$$

$$X \text{ máx.} = 0.747 \sqrt{\frac{0.5774}{(0.07826)(1.747)}}$$

$$X \text{ máx.} = 6.878 \text{ (m)}$$

y sustituyendo en la ecuación se tiene que

$$Y \text{ máx.} = -2.273 \text{ (m)}$$

De gráfica 187 (DPP)

$$\text{Con } \frac{h_v}{H_d} = 0.12; \frac{X_c}{H_d} = 0.19 \quad X_c = (0.19)(12.782)$$

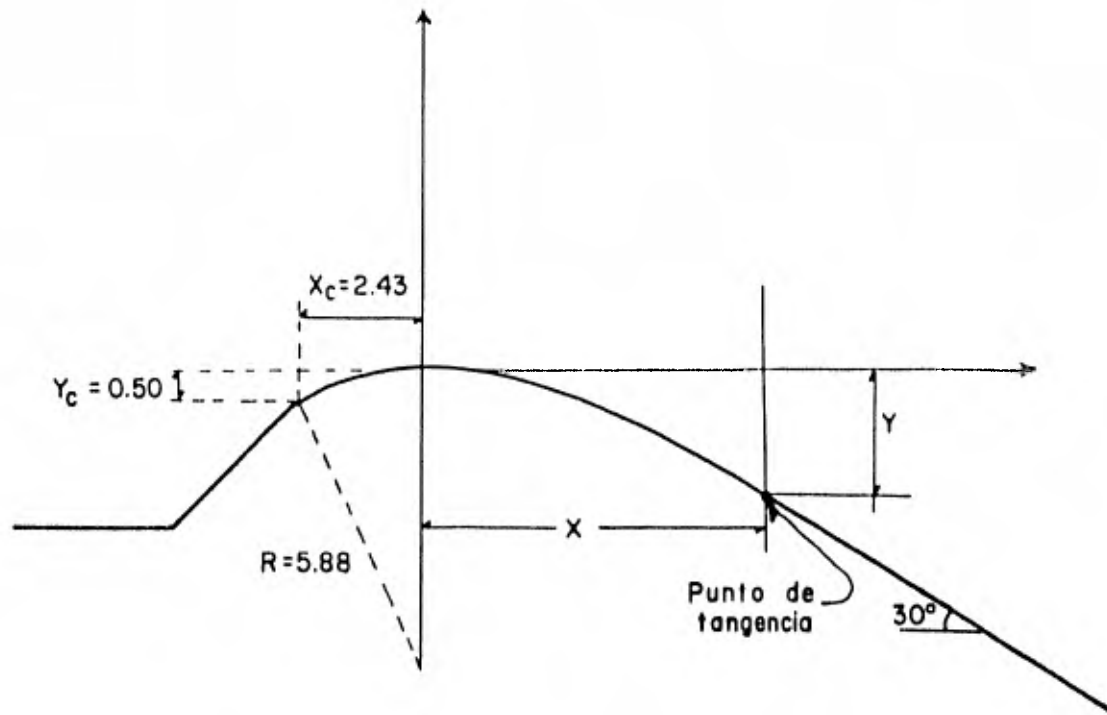
$$X_c = 2.43 \text{ m}$$

$$\frac{Y_c}{H_d} = 0.039 \quad Y_c = (0.039)(12.782)$$

$$Y_c = 0.50 \text{ m}$$

$$\frac{R_1}{H_d} = \frac{R_2}{H_d} = 0.46 \quad R_1 = R_2 = (0.46)(12.782)$$

$$R_1 = R_2 = 5.88 \text{ m}$$



PERFIL DEL CIMACIO DEL VERTEDOR

Conductos de descarga.

Los conductos de descarga consistirán en tres túneles de --- iguales dimensiones cada uno, se tiene en este caso una sección circular que para verter en régimen supercrítico y evitar la formación de un resalto hidráulico abajo del control se diseña de tal manera que el régimen permanezca supercrítico a lo largo de toda la longitud del túnel.

El perfil del cimacio mostrado en la figura de la página anterior se mantiene hasta hacerse tangente a los  $30^\circ$ , de ahí permanece con la misma pendiente hasta integrarse a la pendiente de 0.0217 necesaria para mantener el flujo uniforme de una relación tirante-diámetro de 0.75.

El diámetro de cada uno de los túneles es de 13.00 (m) y están revestidos de concreto de tal manera que puedan desalojar un gasto total de hasta  $7828 \text{ m}^3/\text{seg.}$  con las compuertas totalmente abiertas sin menoscabo de su eficiente funcionamiento hidráulico.

Deflectores:

Tomando en consideración las condiciones topográficas de la



márgen derecha donde se alojarán los vertedores de la obra - de excedencias, se diseña una estructura terminal de salida que pueda descargar directamente al río mediante un trampolín en el que el agua al descargarse como un chorro libre defina su trayectoria en función de la energía del flujo así como del ángulo de salida del trampolín por lo que este ángulo de salida se limita a no ser mayor de 25°, este ángulo de salida queda influenciado por el radio de curvatura del trampolín y la altura de salida en relación al fondo de éste.

Por lo anterior y según se calcula más adelante, la estructura terminal de salida presenta las siguientes características:

Radio de curvatura	50.00 m
Angulo de deflexión	15°, 30°
Subtangente	37.94 m

Cálculo del perfil del agua sobre el vertedor;

Para que se establezca flujo uniforme,

$$\frac{Y}{D} = 0.75$$

$$D = 13.00 \text{ m}$$

$$Q = 7828/3 = 2609.333 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$s_0 = s_f$$

$$n = 0.015$$

$$\text{Area} = \frac{D^2}{4} \left( \frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)$$

$$= \frac{13^2}{4} \left( \frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right) = 106.783 \text{ m}^2$$

$$P = 2\pi \left( \frac{D}{2} \right) \left( \frac{2}{3} \right) = 27.23$$

$$R_H = \frac{A}{P} = 3,9219 \quad R_H^{2/3} = 2.4869$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2609.333}{106.783} = 24.436$$

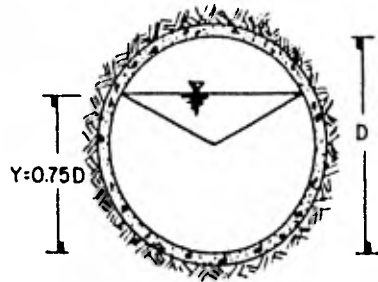
$$V = \frac{1}{n} s^{1/2} R_H^{2/3} \quad s = \left( \frac{vn}{R_H^{2/3}} \right)^2 = \frac{(24.436)(0.015)^2}{2.4869} = 0.0217$$

Perfil del agua sobre el cimacio

$$H_{\text{m} \hat{\text{a}} \text{x}} = 17.00 \text{ m}$$

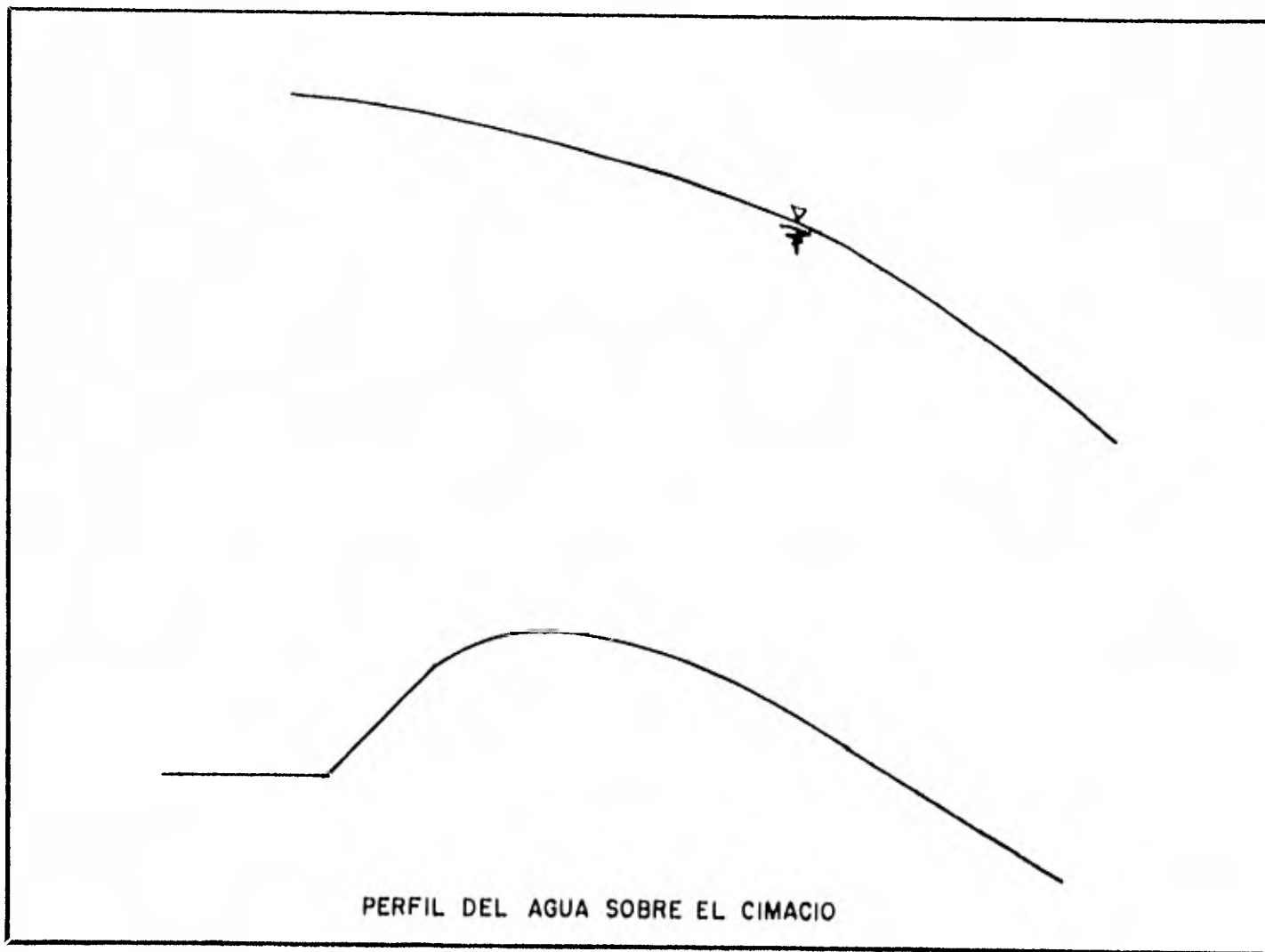
$$H_d = 12.762 \text{ m}$$

$$\frac{H_{\text{m} \hat{\text{a}} \text{x}}}{H_d} = 1.33$$



PERFIL SUPERIOR DEL AGUA SOBRE EL CIMACIO

Punto	$X/H_d$	$Y/H_d$	Coordenadas	
			X	Y
Eje cresta	0.00	0.831	0	10.622
2	0.05	0.819	0.639	10.468
3	0.10	0.807	1.278	10.315
4	0.15	0.793	1.917	10.136
5	0.20	0.779	2.556	9.957
6	0.30	0.747	3.235	9.548
7	0.40	0.710	5.113	9.075
8	0.50	0.668	6.391	8.538
P.T	0.538	0.648	6.878	8.283



PERFIL DEL AGUA SOBRE EL CIMACIO

$$n = 0.015$$

$$S_o = \tan 30^\circ = 0.5774$$

$$Q = 2609.333 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Y/D	Y	A	R	$R^{2/3}$	V	$V^2/2g$
0.812	10.556	115.4439	3.9569	2.5017	22.6026	26.0386
0.81	10.53	115.1735	3.9559	2.5013	22.6557	26.1610
0.80	10.40	113.8384	3.9546	2.5007	22.9214	26.7783
0.79	10.27	112.4695	3.9507	2.4991	23.2004	27.4341
0.78	10.14	111.0837	3.9468	2.4974	23.4898	28.1229
0.77	10.01	109.6641	3.9403	2.4947	23.7939	28.8557
0.76	9.88	108.2445	3.9312	2.4909	24.1059	29.6175
0.75	9.75	106.7911	3.9221	2.4870	24.4340	30.4292

$E$	$\Delta E$	$S_{fi}$	$S_f$	$S_0 - S_f$	$\Delta x$	$\sum \Delta x$
36.5946	-----	0.0184	-----	-----	-----	-----
36.6910	0.0964	0.0185	0.0184	0.5589	0.1725	0.1725
37.1783	0.4872	0.0189	0.0187	0.5587	0.8721	1.0447
37.7041	0.5258	0.0194	0.0191	0.5582	0.9420	1.9867
38.2629	0.5588	0.0199	0.0196	0.5577	1.0019	2.9886
38.8657	0.6028	0.0205	0.0202	0.5572	1.0819	4.0705
39.4975	0.6318	0.0211	0.0206	0.5566	1.1352	5.2057
40.1792	0.6817	0.0217	0.0214	0.5560	1.2261	6.4318

A partir de este punto (y con la pendiente  $S_0 = 0.0217$ ) se diseña el túnel hasta alcanzar  $L=350$  m .

Al final se tiene la estructura terminal:

Cálculo de la curva de salida y perfil del agua;

$$-Y = X \tan \theta + \frac{X^2}{K \left[ \frac{4(y+V^2)}{2g} \cos^2 \theta \right]}$$

$$K = 1.5$$

$$\theta = 1^{\circ}14'40''$$

$$-Y = 0.0217 X + \frac{X^2}{240.9613}$$

X	Y
0.5	0.0119
1.0	0.0259
2.0	0.0600
4.0	0.1534
8.0	0.4394
15.0	1.2596
20.0	2.0945
25.0	3.1369
30.0	4.3868
32.2016	5.0029

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum hf$$

$$6.70 + 9.75 + 30.4292 = 1.70 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + (0.1)\left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

$$46.879 = 1.70 + Y_2 + (1.1)\left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

$$Y_2 = 45.179 - (1.1)\left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

$$Q = (13)(Y_2)(V_2) = 2609.333$$

$$V_2 = \sqrt{(45.179 - Y_2)\left(\frac{2g}{1.1}\right)}$$

$$Y_2 = 7.7705$$

$$V_2 = 25.8308$$

$$Q_2 = 2609.33$$

$$Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = Z_3 + Y_3 + \frac{V_3^2}{2g} + \sum hf$$

$$1.70 + 7.7705 + 34.0077 = 0 + Y_3 + (1.1)\left(\frac{V_3^2}{2g}\right)$$

$$Y_3 = 43.4782 - (1.1)\left(\frac{V_3^2}{2g}\right)$$

$$V_3 = \sqrt{(43.4782 - Y_3)\left(\frac{2g}{1.1}\right)}$$



$$Y_3 = 7.9764$$

$$V_3 = 25.1640$$

$$Q_3 = 2609.33$$

$$Z_3 + Y_3 + \frac{V_3^2}{2g} = Z_4 + Y_4 + \frac{V_4^2}{2g} + \sum hf$$

$$0 + 7.9764 + 32.2746 = 6.70 + Y_4 + (1.1) \left( \frac{V_4^2}{2g} \right)$$

$$Y_4 = 33.551 - (1.1) \left( \frac{V_4^2}{2g} \right)$$

$$V_4 = \sqrt{(33.551 - Y_4) \left( \frac{2g}{1.1} \right)}$$

$$Y_4 = 9.7396$$

$$V_4 = 20.6084$$

$$Q_4 = 2609.33$$

Longitud del chorro

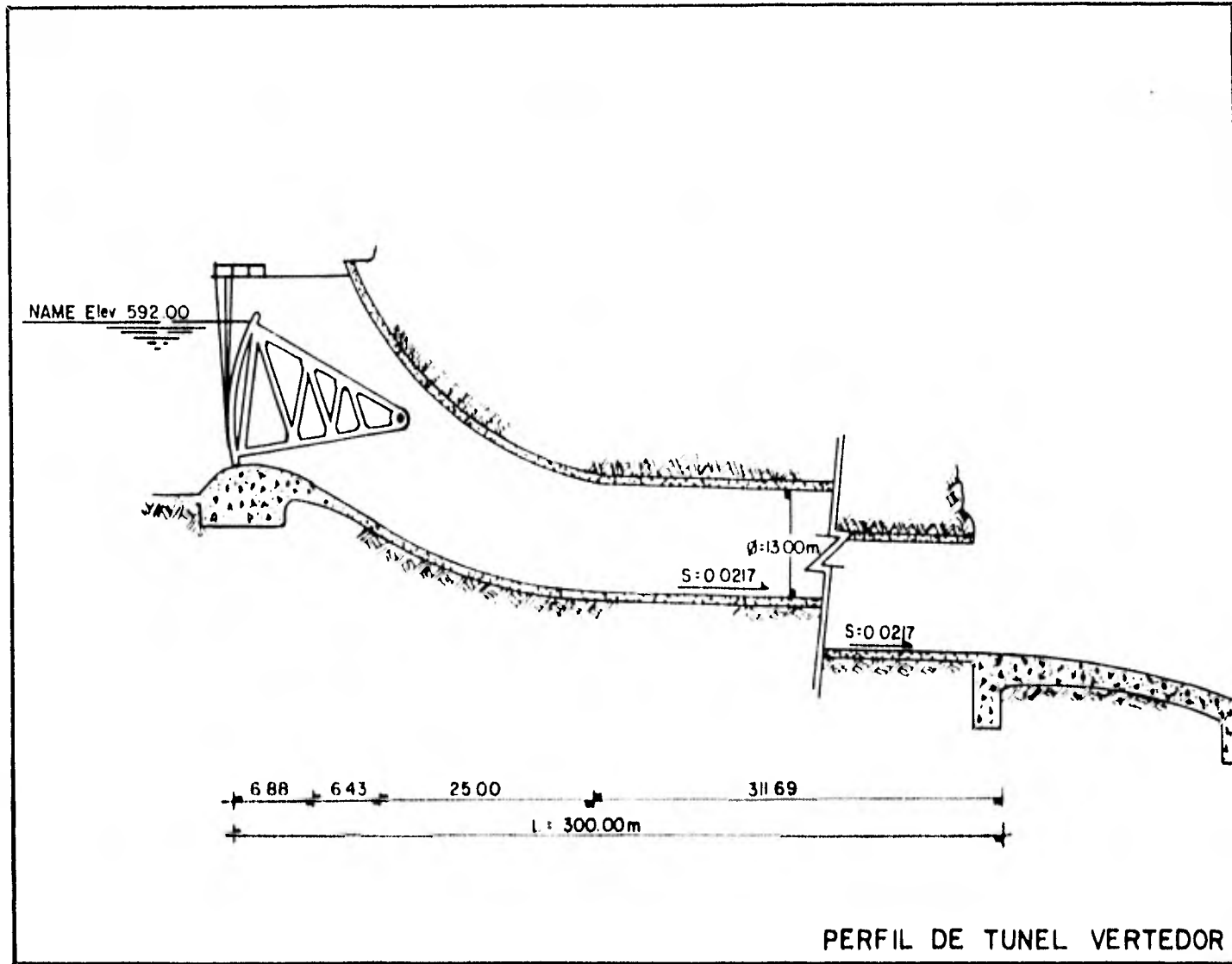
$$Y = X \tan \theta \frac{X^2}{K[4(Y+nv)\cos^2\theta]}$$

$$Y = 0$$

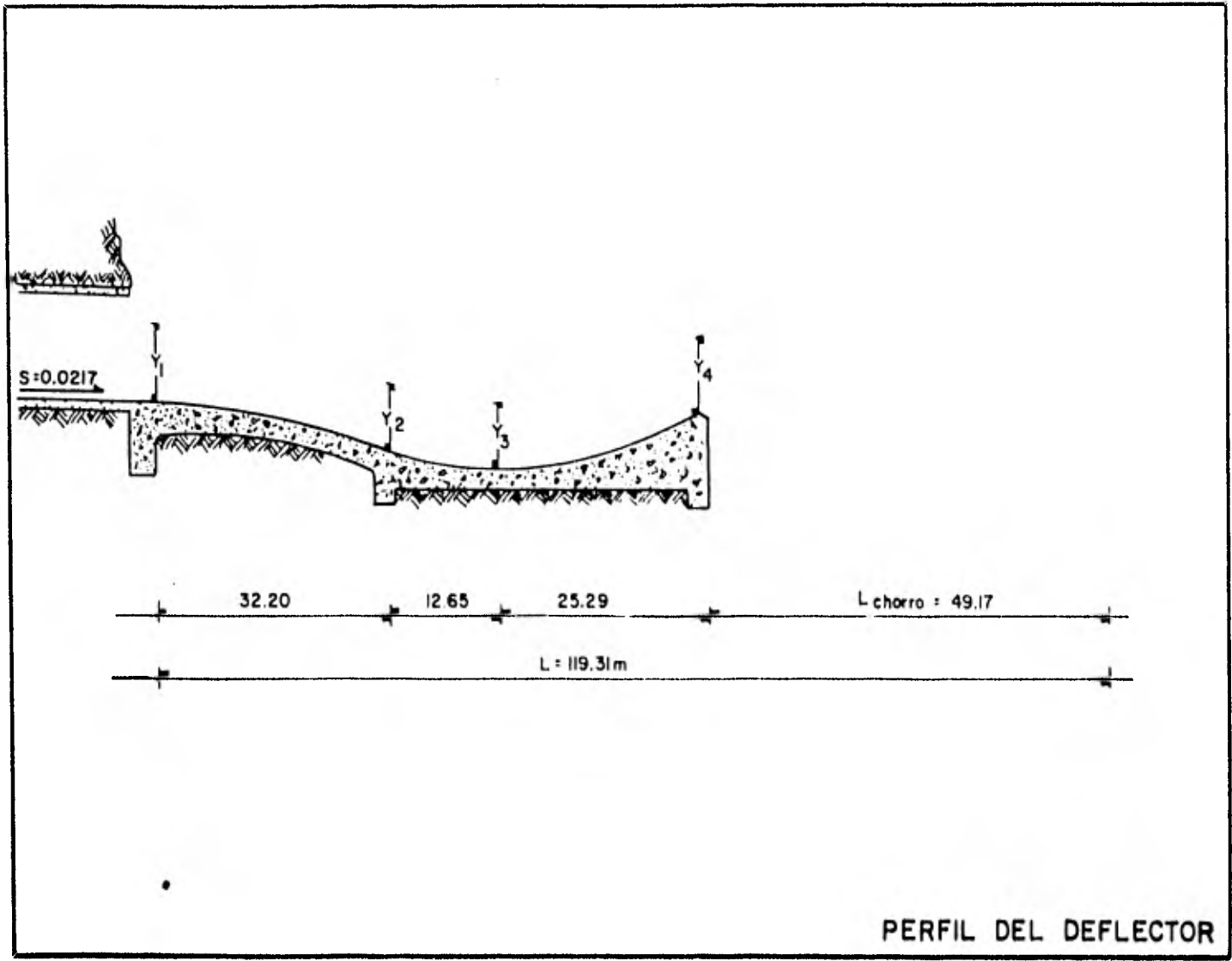
$$\therefore X = 2K(Y + nv) \operatorname{Sen} 2\theta$$

$$; K = 0.9$$

$$\therefore X = (1.8)(9.7396 + 21.8057) (\operatorname{Sen} 60^\circ) = 49.1743$$



PERFIL DE TUNEL VERTEDOR



PERFIL DEL DEFLECTOR

- Tránsito de la Avenida Máxima

El tránsito de la avenida máxima se realiza de acuerdo al método modificado de L. G. Puls, que se calcula al resolver la ecuación:

$$1 + \frac{S_1}{T} - \frac{Q_1}{2} = \frac{S_2}{T} + \frac{Q_2}{2}$$

En donde:

T = Número de segundos del intervalo de tiempo

I = Gasto medio de la corriente en el intervalo

$Q_1$  = Gasto de descarga al iniciarse el intervalo

$Q_2$  = Gasto de descarga al finalizar el intervalo

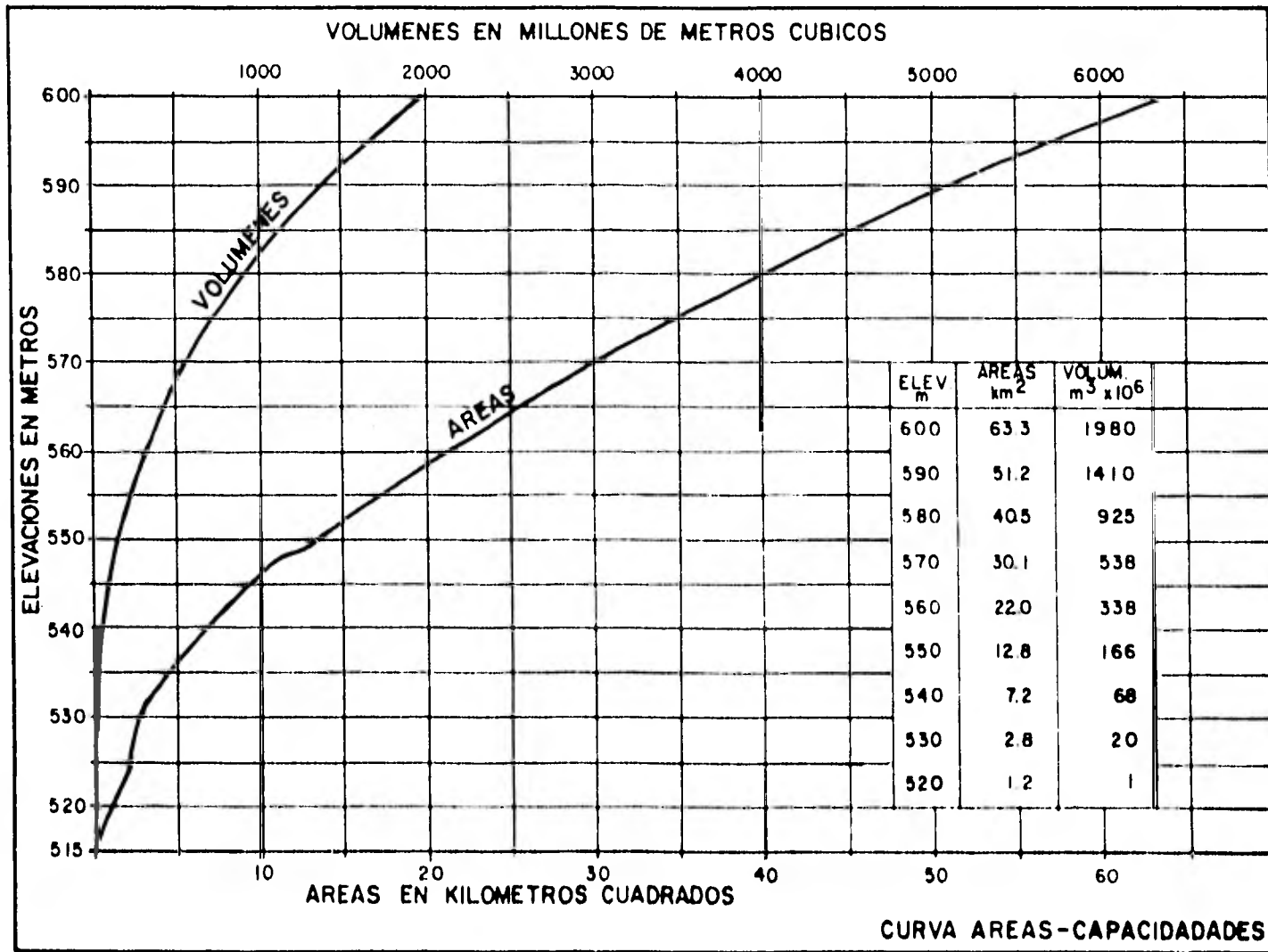
$S_1$  = Almacenamiento sobre la cresta del vertedor al iniciarse el intervalo

$S_2$  = Almacenamiento sobre la cresta del vertedor al finalizar el intervalo.

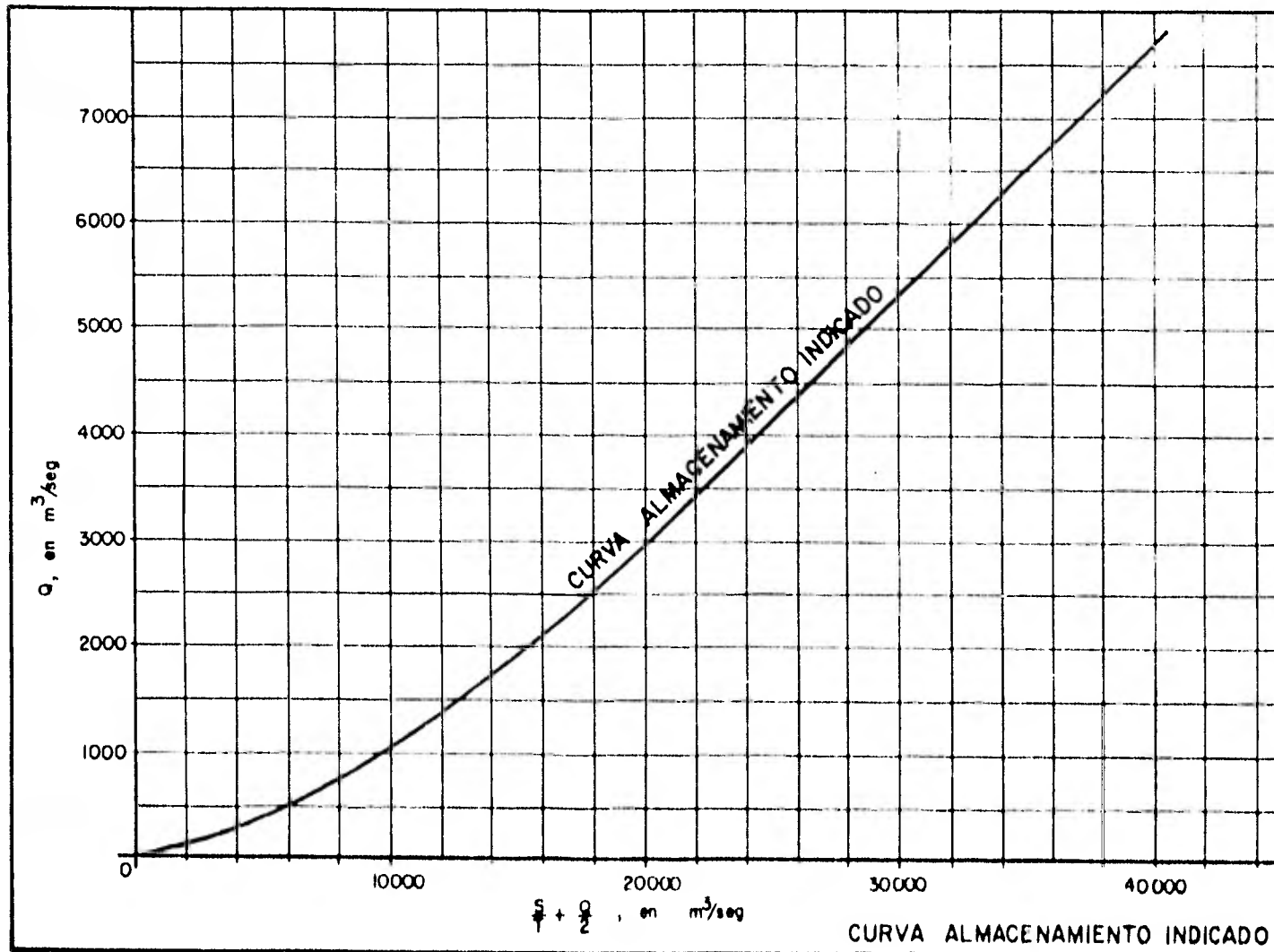
Para utilizar este método se requiere dibujar una curva que relaciona los gastos de descarga (Q) con los correspondientes almacenamientos del vaso entre el intervalo de tiempo considerado, más un medio de la descarga ( $\frac{S}{T} + \frac{Q}{2}$ ); a esta curva Puls la designa con el nombre de "STORAGE-INDICATION"

(ALMACENAMIENTO INDICADO), en el cálculo de dicha curva se tienen como datos básicos las descargas del vertedor y el almacenamiento del vaso para varias elevaciones de la superficie del agua en el vaso. Una vez determinada la curva "ALMACENAMIENTO INDICADO" el procedimiento es el siguiente:

- 1). Para valores dados, el primer intervalo, de  $I$ ,  $Q_1$  y  $\frac{S_1}{T}$  se calcula el valor numérico de  $I - \frac{S_1}{T} - \frac{Q_1}{2}$ .
- 2). Con este valor numérico, que es igual a  $\frac{S_2}{T} + \frac{Q_2}{2}$ , se entra en la curva "Almacenamiento indicado", y se lee el correspondiente valor del gasto de salida ( $Q_2$ ), este valor es el gasto de salida al finalizar el primer intervalo.
- 3). Sustrayendo  $Q_2$  del correspondiente valor de  $\frac{S_2}{T} + \frac{Q_2}{2}$ , el valor es  $\frac{S_2}{T} - \frac{Q_2}{2}$ . El valor de  $\frac{S_1}{T} - \frac{Q_1}{2}$  para el segundo intervalo de tiempo es igual al valor de  $\frac{S_2}{T} - \frac{Q_2}{2}$  del primer intervalo. Consecuentemente el primer miembro de la ecuación (1) puede ser calculado para el segundo intervalo de tiempo y el procedimiento puede repetirse sucesivamente.



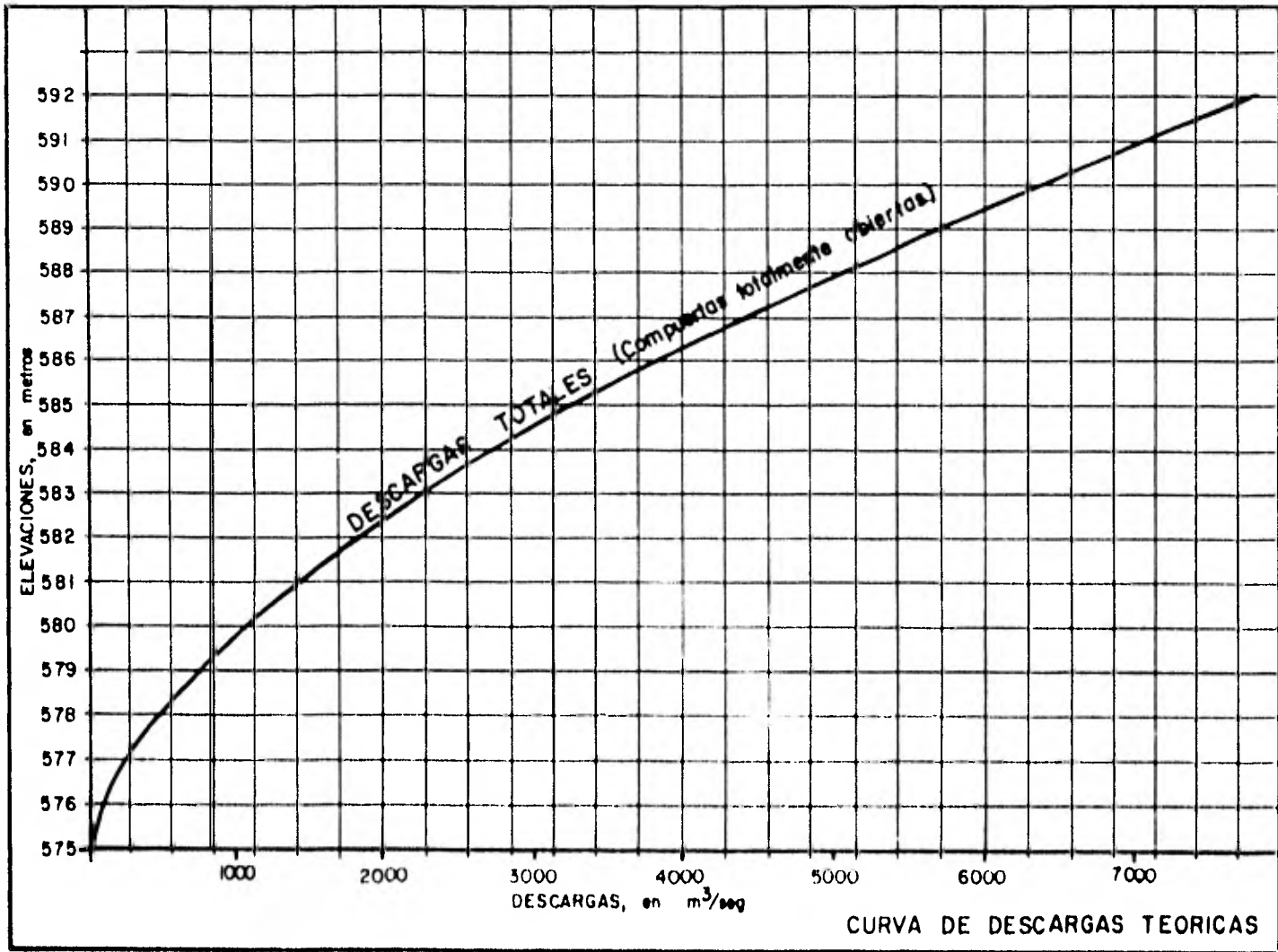
CURVA DE DESCARGAS								
COMPUERTAS TOTALMENTE ABIERTAS								
Elev.	H	$H^{3/2}$	Lef.	$H/H_d$	$C/C_d$	C	Q(una unidad vertedora)	Q(tres unida des verted.)
575	0	0	17.5	0	0	0		
576	1	1.0000	17.5	0.0782	0.816	1.6198	29.15	87.46
577	2	2.8284	17.5	0.1565	0.840	1.6674	84.89	254.67
578	3	5.1962	17.5	0.2347	0.860	1.7071	159.67	479.00
579	4	8.0000	17.5	0.3128	0.880	1.7468	251.54	754.62
580	5	11.1803	17.5	0.3912	0.893	1.7726	356.73	1070.18
581	6	14.6969	17.5	0.4694	0.913	1.8123	479.43	1478.30
582	7	18.5203	17.5	0.5476	0.924	1.8341	611.43	1834.28
583	8	22.6274	17.5	0.6259	0.942	1.8699	761.60	2284.79
584	9	27.0000	17.5	0.7041	0.953	1.8917	919.37	2758.10
585	10	31.6228	17.5	0.7824	0.964	1.9135	1089.18	3267.55
586	11	36.4829	17.5	0.8606	0.983	1.9513	1281.40	3844.21
587	12	41.5692	17.5	0.9388	0.992	1.9691	1473.37	4420.11
588	13	46.8722	17.5	1.0171	1.003	1.9910	1679.81	5039.42
589	14	52.3832	17.5	1.0953	1.013	2.0108	1895.98	5687.94
590	15	58.0948	17.5	1.1735	1.022	2.0287	2121.42	6364.27
591	16	64.0000	17.5	1.2518	1.031	2.0465	2357.57	7072.70
592	17	70.0928	17.5	1.3300	1.040	2.0684	2609.64	7828.92





CURVA ALMACENAMIENTO INDICADO (STORAGE-INDICATION)

Elev.	H (m)	H <sup>3/2</sup>	Q	Q/2	Vol. Vaso x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	S x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	$\frac{S}{T}$ (T=6Hs=21600 Seg)	$\frac{S}{T} + \frac{Q}{2}$
575	0	0	0	0	715	0	0	0
576	1	1.0000	87.47	43.74	750	35	1620.37	1664.11
577	2	2.8284	254.67	127.34	790	75	3472.22	3599.56
578	3	5.1962	479.00	239.50	835	120	5555.56	5795.06
579	4	8.0000	754.62	377.31	875	160	7407.41	7784.72
580	5	11.1803	1070.19	535.10	925	210	9722.22	10257.31
581	6	14.6969	1438.30	719.15	955	240	11111.11	11830.26
582	7	18.5203	1834.31	917.16	1010	295	13657.41	14574.57
583	8	22.6274	2284.76	1142.38	1050	335	15509.26	16651.64
584	9	27.0000	2758.11	1379.06	1090	375	17361.11	18740.16
585	10	31.6228	3267.61	1633.81	1145	430	19907.41	21541.22
586	11	36.4629	3844.12	1922.06	1185	470	21759.26	23681.32
587	12	41.5692	4420.15	2210.08	1240	525	24305.56	26515.64
588	13	46.8722	5039.30	2519.65	1275	560	25925.93	28445.58
589	14	52.3832	5687.95	2843.98	1330	615	28472.22	31316.19
590	15	58.0948	6364.12	3182.09	1385	670	31018.52	34200.61
591	16	64.0000	7072.82	3536.41	1450	735	34027.78	37564.19
592	17	70.0928	7828.92	3914.46	1505	790	36574.07	40488.47



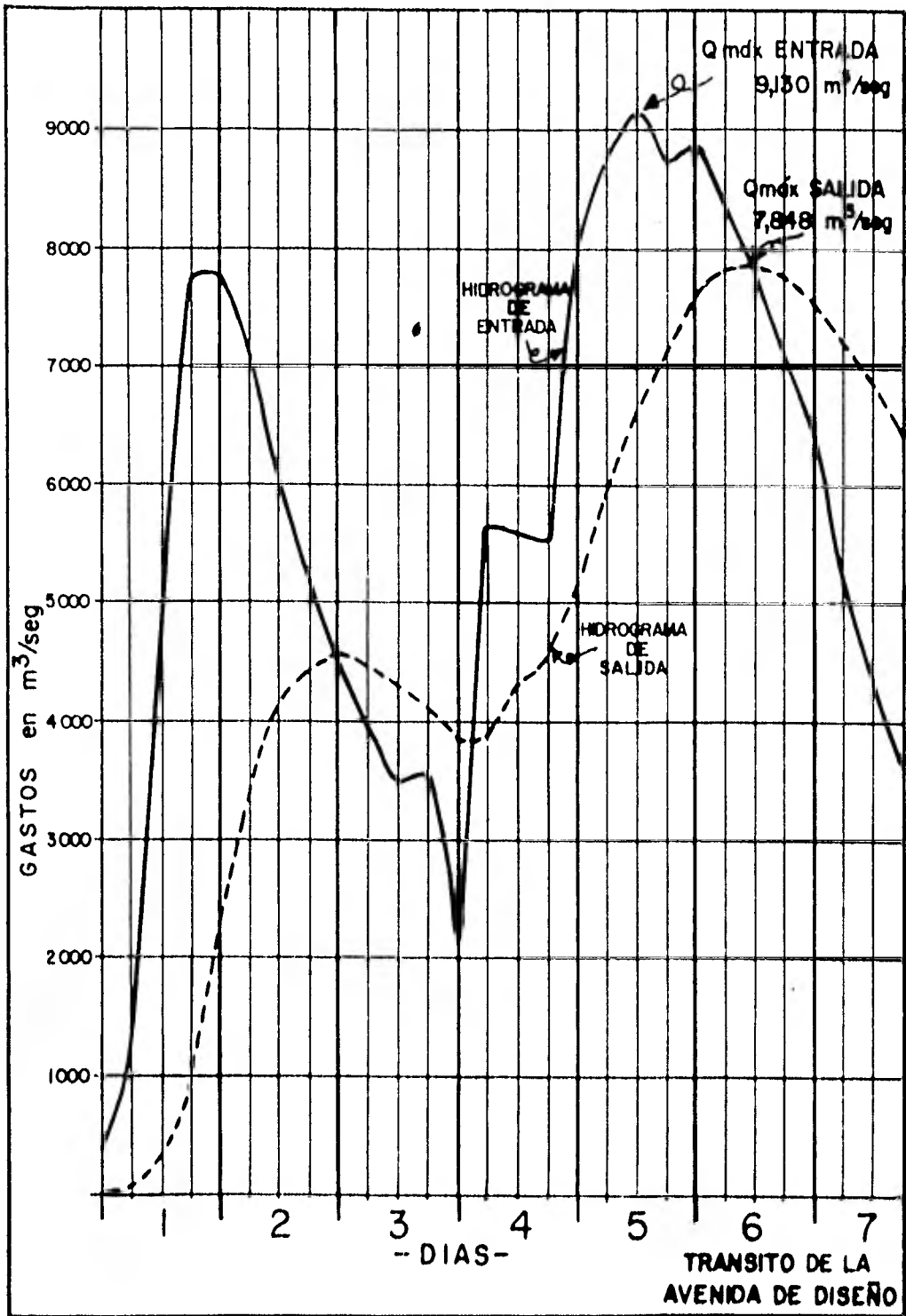
CURVA DE DESCARGAS TEORICAS

TRANSITO DE LA AVENIDA MAXIMA POR LA OBRA DE EXCEDENCIAS

( Compuertas totalmente abiertas )

TIEMPO		Q (m <sup>3</sup> /seg.)	I (m <sup>3</sup> /seg.)	$\frac{S}{T} + \frac{Q}{2}$	Q Salida	Elevaciones en el vaso (m.s.n.m.)
DIA	Hora					
1	0	366	366.0	---	19	575.22
	6	1235	800.5	1147.5	60	575.69
	12	4814	3024.5	4112	307	577.23
	18	7754	6284.0	10089	1048	579.93
	24	7794	7774.0	16815	2321	583.08
2	6	7110	7452.0	21946.0	3376	585.19
	12	5999	6554.5	25124.5	4137	586.51
	18	5191	5595.0	26582.5	4441	587.03
	24	4463	4827.0	26968.5	4565	587.23
3	6	3946	4204.5	26608	4449	587.05
	12	3499	3722.5	25881.5	4291	586.78
	18	3553	3526.0	25116.5	4135	586.50
	24	2163	2858.0	23839.5	3876	586.06

TIEMPO DÍA Hora	Q (m <sup>3</sup> /seg.)	I (m <sup>3</sup> /seg.)	$\frac{S}{T} + \frac{Q}{2}$	Q <sub>salida</sub>	Elevaciones en el vaso (m.s.n.m.)	
4	6	5659	3911.0	23874.5	3883	586.07
	12	5598	5628.5	25620	4238	586.68
	18	5521	5559.5	26941.5	4556	587.22
	24	8043	6782.0	29167.5	5202	588.25
5	6	8764	8403.5	32369	5934	589.36
	12	9130	8947.0	35382	6613	590.35
	18	8715	8922.0	37691.5	7105	591.04
	24	8871	8793.0	39379.5	7592	591.69
6	6	8350	8610.5	40398	7322	591.99
	12	7838	8094.0	40670	7848	592.03
	18	7142	7490.0	40312	7783	591.94
	24	6493	6817.5	39346.5	7533	591.61
7	6	6177	6335.0	38148.5	7223	591.20
	12	5360	5768.5	36694	6889	590.74
	18	4663	5011.5	34468	6420	590.08



## VII PLANTA HIDROELECTRICA

### a) Generalidades

Para la planta hidroeléctrica se ha considerado como un sólo capítulo tanto la obra de toma de conducción a presión así como la casa de máquinas y desfogue ya que en un proyecto hidroeléctrico no se puede dar ninguna de las condiciones sin dependencia de las otras, de tal manera que este capítulo engloba el mismo fin.

La obra de toma cumple con la función de permitir y controlar la extracción del agua libre de cuerpos flotantes y sólidos que al ser arrastrados puedan provocar un daño a las unidades de la casa de máquinas. El agua que se conduce hasta la casa de máquinas circula así en las condiciones, cantidades y tiempos necesarios para el buen funcionamiento de las turbinas.

Desde su inicio el conducto a presión es de sección circular con un diámetro  $D = 9.50$  m pasando por una curva horizontal de  $\Delta = 65$  después de los primeros 60 metros y posteriormente sigue en línea recta a lo largo de 240 m para llegar al sitio en el que se localiza el pozo de oscilación. De --

aquí toma dirección hacia la zona de casa de máquinas con un diámetro de 8.60 (m) empezando con una curva vertical convexa  $\Delta = 35'$  y  $R = 50$  m y continúa recto durante 245 m para tomar después una curva vertical cóncava de iguales dimensiones que la anterior y bifurcarse en dos conductos de 610 (m) de diámetro cada uno que alimentan a las turbinas.

El tramo de conducción desde la entrada hasta el pozo de oscilación está revestido de concreto y tiene una pendiente de 0.0023; a partir del pozo de oscilación y hasta la casa de máquinas el conducto es de acero con recubrimiento de concreto para evitar pérdidas y aprovechar lo mayormente posible la caída del agua.

Para el cálculo del espesor de la tubería se toman en cuenta los esfuerzos circunferenciales y no los que absorben el concreto y la zona rocosa para mayor seguridad, utilizando la expresión:

$$e = \frac{P \cdot D}{2f_s \eta}$$

Donde:

e = Espesor de la tubería

P = Presión interior

D = Diámetro de la tubería

$f_s$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$\eta$  = Eficiencia de las juntas soldadas

La casa de máquinas, local destinado a alojar los mecanismos electromecánicos para la transformación y conducción de energía, cuenta con dos turbinas tipo Francis Normal así como los alternadores, aparatos de protección y medida, maquinaria y elementos auxiliares y transformadores para elevar la tensión para su transporte. Por sus condiciones la casa de máquinas es exterior por lo que los generadores contarán con protección de coraza metálica. El número de unidades - está dado por economía, y, la seguridad del sistema queda en función directa de su operación como parte de un sistema -- conjunto con los proyectos mencionados en el primer capítulo.

Las dimensiones de la casa de máquinas se definen en función del tamaño de las unidades y del equipo necesario para su - instalación y funcionamiento, tal como grúas y equipo auxiliar; los transformadores de potencia quedan conectadas a - la subestación elevadora que se encuentra en la elevación - 550.00 m.n.s.m.

Para la elección del tipo de turbinas se tomaron en cuenta



los factores más importantes como son el rango de carga y la velocidad específica para determinarlas entre las condiciones Pelton o de impulso, Francis o de reacción y Hélice con su variante Kaplan.

El desfogue es la estructura que sirve para conducir el caudal arrojado por las turbinas hacia el cauce del río. En esta obra el desfogue se hace directamente ya que las condiciones de la casa de máquinas exterior así lo definen y --- ello hace innecesaria la construcción de túneles quedando sólo una plataforma de concreto armado para evitar la erosión y canalizar el agua hacia el cauce del río efectuando esta descarga a la misma elevación 515.00 m.s.n.m.

#### b) Localización

Para las condiciones topográficas de la zona del proyecto, se localizó la obra de toma en la margen izquierda del río contando con una boca-toma que permita la entrada del agua en el conducto de presión de sección circular; la plataforma-rampa de la entrada tiene su plantilla en la elevación 558.00 m.s.n.m. y aproximadamente a unos 70 m aguas arriba del eje de la cortina. A la entrada se cuenta con una estructura de reji

llas para evitar el paso de cuerpos flotantes, también se localizan en esta zona las compuertas, mecanismos elevadores, y todo el equipo necesario para regular los gastos de extracción con máximo de  $397 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , la plataforma de operación de las compuertas está a la misma elevación de la corona de la cortina para su fácil acceso.

Al finalizar el tramo de conducción a presión y en el cambio de dirección horizontal y vertical se localiza el pozo de oscilación necesario para reducir el golpe de ariete -- que se produce al cerrar las válvulas de admisión a las turbinas, para el cálculo de este pozo se considera un cierre instantáneo de las válvulas.

La subestación elevadora se localiza en la elevación 550.00 m. n. s. m., a 35.00 mts. del nivel de la plataforma de la casa de máquinas, el acceso a la subestación se logra a través de un camino que sigue la ladera desde aguas abajo y desde la curva de nivel 530, este mismo camino comunica a la casa de máquinas en la misma curva de nivel 530 y corresponde a la misma elevación de la berma de la atagufa aguas abajo que al cruzar la cortina permite el acceso a la com--

puerta de operación de la válvula para servicio de descarga de fondo del túnel de desvío No. 2.

c) Diseño de la Obra de Toma y Tubería a Presión

Para el diseño de esta obra, la forma de la entrada se determina de manera que la vena líquida se limite a las paredes del conducto y se eviten las corrientes de aire, esto se logra, partiendo de la rejilla de entrada con una leve transición al conducto circular con revestimiento de concreto en el primer tramo. Al llegar al tramo de tubería de acero se hace necesario el cálculo de la sobrepresión por cierre para obtener el espesor de la tubería, así como el diseño del pozo de oscilación según se desprende de los datos que se obtienen al calcular la carga de diseño para las turbinas.

Para el pozo de oscilación, según la relación de Kisiliev, si  $LV_0 > 15 H_0$ , se instala el pozo.

$L$  = Longitud total de la conducción, en (m) = 555.00 (m)  
 $V_0$  = Velocidad en el conducto = 6.46 (m/seg)  
 $H_0$  = Carga de diseño = 61.00 (m)

$$LV = (555.00)(6.46) = 3585$$

$$(15)(H_0) = (15)(61.00) = 915$$

$$LV > 15 H_0$$

Por lo tanto se instalará un pozo de oscilación teniendo:

$$LC = 300.00 \text{ m}$$

$$A = 9.50 \text{ m}^2$$

$$Q = 397.4 \text{ m/seg}$$

$$n = 0.015$$

Por condiciones de buen funcionamiento;

$$\text{Area del pozo} = A_p = C_{TH} \frac{V_c^2}{2g} \frac{L_c A_c}{Z_o H_o}$$

$C_{TA}$  = Coeficiente cuyo valor está entre 1.2 y 2.0

$V_c$  = Velocidad en el conducto, en m/seg

$g$  = Aceleración de la gravedad, en  $\text{m/seg}^2$

$L_c$  = Longitud de conducción, en m

$A_c$  = Area de conducción, en  $\text{m}^2$

$Z_o$  = Altura de oscilación en cierre en el pozo

$H_o$  = Carga de diseño

La altura total del pozo de oscilación se obtiene con la expresión:

$$H = |Z_{\text{máx.}}| + |Z_{\text{mín.}}|$$

Donde:  $Z_{\text{máx.}} = (-\sqrt{P}) \left( \sqrt{1 - 0.4f + 0.285f^2} - 0.467f \right)$  para el cierre.

Y  $Z_{\text{min.}} = \left( 0.5f + \sqrt{1 - 0.81f + 0.25f^2} \right) (\sqrt{P})$  para la apertura.

Entonces:

$$\frac{Q}{A} = V_c = \frac{397.4}{70.88} = 5.607 \text{ m/seg.}$$

$$z_0 = \frac{V_c^2}{2g} + hf + \sum h_i; \quad \sum h_i = h_e + h_c = 0.721 + 0.340$$

$$z_0 = \frac{(5.607)^2}{19.62} + \left( \frac{V_n}{r^{2/3}} \right)^2 L + \sum h_i$$

$$= \frac{(5.607)^2}{19.62} + \left[ \frac{(5.607)(0.015)}{2.375^{2/3}} \right]^2 (300) + 1.061$$

$$= 1.602 + 0.670 + 1.061$$

$$= 3.333 \text{ (m)}$$

Area del pozo:

$$A_p = (1.2) \frac{(5.607)^2}{19.62} \frac{(300)(70.882)}{(3.333)(61)} = 201.111 \text{ m}^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(201.111)}{\pi}} = 16.00 \text{ m}$$

También se tiene que:

$$f = \frac{z_0}{\sqrt{P}}, \quad \text{donde } \sqrt{P} = \sqrt{\frac{LcAc}{g A_p}} V_c$$

$$\sqrt{P} = \sqrt{\frac{(300)(70,882)}{(9,81)(201,111)}} (5,607) = \sqrt{10,78} (5,607)$$

$$= 18,41$$

$$\zeta = \frac{3,333}{18,41} = 0,181$$

Por lo tanto:

$$Z_{\text{máx}} = (-18,41) \left[ \sqrt{1 - 0,4(0,181) + (0,285)(0,181)^2} - 0,467(0,181) \right]$$

$$= -16,26 \text{ m}$$

$$Z_{\text{min}} = \left[ (0,5)(0,181) + \sqrt{1 - 0,81(0,181) + 0,25(0,181)^2} \right] [18,41]$$

$$= 18,76 \text{ m}$$

$$H = 16,26 + 18,76 \approx 35,00 \text{ m} \text{ Altura del pozo de oscilación}$$

La sobrepresión por cierre se produce al cerrar las válvulas de admisión a las turbinas lo que provoca un golpe de ariete por el cambio de velocidad del agua. en este caso se considera un cierre rápido de los alabes de las turbinas.

T = Período en el que la onda de presión viaja en ambos sentidos de la turbina al pozo de oscilación o viceversa, en seg.

L = Longitud de la tubería a presión, en m

$a$  = celeridad de las ondas de presión, en m/seg

$\rho, \theta$  = Parámetros para uso de gráficas de Allievi

$g$  = Aceleración de la gravedad, en  $\text{m/seg}^2$

$V$  = Velocidad en el conducto, en m/seg

$H_T$  = Carga de presión en el conducto en m; diferencia - entre el N.A.M.E. y la elevación del eje del distribuidor.

$\Delta h$  = Sobrepresión por golpe de ariete

$$T = \frac{2L}{a} = \frac{(2)(555)}{1000} = 1.11 \text{ seg.}$$

Para un cierre gradual,  $\bar{z}$  = Tiempo de cierre, se toman 5 seg.

$$\theta = \frac{5}{1.11} = 4.50$$

Aplicando la ecuación de continuidad entre el pozo de oscilación y el desfogue:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2; \quad V_1 \frac{\pi}{4} D_1^2 = V_2 \frac{\pi}{4} D_2^2$$

$$V_2 = V_1 \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

$$V_2 = (5.60) \left( \frac{9.50}{8.60} \right)^2 = 6.842 \text{ m/seg}$$

$$\rho = \frac{aV}{2gH_T} = \frac{(1000)(6.842)}{(19.62)(72.33)} = 4.821$$

Con  $\rho = 4,821$  y  $\theta = 4,50$ , de las gráficas (ábaco) de Allievi se obtiene  $\varphi_{\text{máx.}}^2 = 2.90$

$$\varphi_i^2 = \frac{h_i}{H_T}, \text{ y como } h_i = H_T + \Delta h$$

$$\varphi_{\text{máx.}}^2 = \frac{H_T + \Delta h}{H_T} = 1 + \frac{\Delta h}{H_T}$$

$$(\varphi_{\text{máx.}}^2 - 1)(H_T) = \Delta h$$

$$(2.90 - 1)(72.33) = \Delta h = 137.43 \text{ m} = 13.74 \text{ Kg/cm}^2$$

Espesor de la tubería:

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot f_s \cdot \eta}$$

$$S = \frac{(13.74)(860)}{(2)(4166)(0.8)} = 1.77 \text{ cm}^2$$

Utilizando tubería cédula 60,  $f_s = 4166 \text{ Kg/cm}^2$

el espesor  $S = 1.77 \text{ cm}$

$$S = 6/8 \text{ "}$$



d) Dimensionamiento de la Casa de Máquinas y Desfogue

Para calcular la carga de diseño se toman en cuenta todas -- las pérdidas desde la obra de toma hasta la casa de máquinas y entonces restando estas de la carga de diseño bruta se tendrá la carga neta disponible o carga de diseño para las unidades.

Para establecerse la carga nominal, que es la carga mínima - neta necesaria para desarrollar la potencia nominal del generador con apertura total de álabes, se parte del NAMinO en - la elevación 572.00 m.s.n.m. y entonces se podrá garantizar la potencia de 105.5 MW por unidad. Como también se tiene - que el nivel de desfogue es el mismo para las dos unidades - en la elevación 515.00 m.s.n.m., entonces:

Elev. N.A.M.E.	592.00
Elev. N.A.M.O.	585.00
Elev. N.A.Min. O.	572.00
Nivel de desfogue	515.00
Carga nominal bruta (572,00-515.00)	57.00 (m)
Carga máxima bruta vertiendo (592.00-515.00)	77.00 (m)
Carga máxima bruta sin vertir (585,00-515.00)	70.00 (m)

$$\begin{aligned} \frac{2}{3} (N.A.M.O. - N.A.Min.O.) &= \frac{2}{3} (585.00-572.00) \\ &= \frac{2}{3} (13.00) = 8.6667 (m) \end{aligned}$$

Carga de diseño bruta = 57.00 + 8.6667 = 65.67 (m)

Suponiendo 4.67 (m) de pérdidas se tiene:

Carga de diseño neta	61.00 (m)
Carga mínima neta	52.33 (m)
Eficiencia del generador	0.95
Eficiencia de la turbina	0.90

y a partir de que:

$$P = \frac{W Q H}{76} \eta$$

Donde:

- P = Potencia de la turbina
- W = Peso específico del agua
- Q = Gasto a nivel de diseño
- H = Carga de diseño
- $\eta$  = Eficiencia de la turbina

Se tiene:

$$P_t = \frac{W Q H \eta}{76} \quad Q_{\max} = \frac{(P_t)(76)}{W H \eta_t}$$
$$P_t = \frac{211,000}{0.735} = 287,075 \text{ c.v.}; \quad Q_{\max} = \frac{(287,075)(76)}{(1000)(61)(0.9)}$$
$$Q_{\max} = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Cálculo de pérdidas en el conducto a presión:

Pérdidas por obra de toma: (entrada, rejillas):

$$h_e = K \frac{V^2}{2g}$$

$$K = 0,45$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 70.88 \text{ m}^2$$

$$V = 5.607 \text{ m/seg}$$

$$\therefore h_e = 0.721$$

Pérdidas por cambio de dirección 1:

$$K = 0.212$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 70.88 \text{ m}^2$$

$$V = 5.607 \text{ m/seg}$$

$$\therefore h_{c_1} = 0.340$$

Pérdidas por cambio de dirección 2:

$$K = 0.156$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 58.088 \text{ m}^2$$

$$V = 4.841 \text{ m/seg}$$

$$\therefore h_{c_2} = 0.372$$

Pérdidas por cambio de dirección 3:

$$k = 0.156$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 58.088 \text{ m}^2$$

$$V = 6.841 \text{ m/seg}$$

$$\therefore h_{c_3} = 0.372$$

Pérdidas por pozo de oscilación

$$K = 0.15$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = 5.643 \text{ m/seg}$$

$$\therefore h_p = 0.243$$

Pérdidas por bifurcación:

$$K = 0.40$$

$$Q = 198.7 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 29.225 \text{ m}^2$$

$$V = 6.799 \text{ m/seg}$$

$$\therefore h_b = 0.942$$

Pérdida por fricción, tramo de concreto:

$$n = 0.015$$

$$L = 300.00 \text{ (m)}$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 70.88 \text{ m}^2$$

$$V = 5.607 \text{ m/seg}$$

$$r^{2/3} = 1.78$$

$$h_{f_c} = \left( \frac{Vn}{r^{2/3}} \right)^2 L = \left[ \frac{(5.607)(0.015)}{1.78} \right]^2 [300]$$
$$= 0.670$$

Pérdidas por fricción tramos de acero,  $\emptyset=8.60 \text{ m}$

$$n = 0.011$$

$$L = 205.00$$

$$Q = 397.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 58.038 \text{ m}^2$$

$$V = 6.841 \text{ m/seg}$$

$$r^{2/3} = 1.666$$

$$\therefore h_{f_a} = 0.418$$

Pérdidas por fricción tramo de acero,  $\emptyset = 6.10 \text{ (m)}$

$$n = 0.011$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$Q = 198.7 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 29.225 \text{ m}^2$$

$$V = 6.799 \text{ m/seg}$$

$$r^{2/3} = 1.325$$

$$\therefore h_{f_a} = 0.319$$

#### Resumen de pérdidas

Obra de toma	0.721
Cambio de dirección	0.340
Cambio de dirección	0.372
Cambio de dirección	0.372
Pozo de oscilación	0.243
Bifurcación	0.942
Fricción concreto	0.670
Fricción acero	0.418
Fricción acero	0.319
	<hr/>
	4.397 (m)

Por lo que se pueden tomar los 4.67 (m) considerados inicialmente y entonces para la carga de diseño de 61.00 m de que se dispone la turbina Francis es la apropiada ya que su operación eficiente es para cargas de diseño de 15 a 200 m.

Capacidad instalada:

Carga de diseño	$H_d = 61.00 \text{ m} = 200 \text{ ft}$
Gasto de diseño/unidad	$Q_d = 198.7 \text{ m}^3/\text{seg}$
Potencia requerida	105.5 MW/unidad

$$P_{t \text{ req.}} = \frac{W Q H \eta}{76} \text{ c.v.}$$

$$P_{t \text{ req.}} = \frac{(1000)(198.7)(61)(0.9)}{76} = 143534 \text{ c.v.}$$

$$= 105,500 \text{ KW}$$

Considerando 10% de capacidad del generador por sobrecalentamiento se tiene que:

$$P_{\text{nominal G}} = \frac{143534}{1.1} = 140.485 \text{ c.v.}$$

$$= 96,000 \text{ KW}$$

Con dos generadores de 96,000 KW cada uno se tendrá la potencia total instalada que se requiere de 211 000 KW en turbinas.

Entonces:

$$P_{G \text{ máx.}} = 105.5 \text{ MW}$$

$$P_{\text{nom G}} = 96.0 \text{ MW}$$

$$H_d \text{ neta} = 61.0 \text{ (m)}$$

$$H_{\text{min. neta}} = 52.3 \text{ (m)}$$

$$\eta_t = 0.9$$

$$\eta_G = 0.84$$

$$P_t = \frac{105,500}{\eta_G} = \frac{105,500}{0.98} = 107,653 \text{ KW}$$

$$= 146,516 \text{ c.v.}$$

Cálculo de la velocidad específica

Considerando de resultados obtenidos por diferentes criterios tenemos que:

$$N_s = 250 \text{ r.p.m.}$$

$$N_s = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{P \text{ c.v.}}{H}} = \frac{n}{H^{5/4}} \sqrt{P \text{ c.v.}}$$

Donde:

$N_s$  = Velocidad específica, en r.p.m.

$n$  = Velocidad angular sincorona del generador, en r.p.m.

$P$  = Potencia al freno, en c.v.

$$n = \frac{N_s H^{5/4}}{\sqrt{P}} = \frac{(250)(61)^{5/4}}{\sqrt{146,516}} = 111.34 \text{ r.p.m.}$$

Por otra parte se tiene que:

$$n = \frac{60 f}{p}$$

Donde:  $n$  = Velocidad angular sincrona con el generador, en r.p.m.

$f$  = Frecuencia en ciclos por segundo = 60

$p$  = Numero de pares de polos del generador

$$111.34 = \frac{(60)(60)}{p} \quad p = \frac{3600}{111.34} = 32.33$$

Se toman 32 pares de polos que son divisibles entre cuatro y :

$$n = \frac{(60)(60)}{32} = 112.5 \text{ r.p.m.}$$

$$N_{s \text{ real}} = \frac{n \sqrt{P}}{H^{5/4}} = \frac{(112.5)(146,516)^{1/2}}{61^{5/4}} = 252.6 \text{ r.p.m.}$$

$$N_s^{\text{permisible}} = \frac{2420}{\sqrt{H}} - 80 = \frac{2420}{\sqrt{61}} - 80 = 230$$

$$N_s^{\text{necesaria}} > N_s^{\text{permisible}} \therefore Z = \left( \frac{N_s}{N_s^{\text{permisible}}} \right)^2 = 1.1; \underline{2 \text{ Unidades}}$$

$$N_s^{\text{real}} = \frac{N_s}{\sqrt{Z}} = \frac{252.6}{\sqrt{2}} = 178.62 = 179 \text{ r.p.m.}$$

Por lo tanto, comparando con tablas, se instalarán dos unidades Francis Normal.

Cálculo de la altura de aspiración:

$$H_s \leq h_a - h_v - \sqrt{H}$$

Donde:

$H_s$  = Altura de succión, en metros

$h_a - h_v$  = Columna barométrica en metros de columna de agua -  
(diferencia entre la presión atmosférica y la presión de vaporización).

$\sqrt{H}$  = Coeficiente de Thoma

$H$  = Carga de diseño

$$h_a - h_v = 0.95 (10.33 - 0.11 E)$$



E = Elevación en cientos de metros sobre el nivel del mar

$$h_a - h_v = (0.95) [10.33 - (0.11)(5.15)] = 9.2753$$

$$\bar{V}, \text{ de tablas, con } N'_s = 177; \bar{V} = 0.0974$$

$$H = 61 \text{ (m)}$$

$$\therefore H_s \leq 9.2753 - (0.0974)(61) = +3.33 \text{ (m)}$$

Diseño de turbinas,

Según el Modern Trends in selecting and designing Francis

Turbines:

(Del Water Power & Dam Construction)

$$K_u = 0.31 + (2.5)(10)^{-3} N'_s = 0.31 + (0.0025)(179) = 0.757$$

$$D_3 = 84.5 K_u \frac{\sqrt{Hn}}{n}$$

$$D_3 = (84.5)(0.7575) \frac{(61)^{1/2}}{112.5} = 4.4438 = 4.50 \text{ (m) Diámetro de descarga}$$

$$D_1 = \left(0.4 + \frac{94.5}{N'_s}\right) D_3$$

$$D_1 = 4.1235$$

$$D_2 = \left(0.96 + \frac{1}{0.00038 N'_s}\right) D_3$$

$$D_2 = 4.3227$$

Partiendo de que la carga de presión rebasa los 60 m, se uti

lizarán espirales de placas de acero remachadas o soldadas y ahogadas en el concreto de la cimentación de la casa de máquinas, por lo tanto para el cálculo de estas espirales o volutas de alimentación se tiene:

$$V_{perm.} = 0.2 \sqrt{2gH} = 6.919 \text{ m/seg.}$$

Área de la espiral:

$$A = \frac{Q}{V_{perm.}} = \frac{198.7}{6.919} = 28.7180 \text{ m}^2$$

Diámetro de la tubería de alimentación:

$$\varnothing \text{ espiral} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\varnothing \text{ espiral} = 6.0469 \text{ (m)}$$

$$\varnothing \text{ interno} = \left(1 + \frac{131.4}{N_s}\right) D_3 = 7.7059 \text{ (m)}$$

Dimensiones de la espiral

$$B = \left(1.1 + \frac{54.8}{N_s}\right) D_3 = 6.2486 \text{ m}$$

$$C = \left(1.32 + \frac{49.25}{N_s}\right) D_3 = 7.0665 \text{ m}$$

$$D = \left(1.5 + \frac{48.8}{N_s}\right) D_3 = 7.8772 \text{ m}$$

$$E = \left(0.98 + \frac{63.6}{N_s}\right) D_3 = 5.9333 \text{ m}$$

$$F = \emptyset \text{ Interno} = 7.7059 \text{ m}$$

$$G = \left( 0.89 + \frac{96.5}{N'_s} \right) D_3 = 5.9063 \text{ m}$$

$$H = \left( 0.79 + \frac{81.75}{N'_s} \right) D_3 = 5.5401 \text{ m}$$

$$I = \left( 0.1 + 0.00065 N'_s \right) D_2 = 0.9614 \text{ m}$$

$$L = \left( 0.88 + 0.00049 N'_s \right) D_3 = 4.3003 \text{ m}$$

$$M = \left( 0.6 + 0.00015 N'_s \right) D_3 = 2.7856 \text{ m}$$

Espaciamiento entre unidades

$$E = 5.5 - \frac{N'_s}{200} = 4.605 \text{ m}$$

$$E = (4.605) (4.2438) = 20.4637 \text{ m}$$

Se tomarán 20.50 (m)

Tubo de succión, dimensionamiento:

$$N = \left( 1.54 + \frac{203.5}{N'_s} \right) D_3 = 11.8955 \text{ m (Altura)}$$

$$S = \left( \frac{N'_s}{0.25 N'_s - 9.26} \right) D_3 = 22.4257 \text{ m (Long. rama horizontal)}$$

Otras dimensiones:

$$O = (0.83 + \frac{140.7}{N'_s}) D_3 = 7.1813 \text{ m}$$

$$P = (1.37 - 0.00056 N'_s) D_3 = 5.6426 \text{ m}$$

$$Q = (0.58 + \frac{22.6}{N'_s}) D_3 = 3.1385 \text{ m}$$

$$R = (1.6 - \frac{0.0013}{N'_s}) D_3 = 7.1100 \text{ m}$$

$$T = (1.5 + 0.00019 N'_s) D_3 = 6.8168 \text{ m}$$

$$U = (0.51 - 0.0007 N'_s) D_3 = 1.7095 \text{ m}$$

$$V = (1.1 + \frac{53.7}{N'_s}) D_3 = 6.2213 \text{ m}$$

$$Z = (2.63 + \frac{33.8}{N'_s}) D_3 = 12.5263 \text{ m}$$

Elevación eje distribuidor

Elevación desfogue: 515.00 m

Distancia del  $\zeta$  del distribuidor al diámetro de descarga:

$$b_0 = 0.25 D_3 = 1.111 \text{ m}$$

$$H_s = + 3.33 \text{ m}$$

515.00	
+ 3.33	
518.33	
+ 1.11	
519.44	Elevación eje distribuidor

Funcionamiento de las turbinas.

Las unidades hidroeléctricas de este anteproyecto se diseñan en función de la eficiencia, habilidad para absorber cambios rápidos de carga y diseño de los conductos de agua para poder tomar la regulación de la velocidad como un índice de habilidad para evitar cambios rápidos de carga que puedan dañar al sistema como consecuencia de oscilaciones y cambios de voltaje. La regulación queda afectada por la sensibilidad del gobernador así como la estabilidad de las unidades y capacidad de la tubería a presión por lo que se debe mantener una regulación capaz de dar respuesta a los cambios que se requieran del flujo, sin fluctuaciones de presión que se consideren excesivas,

En una unidad se indica la estabilidad y regulación de la velocidad por medio de una constante de regulación así como

de su relación a cambios de potencia tomando en cuenta el factor característico tanto de la tubería a presión como del aumento de velocidad. El incrementar el momento volante de un generador, definido por la relación  $WR^2$  y aumentar el peso en el motor de tal modo que la regulación sea mayor que la normal, equivale a elevar el costo de la unidad, por lo que se elige el generador más ligero para condiciones de trabajo satisfactorias.

La constante de regulación es una función de la relación de la potencia en la unidad, que se considera como un momento volante resistente al cambio de velocidad como consecuencia de la potencia que desarrolla el agua.

Para una unidad estable, la constante de regulación máxima es:

$$K_d \text{ máx.} = (5.4)(10)^6 \left( \frac{KVA}{n^{3/2}} \right)^{1/4}$$

Donde:

KVA = Capacidad normal del generador, en kilovolts-amperes

n = Velocidad de la Unidad, en r.p.m. = 112.5 r.p.m.

$K_d \text{ máx}$  = Constante de regulación

Por lo tanto se tiene que:

$$P_t = 146,516 \text{ c.v.} (0.9864) = 144,523 \text{ I.P.}$$

$$P_{\text{nomG}} = 96\,000 \text{ KW} \left( \frac{1}{\text{F.P.}} \right) = 106,667 \text{ K.V.A.}$$

$$\text{Factor de Potencia} = 0.9$$

Sustituyendo:

$$K_d \text{ máx.} = (5.4)(10)^6 \left( \frac{\text{KVA}}{n^{3/2}} \right)^{1/4} = (5.4)(10)^6 \left( \frac{106,667}{112.5 \cdot 5} \right)^{0.25}$$

$$\text{Constante máxima de regulación} = 16'604,243$$

$$= (16.604)(10)^6$$

Para un generador normal se tiene un:

Momento volante ( $WR^2$ ) de:

$$WR^2 = 379,000 \left( \frac{\text{KW}}{n^{3/2}} \right)^{5/4}$$

$$= 379,000 \left( \frac{106,667}{112.5 \cdot 5} \right)^{1.25} = 104'175,557 \text{ lb-ft}^2$$

Para una turbina se tiene un momento volante de:

$$WR^2 = 23,800 \left( \frac{\text{HP}}{n^{3/2}} \right)^{5/4} = 23,800 \left( \frac{144,523}{112.5 \cdot 5} \right)^{1.25} = 9'562,346 \text{ lb-ft}^2$$

Donde HP es el caballaje de la turbina.

Para obtener el Momento volante normal de la unidad se suman los momentos volantes normales del generador y la turbina.

$$WR^2 \text{ Total} = (104.175.557 + 9.562.346) 10^6 = 113'738,403 \text{ lb-ft}^2$$

Y la constante de regulación mínima para una unidad se obtiene con la relación:

$$K_{d \text{ min.}} = \frac{(WR^2 \text{ total})(n)^2}{HP} = \frac{(113'738,403)(112,5)^2}{144,523} = 9'960,364$$

Para que exista una buena regulación, el factor característico LV de tubería forzada no deberá exceder de  $\frac{K_d}{100,000}$ .

Por tratarse de un tubo común y la bifurcación final para alimentar a las turbinas se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{K_{d \text{ sist}}}{100,000} = \text{máximo permisible} &= \frac{9'960,364}{100,000} = 99.60 \text{ ft/seg} \\ &= 30.38 \text{ m/seg} \end{aligned}$$

Si se considera una velocidad promedio de 12 ft/seg=3.66 m/seg en el tubo de succión, se obtendrá:



D (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/seg)	L (m)	LV m <sup>2</sup> /seg
8.60	397.4	58,088	6,841	205	1402.41
6.10	198.7	29,224	6,799	50	339.95
--	---	---	3,660	25	91.50
					<u>=1833.86</u>

$$\frac{\sum LV}{H} = \frac{1833.86}{61.00} = 30.06 \text{ m/seg} < 30.38 \text{ m/seg}$$

La sobrevelocidad de una máquina es aquella que se desarrolla cuando la unidad está trabajando su máxima potencia durante el tiempo de cierre del gobernador. Para reducir la vibración que se produce por el efecto, y que puede provocar -- que se boten los eslabones de seguridad del mecanismo de los álabes móviles, si esta sobrevelocidad no rebasa el 60%, - puede permitirse; pero para condiciones satisfactorias de -- funcionamiento, usualmente el limite que se recomienda no - sea rebasado es de 35% a 45% en unidades independientes. - Por lo tanto, contando aquí con un sistema integrado de dos unidades se puede permitir hasta un 60%, así que:

T<sub>c</sub> = Tiempo de cierre del gobernador en seg = 5 seg

T<sub>g</sub> = Tiempo total de cierre del gobernador

H.P. = Caballaje de la turbina

$n$  = Velocidad de la unidad, en r.p.m.

$n_s$  = Velocidad específica, en r.p.m.

$WR^2$  = Momento volante de generador y turbina en lb-ft<sup>2</sup>

$T_s$  = Tiempo de arranque de la unidad

$H$  = Carga neta, en ft. = 200 ft.

$$T_g = 0.25 + T_c = 0.25 + 5 = 5.25$$

$$T_s = \frac{WR^2 n^2}{(H.P.)(1.6)(10)^6} = \frac{(113'138,403)(112.5)^2}{(144,523)(1.6)(10)^6} = 6.225$$

$$\frac{T_g}{T_s} = \frac{5.25}{6.225} = 0.843$$

$$n_s = \frac{(n)(H.P.)^{1/2}}{H^{5/4}} = \frac{(112.5)(144,523)^{1/2}}{200^{5/4}} = 56.86$$

De gráfica 19 del Selecting Hydraulic Reaction Turbines, con

$\frac{T_g}{T_s} = 0.843$  y  $n = 56.86$  se obtiene que:

$S_R = 33.4\%$ , sobrevelocidad en % de la velocidad de una unidad

$$T_p = \frac{\sum LV}{ghr} \text{ (U.I.)} = \frac{98.57}{32.20} = 3.06$$

$$K = \frac{T_p}{T_c} = \frac{3.06}{5.0} = 0.61$$

$$S_R' = S_R (1+K) = 33.4(1+0.61) = 53.77\% < 60\%$$

Velocidad de desboque, es la que alcanza una unidad con la máxima carga hidráulica y álabes totalmente abiertos cuando

el generador está desconectado del sistema y el gobernador resulta inoperante. Usualmente la velocidad de desboque es considerablemente menor de la que se preconsidera sin embargo puede tomarse en cuenta que no excede de:

$$n_r = K_n n \left( \frac{H_{\text{máx.}}}{H_d} \right)^{1/2}$$

Donde:

$$K_n = 0.65 n_s + 145$$

y:

$n_r$  = Velocidad de desboque, en r.p.m.

$n$  = Velocidad síncrona, en r.p.m.

$n_s$  = Velocidad específica, en r.p.m.

$H_d$  = Carga de diseño

$H_{\text{máx}}$  = Carga máxima

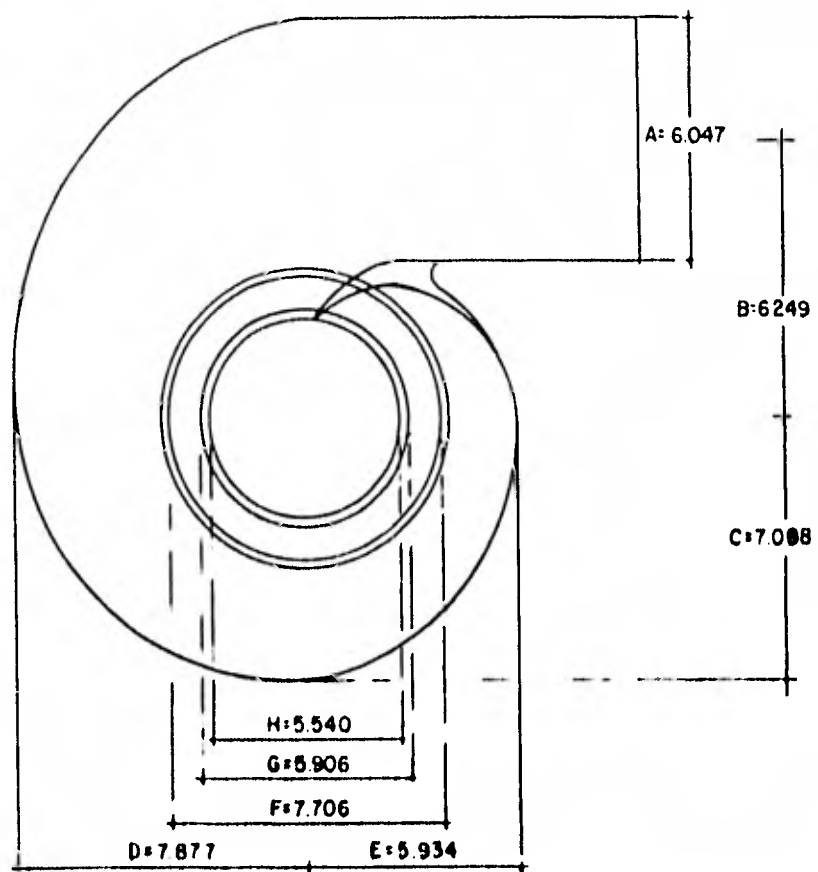
$K_n$  = Velocidad de desboque, representada como un porcentaje de  $H_d$ .

Entonces:

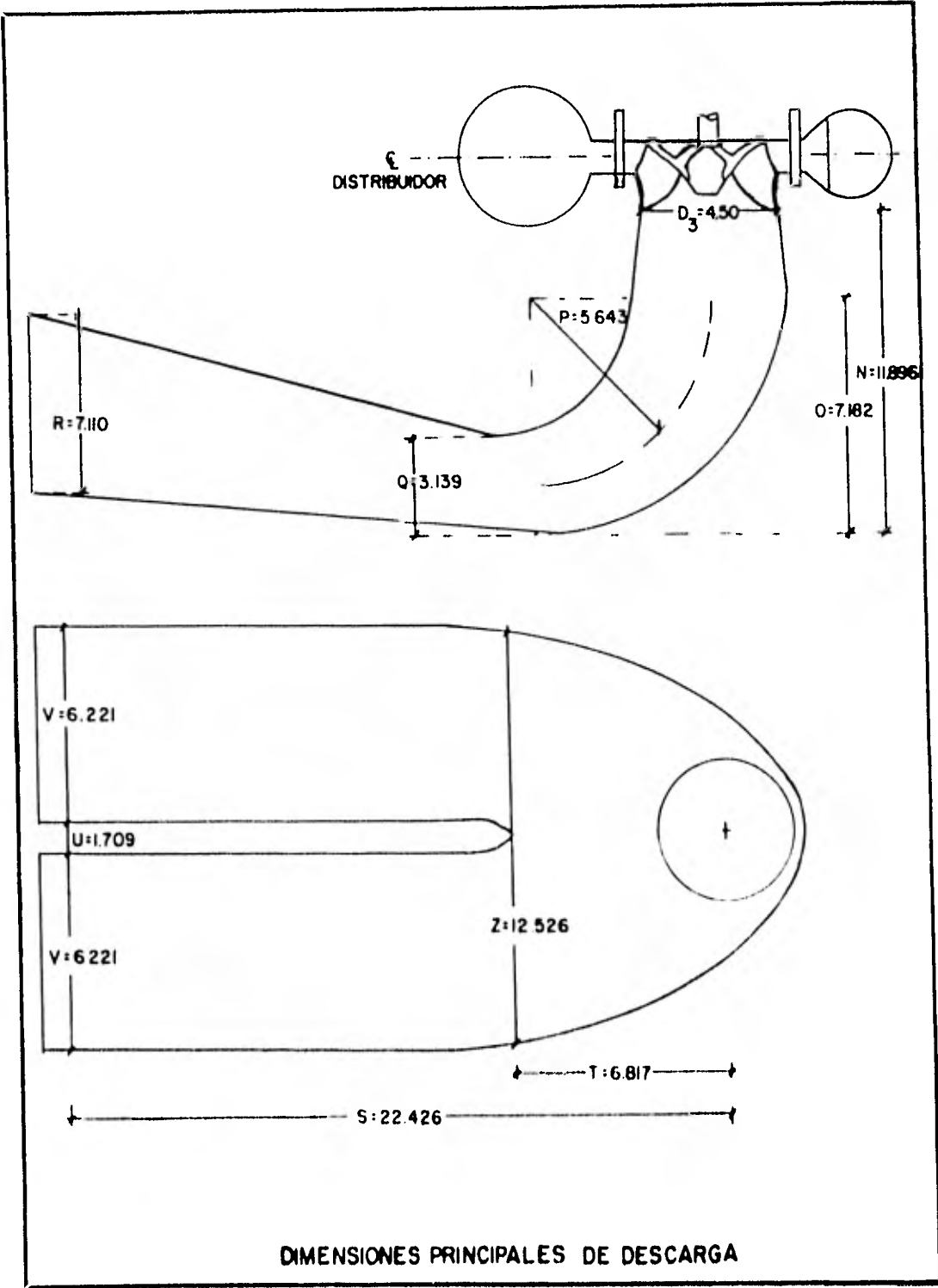
$$K_n = 0.65 \left( \frac{179}{4.45} \right) + 145 = 171.15$$

$$n_r = (1.7115)(11.25) \left( \frac{68}{61} \right)^{1/2} = 203.29 \text{ r.p.m.}$$

Y como la fricción en un generador conectado normalmente limitará la velocidad de desboque al 275% de la normal, con el porcentaje encontrado que es el esperable que no exceda en la rotación, el generador queda protegido de una sobrecarga por velocidad.



DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA ESPIRAL



DIMENSIONES PRINCIPALES DE DESCARGA

### VIII. ANTEPRESUPUESTO

Los Precios Unitarios y Costos se formaron obteniendo las -- cantidades estimadas de los principales conceptos de obra ci vil de los esquemas del proyecto, aplicándoles el precio uni tario del "CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PRINCIPALES" consi derándolos éstos de costo directo actual. Los conceptos de menor importancia se tomaron en cuenta variándolos en aqué-- llos casos en que las condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas, de localización y de proyecto lo requiriesen.

Por lo que respecta a la obtención de los precios de equipo electromecánico se utilizó el "PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR EL COSTO DE EQUIPO ELECTROMECHANICO, SUBESTACION ELEVADORA Y LI- NEA DE TRANSMISION EN PROYECTOS HIDROELECTRICOS" de 1981, for mulado por el Depto. de Ingeniería Civil de la Oficina de -- Normas y Criterios de Diseño de la C.F.E. En algunos concep tos se utilizaron precios de equipos de reciente adquisición por C.F.E.

Para la evaluación de las afectaciones por la inundación de los vasos de almacenamiento, se tomaron los datos del "Estu-

dio socio-económico preliminar de los proyectos hidroelectricos del Alto Balsas".

Al final del antepresupuesto se consignan los datos principales del estudio mencionado en el parrafo anterior, con relación al costo de restitución de nuevos poblados, y se indican los datos principales para la estimación del valor aproximado de restitucion de las tierras inundadas por este proyecto.

Concepto	Unid.	Cant.	P.U.₳	Importe (miles de₳)
<u>1.- OBRA DE DESVIO</u>				
- OBRA CIVIL				
1.1. Ataguia aguas arriba que quedará incorporada a la cortina, - de materiales graduados, incluyendo pantallas impermeables tipo ICOS.	m <sup>3</sup>	510,529	165	84,237
1.2. Túnel No. 1, de sección portal de ilm. de diámetro x ilm. - de altura, de 440m. de longitud, incluyendo revestimiento de concreto en toda su longitud, excavación de portales, - ademe, anclas, drenes, etc.	Lote	1	----	92,013
1.3. Estructura de control y tapón de cierre final del túnel No. 1.	Lote	1	----	4,000



1.4.	Lumbrera para operación de compuertas -- (obturadores) del túnel No.1, incluyendo cortes y estructuras en la plataforma de operación.	Lote	1	----	6,625
1.5.	Perforaciones para drenaje, anclas e inyecciones en lumbrera del Túnel No. 1.	Lote	1	----	630
1.6.	Túnel No. 2 de sección portal de 11m. de diámetro x 11m. de altura, de 500m. de longitud, incluyendo revestimiento de concreto en toda su longitud, excavación de portales, ademe, anclas, drenes, etc.	Lote	1	----	104,560
1.7.	Estructura de control y tapón de cierre final de túnel No. 2.	Lote	1	----	4,000
1.8.	Lumbrera para operación de compuertas --				

(obturadores) del túnel No. 1 incluyendo cortes y estructuras en la plataforma de operación.

Lote 1 ---- 2,083

1.9. Perforaciones para drenaje, anclas e inyecciones en lumbrera del túnel No. 2.

Lote 1 ---- 500

- OBRA ELECTROMECANICA

1.10. Obturador tipo agujas para el túnel No.1, claro 6m., altura 11m. -- carga hidrostática 72m.

Pza. 1 ---- 5,788

1.11. Transporte y montaje del obturador del Túnel No.1.

Pza. 1 ---- 1,500

1.12. Obturador tipo agujas - para el túnel No.2 claro 6m., altura 11m. carga hidrostática 30m.

Pza. 1 ---- 3,420

1.13. Transporte y montaje obturador túnel No.2.

Pza. 1 ---- 615

SUMA OBRA DL. DESVIO =309,979

## 2.- CORTINA

### - OBRA CIVIL

2.1.	Limpiar de laderas (1m)	m <sup>3</sup>	37,500	40	1,500
2.2.	Excavación en laderas para desplante del corazón impermeable y filtros (bm. de espesor).	m <sup>3</sup>	187,500	140	26,250
2.3.	Bombeo en el recinto para excavación del cauce, construcción de la galería de inyecciones y drenaje y desplante del corazón impermeable.	Lote	1	4x10 <sup>6</sup>	4,000
2.4.	Excavación en el cauce del material de acarreo del río (aluvión, 10m. espesor máximo).	m <sup>3</sup>	51,840	70	3,629
2.5.	Excavación de roca alterada y fracturada del cauce en el área de desplante del corazón impermeable (3m. de prof.)	m <sup>3</sup>	25,920	120	3,110
2.6.	Galería de concreto para inyecciones y drenaje en el eje de la cortina.	ml.	750	37,000	27,750

2.7. Galerías de acceso, de inyección y drenaje adicionales, incluyendo shot-crete y protecciones.	m1	205	3,000	600
2.8. Pantalla de inyecciones y drenaje en el eje de la cortina incluye galerías y barrenación.	m <sup>2</sup>	37,500	4,000	150,000
2.9. Pantallas de inyecciones adicionales en ambas márgenes para protección de obra de toma, casa de máquinas y obra de excedencias.	m <sup>2</sup>	28,500	4,000	114,000
2.10 Perforaciones para drenaje en galerías de acceso.	m1	2,000	400	800
2.11 Shot-crete en el área de desplante y apoyo del corazón impermeable.	m <sup>2</sup>	20,700	250	1,750
2.12 Tratamiento de fracturas y regularización -				

	de taludes en el área de desplante del corazón impermeable.	Lote	1	$4 \times 10^6$	4,000	
2.13	Material impermeable para el corazón (arcillas) incluye extracción, preparación, carga, acarreo libre de 1km., descarga y compactación.	$m^3$	0.454	$\times 10^6$	40	17,360
2.14	Sobre acarreo del material impermeable (18 km).	$m^3 Km$	7.8	$\times 10^6$	6	46,800
2.15	Material para filtros incluye explotación, cribado, carga, acarreo libre de 1km., descarga y compactación.	$m^3$	0.093	$\times 10^6$	50	4,650
2.16	Sobreacarreo del material para filtros (2km).	$m^3 Km$	0.186	$\times 10^6$	6	1,116
2.17	Material permeable de respaldo en ambos paramentos; ban					

	cos de roca, incluye explotación, cribado carga, acarreo libre de 1Km, descarga y compactación.	m <sup>3</sup>	2.337x10 <sup>6</sup>	90	214,830
2.18	Sobreacarreo del material permeable.	m <sup>3</sup> Km	5.0x10 <sup>6</sup>	8	40,000
2.19	Enrocamiento de protección en ambos paramentos; incluye explotación, carga, acarreo libre de 1Km. descarga y acomodo.	m <sup>3</sup>	0.186x10 <sup>6</sup>	120	22,320
2.20	Sobreacarreo del enrocamiento de protección (<Km)	m <sup>3</sup> Km	0.186x10 <sup>6</sup>	11	2,046
2.21	Camino de acceso a los bancos de materiales de 12m. de ancho de corona en zona montañosa de fuerte pendiente.	Km.	1	9x10 <sup>6</sup>	9,000
2.22	Camino de acceso a los bancos de materiales de 12m. de an				

cho de corona en zona de lomerio y montaña.

Km.	1	$5 \times 10^6$	<u>5,000</u>
SUMA CURTINA=			703,936

### 3.- OBRA DE EXCEDENCIAS

#### - OBRA CIVIL

3.1. Excavación a cielo abierto en el canal - de acceso y zona de descarga.	m <sup>3</sup>	1,200,000	70	84,000
3.2. Excavación en túnel, incluyendo acarreo - libre de 1 Km., diámetro de 13 metros - interior.	m <sup>3</sup>	190,600	550	104,830
3.3. Concreto reforzado - $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$ en revestimiento de túneles.	m <sup>3</sup>	84,600	1,800	152,280
3.4. Acero de refuerzo con $f_y=4,000 \text{ Kg/cm}^2$ incluyendo suministro y colocación.	Ton.	5,922	16,000	94,752
3.5. Anclaje, ademe, concreto lanzado y malla	Lote	1	-----	100,000

3.6. Protección contra in- temperismo a base de concreto lanzado en - talud margen derecha.	m <sup>2</sup>	12,000	100	1,200
3.7. Galería de 2x2.5m. pa- ra tratamiento de im- permeabilización y -- drenaje.	ml.	150	3,500	525

- OBRA ELECTROMECAINICA

3.8. Compuertas radiales - para cerrar claros de 5.85x20m. y R=25m., in- cluyendo mecanismos - elevadores, transpor- te y montaje.	Pza.	9	11x10 <sup>6</sup>	99,000
3.9. Obturadores para ais- lar un vano de com--- puertas, de 10m. de - claro por 1.85m. de - altura incluyendo -- grúa.	Lote	1	-----	6,730

SUMA OBRA DE EXCEDENCIAS= 643,317



#### 4.- OBRA DE TOMA Y CONEXION A PRESION

##### - OBRA CIVIL

4.1. Excavación a cielo a bierto en portales - de entrada, rampas y plataformas de operación de compuertas y mecanismos elevadores.	m <sup>3</sup>	29,100	70	2,037
4.2. Excavación en túneles en toma en zona de transición de entrada.	m <sup>3</sup>	9,320	600	592
4.3. Excavación en tunel hasta conexión con turbinas.	m <sup>3</sup>	39,300	500	19,650
4.4. Concreto en estructuras de rejillas, rampas de compuertas y pilas entre compuertas.	m <sup>3</sup>	2,500	1,800	4,500
4.5. Concreto en revestimiento de túneles a presión.	m <sup>3</sup>	10,380	1,800	18,684

4.6.	Mortero de empaque del blindaje.	m <sup>3</sup>	1,520	2,500	3,800
4.7.	Acero de refuerzo	Ton.	727	16,000	11,632
4.8.	Blindaje de acero en conductos a presión.	Ton.	1,583	35,000	55,405
4.9.	Acero estructural - en rejillas.	Ton.	80	35,000	2,800
4.10	Limpia del terreno, suministro y colocación de anclajes, - barrenación, marcos de ademe, concreto lanzado y mallas de alambre, inyecciones.	Lote	1	----	24,000

- OBRA ELECTROMECAICA

4.11	Compuerta rodante - de 4.00m. de ancho, 8.60m. de altura, - con servomotor, guías y accesorios.	Pza.	3	$8.0 \times 10^6$	24,000
4.12	Transporte y montaje de compuertas.	Pza.	3	$1.5 \times 10^6$	4,500

4.13	Grúas y accesorios.	Lote	1	----	500
					-----
	SUMA OBRA DE TOMA Y CONDUCCION A PRESION				177,100

5.- CASA DE MAQUINAS

- OBRA CIVIL

5.1.	Obra civil en casa de máquinas, incluye excavación a cielo abierto de 20m. de ancho por 80m. - de longitud, concreto reforzado, acero de refuerzo, bombeo y varios.	Lote	1	----	25,000
------	---	------	---	------	--------

- OBRA ELECTROMECANICA

5.2	Turbinas -Tipo Francis- Dos unidades- - de 105.5 MW. cada -- una con carga de diseños de 61.0m. Velocidad sincrónica de 112.5 r.p.m. 61m. -- carga. Gasto de diseño $198.7m^3/seg.$	Pza.	2	$139.0 \times 10^6$	278,000
-----	---	------	---	---------------------	---------

5.3. Generadores 2 U. - de 96.0 MW.	Pza	2	127.5x10 <sup>6</sup>	255,000
5.4. Transporte y montaje de unidades generado ras.	Lote	1		133,000
5.5. Equipo auxiliar en ca sa de máquinas. Inclu ye transformadores - de potencia, bus de fa se aislada, cables de 220 K.V. A. tableros - de control, subesta-- ciones unitarias, gru po auxiliar, sistemas de tierras, de alumbr do de C.D., de ventila ción y aire acondicio nado, de agua de en -- frimiento, de drenaje y desagüe, contra in cendio, cables de fuer za y control y varios.	Lote	1	----	133,000
5.6. Transporte y monta je del equipo auxi				

liar	Lote	1	----	127,000
SUMA CASA DE MAQUINAS Y TRANSFORMADORES=				956,000

## 6.- POZO DE OSCILACION

### - OBRA CIVIL

6.1. Camino de acceso - al pozo de oscila- ción.	Km.	0.5	$9 \times 10^6$	4,500
6.2. Excavación subte-- rránea en el cuer- po del pozo de osci- lacion. Diámetro de 16.0m., altura 42m.	m <sup>3</sup>	5,542	500	2,771
6.3. Concreto en reves- timiento del pozo de oscilación, en la galería de com- puertas y estructu- ras correspondien- tes.	m <sup>3</sup>	1,470	1,300	2,646
6.4. Acero de refuerzo en pozo de oscila- ción.	Ton.	103	16,000	1,648

6.5. Blindaje en el pozo de oscilación $\varnothing=16m$ . h=7.0m, e=1/4".	lon.	22.4	35,000	784
6.6. Concreto lanzado, - malla, anclas, drenes e inyecciones.	Lote	1	-----	2,070
- OBRA ELECTROMECHANICA				
6.7. Compuerta rodante - con guías y accesorios, ancho 5m. altura 10m.	Pza.	4	$8.74 \times 10^6$	34,960
6.8. Transporte y montaje de compuertas.	Lote	1	----	6,293
SUMA POZO DE OSCILACION=				<u>55,672</u>

## 7.- DESFOGUE

### - OBRA CIVIL

7.1. Concreto de revestimiento en estructura de control del desfogue.	$m^3$	5,840	1,800	10,512
7.2 Acero de refuerzo	Ton.	16,000	470	7,520

7.3 Marcos de ademe, barrenación para anclas, drenajes e inyecciones, anclajes inyecciones, bombeo, concreto lanzado y malla.

	Lote	1	----	4,220
--	------	---	------	-------

- OBRA ELECTROMECANICA

7.4. Juego de agujas	Lote	1	----	2,714
----------------------	------	---	------	-------

7.5. Transporte y montaje de agujas y accesorios.	Lote	1	----	489
---	------	---	------	-----

			SUMA DESFOGUE =	25,455
--	--	--	-----------------	--------

8.- CAMINO DE ACCESO A LA CASA DE MAQUINAS

- OBRA CIVIL

8.1. Camino de acceso a la Casa de Máquinas, de 12m. de ancho de corona en zona montañosa de fuerte pendiente.	Km.	1.5	$9 \times 10^6$	13,500
--	-----	-----	-----------------	--------

			SUMA CAMINO DE ACCESO =	13,500
--	--	--	-------------------------	--------

## 9.- DESCARGA DE FONDO

Alojada en el túnel No. 1 de desvío

### - OBRA CIVIL

9.1. Concreto en toma.	m <sup>3</sup>	2,200	1,800	3,960
9.2. Acero de refuerzo en obra de toma - incluyendo suministro y colocación	Ton.	150	16,000	2,400
9.3. Concreto en machones y silletas.	m <sup>3</sup>	560	1,800	1,008
9.4. Acero de refuerzo	Ton.	45	16,000	720
9.5. Tubería de acero - de 3.80m. de diámetro.	Ton.	484	35,000	16,940
9.6. Caseta para la válvula y anclaje final.	Lote	1	2x10 <sup>6</sup>	2,000

### - OBRA ELECTROMECANICA

9.7. Válvula Howell-Bunger de 2.85m. de diámetro y 48m. de carga hidrostática máxima.	Pza.	1	3.5x10 <sup>6</sup>	3,500
---	------	---	---------------------	-------



9.8. Transporte y montaje de válvula Howell Bunger.	Pza.	1	.5x10 <sup>6</sup>	500
SUMA DESCARGA DE FONDO=				31,028

10.- SUBESTACION ELEVADORA (Intemperie)

- OBRA CIVIL

10.1 Camino acceso a la sub estación elevadora.	Km.	1	9x10 <sup>6</sup>	9,000
10.2 Excavación a cielo abierto en un predio de 40x80 m.	m <sup>2</sup>	17,600	70	1,232
10.3 Obra Civil	Lote	1	----	1,344

- OBRA ELECTROMECANICA

10.4 Equipo electromecánico.	Lote	1	----	13,100
10.5 Transporte y montaje del equipo electromecánico.	Lote	1	----	12,447

SUMA SUBESTACION ELEVADORA (Intem)= 37,123

11.- LINEA DE TRANSMISION

- OBRA CIVIL

11.1 Línea de transmisión  
aislada a 230 K.V.A.  
con torres de acero,  
hasta la subestación  
Mezcala.

Km. 2.5 1x10<sup>b</sup> 2,500

SUMA LINEA DE TRANSMISION = 2,500

12.- CAMINO DE ACCESO AL PROYECTO

- OBRA CIVIL

12.1 Acondicionamiento y  
ampliacion tramo ca  
rretera de terrace-  
ría a San Juan le--  
telcingo.

Km. 3 8x10<sup>b</sup> 24,000

SUMA CAMINO DE ACCESO AL PROY. = 24,000

13.- CAMPAMENTOS

- OBRA CIVIL

13.1 Campamentos de cons-  
trucción.

Lote 1 ---- 150,000

13.2	Campamento permanente para operación.	Lote	1	----	50,000
					50,000
				SUMA CAMPAMENTOS =	200,000

14.- AFECTACIONES POR INUNDACION DEL VASO

- OBRA CIVIL

14.1	Restitución de poblados.	Lote	1	----	191,877
14.2	Restitución de tierras inundadas de primera clase.	Ha.	107	10,000	1,070
14.3	Restitución de tierras inundadas en lomerío suave.	Ha.	3,210	5,000	16,050
14.4	Restitución de tierras en ladera con pendiente fuerte.	Ha.	1,070	2,000	2,140
					2,140
				SUMA AFECTACIONES POR INUNDACION DEL VASO =	211,137

RESUMEN DE ANTEPRESUPUESTO

Concepto	Importe (Miles de \$)
- OBRA CIVIL	
1. OBRA DE DESVIO	298,656
2. CURTINA	703,936
3. OBRA DE EXCEDENCIAS	537,387
4. OBRA DE TOMA Y CONDUCCION A PRESION	148,100
5. CASA DE MAQUINAS	25,000
6. POZO DE OSCILACION	14,149
7. DESFOGUE	22,252
8. CAMINO DE ACCESO A LA CASA DE MAQUINAS	13,500
9. DESCARGA DE FONDO	27,028
10. SUBESTACION ELEVADORA (Intemperie)	11,576
11. LINEA DE TRANSMISION	875
12. CAMINO DE ACCESO AL PROYECTO	24,000
13. CAMPAMENTOS DE CONST. Y DE OPERACION	200,000
SUMA	<u>2'026,929</u>
- OBRA ELECTROMECANICA	
1. OBRA DE DESVIO	11,323
3. OBRA DE EXCEDENCIAS	105,730
4. OBRA DE TOMA Y CONDUCCION A PRESION	29,000
5. CASA DE MAQUINAS	931,000
6. POZO DE OSCILACION	41,253
7. DESFOGUE	3,203
9. DESCARGA DE FONDO	4,000
10. SUBESTACION ELEVADORA(Intemperie)	25,547
11. LINEA DE TRANSMISION	1,625
SUMA	<u>1.152,681</u>
OBRA CIVIL + OBRA ELECTROMECANICA	3'179,610
IMPREVISTOS 15	<u>476,942</u>
SUMA	3'656,552
DIRECCION Y ADMINISTRACION 15	<u>548,483</u>
SUMA	4'105,035
14. AFECTACIONES POR INUNDACION DEL VASO	<u>211,137</u>
IMPORTE TOTAL	<u>4'416,172</u>

Relación de poblados susceptibles de inundación por el embalse del Proyecto Hidroeléctrico San Juan Tetelcingo.

Localidad	Municipio	Elevación	No. de habitantes
TLAMAMACAN	MARTIR DE CUILAPA	540	377
SAN JUAN TETELCINGO	TEPECUACUILCO	535	1 710
SAN MARCOS OACATZINGO	MARTIR DE CUILAPA	545	600
SAN AGUSTIN OAPAN	TEPECUACUILCO	550	1 882
ANALCU	MARTIR DE CUILAPA	545	533
SAN MIGUEL TEWIXIAPAN	TEPECUACUILCO	550	1 715

Tipo de tierra inundada	Precio/Ha. (\$)
1a. Clase; plana y mecanizable	\$ 10,000.00
Lomerío suave	5,000.00
Ladera; pendiente fuerte	2,000.00
Cañones y barrancas (sin uso)	-- . --

## - CONCLUSIONES

El Sistema Hidroeléctrico del Alto Balsas, del cual forma -- parte este anteproyecto junto con las plantas de El Caracol (en construcción), Tepoa y Huixastla representa un gran beneficio en capacidad de generación de energía eléctrica, y la obra de San Juan Tetelcingo responde satisfactoriamente a esta necesidad.

Desde la primera parte, al analizar los escurrimientos y la hidrología en general de la zona se visualizó la conveniencia de construir un proyecto de esta naturaleza. Las cifras obtenidas tanto en aprovechamiento del recurso hidráulico como de topografía de la región y tipo de tierras confirmaron las ventajas del sitio.

La región geológica alrededor de la zona del proyecto permite ubicar los bancos de materiales necesarios para la obra a distancias relativamente cortas por lo que económicamente resulta ser una buena elección. Aunado a lo anterior, se tiene que el análisis de estabilidad de la cortina dio resultados de seguridad bastante confiables; las dimensiones de longitud de corona de 530 m que indica que la boquilla donde se

ubicó el eje permitirá un adecuado manejo de las demás obras, y la altura evitará que las afectaciones por inundación sean elevadas, con lo cual se logra una mayor economía en el proyecto.

El desvío de las aguas, que se calculó para poder iniciar la obra se efectúa en túneles que se diseñan de sección portal - para efectos prácticos y de menor costo que los circulares; - así, es posible utilizar parte del mismo material de excavación para la construcción de la ataguía aguas arriba y como - las ataguías formarán parte del cuerpo de la cortina se logra que el programa de construcción arranque de manera integral.

El diseño de la obra de excedencias se determinó utilizando - los principios de economía y eficiente funcionamiento hidráulico tomando en cuenta los factores de seguridad, flexibilidad de operación y mantenimiento previendo que la descarga de los vertedores no afectará el desfogue de la casa de máquinas y para ello se aprovechó lo mejor posible la topografía del - sitio.

En lo que se refiere al equipo electromecánico, se diseñaron las partes que componen el sistema generador de energía a par

tir de consideraciones económicas y tomando en cuenta que como parte de un Sistema Hidroeléctrico integral la instala---ción de dos unidades es operativamente factible y la carga -de diseño con que se cuenta así lo demuestra.

La zona de estudio, material de esta tesis, reúne las condi--ciones y características adecuadas para desarrollar el pro--yecto por las condiciones topográficas, hidrológicas y geológicas, según se desprende del antepresupuesto y los resulta--dos anteriores. Consecuentemente, la construcción de la presa es factible tanto económica como técnicamente.



- BIBLIOGRAFIA

Comisión Federal de Electricidad  
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELEC-  
TRICOS DEL RIO BALSAS  
México, 1980.

Comisión Federal de Electricidad  
MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES  
Hidrotecnia, Geotecnia; Varios tomos  
México, 1979, 1980, 1981.

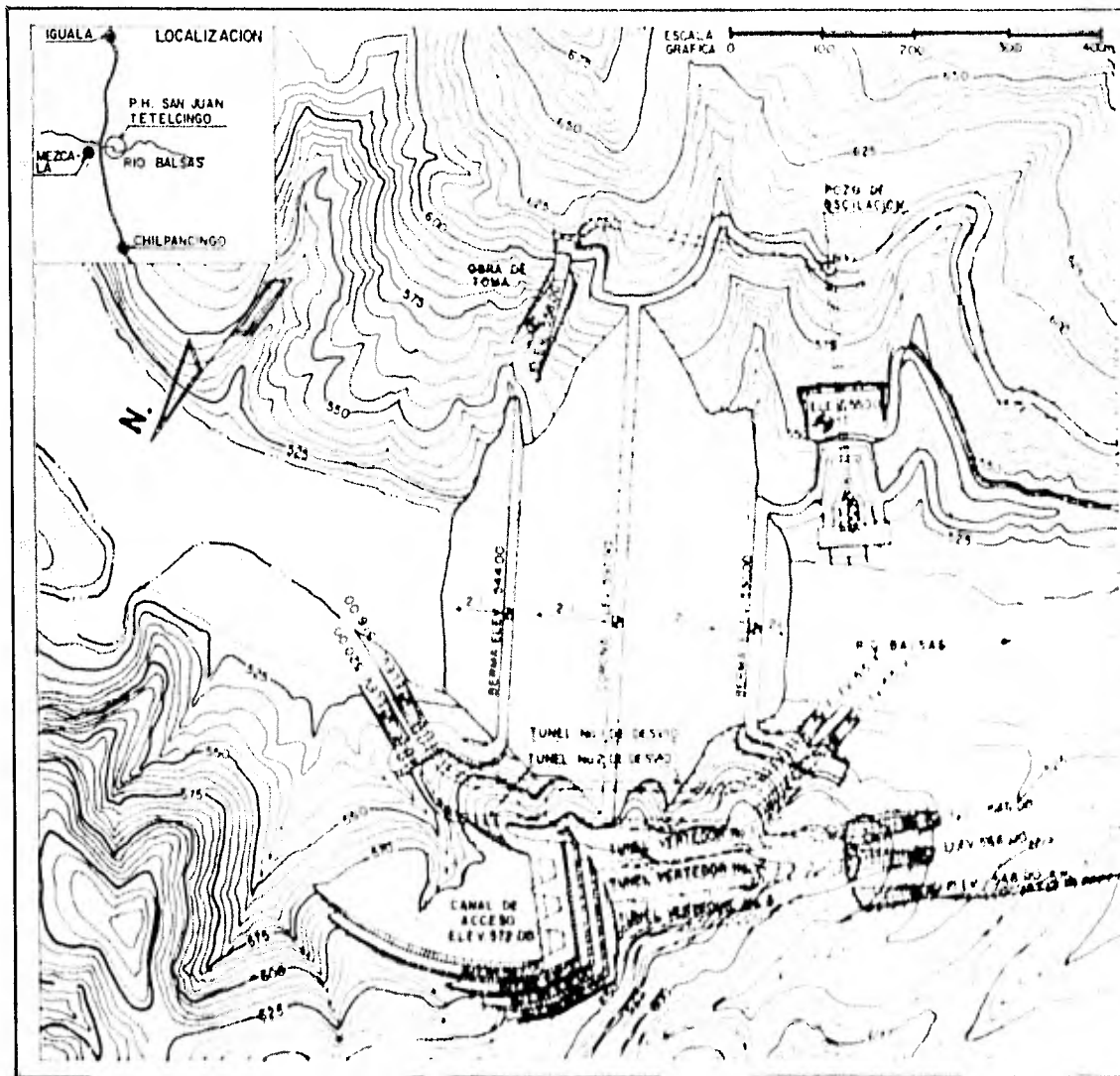
Comisión Federal de Electricidad  
PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR EL COSTO DE EQUIPO ELECTROMECHANICO,  
SUBESTACION ELEVADORA Y LINEA DE TRANSMISION EN APROVECHAMIENTOS  
HIDROELECTRICOS  
México, 1981.

Sotelo Avila Gilberto  
HIDRAULICA GENERAL, VOLUMEN I, FUNDAMENTOS  
LIMUSA, México, 1976.

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation  
DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS  
CECSA, México, 1981.

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation  
SELECTING HYDRAULIC REACTION TURBINES,  
Publicación Técnica  
Denver, Colorado, 1966.

Siervo, F. de y Leva, F. de  
MODERN TRENDS IN SELECTING AND DESIGNING FRANCIS TURBINES  
Publicación Técnica  
Water Power & Dam Construction  
Agosto, 1970.



### DATOS GENERALES

#### HIDROLOGIA

AREA DE LA CUENCA 44,029.00 km<sup>2</sup>  
 ESCORRIMIENTO MEDIO ANUAL 5,238.73 km<sup>3</sup>/año  
 GASTO MEDIO 160.12 m<sup>3</sup>/seg  
 Afluencia MAXIMA REGISTRADA 1,09.21 m<sup>3</sup>/seg  
 Afluencia MAXIMA INDETERMINABLE 7,848.00 m<sup>3</sup>/seg  
 Afluencia MAXIMA DE DISEÑO 2,470.00 m<sup>3</sup>/seg

#### EMBALSE

NIVEL MAXIMO DE EMBALSE (NAME) 592.00 M.S.N.M.  
 NIVEL MAXIMO DE OPERACION (NAMEO) 585.00 M.S.N.M.  
 NIVEL MINIMO DE OPERACION (NAMEFO) 572.00 M.S.N.M.  
 CAPACIDAD TOTAL AL NAME 1,470.00 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 CAPACIDAD UTIL 1,153.00 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 CAPACIDAD MUERTA 312.00 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 CAPACIDAD CENTRAL DE AGENCIAS 340.00 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

#### CORTINA

TIPO MATERIALES EMPLEGADOS  
 ALTURA MAXIMA DESDE EL DESPLANTE MAS PROFUNDO 92.00 m  
 ELEVACION DE LA CORONA 597.00 M.S.N.M.  
 ANCHO DE LA CORONA 15.00 m  
 LONGITUD DE LA CORONA 530.00 m  
 BORDO LIBRE 5.00 m  
 VOLUMEN TOTAL DE CORTINA Y OBRAS INTERMEDIAS 4,110,000 m<sup>3</sup>

#### OBRA DE DESVIO

TIPO	TUNEL
SECCION	PORTAL
NUMERO DE TUNELES	2
LONGITUD	440 y 500 m
DIAMETRO (Ø)	11.00 m
GASTO MAXIMO DE DESVIO	2,470.00 m <sup>3</sup> /seg
ELEVACION CORONA ATAGUA AGUAS ARRIBA	544.00 M.S.N.M.
ELEVACION CORONA ATAGUA AGUAS ABAJO	530.00 M.S.N.M.

#### OBRA DE EXCEDENCIAS

ELEVACION CRESTA VERTEDORA 575.00 M.S.N.M.  
 LONGITUD EFECTIVA DE CRESTA VERTEDORA 32.62 m  
 DIMENSIONES HORIZONTALES 9.50 m  
 ANCHURA MAXIMA DE DESVIO 1.70 m  
 LONGITUD DE TUNEL DE DESVIO 116.00 m  
 DIAMETRO DE TUNEL DE DESVIO 11.00 m  
 ESTADISTICA TERMINAL DE TUNEL

#### PLANTA HIDROELECTRICA

TIPO DE OBRA DE TOMA RAMPA  
 DIAMETRO DE CONDUCCION VARIABLE  
 CASA DE MAQUINAS EXTERIOR  
 TURBINAS FRANCIS NORMAL  
 NUMERO DE UNIDADES 2  
 CARGA NETA DE DISEÑO 61.00 m  
 GASTO DE DISEÑO 397.40 m<sup>3</sup>/seg  
 POTENCIA NOMINAL DE GENERADORES 92,000 kW  
 FRECUENCIA 60 CPS  
 NUMERO DE PARES DE POLOS 12  
 POTENCIA INSTALADA 211 MW



**UNAM**

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMA DEL	HIDROELECTRICO DEL RIO BALSAS
SAN JUAN TETELCINGO	ANTEPROYECTO PLANO GENERAL
TESIS	PROFESIONAL
FERMIN ISLAS ISLAS	

MEXICO, D.F., 1987