

58
2 Ecu.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y
GEODESICA**

**“OBRAS DE DESVIO PARA EL MANEJO DEL RIO
DURANTE LA CONSTRUCCION DE PRESAS”**

Tesis Profesional

**Elaborada para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL**

p o r

FERMIN GARCIA JIMENEZ



México, D. F.

Marzo 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
CAPITULO 2	3
TIPOS DE OBRA DE DESVIO EN RELACION CON EL TIPO DE PRESA	
2.1 Generalidades	3
2.1.1 Factores que intervienen en la selección del tipo de obra de desvío	3
2.2 Desvío por tajo	5
2.2.1 Casos de aplicación	6
2.2.2 Arreglo del cauce	6
2.2.3 Tajo en una margen de la boquilla	7
2.2.4 Tajo por el centro de la boquilla	8
2.2.5 Tajo fuera de la boquilla	9
2.3 Desvío por túnel	10
2.3.1 Casos de aplicación	10
2.3.2 Aspectos geológicos	11
2.4 Desvío por conductos	11
2.4.1 Casos de aplicación	12
2.5 Tipos de atagufas	12
2.5.1 Atagufas tipo terraplén	12
2.5.2 Atagufas celulares	13
CAPITULO 3	14
DISEÑO DE OBRAS DE DESVIO PARA PRESAS DE TIERRA Y ROCA	
3.1 Obras de desvío más convenientes	15
3.2 Cálculo del perfil hidráulico del desvío	17

3.3 Método del cierre del cauce del río	28
3.3.1 Tipo de ataguías	28
3.3.2 Procedimiento constructivo	37
3.4 Problema de aplicación	39
3.4.1 Introducción	39
3.4.2 Programa de construcción	39
3.4.3 Gasto de diseño	43
3.4.4 Gráfica de tirantes del río - gastos del río .	43
3.4.5 Cálculo del diámetro del túnel y altura de ataguías definitivas	47
3.4.6 Cálculos complementarios al túnel	54
3.4.7 Diagrama de flujo como ayuda a la construcción de la obra de desvío	56
 CAPITULO 4	 58
 DISEÑO DE OBRAS DE DESVIO PARA PRESAS DE GRAVEDAD	
4.1 Obras de desvío más convenientes	58
4.2 Cálculo del perfil hidráulico del desvío	59
4.3 Método del cierre del cauce del río	64
4.3.1 Tipo de ataguías	64
4.3.2 Procedimiento constructivo	68
4.4 Problema de aplicación	69
4.4.1 Introducción	69
4.4.2 Gasto de diseño	70
4.4.3 Funcionamiento hidráulico de la escotadura . .	71
4.4.4 Programa de construcción	73
4.4.5 Diseño del pequeño canal por el centro del río	77
4.4.6 Diseño de los conductos de desvío y altura de ataguías	78

4.4.7 Resumen final 82

CAPITULO 5 84

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA 86

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la construcción de una presa el principal problema a enfrentar es el poder controlar los fenómenos naturales que durante la construcción de la misma nos pueden afectar ya que nosotros no podemos precisar la escala y magnitud con que se presentan estos fenómenos. Por tal motivo nuestro programa de trabajo tiene que estar en función de la ocurrencia de la naturaleza.

Una presa está compuesta por las siguientes estructuras:

- La cortina o presa propiamente dicha
- Obra de excedencias
- Obra de toma
- Obra de desvío

En el presente trabajo se hablará de la OBRA DE DESVIO, se dará una definición, idea general y se citarán los principales parámetros que afectan para la determinación de los tipos de obra de desvío que existen.

Dentro del programa constructivo de una presa lo primero a construir es la obra de desvío, ya que cumple con la función principal de desviar o encauzar la corriente de un río en un determinado sitio y en un determinado tiempo, este sitio es donde se localiza la boquilla en la cual se construirá la presa y el tiempo es el requerido para la construcción de la misma, por lo que la obra se considera una obra provisional (a excepción de las demás estructuras que son definitivas) pero que en algunos casos se puede usar como obra de toma ó de excedencias conectándola con el vertedor. El fin de desviar la corriente es con el objeto de dejar seca la zona de trabajo y evitar cualquier problema que el río nos pueda causar por tal motivo la construcción será más rápida y segura. Una vez librada la zona de trabajo se regresa la

corriente a su cauce natural, esto se hace por lo general en los inicios de la construcción de la presa pero cuando el avance de la construcción es tal que permite iniciar el almacenamiento se opta por cerrar la obra de desvío.

Una obra de desvío debe estar diseñada en función del tiempo de construcción de la presa y del tipo de presa, ya que si el tiempo de construcción es de varios años la obra de desvío tendrá que soportar varias temporadas de estiaje y de lluvias, y además, el esquema que se escoja para estudiar un desvío es diferente para una cortina de concreto que para una cortina de tierra y roca, ya que en el primer caso si el agua pasa sobre la estructura ésta no se daña demasiado y para el segundo caso se puede llegar a destruir parcial o totalmente, aunque no es recomendable en ningún caso que el agua pase sobre ellas, ya que se retrasaría el programa de construcción.

Las obras de desvío están formadas por:

- **Ataguías** ; son obstáculos que se interponen a la corriente del río para encauzar las aguas y evitar su paso hacia el área de construcción. Normalmente son dos ataguías, la ataguía aguas arriba y la ataguía aguas abajo. Estos elementos pueden ser provisionales o permanentes dependiendo de si formarán parte o no de la cortina.
- **El conducto de desvío** ; esta estructura sirve para llevar las aguas que la ataguía aguas arriba desvío, esta estructura lleva el agua por lugares que no interfieren en la zona de construcción. Esta conducción puede ser permanente dependiendo de que por proyecto forme o no parte de la obra de toma ó de excedencias.

CAPITULO 2

TIPOS DE OBRA DE DESVIO EN RELACION CON EL TIPO DE PRESA

2.1 GENERALIDADES

De la experiencia que durante varios años se ha ido teniendo en el país en lo que se refiere a construcción de presas se ha visto que las obras de desvío que más comunmente se usan son; - tajos a cielo abierto, túneles y conductos, ya sea abiertos o - cerrados.

Estas obras de desvío pueden ser las más convenientes para - un tipo de presa, así como pueden no serlo, para eso existen varios factores que nos servirán como ayuda para seleccionar la obra de desvío que necesitamos para una presa dada.

2.1.1 Factores que intervienen en la selección del tipo de obra de desvío.

Hay muchos factores que nos pueden inducir a la selección del tipo de obra de desvío pero los que mayor importancia tienen son; hidrológicos, topográficos, geológicos, programación y tipo de - presa.

A).- Hidrológicos .- En el sitio donde se construirá la presa es importante el poder conocer los escurrimientos del lugar, ya que así podremos obtener los parámetros principales que nos servirán para la elección de la obra de desvío, estos parámetros son:

- Los periodos de estiaje y de crecientes.
- El gasto mínimo registrado.
- El gasto máximo registrado.
- El año de escurrimiento máximo.
- El gasto máximo para obtener el gasto de diseño y que se determinará en función del riesgo que queremos tomar. Este riesgo - será la probabilidad de que un cierto gasto sea igualado o su-

perado en "n" años. $R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr} \right)^n$

donde:

R = riesgo en %

n = años que dura la construcción de la presa

Tr = tiempo de retorno en años.

De la ecuación anterior se despeja el Tr que será el factor para determinar el gasto de diseño.

El último parámetro para diseñar la capacidad de la obra de desvío y los restantes para la programación de la construcción de la obra.

Esta información se puede obtener por medio de estaciones climatológicas las cuales deben estar registrando datos de varios años atrás y en lugares estratégicos.

Si se cuenta con hidrogramas se puede definir la avenida de diseño, se simula su tránsito a través de la obra de desvío y del pequeño vaso de almacenamiento que se forma. Ahora bien, en función de las características de la topografía del vaso y de la geometría del desvío, el tránsito se puede analizar en forma semejante al que se realiza en el vaso de la presa.

Al simular el tránsito los resultados de mayor interés para el proyecto de la obra de desvío son:

- 1).- El gasto máximo que es capaz de desalojar el desvío.
 - 2).- La elevación máxima del agua que se alcanza en la entrada de la conducción.
- B).- Topográficos.- Otro factor importante para la selección de la obra de desvío es la topografía la cual nos puede presentar boquillas abiertas (amplias) ó cerradas (estrechas). Para las boquillas abiertas es recomendable el desvío por medio de tajos y para boquillas cerradas el desvío se recomienda con túnel.
- C).- Geológicos.- Conocer la geología del lugar será indispensable. Nuestra obra de desvío como estructura nos debe brindar se

guridad y durabilidad por lo menos durante su vida útil, para lo cual debemos tener cuidado en los siguientes parámetros:

- Erosión.- El efecto erosivo del agua sobre el área hidráulica debe cuidarse ya que ello depende del tipo de material en el que pasa la conducción.

- Estabilidad.- Se refiere al análisis de los taludes del tajo ó cortes que se necesiten hacer.

- Impermeabilidad.- Se debe reducir al mínimo permitido los ingresos por filtración de agua a los sitios de trabajo.

- Calidad de la roca.- Indica si se puede hacer el túnel y limita el diámetro de éste.

Como resultado del estudio geológico se puede ver la conveniencia de hacer algún tratamiento especial del sitio y también de este estudio se puede obtener los posibles bancos de materiales.

D).- Programación.- Son muy importantes los estudios de programación que se hagan ya que éstos nos permitirán determinar; costos, tiempos, fechas de inicio de las diferentes etapas, inversiones, holguras, etc. La programación integral de la obra nos traerá como resultado la optimización en tiempos y costos de las diferentes etapas de la construcción por lo que un buen estudio de programación es indispensable.

E).- El tipo de presa.- Los diferentes materiales de los que consta la presa también influyen en la elección de la obra de desvío así como el tipo estructural de la misma.

2.2 DESVIO POR TAJO

Son estructuras que conducirán las aguas desviadas por la atagüa aguas arriba. Como se mencionó anteriormente el desvío por tajo se usa básicamente para boquillas abiertas, esto es por el amplio campo de trabajo. El tajo tiene la ventaja de tener gran capacidad de descarga por lo que siempre se tratará de usar este tipo de desvío.

2.2.1 Casos de aplicación.

Se tienen dos tipos principales de tajos, uno es aquél que se hace en la propia boquilla ocupando una parte del cauce, el otro tipo es el que se labra en una de las laderas del cauce, estos - se usan cuando se necesita desviar grandes gastos y la geología es adecuada.

El tajo tiene tres características principales que deben tomarse en cuenta para su estudio.

1.- Longitud (L).- Si el tajo ocupa una parte del cauce la longitud es función de la longitud de la presa (en planta) y de si las ataguías formarán parte de la presa ó no (si las ataguías - no forman parte de la presa "L" aumenta). Si el desvío es a través de la ladera se pueden presentar dos condiciones, la primera es que si se lleva el agua a otra corriente la longitud "L" dependerá de la distancia a la que se encuentre esta corriente, y la segunda condición es que el agua se regrese a la misma corriente y la longitud dependerá del costo de excavación.

2.- Pendiente (S).- Esta pendiente dependerá de la forma en como se unan las elevaciones de la plantilla a la entrada y salida - del tajo. Si el tajo se hace por la ladera este tendrá su propia pendiente de diseño, ahora bien, si el tajo se hace sobre el mismo cauce la pendiente del tajo tendrá que ser igual a la del cauce aproximadamente.

3.- Ancho (B).- Si el desvío es por la boquilla las ataguías no son muy altas y el ancho "B" depende de ellas y si el desvío es por la ladera el ancho depende del costo de excavación y de la altura de los bordos.

2.2.2 Arreglo del cauce.

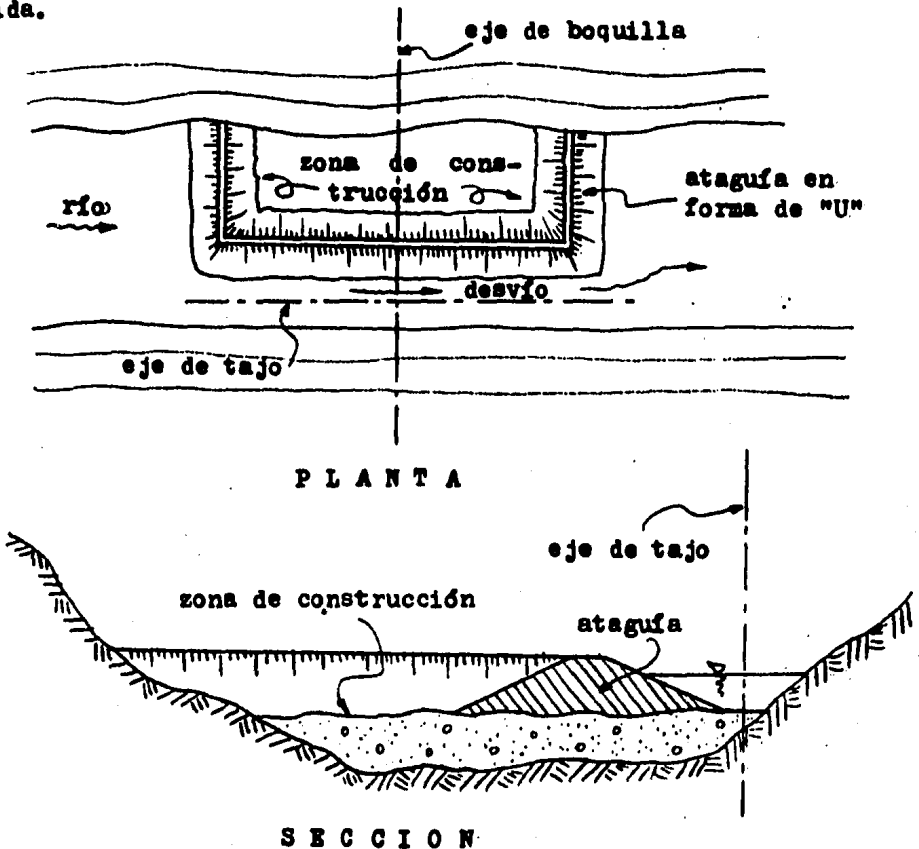
La configuración del cauce en la zona de estudio nos indicará la ubicación de la obra de desvío en el conjunto de estructuras que formará la presa, y nos dará los convenientes e inconvenientes

nientes de usar el tajo por la ladera ó por el cauce. Para esto es importante la precisión de los planos de perfiles y secciones topográficas.

2.2.3 Tajo en una margen de la boquilla.

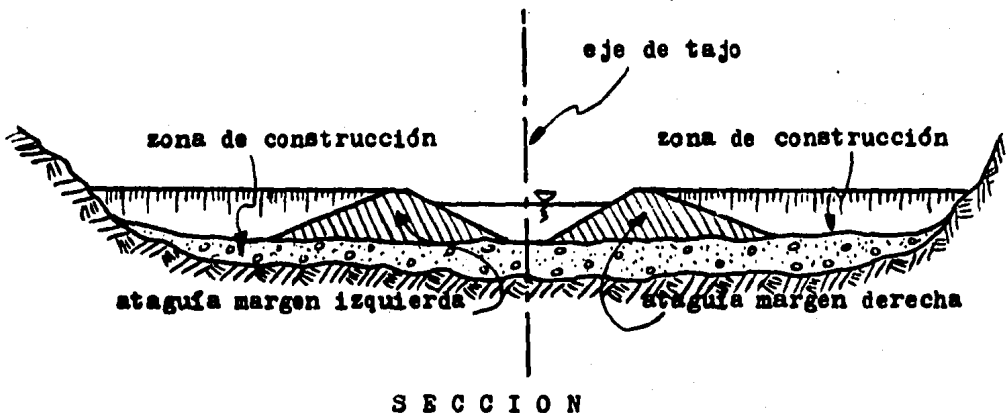
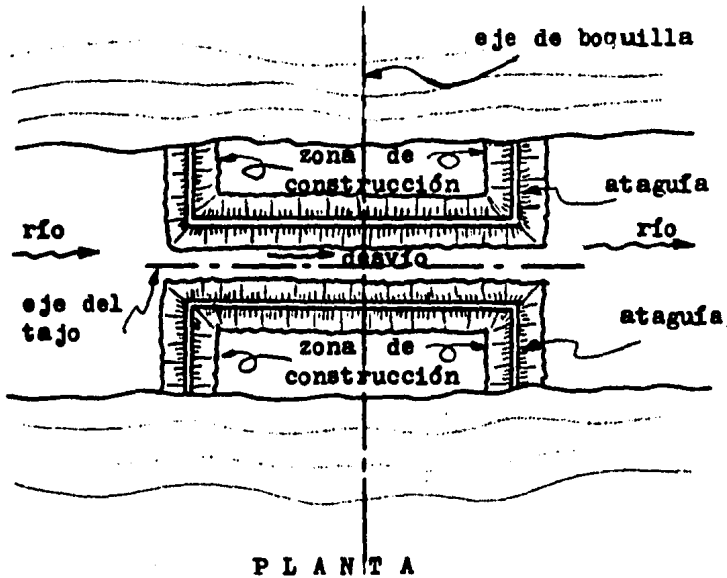
Este tipo de tajo tiene la ventaja de que se deja que una de las laderas de la boquilla sea uno de los taludes del canal por lo que resulta más económico aunque sólo se tiene un frente de trabajo, ver la siguiente figura.

Una vez construido en la zona seca se empieza a cerrar el cauce provocando con esto el almacenamiento de la presa, para lo cual la construcción de la presa se tiene que hacer en forma rápida.



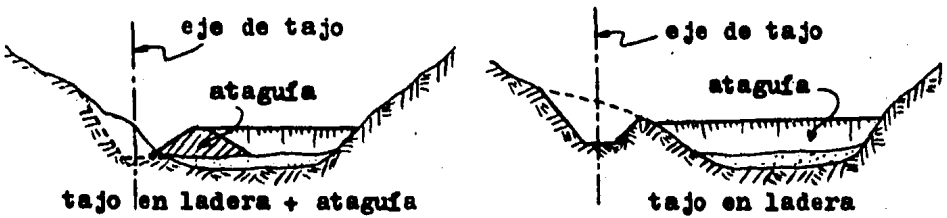
2.2.4 Tajo por el centro de la boquilla.

Se deja pasar el agua por el centro del cauce y se limita por dos ataguías en forma de "U", la ventaja que presenta es que se tienen dos frentes de trabajo pero se anula al considerar que también se tienen que construir accesos por las dos márgenes del cauce. También se gasta más en material para las ataguías, ver la siguiente figura.

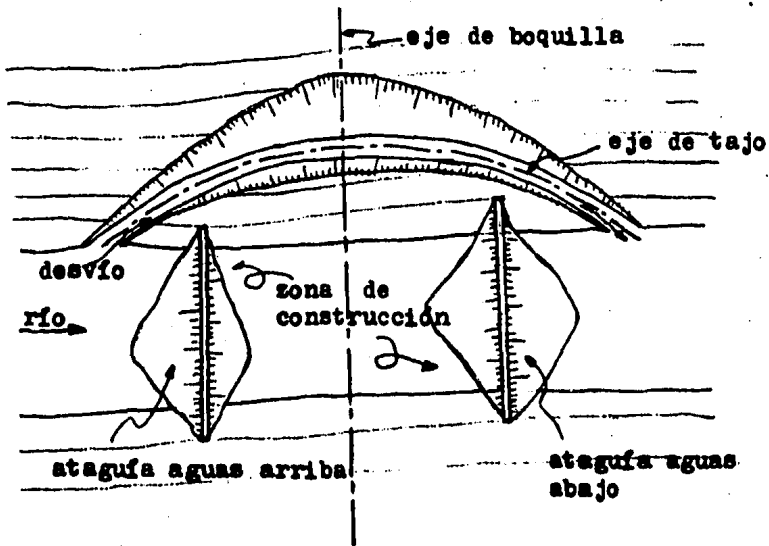


2.2.5 Tajo fuera de la boquilla.

El tajo se realiza por lo general en la ladera del cauce, la ventaja que tiene es que sirve para conducir grandes gastos y - toda el área de trabajo en la boquilla está seca permitiendo mayor facilidad de construcción. El uso de este tajo se recomienda cuando la ladera tiene una zona baja pero aun así el problema que presenta es que es muy caro debido al gran volumen de excavación que se tiene que hacer y después el gran volumen de material que se requiere para cerrar el tajo, muchas veces lo que conviene es un tajo en la margen de la ladera con el cauce más una atagüfa, ver las siguientes figuras.



SECCION



PLANTA

2.3 DESVIO POR TUNEL

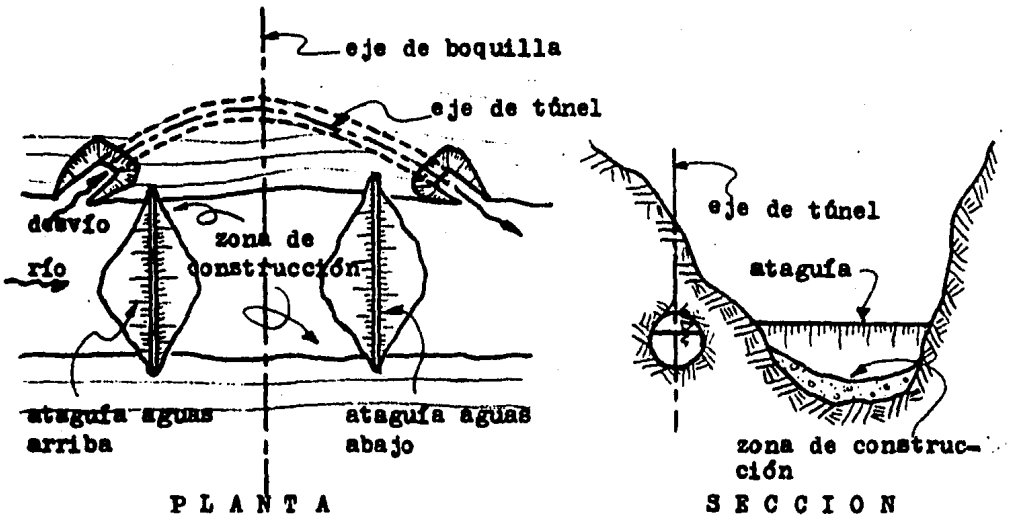
El desvío por túnel se recomienda principalmente para boquillas estrechas debido a que la forma de la boquilla no permite trabajar en un área tan pequeña.

2.3.1 Casos de aplicación.

Los túneles son excavados en roca principalmente y pueden estar revestidos o no (ello depende de su posterior uso en la obra de toma o de excedencias), las secciones típicas de los túneles son circulares o de herradura.

Los túneles se construyen básicamente de la siguiente forma:

- A través de la ladera.- Pueden ir no revestidos o revestidos según el uso que se les vaya a dar, la calidad de la roca indicará si es factible su construcción o no, para eso es recomendable el estudio geológico del lugar, ver la siguiente figura.



Puede requerirse más de un túnel colocando varios a diferente ó a la misma elevación de la plantilla del piso esto para regular los gastos desviados lo cual depende del estudio hidrológico que se haga.

Su funcionamiento hidráulico es a superficie libre o a presión y el cual depende del gasto de diseño.

2.3.2 Aspectos geológicos.

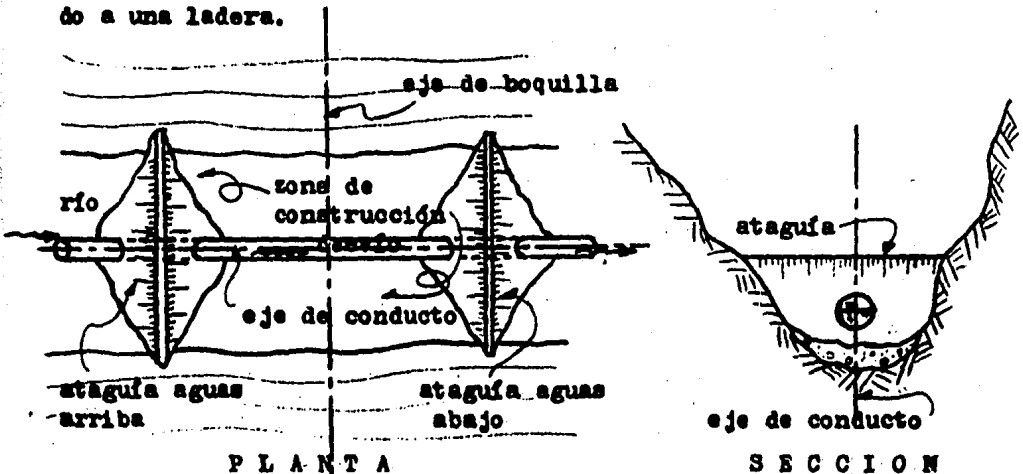
El conocimiento de la formación geológica de la ladera donde se construirá el túnel es de gran importancia ya que de las características mecánicas que presente la roca se diseñará el túnel.

El número de sondeos que se tengan que hacer deben ser tal que nos permita conocer bien sus estratos geológicos, también se obtendrán muestras del suelo para su análisis mecánico (resistencia a la compresión, resistencia al esfuerzo cortante, permeabilidad, contenido de agua, etc.)

2.4 DESVIO POR CONDUCTOS

Un desvío por conductos es cuando se emplean canalones de madera o de metal, o bien tuberías. Un conducto podría ser el siguiente caso:

- A través de la cortina.- Es un conducto que se construye de concreto y que atraviesa en forma perpendicular a las ataguías, este conducto siempre tiene otra utilidad después de funcionar como obra de desvío, ver la siguiente figura, generalmente se construye pegado a una ladera.



2.4.1 Casos de aplicación.

Este tipo de desvío se usa cuando los gastos de desvío son pequeños por lo que se pueden emplear en corrientes pequeñas ó para corrientes considerables que tienen periodos de estiaje muy secos y bien definidos.

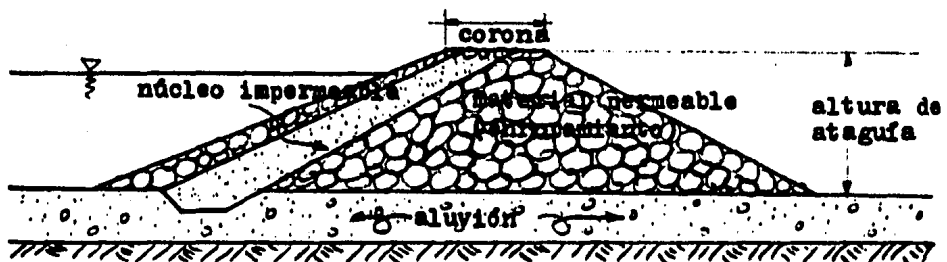
2.5 TIPOS DE ATAGUIAS.

Como se mencionó en el capítulo I, las ataguías son obstáculos que se interponen a la corriente del río para desviarlas y que no pasen por la zona de trabajo, existen varios tipos de ataguías los cuales se diferencian por el material con que se construyen. Las ataguías que más se usan en la construcción por su rapidez y costo son las de tipo terraplén y las celulares.

2.5.1 Ataguías tipo terraplén.

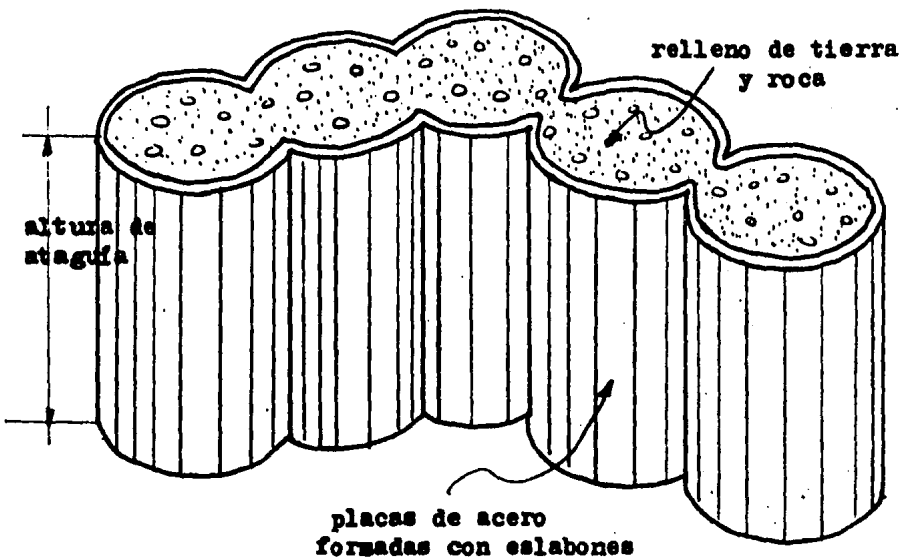
Estas ataguías se construyen de tierra, roca, ó materiales graduados. Si es provisional se hace de tierra y roca y si es definitiva se recomienda hacerla de materiales graduados y compactarla. Si existe velocidad tangencial a su paramento el material que forma su cuerpo debe diseñarse para evitar que sea arrastrado y se erosione la atagüa. Estas ataguías se usan principalmente para corrientes de poca velocidad, ahora bien, si se usa para corrientes rápidas el cuerpo de la atagüa debe construirse con materiales gruesos.

La geometría depende de los materiales que se vayan a usar y su estabilidad se analiza como se hace en mecánica de suelos, por lo general se usa un talud de 2:1, ver la siguiente figura.



2.5.2 Atagúfas celulares.

Las atagúfas celulares están formadas por tablaestacas de acero ó de concreto enganchadas entre sí y formando en planta círculos - con un pequeño traslape y se rellenan de tierra y roca, ver la siguiente figura.



Sus dimensiones son función de la velocidad de la corriente y de la carga de agua que van a soportar, su cálculo es un problema estructural.

Este tipo de atagúfas se usa cuando la velocidad del agua es grande y se tienen áreas de trabajo reducidas.

CAPITULO 3

DISEÑO DE OBRAS DE DESVÍO PARA PRESAS DE TIERRA Y ROCA

Lo importante a considerar para el diseño de la obra de desvío para una presa de tierra y roca es precisamente el material del que consta la presa ya que por ser de materiales sueltos éstos son fácilmente erosionables al pasar el agua sobre ellos, - por tal motivo nuestra obra de desvío tendrá la capacidad de desviar en su totalidad la corriente del río sin permitir por ningún motivo que el agua pase por la zona de trabajo.

Los daños materiales, el retraso de la obra y en consecuencia el daño económico que se tendría al dejar pasar el agua por la zona de trabajo son considerables, por lo que un buen diseño de la obra de desvío es primordial para evitar un accidente de este tipo.

Como se mencionó anteriormente, una de las características que debe tener nuestra obra de desvío para la construcción de una presa de tierra y roca es la de desviar la corriente del río totalmente de la zona de trabajo, esto implicará tener grandes gastos de diseño como un medio de seguridad para estar seguros que el agua no pasará por la zona de trabajo y esto tendrá como consecuencia un alto costo de la obra de desvío.

Otro factor que da las características que debe tener la obra de desvío para la construcción de una presa de este tipo es la forma de la boquilla la cual puede ser abierta, semiabierta ó cerrada. De la configuración de la boquilla se determinará el acomodo de las estructuras de la presa y la ubicación del desvío.

El hidrograma del río influye también en la obra de desvío, - ya que no será el mismo desvío para una corriente intermitente que para una corriente perenne, pero en ambos casos su hidrograma será un factor importante para el programa de construcción de

la presa, teniendo que en épocas de estiaje es la temporada más satisfactoria para construir. Si la cantidad de volumen de material de la presa es relativamente poca se puede construir en una sola temporada que será precisamente en la época de estiaje por lo que el desvío es prácticamente nulo y económico, pero si el volumen de material es considerable y requiere de varios años de construcción, nuestra obra de desvío tendrá que soportar varias temporadas de lluvia y estas influirán en la magnitud del desvío que puede llegar a ser muy costoso, por lo que la cantidad de volumen de material de la presa también será característica para el desvío.

3.1 OBRAS DE DESVIO MAS CONVENIENTES.

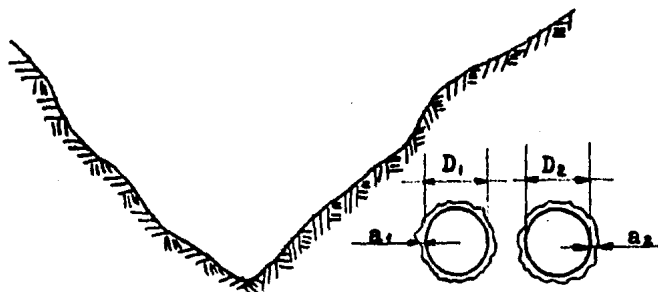
Por tratarse de una presa de tierra y roca, la selección de la obra de desvío debe ser lo más estricta posible ya que de ello depende una buena ejecución de obra.

Las obras de desvío que más se han usado en nuestro país para presas de tierra y roca son por ejemplo cuando se presenta una boquilla abierta se usa un desvío por tajo a través del cauce generalmente a una margen de la boquilla, esto se debe al amplio espacio de trabajo que se tiene. La magnitud de la sección esta en función del gasto de diseño que se obtiene del hidrograma del río y del período de construcción de la presa, ver la siguiente figura.



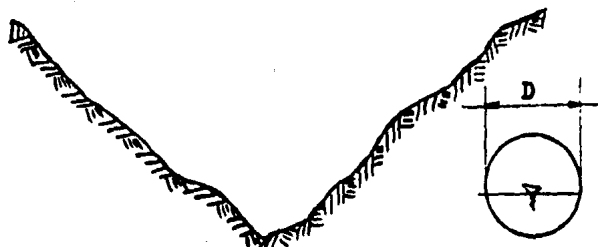
$$(b, h, k) = f(\text{hidrograma, tiempo de construcción de la presa})$$

Si la boquilla es cerrada lo más conveniente en usar es un desvío por túnel a través de la ladera, éste tiene por lo general una forma circular debido a la facilidad de cálculo. La formación geológica de la ladera también influirá en las características y forma del túnel, ya que si la calidad de la roca es mala se opta por hacer varios túneles de diámetro chico y revestidos de concreto, si por el contrario la calidad de la roca es muy buena se hace un solo túnel de diámetro grande y hasta puede no ir revestido de concreto. El hidrograma del río nos dará el gasto de diseño para el cuál será diseñado el túnel y que determinará la magnitud de éste, otro factor que influirá en las características del túnel es el tiempo de construcción de la presa, ver las siguientes figuras.



$$(D_1, D_2, a_1, a_2) = f(\text{geología, hidrograma, tiempo de construcción de la presa})$$

BOQUILLA CERRADA CON MALA FORMACION GEOLOGICA



$$D = f(\text{geología, hidrograma, tiempo de construcción de la presa})$$

BOQUILLA CERRADA CON BUENA FORMACION GEOLOGICA

3.2 CALCULO DEL PERFIL HIDRAULICO DEL DESVIO

La configuración que el agua toma dentro del conducto de desvío durante el transcurso del cierre del cauce nos será de gran importancia conocerla ya que ésta nos dirá en qué tramos del desvío se presentaran condiciones críticas las cuales deben ser cuidadosamente analizadas.

Perfil hidráulico; TAJO

Para poder calcular el perfil hidráulico en el canal de desvío se considera o se supone un gasto constante y se plantean dos condiciones de análisis:

1.- Cuando no se tiene la curva de gastos del río (elev- $Q_{río}$), para ello se procede al cálculo de la misma utilizando el criterio de la sección-pendiente en un tramo del río, este tramo será el que comprenda el lugar donde irá el tajo de desvío, también se supone una rugosidad constante en el cauce. Con estos valores se determinará el tirante normal que corresponderá a su respectivo gasto, para esto se utilizan las siguientes fórmulas:

$$Q = A \cdot V \dots\dots 1 \quad ; \quad \text{por Manning} \rightarrow V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} So^{1/2} \dots\dots 2$$

sustituyendo 2 en 1 tenemos:

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} So^{1/2} \rightarrow \text{Ecuación para flujo uniforme}$$

donde:

Q = gasto

A = área hidráulica

n = rugosidad de Manning

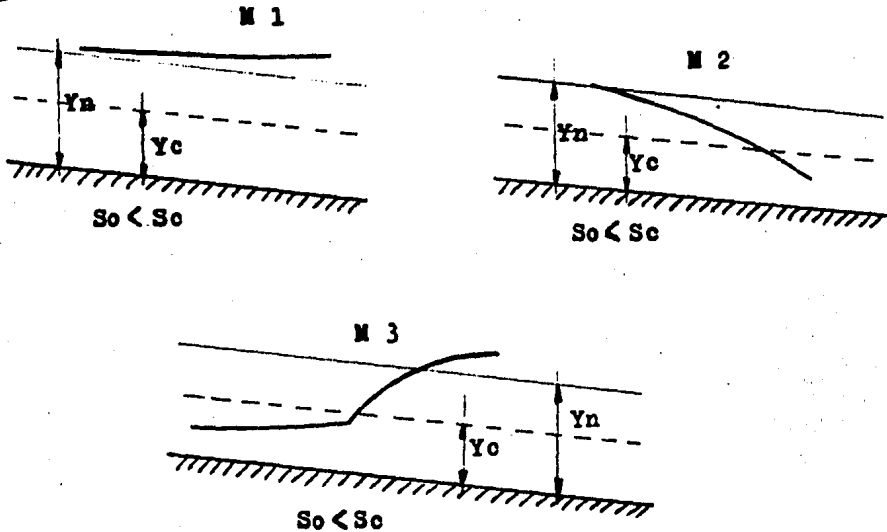
Rh = radio hidráulico

So = pendiente en el tramo en estudio

La obtención de la curva de gastos del río por medio del método de la sección-pendiente es la más comúnmente usada pero no se obtienen valores precisos.

2.- Cuando si se cuenta con la curva de gastos del río obtenida de datos de campo, esta información es la más precisa.

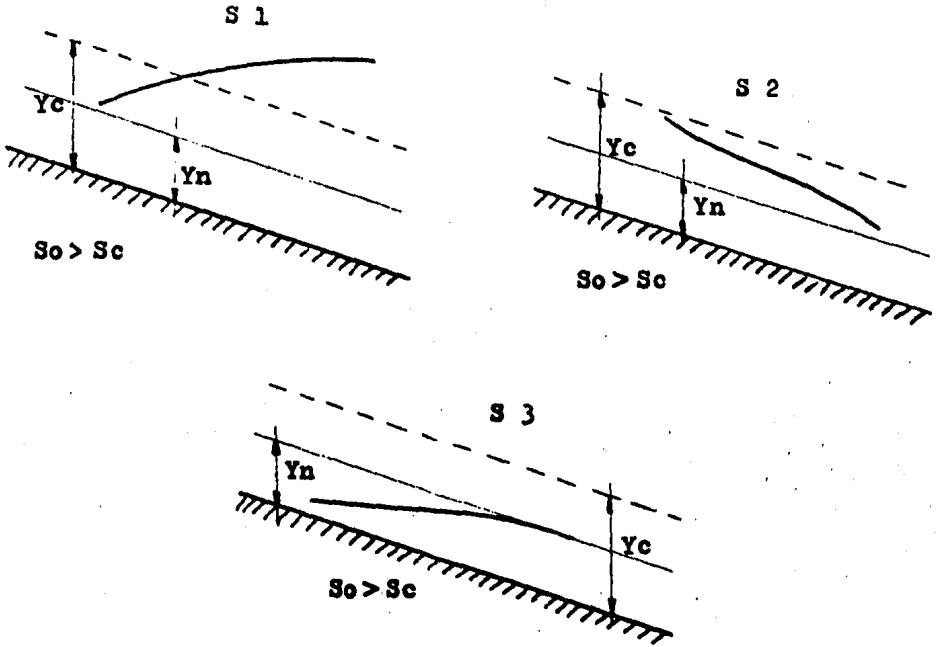
Una vez contando con la curva elev-Qrío se procede a calcular el perfil hidráulico en el canal de desvío, para ello se recurre a la pendiente y secciones medias ya sea del canal de desvío como de tramos del río aguas arriba y aguas abajo del canal y además suponiendo una rugosidad. De esta información se procede a calcular los tirantes normal y crítico tanto del canal de desvío como de los tramos del río. Si resulta que el tirante normal fue mayor que el crítico y la pendiente del canal también es mayor que la pendiente crítica se tiene un régimen suave por lo que se pueden presentar los perfiles M conocidos, ver las siguientes figuras.



Los perfiles que más comunmente ocurren son los M1 y M2 ya que los tajos por lo general se proyectan para pendientes suaves. El perfil M3 es muy difícil que ocurra ya que éste favorecería un régimen rápido.

Cuando del cálculo de los tirantes resulta que el normal fue menor que el crítico y la pendiente del canal es mayor que la -

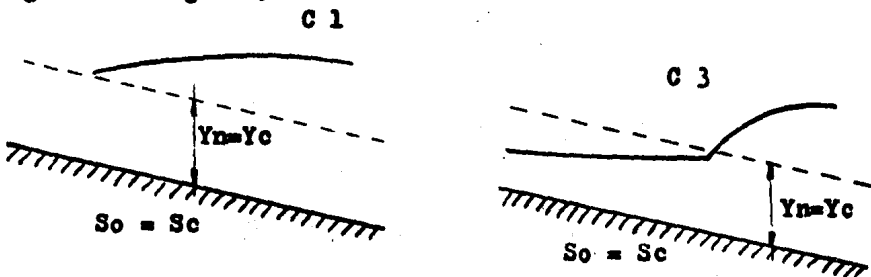
pendiente crítica se tendrá un régimen rápido y se podrán presentar los perfiles S conocidos, ver las siguientes figuras.



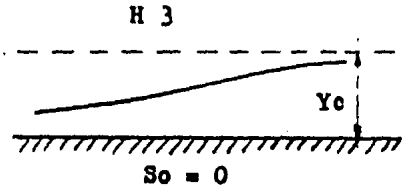
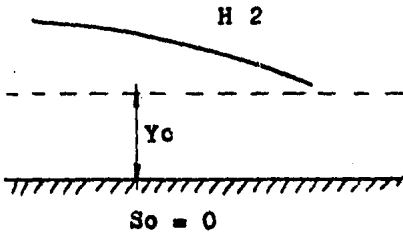
La presencia de estos perfiles es menos probable que ocurran aunque pueden también presentarse.

Otros perfiles que son muy difíciles de presentarse son los siguientes:

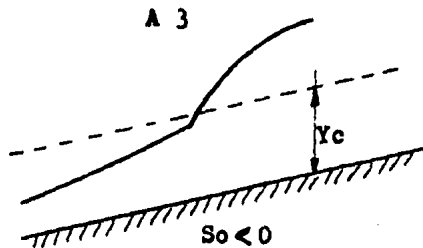
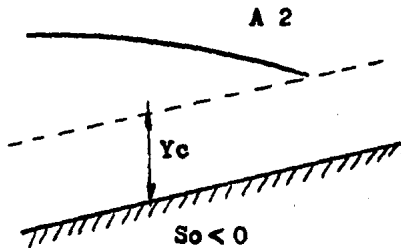
- Si se obtiene que el tirante normal fue igual al tirante crítico y la pendiente del canal también es igual a la pendiente crítica, los perfiles que ocurren son los C conocidos, ver las siguientes figuras.



- Cuando resulta que el tirante normal tiende a un valor infinito ($Y_n = \infty$) y la pendiente del canal es igual a cero, los perfiles que se presentan son los H conocidos, ver las siguientes figuras.



- Y por último cuando se presenta una contrapendiente en la planilla del desvío, los perfiles que ocurren son los A conocidos, ver las siguientes figuras.

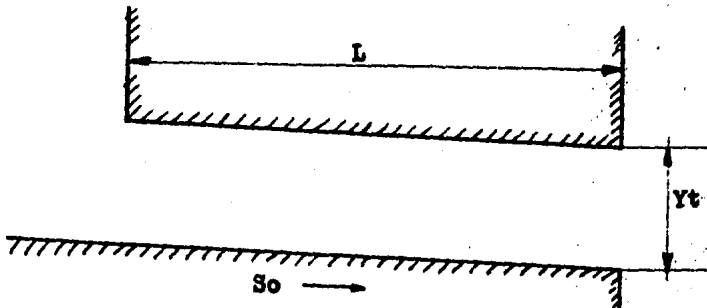


Para poder definir bien el perfil que se nos presente es indispensable como se mencionó antes el poder conocer los tirantes normal y crítico tanto del canal de desvío como de los tramos del río aguas arriba y aguas abajo del desvío.

Una vez definido el perfil que se nos presentará en el conducto de desvío se puede determinar la gráfica elevaciones - gastos desviados.

Perfil hidráulico; TUNEL

El análisis del perfil hidráulico del túnel es diferente que para el tajo. Para este caso se fija el régimen que se quiere - analizar, por lo general se empieza con un régimen lento que es al final de cuenta con el que se diseña el túnel. Un túnel tiene la peculiaridad de que con gastos pequeños funciona como canal y a medida que se van aumentando los gastos este funcionará como tubo lleno, así el análisis del perfil hidráulico se hará por etapas según la posición de la altura del agua a la entrada del túnel. Primero se analizar cuando el túnel trabaja como canal, después se tendrá la condición de entrada ahogada y por último cuando la salida del túnel también esta ahogada, con esto se podrá ir determinando la curva de gastos del túnel. Por facilidad de análisis de las etapas antes mencionadas se supone que el régimen del río aguas arriba del túnel es lento, esta suposición es muy común. El perfil tpico del túnel es el siguiente.



donde:

L = longitud del túnel

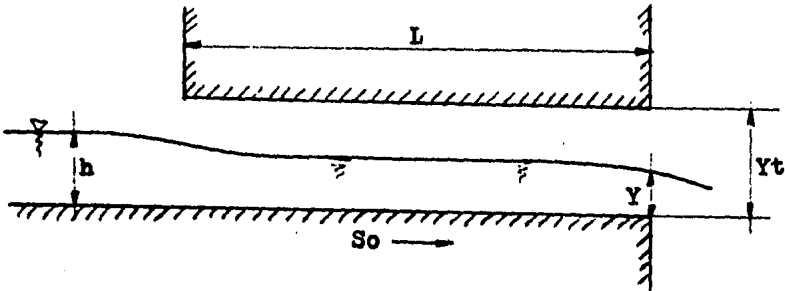
S_o = pendiente de la plantilla del túnel

Y_t = tirante correspondiente al tubo lleno

1a. Etapa de análisis.

El túnel trabaja como canal y se presentan las siguientes condiciones de análisis; régimen lento ($S_o < S_c$), la altura del agua

antes de la entrada al túnel sea menor que Y_t ($h < Y_t$), y que el tirante a la salida del túnel sea $Y_t > Y > Y_c$, ver la siguiente - figura.



donde:

Y = tirante a la salida del túnel

h = tirante del río antes de la entrada del túnel medido desde la plantilla del túnel en la sección de entrada.

Para estas condiciones las ecuaciones que se utilizan son las de Bernoulli y de continuidad las cuales se aplican en la sección de la salida del túnel y hacia aguas arriba para llegar a la sección inmediata después de la entrada y finalmente poder determinar la h , a la cual le corresponderá un gasto dado.

cuando $Y = Y_c$

$$Y_e + \frac{Q^2}{2g A_e^2} = Y_c + \frac{Q^2}{2g A_c^2} + \left[\frac{V_m \cdot n}{R_m^{2/3}} \right]^2 L - S_o L$$

cuando $Y > Y_c$

$$Y_e + \frac{Q^2}{2g A_e^2} = Y + \frac{Q^2}{2g A^2} + \left[\frac{V_m \cdot n}{R_m^{2/3}} \right]^2 L - S_o L$$

donde:

Y_e = tirante inmediatamente después de la entrada del túnel

Q = gasto considerado en el análisis

A_e = área hidráulica correspondiente a Y_e

A_c = área hidráulica correspondiente a Y_c

A = área hidráulica correspondiente a Y

Vm = velocidad promedio entre las velocidades a la salida del túnel y la del tirante Ye

n = rugosidad de Manning

Rm = radio hidráulico promedio entre los radios hidráulicos de la salida del túnel y del tirante Ye

So = pendiente de la plantilla del túnel

L = longitud del túnel

Cuando un túnel es largo estas ecuaciones no sólo se aplican en la entrada y salida sino que se escoge un intervalo de longitud para ir calculando en secciones intermedias los tirantes, - siempre con el fin de llegar a conocer las características hidráulicas del túnel en la sección inmediata después de la entrada.

Para conocer el tirante del río antes de la entrada se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$h + \frac{Q^2}{2g Ar^2} = Ye + (1 + Ke) \frac{Q^2}{2g Ae^2}$$

donde:

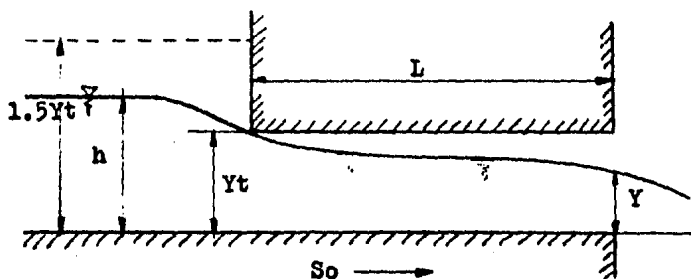
Ar = área hidráulica del río en la sección donde se considere a la h

Ke = coeficiente que vale 0.15 para bordes afilados a la entrada y 0.015 para bordes redondeados a la entrada

Finalmente con esta fórmula se van determinando las h para - gastos pequeños.

2a. Etapa de análisis.

En esta etapa se analizará el perfil hidráulico del túnel justamente en el momento que deja de trabajar como canal, para lo - cual las condiciones de análisis serán las siguientes; se seguirá teniendo un régimen lento ($So < Sc$), los parámetros de la altura del agua antes de la entrada al túnel son $1.5Yt > h > Yt$, y los parámetros del tirante a la salida son $Yt > Y > Yc$, ver la siguiente figura.



Las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de los tirantes son iguales que en la primera etapa, que son la de continuidad y la de Bernoulli y son las siguientes:

para $Y = Y_c$

$$Y_c + \frac{Q^2}{2g A_c^2} = Y_c + \frac{Q^2}{2g A_c^2} + \left[\frac{V_m \cdot n}{R_m^{2/3}} \right]^2 L - S_o L$$

para $Y > Y_c$

$$Y_c + \frac{Q^2}{2g A_c^2} = Y + \frac{Q^2}{2g A^2} + \left[\frac{V_m \cdot n}{R_m^{2/3}} \right]^2 L - S_o L$$

Se debe tener cuidado que h siempre sea menor que $1.5Y_t$ para que se pueda aceptar por bueno el análisis.

Para calcular el tirante del río antes de la entrada al túnel la fórmula es la misma que en la primera etapa.

$$h + \frac{Q^2}{2g A_r^2} = Y_c + (1 + K_e) \frac{Q^2}{2g A_c^2}$$

Lo único que se modifica es el coeficiente K_e , que en este caso vale 0.25 para bordes afilados a la entrada y 0.025 para bordes redondeados a la entrada.

Con esta fórmula para cada gasto fijado se determina su h correspondiente.

3a. Etapa de análisis.

El perfil hidráulico que se genera en esta etapa contiene den

tro del túnel una parte ya ahogada, el problema está en que no se sabe a qué distancia se localiza el final del ahogamiento por lo que las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli ya no se pueden aplicar en este caso, para ello utilizaremos primeramente la ecuación de la energía, ésta nos servirá para determinar la posición donde termina el ahogamiento y se aplicará entre la sección de la salida y la intermedia del túnel en donde termina el ahogamiento. Las condiciones de análisis son; $S_o < S_c$, $h > 1.5Y_t$ y $Y_t > Y > Y_c$.

para $Y = Y_c$ en la salida

$$Y_t + \frac{Q^2}{2g A_t^2} = Y_c + \frac{Q^2}{2g A_c^2} + \left[\frac{V'^m \cdot n}{R'^m{}^{2/3}} \right] (L - \ell) - S_o(L - \ell)$$

para $Y > Y_c$ en la salida

$$Y_t + \frac{Q^2}{2g A_t^2} = Y + \frac{Q^2}{2g A^2} + \left[\frac{V'^m \cdot n}{R'^m{}^{2/3}} \right] (L - \ell) - S_o(L - \ell)$$

donde:

A_t = Área hidráulica para tubo lleno

V_t = velocidad para tubo lleno

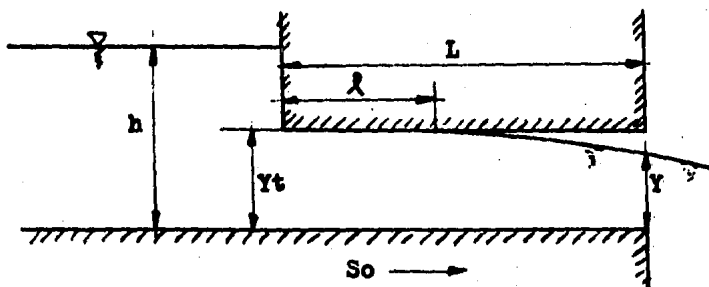
R_t = radio hidráulico para tubo lleno

ℓ = longitud del túnel que trabaja a tubo lleno

V'^m = velocidad promedio entre las velocidades a la salida del túnel y la del tubo lleno

R'^m = radio hidráulico promedio entre los radios hidráulicos de la salida del túnel y del tubo lleno.

Para cada caso según el que se tenga se tiene que despejar la longitud ℓ , ver la siguiente figura.



Después aplicando la ecuación de la energía entre la sección en el túnel donde termina el ahogamiento y antes de la entrada al túnel se determinará la h, esta se tendrá que calcular por tanteos.

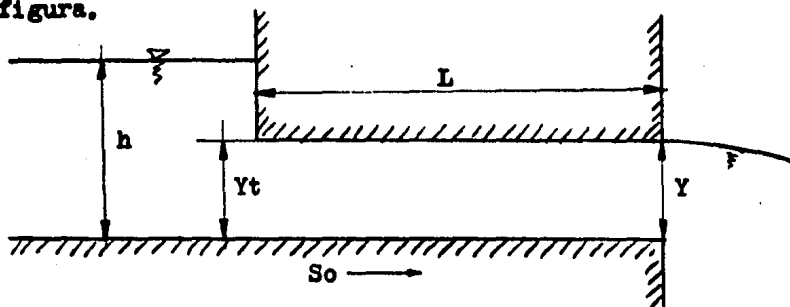
$$h + \frac{Q^2}{2g Ar^2} = Y_t + (1 + K'e) \frac{Q^2}{2g At^2} + \left(\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right)^2 L - SoL$$

donde; K'e valdra 0.5 para bordes afilados a la entrada y 0.08 para bordes redondeados.

De esta manera se irá obteniendo la relación de h - Q dentro del rango indicado.

4a. Etapa de análisis.

Para esta etapa de análisis se considera que todo el túnel trabaja ya como tubo lleno y se tiene la frontera de salida ahogada, para esto las condiciones de análisis serán; régimen lento ($So < Sc$), h mayor de 1.5 Yt y $Y_t = Y = Y_c$, ver la siguiente figura.



Como el túnel está totalmente ahogado (es lo que se supone) la fórmula que se utiliza es la siguiente.

$$h + \frac{Q^2}{2g Ar^2} = Y_t + (1 + K'e) \frac{Q^2}{2g At^2} + \left[\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right]^2 L - SoL$$

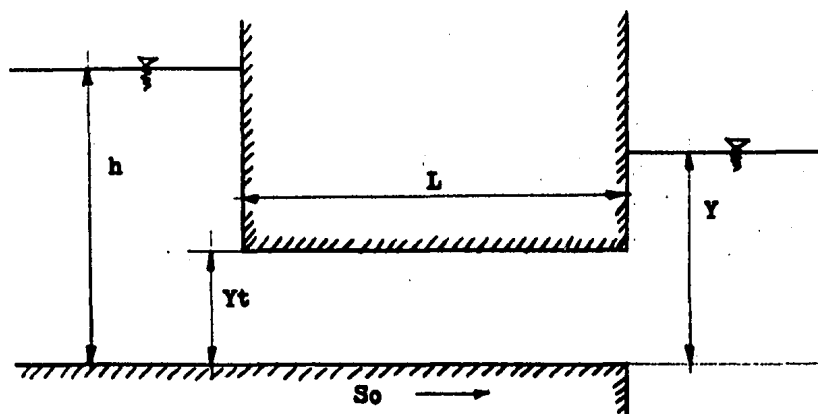
donde; K'e vale lo mismo que en la tercera etapa.

De esta fórmula se calcula h por tanteos y para varios gastos dados se puede ir obteniendo las h que serán las que nos sirvan para contruir la tabla de h - Q .

De las tablas $h - Q$ obtenidas de cada etapa de análisis se puede construir ya en este momento la curva de $h - Q$ para el túnel de desvío.

5a. Etapa de análisis.

Para cargas mayores se incrementará la velocidad del agua solamente en el túnel y se elevará el nivel del río aguas abajo, - para lo cual las condiciones de análisis serán; régimen lento $So < Sc$, $h > 1.5 Y_t$ y $Y_t < Y$, ver la siguiente figura.



La fórmula que se utilizará para poder calcular la h será:

$$h + \frac{Q^2}{2g Ar^2} = Y + K_e \frac{Q^2}{2g At^2} + \left[\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right]^2 L + \left[\frac{1}{At} - \frac{1}{Ar} \right]^2 \frac{Q^2}{2g} - SoL$$

donde:

K_e valdrá lo mismo que en la 3a. y 4a. etapa.

Ar = Área hidráulica del río en la descarga del túnel

El valor de " h " se obtendrá por tanteos.

Con esta 5a. etapa de análisis se da por terminado el estudio del perfil hidráulico en el túnel.

3.3 METODO DEL CIERRE DEL CAUCE DEL RIO

La construcción de la estructura que se interpondrá al cauce del río para desviar ésta a los conductos de desvío es a lo que se le llama cierre del cauce. A dicha estructura se le conoce como atagüfa y ésta se caracteriza por el tipo de material que la forma y del proceso de construcción que se siga. El cierre del cauce se hace una vez que se tenga terminado el conducto de desvío y el tiempo más recomendable para ejecutar el cierre es en la época de estiaje debido a los gastos relativamente pequeños que hay que desviar facilitando así las maniobras de construcción.

Lo que determina la facilidad o dificultad en la ejecución del cierre será principalmente la calidad del material que se disponga para formar la atagüfa, la actividad del flujo del río y por último el equipo disponible.

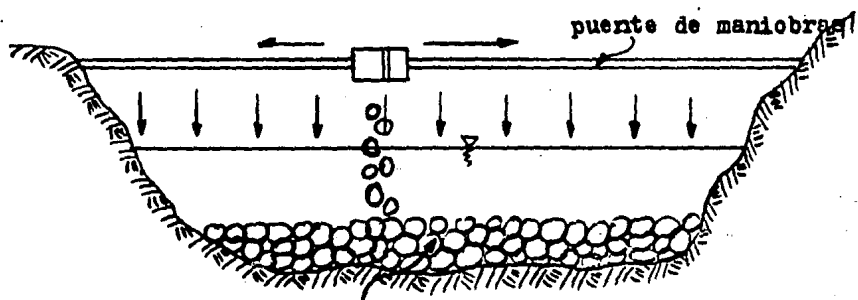
3.3.1 Tipo de atagüfas

Por tratarse de una presa de tierra y roca la atagüfa más recomendable en usar es la tipo TERRAPLEN DEFINITIVA ya que por los materiales de que consta podrá formar parte de la misma presa. En la elección de los bancos de préstamo se debe cuidar que la calidad de los materiales sea lo más próxima a nuestras necesidades principalmente en el diámetro de las rocas que se extraigan y que estos bancos se localicen lo más cerca posible a la zona de trabajo.

En la práctica los métodos más usuales para la construcción de atagüfas son dos; el método frontal y el método lateral, en algunos casos se utiliza la combinación de ambos. La elección del método a usar está en función de la forma como se suministran los materiales.

- El método frontal consiste en ir arrojando a todo lo largo de la sección del cauce material por medio de un puente o funicular

esto con el objeto de ir avanzando uniformemente la altura de la atagufa desde el fondo del cauce. Al ir elevando la atagufa se tiene que al principio la velocidad del agua no es suficiente para mover el material que se ha depositado pero mientras se va avanzando la altura de la atagufa crece y por consiguiente se va reduciendo el área de la sección de paso provocando con esto un aumento en la velocidad del flujo y en el nivel aguas arriba, con esto se logra que se tenga un gasto de desviado y que vaya aumentando a medida que se vaya cerrando el cauce y la velocidad sobre su cresta irá creciendo de una velocidad normal hasta llegar a una máxima que es en este momento cuando se tiene una etapa crítica donde antes de llegar a esta etapa el proceso del cierre del cauce es difícil y lento pero una vez rebasada la etapa crítica el proceso se hace más rápido y fácil esto se debe a que al ir aumentando el nivel del agua el desvío y las filtraciones van aumentando también provocando una disminución en el gasto que pasa sobre la cresta y en consecuencia una disminución en la velocidad la cual llegará a valer cero. La forma como se ejecuta el método frontal se puede ver en la siguiente figura.



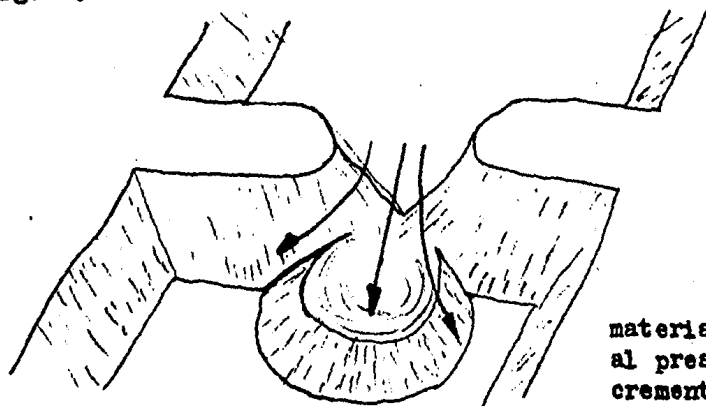
material colocado uniformemente en capas

METODO FRONTAL DE CIERRE DE CAUCES

- El método lateral consiste en ir depositando el material por una o ambas márgenes del río en forma normal al cauce logrando así poco a poco contraer el flujo, de esta forma es como se lo-

gra aumentar el nivel aguas arriba y la velocidad teniéndose una situación semejante a la del cierre frontal.

En este método ocurre un problema adicional y es que al principio al ir avanzando sin dificultad llega un momento en que la velocidad del flujo empieza a erosionar el fondo del cauce antes de arrastrar el material de depósito y esto puede provocar fallas o derrumbes en las partes ya construídas (en el peor de los casos) y el uso de mayor cantidad de material para rellenar la parte so cavada. Para evitar este problema primero se pone una capa de ro ca sobre toda la sección del cauce (método frontal) después se sigue con el método lateral. El funcionamiento de la atagüa es como el de un vertedor triangular y a medida que se va cerrando la velocidad del agua aumenta hasta llegar a una velocidad máxima que será la etapa crítica en la construcción y es donde se presenta el mayor número de arrastre de material, ver la siguiente figura.

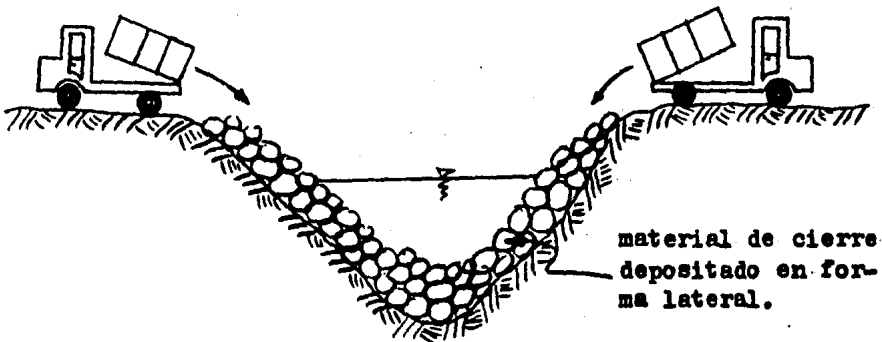


material arrastrado
al presentarse un in
cremento en la velo
cidad del flujo.

El aumento del gasto desviado y del filtrado se debe al aumento del nivel del agua que es provocado por el cierre del cau ce por lo que estos gastos ayudan a disminuir la velocidad sobre la cresta despues de haberse presentado la velocidad máxima.

Durante el proceso de construcción se observa que la velocidad del flujo sobre la cresta de la atagüa aumenta de la normal has-

ta una máxima y después ésta disminuye hasta llegar a cero. Este método de cierre se recomienda para boquillas estrechas debido a que si se ataca desde las margenes del río las puntas de los taludes del material depositado lleguen a juntarse desde los comienzos del cierre teniendo así material para proteger el fondo del cauce y este no sea erosionable, también se recomienda para cauces rocosos (no arrastrables), ver la siguiente figura.



METODO LATERAL DE CIERRE DE CAUCES

El uso de los métodos anteriores en forma conjunta en algunos casos es la mejor solución.

Los cálculos para el cierre de cauces se enfocarán principalmente a determinar la velocidad máxima que se presenta en el vertido ya que de ésta se determinarán las características del material de depósito para resistir esta velocidad y no ser arrastrados, ahora bien, si el material que se obtiene del banco de préstamo no cumple con las dimensiones solicitadas pero es el único material disponible se procede a calcular en función de los tamaños de la roca la cantidad de material que será arrastrado.

Una de las bases para el cálculo es la de dividir el gasto del río en gasto desviado, gasto vertido y gasto filtrado para lo cual se tiene que cumplir la siguiente condición.

$$Q_r = Q_d + Q_v + Q_f$$

La obtención de cada uno de los gastos será de la siguiente manera:

- Gasto desviado.- Este se obtiene de la relación Elev - Gastos en el conducto de desvío la cual se obtuvo en el cálculo del perfil hidráulico antes mencionado, por lo tanto el gasto desviado estará en función de la variación de los niveles aguas arriba.

- Gasto vertido.- De la suposición de que la sección de la atagüa aun no terminada funciona como un vertedor se calculará el gasto vertido con la expresión para vertedores.

$$Q_v = m \sqrt{2g} \, b_m \, H_o^{3/2}$$

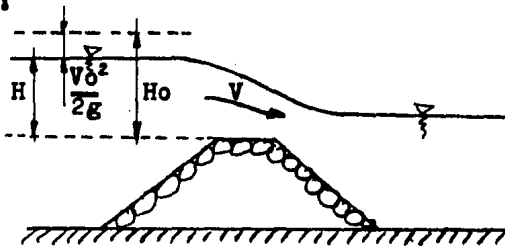
donde:

m = coeficiente de gasto del vertedor, según su forma y su ahogamiento, se obtiene de gráficas del Manual de Diseño de Obras Civiles.

b_m = ancho medio del vertedor en la cresta

H_o = energía sobre la cresta del vertedor la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$H_o = H + \frac{V_o^2}{2g}$$



- Gasto filtrado.- Se determinará el gasto que pasa a través del cuerpo del dique y el cual estará en función de los espacios entre las rocas. Para su cálculo se presentan dos condiciones, la primera es cuando la atagüa está sumergida y el agua que pasa a través del cuerpo trabaja a presión.

$$q_f = 2 \, k_f \left[\frac{a \cdot Z}{0.9L} \right]^{1/2} \left[a - 0.39 \sqrt{a - Y_o} \right]$$

donde:

q_f = gasto unitario filtrado

k_f = coeficiente de filtración turbulenta del material, se obtiene de tablas del Manual de Diseño de Obras Civiles.

Z = desnivel entre la superficie aguas arriba y aguas abajo de la atagüfa de cierre.

a = altura de la atagüfa

L = ancho de la atagüfa en su base

Y_0 = altura sobre el talud aguas arriba en la sección donde la distribución de presiones deja de ser hidrostática.

El gasto total se obtendrá multiplicando el gasto unitario por la longitud media de la atagüfa.

La segunda condición se tiene cuando la atagüfa sale del agua, la filtración es turbulenta y no hay presión.

$$q_f = k_f \sqrt{\frac{a}{L}} \left[2 \sqrt{a \cdot Z} - 2 \sqrt{Z(a - dr)} + \sqrt{\frac{Z^3}{3(a - dr)}} \right]$$

donde:

dr = tirante aguas abajo de la atagüfa

El gasto total se obtiene como en la primera condición.

La forma en cómo se irán repartiendo los gastos, vertido, desviado y filtrado en las diferentes etapas de construcción se obtendrán de la solución simultánea de sus respectivas fórmulas.

La obtención de la velocidad máxima que resiste un elemento se determinará a partir del análisis del equilibrio límite de una piedra colocada en el fondo del cauce o sobre otras piedras propuesto por Isbach. Las características principales de un elemento de atagüfa para resistir esta velocidad máxima serán fundamentalmente su forma y su peso y de la cual se obtiene una velocidad límite que esta dada por la siguiente fórmula:

$$V \text{ lím} = Y_0 \sqrt{2g \frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma}} \sqrt{d}$$

donde:

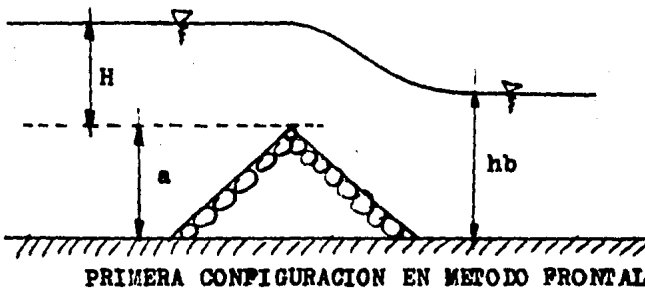
Y_0 = coeficiente que para piedra redondeada varia de 0.86 a 1.20 según condiciones del conjunto

γ_m = peso específico del material

δ = peso específico del agua

d = diámetro de una esfera del mismo peso que la piedra.

Si se optó por usar piedra para el cierre del cauce el método frontal es el más indicado a utilizar ya que este permite proteger el fondo del cauce y no ser erosionable por lo que se tendrá un ahorro de material, por tal motivo se ha desarrollado un proceso de cálculo en el cual se van determinando todas las formas que va tomando la atagüfa en las diferentes etapas de construcción. Al iniciarse el cierre se define una primera configuración en la cual la velocidad sobre el vertedor no es capaz de mover la piedra arrojada, ver la siguiente figura.



Esta configuración termina cuando la velocidad llega a un valor tal que empieza a mover las rocas y se determina con la siguiente fórmula y con un coeficiente $Y_c = 0.86$

$$V_{\min} = 0.86 \sqrt{2g \frac{\delta_m - \delta}{\delta}} \sqrt{d}$$

En la segunda configuración el material se empieza a desplazar ampliando la cresta a una longitud dada la cual se puede determinar con la siguiente fórmula

$$L_c = 3 \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

La velocidad del flujo sobre la cresta variará de V_{\min} en el inicio de la cresta a una V_{\max} al final de la cresta, esta V_{\max}

se calcula con $Y_c = 1.20$ quedando la expresión de la siguiente manera:

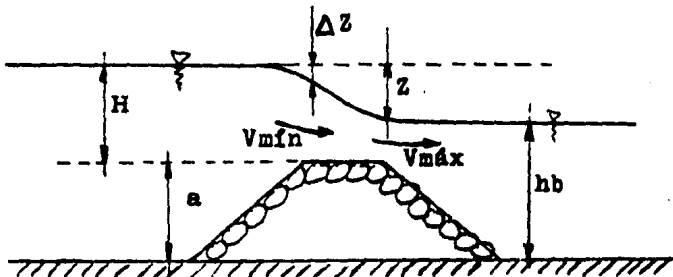
$$V \text{ máx} = 1.20 \sqrt{2g \frac{\delta_m - \delta'}{\delta}} \sqrt{d}$$

En el límite de esta configuración despreciando la velocidad de llegada al vertedor se tiene que al principio de la cresta y al final de la misma se presentan las siguientes características para la caída del agua.

$$\Delta Z = \frac{1}{\phi_1^2} \cdot \frac{V^2 \text{ mín}}{2g} \quad \dots \text{ al principio de la cresta}$$

$$Z = \frac{1}{\phi_2^2} \cdot \frac{V^2 \text{ máx}}{2g} \quad \dots \text{ al final de la cresta}$$

donde; ϕ_1 y ϕ_2 son coeficientes que toman en cuenta la pérdida de carga y varían entre 0.92 y 0.70



SEGUNDA CONFIGURACION

La tercera configuración se forma al aumentar la altura de la atagüa teniendo con esto una pendiente en la rampa la cual se puede calcular con la expresión:

$$i = \frac{n^2 \cdot V^{10/3} \text{ máx}}{q^{4/3}}$$

donde; n = coeficiente de rugosidad en la fórmula de Manning el cual se calcula con la siguiente expresión.

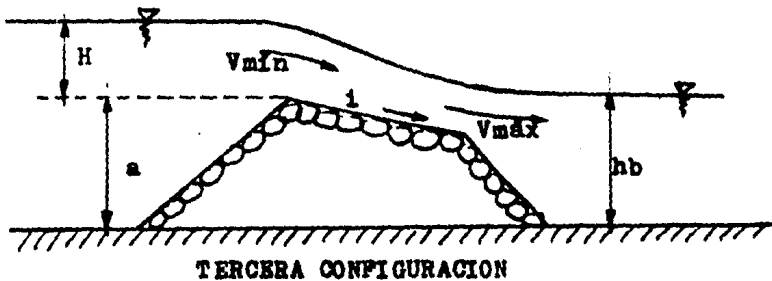
$$n = \frac{b_a^{1/6}}{18 \log \left(\frac{11.11h_2}{2 D_{s4}} \right)}$$

donde:

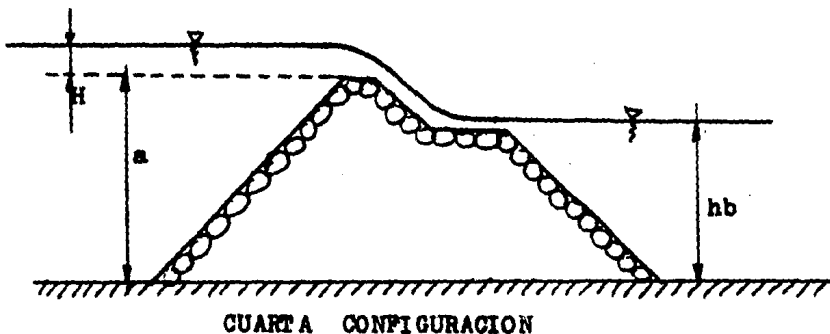
h_2 = tirante sobre la rampa

D_{84} = diámetro del enrocamiento en el que el 84 % en peso es menor o igual a ese tamaño.

La forma de la atagüfa en la tercera configuración es como se ve en la siguiente figura.



En la cuarta configuración y última la velocidad máxima va disminuyendo al igual que el gasto unitario sobre la cresta por lo que ya se ha pasado la etapa crítica, de aquí en adelante el proceso de construcción es más fácil y rápido. En esta configuración prácticamente la cresta está saliendo del agua, ver la siguiente figura.



Con la geometría de cada una de las configuraciones antes mencionadas se puede determinar las dimensiones finales de la atagüfa y obtener el volumen de material que se necesita para el cierre.

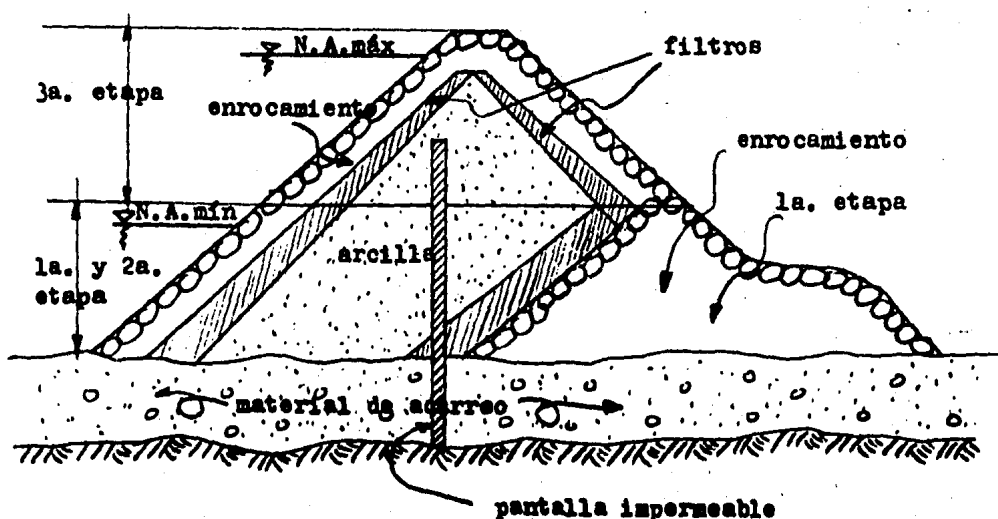
3.3.2 Procedimiento constructivo.

Primeramente se determinarán los materiales que formarán la atagüa procurando siempre el uso de rocas esto por ser el elemento más económico, para ello se seleccionarán los bancos de préstamo los cuales deben de estar lo más cerca posible a la zona de construcción y que la obtención de estos materiales nos permita contar con elementos del tamaño requerido. Después se fijará el método a utilizar ya sea frontal o lateral esto estará en función del acceso por las laderas al cauce, por seguridad y economía se tratará de usar el método frontal. Si la obtención de la roca es de tamaño suficiente para no ser arrastrado se puede ir graduando la dimensión de la roca aumentándola a medida que la dificultad del cierre aumenta, para ello es indispensable llevar paralelamente la variación de las velocidades con la variación de los diámetros de enrocamiento no arrastrables. Si la roca que se obtiene es arrastrable se determinará el volumen adicional de material que hay que utilizar.

Las etapas como se va construyendo la atagüa se podrían considerar de la siguiente manera; primeramente se construye un dique que consta principalmente de roca colocada a volteo la cual resistirá la velocidad de la corriente, en algunos casos se usan materiales prefabricados ya que éstos se diseñan precisamente para que al colocarse se vayan entrelazando entre sí y no sean arrastrados por la corriente, el uso de estos materiales prefabricados llega a ser muy costoso por lo que no se recomienda su uso. De esta forma se tiene ya toda la sección del cauce cerrada por la estructura aunque en una forma muy tosca ya que gran parte de agua se infiltra por los huecos que quedan entre las rocas o los materiales prefabricados, por lo que sólo una parte del cauce se logra hacer pasar por el conducto de desvío. En la segunda etapa se procede a tapar esos huecos para lo cual se va colocando en el talud aguas arriba material con granulometría cada vez más fi

na hasta llegar a colocar una capa de arcilla no compactada la cual se protege con una capa de enrocamiento. Con esto se tiene el dique ya impermeable y pasando por el conducto de desvío la totalidad del cauce, ahora bien, si en algún caso se siguen presentando infiltraciones grandes se procede a colocar una pantalla impermeable en la capa de arcilla. En la tercera etapa se procede a levantar la altura de la atagüa para que en épocas de avenidas con el gasto máximo esperado no vaya a rebasar el agua la altura de la corona y vaya a pasar sobre la estructura y llegar a la zona de trabajo y destruir la presa en construcción. Por último se procede a la construcción de la atagüa aguas abajo la cual se construye en forma similar a la atagüa aguas arriba, sólo que en este caso es más baja y más fácil de construir debido a que el agua no tiene velocidad y los gastos son menores.

En la siguiente figura se puede ver la forma de atagüa en función de las etapas de construcción.



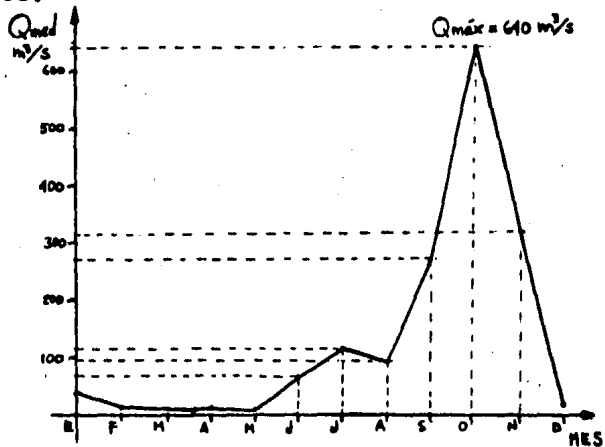
3.4 PROBLEMA DE APLICACION

3.4.1 Introduccion.

En un tramo de un rio se va a construir una presa de tierra y roca la cual tendrá una altura de 50 metros. Para los datos mostrados a continuacion diseñar la obra de desvío más conveniente.

De la informacion del rio se obtuvo lo siguiente; con los máximos gastos medios-diarios de cada mes se tiene una envolvente de gastos medios.

MES	Qmed. m ³ /s
enero	37
febrero	10
marzo	8
abril	11
mayo	7
junio	68
julio	112
agosto	96
septiembre	271
octubre	640
noviembre	309
diciembre	26



La forma de la presa y de la boquilla se muestra en el plano anexo. La geología de las laderas es de andesita sana.

Analizando la topografía del lugar y la disposición de los materiales de los bancos de préstamo se optó por usar un túnel revestido de concreto como conducto de desvío y ataguías tipo terraplén con materiales no arrastrables y que formarán parte posteriormente de la presa.

3.4.2 Programa de construcción.

De los rendimientos y tiempos de construcción de las diferentes actividades para la construcción de la presa se hará un programa que coordine todas las maniobras, este programa estará en

función también de los gastos que escurren en el río durante el año dando con esto fechas de inicio y terminación.

Las actividades y tiempos de construcción se dan a continuación por orden de ocurrencia. Por experiencia en la construcción de este tipo de presa los tiempos y rendimientos que se dan a continuación son aproximados a la realidad.

- Construcción de dos pequeñas ataguías para construir el túnel, una en la entrada y otra en la salida del túnel.

Tc $\hat{=}$ una semana por atagüa donde; Tc = tiempo de construcción.

- Construcción de dos tajos a cielo abierto en la entrada y salida del túnel, con taludes de 0.5:1

Tc de tajo en la entrada $\hat{=}$ 6 semanas

Tc de tajo en la salida $\hat{=}$ 4 semanas

- Construcción del túnel con una longitud aproximada de 350m.

Si el rendimiento de perforación es de 2m diarios lineales y el revestimiento para el túnel es de 3m diarios lineales se puede obtener el tiempo de construcción del túnel.

$$Tc \text{ del túnel} = \frac{350m}{2m/día} + \frac{350m}{3m/día} = 291.67 \hat{=} 292 \text{ días}$$

$$Tc = \frac{292}{30} = 9.73 \text{ meses} \hat{=} 10 \text{ meses.}$$

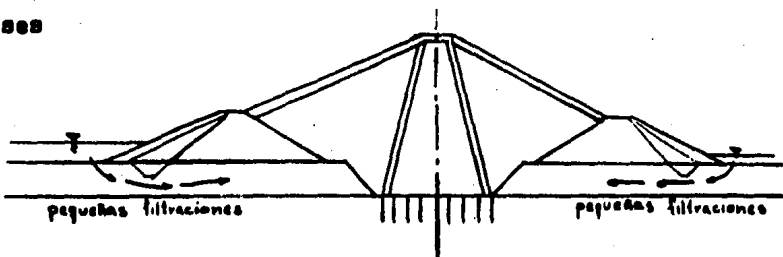
Nota; si por algún caso se llegara a tener dos túneles no hay problema ya que se pueden construir al mismo tiempo.

- Construcción de ataguías (aguas arriba y aguas abajo), limpia del fondo del río y excavación de trincheras.

Tc $\hat{=}$ 2 meses

- Tratamiento de cimentación.

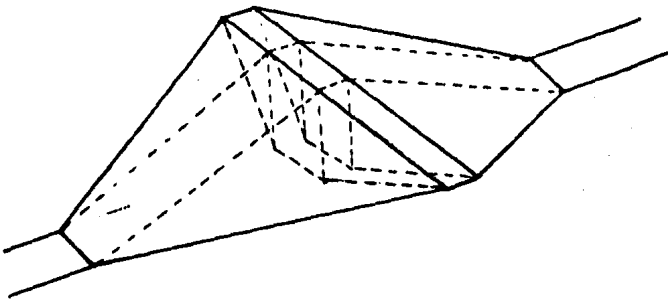
Tc $\hat{=}$ 3 meses



- Colocación de material de la presa. Si el rendimiento en gran promedio es de 120 000 m³/mes y con el volumen de material se obtiene el tiempo de ejecución aproximado.

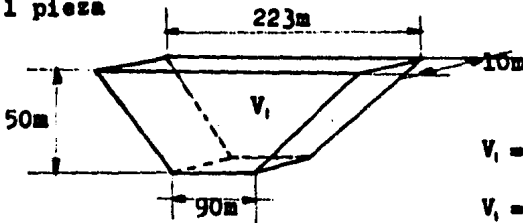
Cubicación de la presa.

Figura geométrica que semeja la presa, esta figura sólo nos dará un volumen aproximado de la presa que para los fines de este trabajo se toma por bueno.



Se puede descomponer de las siguientes figuras;

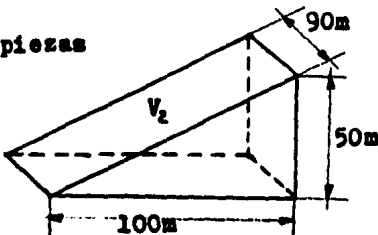
1 pieza



$$V_1 = \left(\frac{223+90}{2} \times 50 \right) 10 = 78,250$$

$$V_1 = 78,250 \text{ m}^3$$

2 piezas



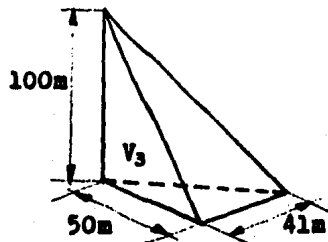
$$V_2 = 2 \left(\frac{50 \times 100}{2} \times 90 \right) = 450,000$$

$$V_2 = 450,000 \text{ m}^3$$

2 piezas

$$V_3 = \frac{2}{3} \left[\frac{41 \times 50}{2} \times 100 \right] = 68,333.3$$

$$V_3 = 68,333.33 \text{ m}^3$$



Del programa de construcción se observa que éste se elaboró de la necesidad de construir en épocas de estiaje las ataguías, la limpia de fondo, la excavación de trincheras, el tratamiento de cimentación y la construcción de la base de la presa.

3.4.3 Gasto de diseño.

Utilizando la expresión para el cálculo del tiempo de retorno se tiene; $R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$

donde;

R = riesgo que queremos correr, en %/100

n = tiempo que funcionará la obra de desvío, en años

T_r = tiempo de retorno, en años

Nosotros queremos correr un riesgo del 10%, esto significa - que de diez gastos máximos extraordinarios que se nos llegaran a presentar en el tiempo de funcionamiento de la obra de desvío sólo uno aceptaremos que iguale o supere al gasto máximo de diseño. El tiempo que funcionará la obra de desvío como se puede ver en el programa de construcción será de un año.

Sustituyendo los datos en la expresión anterior nos queda:

$$0.1 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^1$$

Despejando T_r nos da ; $T_r = 10$ años

De la muestra histórica de gastos máximos anuales registrados y con $T_r=10$ años aplicando los métodos de Gumbel y de Nash nos da un gasto de diseño de $848 \text{ m}^3/\text{s}$

..

$Q_{\text{diseño}} = 848 \text{ m}^3/\text{s}$
--

3.4.4 Gráfica de tirantes del río - gastos del río.

Con esta gráfica determinaremos la altura de las dos pequeñas ataguías que se construirán en la entrada y salida del túnel, para ello aplicaremos el método de la sección-pendiente.

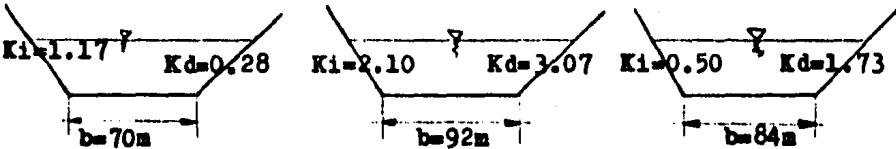
De la información de la topografía se tienen tres secciones

del río las cuales se pueden observar en el plano anexo, estas secciones son;

SECCION A

SECCION B

SECCION C



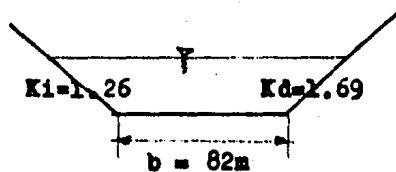
De estas tres secciones se obtendrá una sección media la cual nos servirá para determinar la gráfica Elev - Qrío.

$$K_{i\text{ med}} = \frac{1.17+2.10+0.5}{3} = 1.26$$

SECCION MEDIA

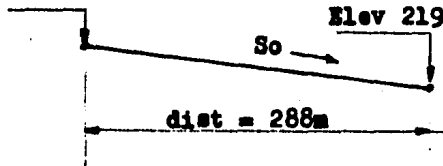
$$K_{d\text{ med}} = \frac{0.28+3.07+1.73}{3} = 1.69$$

$$b_{\text{ med}} = \frac{70+92+84}{3} = 82\text{m}$$



Del plano se obtendrá la pendiente S_o del río, la cual es:

Elev 221



$$S_o = \frac{221 - 219}{288} = 0.0069$$

$$\therefore S_o = 0.0069$$

El río en estudio semeja al propuesto para una rugosidad de $n = 0.030$ del libro de "Open Channel Hydraulics" de Ven Te Ch. el cual tiene un lecho de guijarros grandes.

Con esta información y aplicando el método de la sección-pendiente se tiene lo siguiente:

$$Q = \frac{A}{n} R h^{4/3} S_o^{1/2} \dots\dots 1$$

$$\text{si; } A = \left[\frac{2b + K_1 Y + K_2 Y}{2} \right] Y \dots\dots 2$$

$$P = b + Y\sqrt{K_1^2+1} + Y\sqrt{K_2^2+1} \dots\dots 3$$

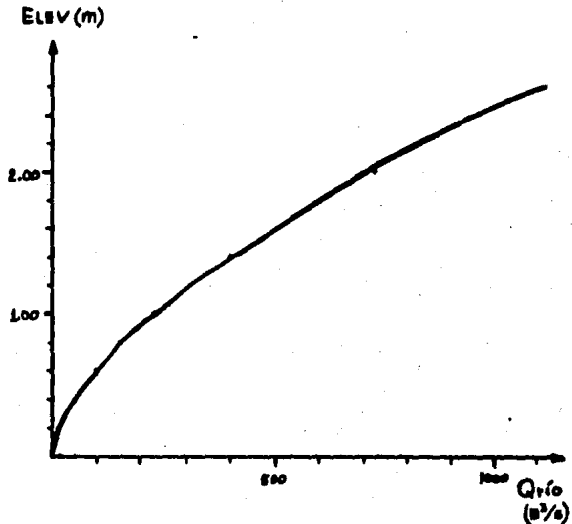
sustituyendo 2 y 3 en 1 tenemos:

$$Q = \frac{\left(\frac{2b+K_1Y+K_2Y}{2}\right)Y}{n} \left[\frac{\left(\frac{2b+K_1Y+K_2Y}{2}\right)Y}{b + Y\sqrt{K_1^2+1} + Y\sqrt{K_2^2+1}} \right]^{2/3} S_o^{1/2}$$

Haciendo uso del programa que viene en la siguiente hoja el cual tiene como titulo " METODO DE LA SECCION - PENDIENTE" se obtendrá la gráfica Elev - Qrío, si se toma Y como Elev. y con los siguientes datos se tiene:

$K_1 = 1.26$, $K_2 = 1.69$, $b = 82m$, $n = 0.030$, y $S_o = 0.0069$

Elev (m)	Qrío (m ³ /s)
0.10	4.89
0.20	15.53
0.30	30.53
0.40	49.33
0.60	96.98
0.80	156.68
1.00	227.34
1.20	308.17
1.40	398.59
1.60	498.13
1.80	606.43
1.86	640.00
2.00	723.15
2.20	848.04
2.40	980.85
2.60	1121.39



Como se observa en la gráfica para el gasto de diseño de 848 m³/s se tiene una elevación en el río de 2.20m del fondo del río, con esta elevación se dará la altura de las dos pequeñas ataguías en la entrada y salida del túnel.

Del trazo del eje del túnel se tiene una longitud aproximada de 350m con lo cual para tener un régimen subcrítico necesitamos un desnivel de 0.50m, con ésto nos da una pendiente aproximada en el túnel de:

$$S_o \text{ aprox. túnel} = \frac{0.50m}{350m} = 0.00143$$

TÍTULO METODO SECCION-PENDIENTE

PÁGINA 1 DE 1

TI Programável
TI Programmable

PROGRAMADOR Fermin Garcia J.

DATA ENERO 1985
FECHA

Registro do Programa
Registro de Programa



DIVISÃO (Op 17)
DIVISIÓN (Op 17)

3.19.19

MÓDULO DA BIBLIÓTECA
MÓDULO DE LA BIBLIOTECA

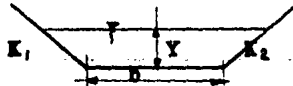
IMPRESSOR
IMPRESORA

CARTÕES
CARTONES

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA - DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Sirve para obtener gastos en función de su tirante(Y), se basa de la fórmula de Manning la cual es; $Q = \frac{A}{n} R h^{2/3} S o^{1/2}$

Se aplica para una sección rectangular o trapezoidal y sus características en dimensión son;



INSTRUÇÕES DE USO - INSTRUCCIONES DE USO

FAZSO PASO	PROCEDIMENTO - PROCEDIMIENTO	INTRODUZA INTRODÚZGA	PRESSIONE APRIETE	VISOR
1	Introducción de datos	n	A	n
2	Introducción de datos	b(m)	R/S	b
3	Introducción de datos	K ₁	R/S	K ₁
4	Introducción de datos	K ₂	R/S	K ₂
5	Introducción de datos	So	R/S	So
6	Introducir el valor del tirante(Y)	Y(m)	B	Y
7	Obtención del gasto para el tirante antes fijado(Y)		C	Q (m ³ /s)

Nota: se dan diferentes valores a Y y se obtienen sus gastos correspondientes, con ésto se elabora la tabla de tirantes Vs. gastos.

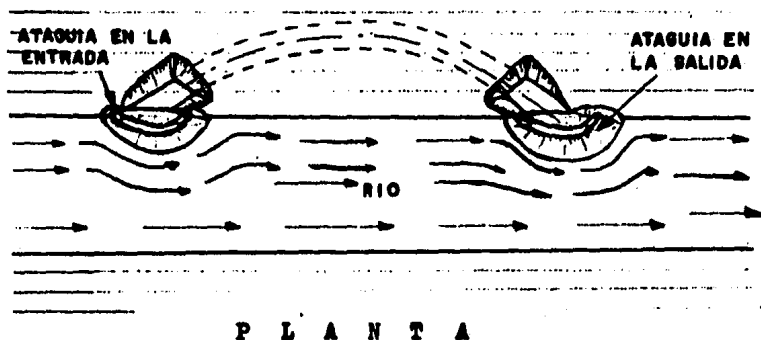
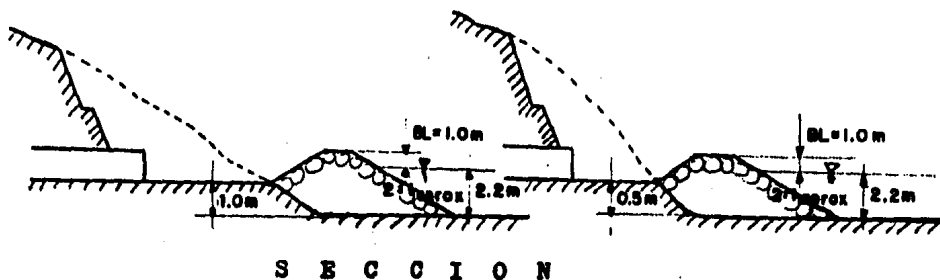
TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIALES TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIALES	REGISTROS DE DATOS - REGISTROS DE DATOS (<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>)	LOCALIZADORES - ETIQUETAS (Op 08)
A	0	0
B	1	1
C	2	2
D	3	3
E	4	4
A'	5	5
B'	6	6
C'	7	7
D'	8	8
E'	9	9

BAZICAD	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BAZICAD	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para no aumentar la altura de las ataguías que servirán para desviar la corriente del río al túnel se tomará una diferencia de altura del fondo de río a la plantilla del túnel de 1.0 metro en la entrada y de 0.5 m a la salida.

Entrada del túnel

Salida del túnel



De lo anterior se concluye que las ataguías que servirán para construir el túnel tendrán una altura de 3.2 m cada una y un talud aproximado de 2:1

Con esto se dan por buenas las dos semanas que se dieron para la construcción de estas ataguías en el diagrama de barras - de actividades las cuales se tienen que construir en las dos primeras semanas de enero.

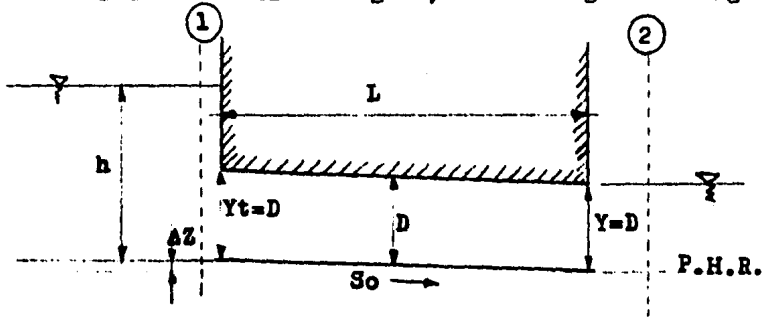
3.4.5 Cálculo del diámetro del túnel y altura de ataguías definitivas.

Con el gasto de diseño $Q_{dis} = 848 \text{ m}^3/\text{s}$ se calcula el diámetro

del túnel capaz de conducir dicho gasto.

Primero se fija el funcionamiento del túnel para desviar el gasto de diseño.

Para que el túnel se aproveche en su totalidad la configuración más apropiada es para cuando el túnel trabaja a tubo lleno con el límite de salida ahogada, ver la siguiente figura.



Aplicando la ecuación de la energía entre 1 y 2 tenemos:

$$h + \frac{Q^2}{2g Ar^2} = Yt + (1 + K'e) \frac{Q^2}{2g At^2} + \left[\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right]^2 L - SoL$$

Si; la carga de velocidad a la entrada se desprecia $\frac{Q^2}{2g Ar^2} \doteq 0$
 $Yt=D=Y$ para esta condición.

como los bordes a la entrada son afilados $K'e = 0.5$
 para tubo lleno se tiene que; $Vt = \frac{Q}{At} \therefore Vt^2 = \frac{Q^2}{At^2}$

$\Delta z = SoL = 0.5m$ como se vio en el punto 3.4.4

Por lo tanto la ecuación anterior nos queda;

$$h = D + (1.5) \frac{Vt^2}{2g} + \left[\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right]^2 L - \Delta z \dots\dots\dots 1$$

Como el túnel trabajará a tubo lleno tenemos que;

Area_{túnel} = $\frac{\pi D^2}{4}$ y apoyándonos de la ec. de continuidad tenemos; $Qt = Vt \cdot At \rightarrow Qt = Vt \frac{\pi D^2}{4}$ despejando la velocidad

Vt nos queda que $Vt = \frac{4 Qt}{\pi D^2} \dots\dots\dots 2$

y sustituyendo la ec. 2 en la 1 por tanteos obtendremos la h.

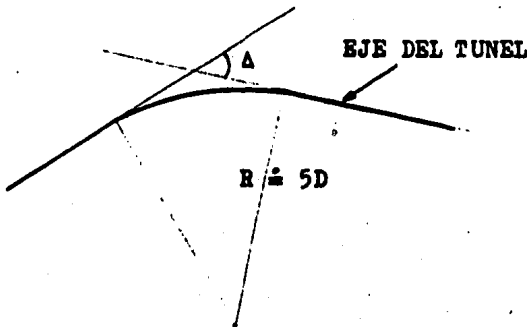
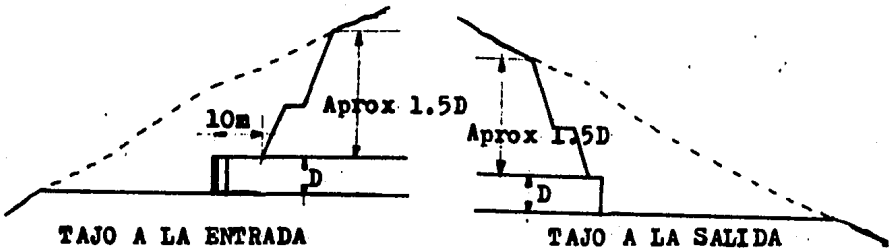
Como se puede ver en el desarrollo anterior necesitamos proponer varios diámetros para el túnel y obtener su h correspondiente para así escoger el diámetro que más nos convenga.

Para el proceso de obtener el diámetro definitivo del túnel debemos tomar en cuenta que en cuestión de costo sale más caro perforar el túnel que colocar material para atagüa y además - una atagüa tiene una altura aproximada a los 15 m o menos si es posible ya que más alta casi sería otra presa. Por lo anterior se concluye que el diámetro a escoger será el mínimo posible para que h sea menor a los 15 m.

Haciendo uso del programa que viene en la siguiente hoja y que tiene como título " RELACION D-h EN UN TUNEL" se obtendrá la relación de diámetros vs. alturas de agua aguas arriba.

Primero obtendremos un diámetro aproximado del túnel para poder trazar bien su eje y fijar las dimensiones de los tajos a cielo abierto.

Condiciones:



datos:
Túnel revestido de concreto $n = 0.015$
Longitud aprox. $L = 350m$
 Q diseño = $848 m^3/s$
 $\Delta Z = 0.5 m$

TÍTULO RELACION D-h EN UN TUNEL

PÁGINA 1 DE 1

TI Programável
TI Programable

PROGRAMADOR Permin García J.

DATA
FECHA ENERO 1985

Registro do Programa
Registro de Programa



UNIDADE (Op 17)
DIVISÃO (Op 17)

31919

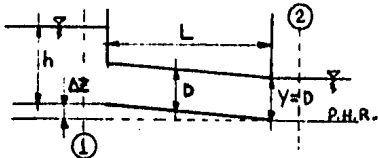
MÓDULO DA BIBLIOTECA
MODULO DE LA BIBLIOTECA

IMPRESSOR
IMPRESORA

CARTÕES
CARTONES

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA - DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Para la condición de funcionamiento del túnel en el límite de salida ahogada. Se fija un diámetro y se calcula su h correspondiente, se



utilizan las siguientes ecuaciones:

$$h = D + (1.5) \frac{Vt^2}{2g} + \left(\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right)^2 L - \Delta Z$$

$$Qt = At \cdot Vt$$

INSTRUÇÕES DE USO - INSTRUCCIONES DE USO

PASSO PASO	PROCEDIMENTO - PROCEDIMIENTO	INTRODUZA INTRODUZCA	PRESIONE APRETE	VISOR
1	Introducción de datos	Qt(m ³ /s)	A	Qt
2	Introducción de datos	ΔZ(m)	R/S	ΔZ
3	Introducción de datos	L(m)	R/S	L
4	Introducción de datos	n	R/S	n
5	Introducir el valor del Diámetro	D(m)	B	D
6	Obtención de h para el D anterior		C	h(m)

Nota; se dan diferentes valores al diámetro y se obtienen sus h correspondientes, con ésto se tiene la relación de Diámetros Vs. Altura de agua aguas arriba (h).

TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIAIS TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIALES	REGISTROS DE DADOS - REGISTROS DE DATOS (<u>20</u> <u>20</u>)	LOCALIZADORES - ETIQUETAS (Op 08)
A	0	<u>00</u> <u>01</u> <u>02</u> <u>03</u> <u>04</u> <u>05</u> <u>06</u> <u>07</u>
B	1	<u>08</u> <u>09</u> <u>10</u> <u>11</u> <u>12</u> <u>13</u> <u>14</u> <u>15</u>
C	2	<u>16</u> <u>17</u> <u>18</u> <u>19</u> <u>20</u> <u>21</u> <u>22</u> <u>23</u>
D	3	<u>24</u> <u>25</u> <u>26</u> <u>27</u> <u>28</u> <u>29</u> <u>30</u> <u>31</u>
E	4	<u>32</u> <u>33</u> <u>34</u> <u>35</u> <u>36</u> <u>37</u> <u>38</u> <u>39</u>
A'	5	<u>40</u> <u>41</u> <u>42</u> <u>43</u> <u>44</u> <u>45</u> <u>46</u> <u>47</u>
B'	6	<u>48</u> <u>49</u> <u>50</u> <u>51</u> <u>52</u> <u>53</u> <u>54</u> <u>55</u>
C'	7	<u>56</u> <u>57</u> <u>58</u> <u>59</u> <u>60</u> <u>61</u> <u>62</u> <u>63</u>
D'	8	<u>64</u> <u>65</u> <u>66</u> <u>67</u> <u>68</u> <u>69</u> <u>70</u> <u>71</u>
E'	9	<u>72</u> <u>73</u> <u>74</u> <u>75</u> <u>76</u> <u>77</u> <u>78</u> <u>79</u>

D(m)	h(m)
8	38.15
9	26.83
10	21.12
11	18.21
12	16.82
13	16.29
14	16.27
15	16.57
16	17.08
17	17.73

La h mínima que se presenta es de 16.27m por lo que el diámetro más apropiado es de 14 m. Como el equipo con que se cuenta no alcanza para construir un túnel de estas dimensiones se opta por hacer dos túneles.

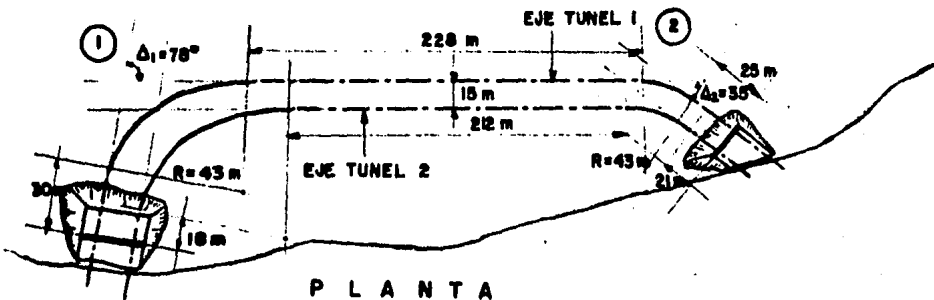
Si se considera que cada túnel desviará la mitad del gasto de 848 m³/s se tendrá una nueva relación de D - h.

$$Q_{\text{por túnel}} = \frac{848}{2} = 424 \text{ m}^3/\text{s}$$

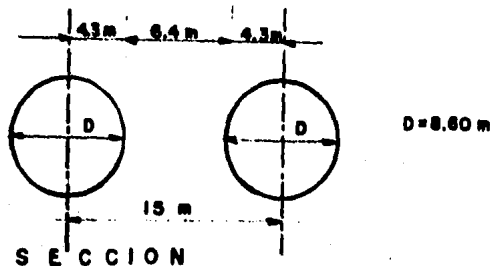
D(m)	6.00	7.00	8.00	8.20	8.60	8.80	9.00	10.00
h(m)	33.01	20.31	15.16	14.58	13.69	13.35	13.08	12.40

Como se puede ver en esta última tabla, el diámetro que más nos conviene es el de 8.60 m. el cual es aproximado al definitivo y que sólo nos servirá para trazar bien el eje de los túneles.

Del plano se tiene que:



P L A N T A



S E C C I O N

Para la curva ① en ambos túneles.

$$R = 5D = 5 (8.60) = 43 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = 78^\circ$$

$$ST = R \tan\left(\frac{\Delta_1}{2}\right) = 43 (0.8098) = 34.82 \text{ m}$$

$$Lc = \frac{\pi R \Delta_1}{180} = \frac{\pi (43)(78)}{180} = 58.54 \text{ m}$$

Para la curva ② en ambos túneles.

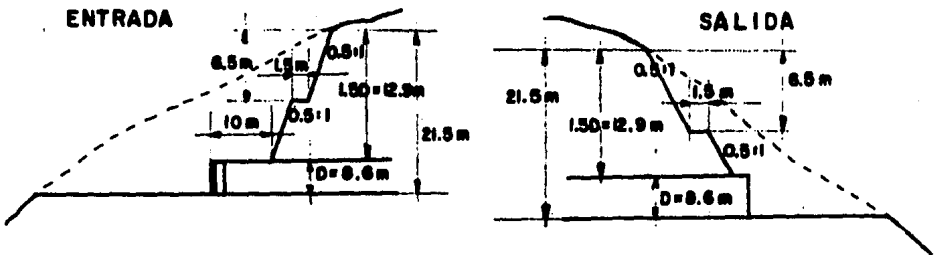
$$R = 5D = 5 (8.60) = 43 \text{ m}$$

$$\Delta_2 = 35^\circ$$

$$ST = R \tan\left(\frac{\Delta_2}{2}\right) = 43 (0.3153) = 13.56 \text{ m}$$

$$Lc = \frac{\pi R \Delta_2}{180} = \frac{\pi (43)(35)}{180} = 26.27 \text{ m}$$

Para los tajos a cielo abierto.



Nota; los 10 metros que se dan a la entrada del túnel es para maniobras de obturadores.

$$\text{LONGITUD túnel 1} = 30+58.54+228+26.27+25 = 367.81 \text{ m}$$

$$\text{LONGITUD túnel 2} = 18+58.54+212+26.27+21 = 335.81 \text{ m}$$

Para determinar el diámetro definitivo de los túneles y la altura de las atagüas se tomará únicamente para el estudio - el túnel 1 suponiendo que ambos túneles son iguales, y para - simplificar el análisis cada túnel desviará exactamente la mitad del gasto de diseño esta forma de proceder se basa de la - idea de que la mayoría de la información es aproximada mas no

exacta, lo ideal sería que el gasto de diseño no se hubiera supuesto dividido exactamente en dos partes iguales para cada túnel sino que con base en las pérdidas para cada túnel y considerando una misma h para los dos, resolviendo ecuaciones simultáneas se determinara la h , el error es mínimo ya que los dos túneles son muy parecidos en longitud.

Con los datos; $Q = 424 \text{ m}^3/\text{s}$, $L = 367.81 \text{ m}$, $\Delta Z = 0.5 \text{ m}$ y $n = 0.015$ utilizando el programa "RELACION D-h EN UN TUNEL" se tiene lo siguiente:

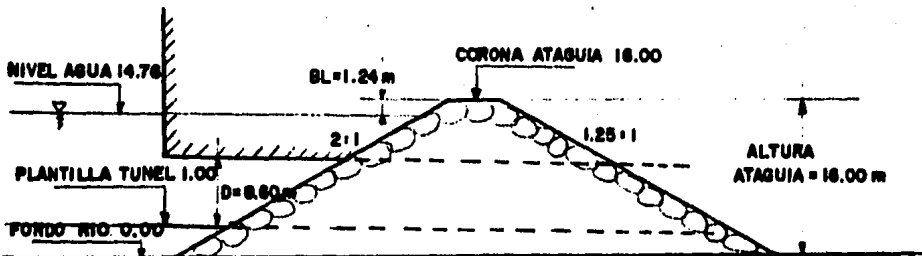
D(m)	h(m)
6.00	33.53
7.00	20.54
8.00	15.28
8.20	14.68
8.60	13.76
8.80	13.42
9.00	13.14
10.00	12.44
11.00	12.45
12.00	12.84

El diámetro más apropiado será de 8.60m para cada túnel.

$$\therefore D_{\text{túnel 1}} = D_{\text{túnel 2}} = 8.60 \text{ m}$$

Con este diámetro se tiene una h máxima que se puede presentar durante el funcionamiento del túnel como desvío y la cual será $h = 13.76 \text{ m}$, esta h servirá para determinar la altura de la atagüa aguas arriba.

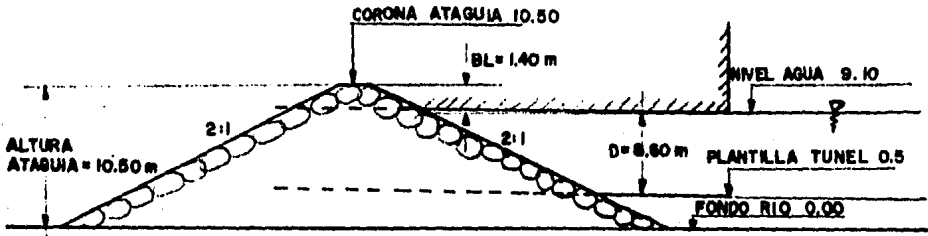
- Altura de atagüa aguas arriba.



Como no es muy estricta la condición de que la altura de las atagüas sea menor o igual a 15 m la altura que nos da de 16 m

se acepta como buena.

- Altura de atagüa aguas abajo.



Como se ve la altura de la atagüa aguas abajo será de 10.5 m
Nota; según el programa de construcción de las atagüas se hará en enco el cual lleva un gasto de $37 \text{ m}^3/\text{s}$ y de la curva Elev - Qrío le corresponde una Elev. río $\hat{=} 0.35\text{m}$ y como el material disponible para el cierre es satisfactorio la construcción de las atagüas es fácil y no requiere de un estudio minucioso (se puede usar el método frontal o lateral).

3.4.6 Cálculos complementarios al túnel.

- Determinación del régimen con que trabajan los túneles:

Primero se supone un tirante crítico; $Y_c = 1.00 \text{ m}$
si $D = 8.60 \text{ m}$ tenemos; $\frac{Y_c}{D} = \frac{1.00}{8.60} = 0.12$ de la figura 3.10 - de los apuntes de Hidráulica II de la Facultad de Ingeniería - U.N.A.M. se tiene:

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} / D^{5/2} = 0.015$$

despejando el gasto(Q) se tiene:

$$Q = 0.015 (D)^{5/2} \sqrt{g} = 0.015 (8.6)^{5/2} \sqrt{9.81} = 10.190 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para determinar la pendiente S_0 del túnel utilizaremos la longitud del túnel 2 ; $L_{\text{túnel } 2} = 335.81 \text{ m}$ y $\Delta Z = 0.5 \text{ m}$

$$S_0 = \frac{0.5}{335.81} = 0.0015$$

utilizando la expresión :

$$\frac{n \cdot Q}{D^{8/3} S_o^{1/2}} = \frac{A R h^{2/3}}{D^{8/3}} = \frac{0.015 (10.190)}{(8.6)^{8/3} (0.0015)^{1/2}} = 0.0127$$

De la figura 2.7 de los apuntes de Hidráulica II de la Facultad de Ingeniería U.N.A.M. se tiene:

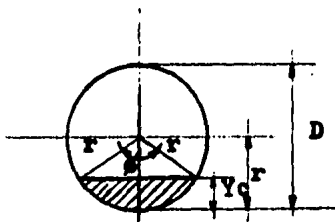
$$\frac{Y_n}{D} = 0.135 \rightarrow Y_n = 0.135 (8.6) = 1.161 \text{ m}$$

$$\therefore \boxed{Y_n = 1.161 > Y_c = 1.00}$$

Se reviso para varios tirantes críticos y en todos se cumple la condición de $Y_n > Y_c$.

- Pendiente crítica; $\rightarrow S_c = \left(\frac{Q \cdot n}{A_c \cdot R_{hc}^{2/3}} \right)^2$

para determinar el área crítica y R_{hc} se tiene lo siguiente:



$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{r - Y_c}{r} = \frac{4.3 - 1}{4.3} = 0.7674$$

$$A_c = \frac{\theta}{360} \pi r^2 - (r - Y_c) (r \cdot \sin \frac{\theta}{2})$$

$$P_{mc} = \frac{\theta}{360} \pi 2r \quad ; \quad R_{hc} = \frac{A_c}{P_{mc}}$$

$$\frac{\theta}{2} = \arccos (0.7674) = 39.88^\circ \quad \theta = 2 (39.88^\circ) = 79.75^\circ$$

$$A_c = \frac{79.75}{360} \pi (4.3)^2 - (4.3 - 1)(4.3 \sin 39.88^\circ) = 3.7697 \text{ m}^2$$

$$P_{mc} = \frac{79.75}{360} \pi 2 (4.3) = 5.9852 \text{ m} \quad ; \quad R_{hc} = \frac{3.7697}{5.9852} = 0.6298$$

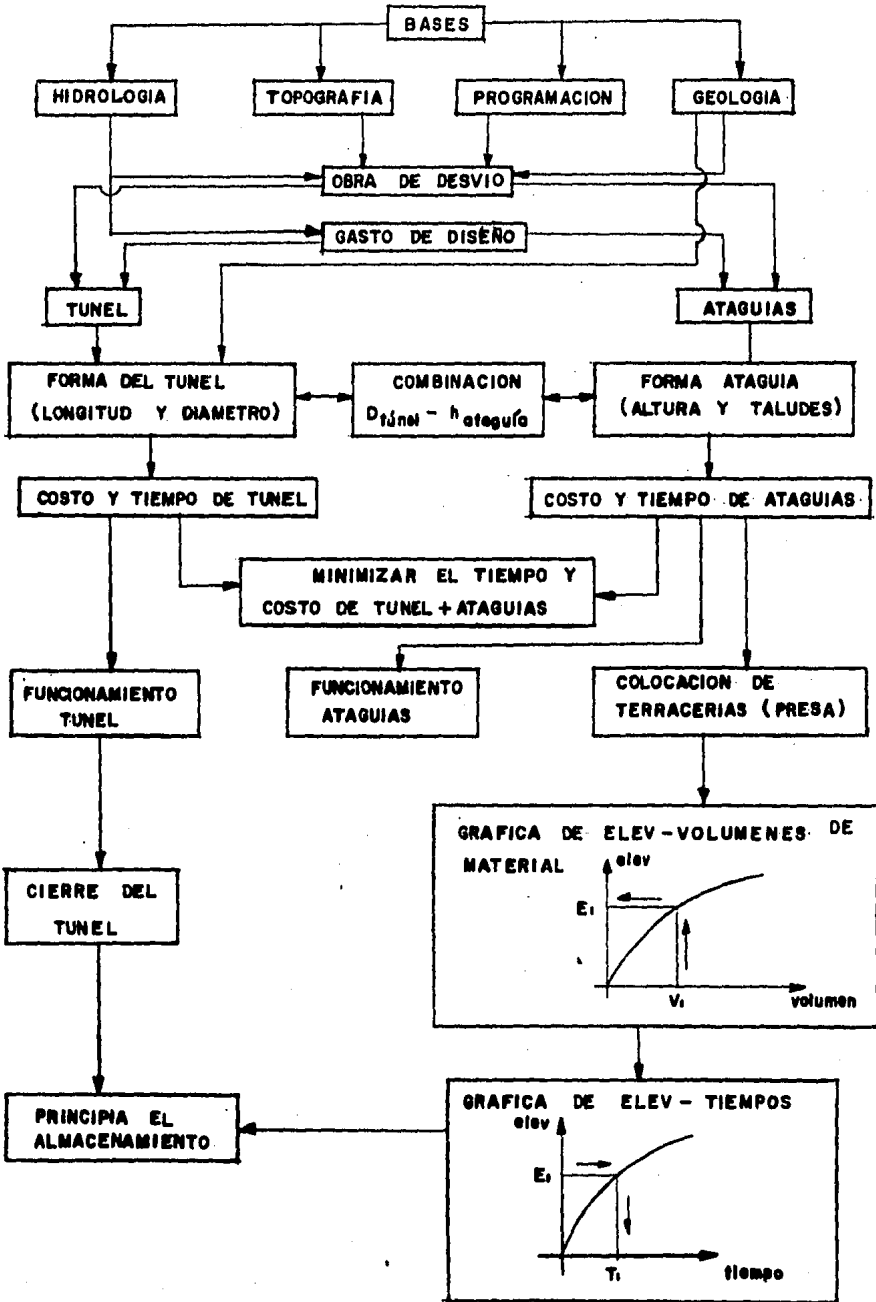
$$S_c = \left[\frac{10.190 (0.015)}{3.7697 (0.6298)^{2/3}} \right]^2 = 0.0030$$

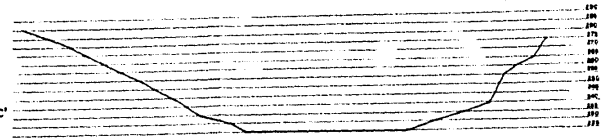
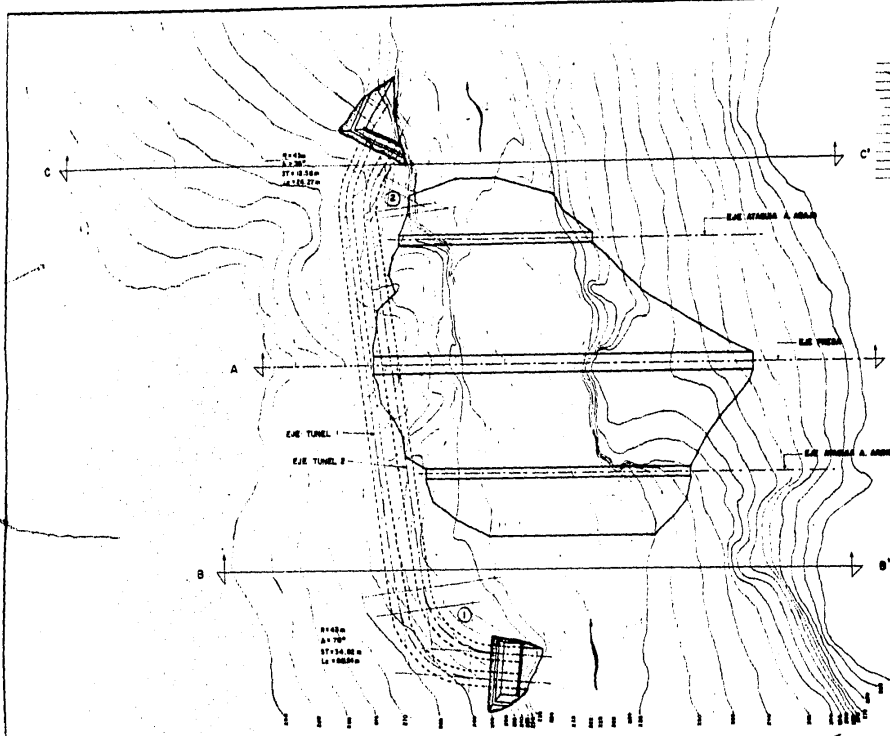
$$\therefore \boxed{S_o = 0.0015 < S_c = 0.0030}$$

De lo anterior se concluye que el túnel trabaja en un REGIMEN SUBCRITICO (LENTO) el cual es recomendable.

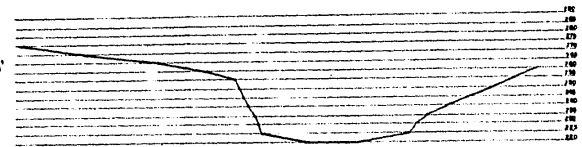
Nota; para varios gastos se revisó la pendiente crítica y en todos se cumplió la condición de $S_o < S_c$.

3.4.7 Diagrama de flujo como ayuda a la construcción de la obra de desvío.

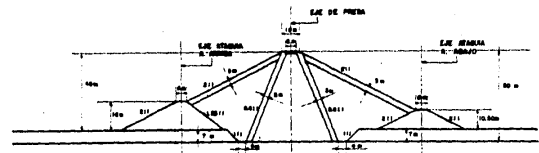




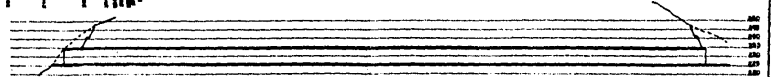
SECCION BOQUILLA AGUAS ARRIBA B-B'



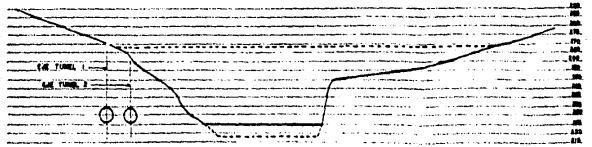
SECCION BOQUILLA AGUAS ABAJO C-C'



SECCION DE LA PRESA



PERFIL TUNEL 1



PERFIL TUNEL 2

SECCION BOQUILLA A-A'



ESCALA GRAFICA

INGENIERIA U. N. A. M.	
GARCIA JIMENEZ PERMIN	
OBRA DE DESVIO	TRABAJO EJECUTO
PARA UNA PRESA DE TIERRA Y ROCA	ESCALA: 1:1000
	ENERO 1961

CAPITULO 4

DISEÑO DE OBRAS DE DESVIO PARA PRESAS DE GRAVEDAD

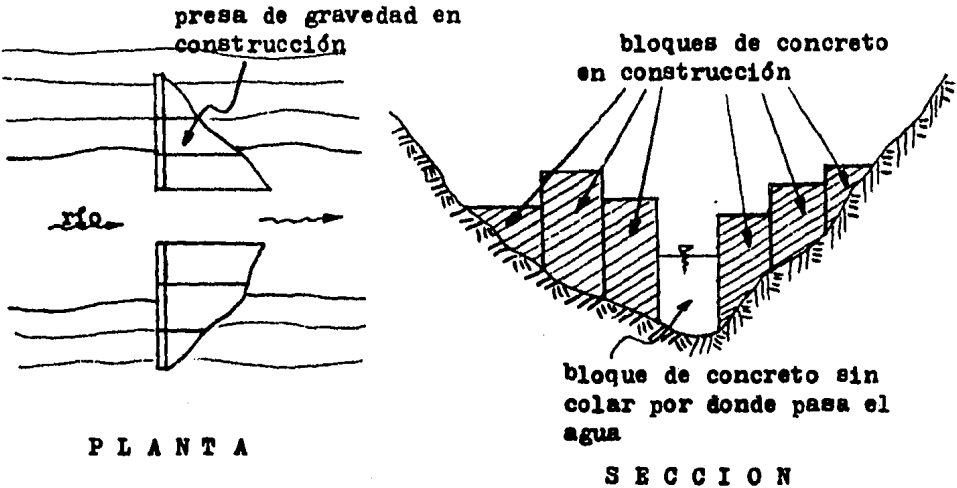
Primeramente se fijarán las condiciones a las que estará sujeta la obra de desvío para una presa de gravedad, para ello se tomará en cuenta que los materiales que forman una presa de gravedad son principalmente el concreto ó roca unida con mortero u otro tipo de material parecido, esto indica que son de mayor resistencia que los materiales sueltos (presa de tierra y roca) - por lo que son poco erosionables al pasar el agua sobre ellos, con esto se plantea una primera condición en la cual no será tan importante desviar en su totalidad la corriente del río ya que si por algún exceso en los gastos desviados el agua rebasara la altura de la corona de la atagüa y ésta pase sobre la zona de construcción de la presa los daños que ocasionaría no serían de gran importancia ya que durante la construcción la presa puede funcionar como un vertedor aunque no es deseable que el agua pase a la zona de trabajo ya que esto podría ocasionar retraso en la obra, por tal motivo los gastos de diseño no serán tan grandes como en el caso de una presa de tierra y roca y la magnitud del desvío así como su costo disminuye.

Para una presa de gravedad se pueden utilizar diferentes tipos de desvío por lo que se tendrán factores que definirán las características que debe tener un desvío para una presa de gravedad en particular. Estos factores serán principalmente la topografía de la boquilla, el hidrograma del río y la cantidad de volumen de material de la presa, con el análisis detallado de cada uno de estos factores se llega a definir la obra de desvío más recomendable a utilizar.

4.1 OBRAS DE DESVIO MAS CONVENIENTES

Las obras de desvío que más se recomiendan para una presa de

gravidad son los túneles o las escotaduras esta última es un tipo de tajo especial ya que por la forma de construir la presa que es por medio de bloques se puede dejar sin colar un bloque y pasar el agua por ahí por lo que se tendrá un canal rectangular como conducto de desvío y su análisis se hará como el de un tajo, ver la siguiente figura.



Las dimensiones de los desvíos antes mencionados como son los anchos, diámetros, alturas, etc. estarán en función del hidrograma de la zona en estudio, de la geología de las laderas, del tiempo de construcción de la presa y de la programación de la misma.

En muchos casos se usa la combinación del túnel y la escotadura donde el túnel desvía la corriente del río en épocas de estiaje y cuando se construye el último bloque de la presa el cual sirvió como desvío, la escotadura se usa para desviar la corriente del río en épocas de avenidas.

4.2 CALCULO DEL PERFIL HIDRAULICO DEL DESVIO

El análisis de los perfiles hidráulicos tanto del túnel como de la escotadura (el cual funciona como tajo) se presenta en el

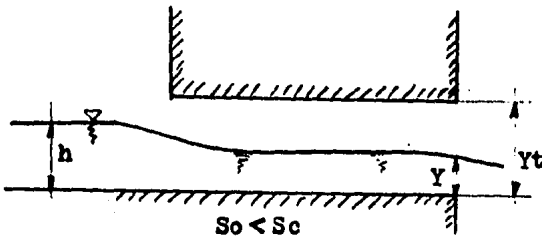
capítulo 3 y sólo se mencionarán los aspectos principales.
Perfil hidráulico; TUNEL

Las configuraciones que el agua va tomando dentro del túnel a medida que aumenta la elevación del agua a la entrada de este es lo que necesitamos conocer para poder diseñar el túnel.

Como se mencionó en el capítulo 3 el análisis del perfil hidráulico se hará por etapas empezando con el funcionamiento del túnel como canal y terminando con la salida del túnel ahogada, para esto se fija el régimen que se tendrá en el túnel el cual será por lo general un régimen lento y se supone que el régimen del río aguas arriba del túnel también es lento.

Se presentan 5 etapas de análisis las cuales se simplifican en las siguientes figuras.

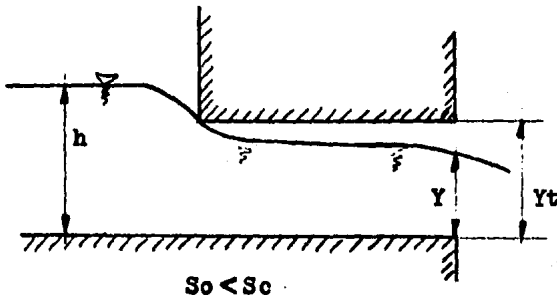
1a. Etapa de análisis.



El funcionamiento del túnel es como es de un canal y las condiciones son las siguientes:

$$h < Y_t$$
$$Y_t > Y > Y_c$$

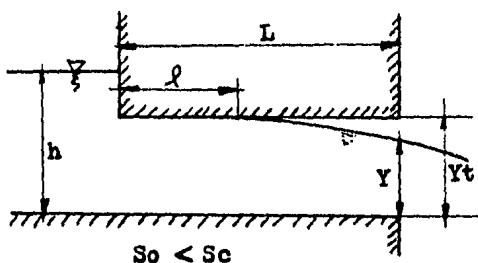
2a. Etapa de análisis.



Se analiza el perfil justamente en el momento en que el túnel deja de trabajar como canal y las condiciones de análisis son:

$$1.5Y_t > h > Y_t$$
$$Y_t > Y \geq Y_c$$

3a. Etapa de análisis.

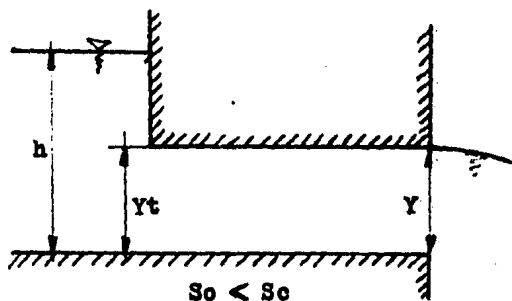


Dentro del túnel se tiene un tramo funcionando como tubo lleno y las condiciones de análisis son:

$$h > 1.5Y_t$$

$$Y_t > Y > Y_c$$

4a. Etapa de análisis.

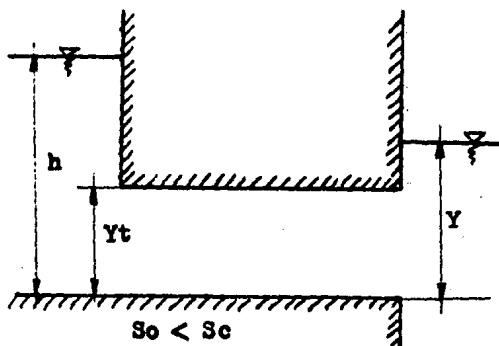


En esta etapa de análisis se considera que todo el túnel trabaja como tubo lleno y se tiene la frontera de salida ahogada, las condiciones son:

$$h > 1.5Y_t$$

$$Y_t = Y = Y_c$$

5a. Etapa de análisis.



El nivel del río aguas abajo aumenta y las velocidades dentro del túnel se incrementan a medida que aumenta la carga, las condiciones de análisis son:

$$h > 1.5Y_t$$

$$Y_t < Y$$

En cada etapa de análisis se obtiene una curva de Elev-Qtúnel en el rango que le corresponde, ahora bien, juntando todas las tablas de Elev-Qtúnel se obtiene la curva total para el túnel de desvío que es al final de cuentas a lo que queríamos llegar.

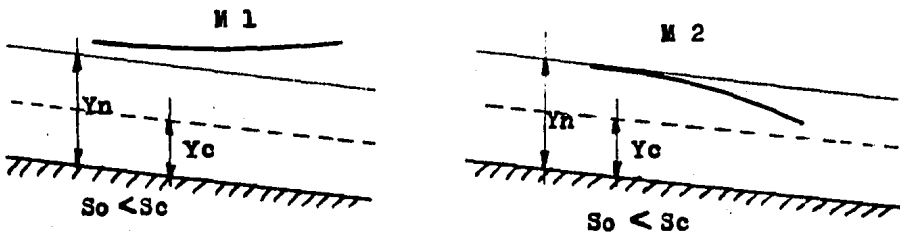
Perfil hidráulico: ESCOTADURA

El análisis del perfil hidráulico para la escotadura es similar al análisis para el tajo sólo que en este caso se tiene un canal de sección rectangular y de longitud relativamente corta - a comparación de la longitud de un tajo, por estas razones se facilita un poco el cálculo.

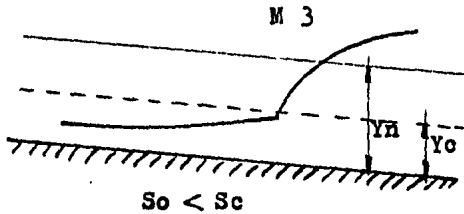
Para empezar se considera un flujo de gasto constante y contar con la curva de Elev - $Q_{río}$ que se obtiene de datos de campo, ahora bien, si estos datos no se pudieron obtener se puede calcular la curva Elev - $Q_{río}$ utilizando el criterio de la sección-pendiente en el tramo del río donde se supone que estará la presa, en el capítulo 3 se menciona este criterio.

Para poder definir los perfiles que se nos presentarán necesitamos calcular los tirantes normal y crítico tanto de la escotadura como del río aguas arriba y aguas abajo de la escotadura para ello necesitamos contar con la pendiente y secciones medias ya sea de la escotadura como de tramos del río y además se supone una rugosidad.

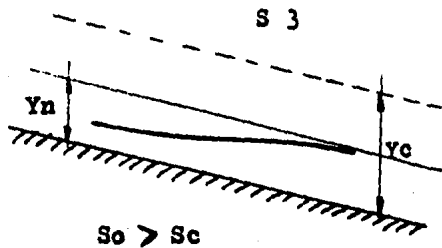
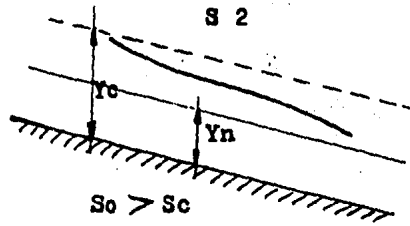
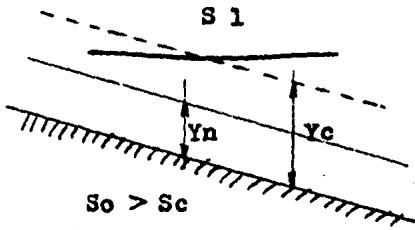
Si se tiene un régimen suave y resulta que el tirante normal fue mayor que el crítico los perfiles que más comúnmente se presentan son los M1 y M2 que serán por lo general los que con mayor frecuencia se presenten ya que siempre un canal de este tipo se diseña para pendientes suaves, ver la siguiente figura.



Otro perfil que se nos puede presentar en el régimen suave - pero que normalmente es muy difícil que se tenga ya que este favorecería el régimen rápido es el perfil M3, ver la siguiente - figura.



Si tenemos un régimen rápido y el tirante normal resultó ser menor que el tirante crítico los perfiles que se nos presentarán son los S1, S2 y S3, estos perfiles en muchos casos es muy difícil que se presenten pero no por eso se deben descartar del análisis ya que en algún momento se pueden presentar, ver la siguiente figura.



Los perfiles faltantes que se conocen en hidráulica como son; C1, C3, H2, A2 y A3 son casos particulares y se podría decir teóricos para el estudio del flujo de agua pero que en la práctica y más para este tipo de canales es casi imposible que se presenten.

Cabe recalcar que el cálculo exacto del tirante normal y crítico tanto de la escotadura como de los tramos del río aguas arriba y aguas abajo de la escotadura son indispensables para poder definir con precisión los perfiles hidráulicos.

4.3 METODO DEL CIERRE DEL CAUCE DEL RIO

Como se mencionó anteriormente el cierre del cauce del río - consiste en construir un obstáculo sobre el río para obstruir - el paso del agua y que no siga su cauce normal sino desviarlo - hacia nuestro conducto de desvío (túnel o escotadura) para el caso del túnel la obstrucción será total pero para la escotadura - la obstrucción será parcial. La atagüfa es la estructura que se interpone al cauce y ésta puede tener una gran cantidad de variantes las cuales estarán en función de la forma, de los materiales que la compongan y del proceso constructivo. El tiempo más recomendable para la construcción de la atagüfa es en tiempo de estiaje debido a los gastos relativamente pequeños.

4.3.1 Tipo de atagüfa

Para presas de gravedad lo que más se usa en la práctica son atagüfas tipo TERRAPLEN PROVISIONAL debido a la geología del lugar que por lo general se puede encontrar material para nuestros fines, estas atagüfas dejarán de funcionar una vez que quede construida la presa por lo que no será muy estricta la elección del material, debido a esto y a que no es muy indispensable que la atagüfa no deje pasar agua a la zona de trabajo por condiciones antes mencionadas el cálculo del cierre del cauce del río es más

fácil que para el caso de una presa de tierra y roca.

Para la construcción de este tipo de ataguías también es aplicable los métodos que se mencionan en el capítulo 3 los cuales son; el método frontal y el método lateral y en algunos casos la combinación de ambos. La descripción de los dos métodos antes mencionados se explica en el capítulo 3.

A lo que nosotros queremos llegar en el cálculo del cierre del cauce del río es a conocer la cantidad de material que vamos a necesitar para esto se tienen dos alternativas:

- Si el material que se obtiene del banco de préstamo es del tamaño que requerimos y se considera que no será arrastrado por el agua al momento de ser depositado.

- El material que se ocupará para el cierre no es del todo bueno y una parte de él se arrastrará aguas abajo al ser depositado en el cauce.

Como se puede observar en las alternativas antes mencionadas lo que determinará las dimensiones del material para la colocación será la velocidad máxima que puede resistir un elemento para no ser arrastrado, esta velocidad será la que se presente en el vertido sobre la cresta de la ataguía en proceso de construcción y que será uno de los objetivos a determinar en el cálculo del cierre del cauce.

El cálculo se empieza al considerar que el gasto del río se divide en gasto desviado, gasto vertido y gasto filtrado por lo que se tiene que cumplir la siguiente condición:

$$Q_r = Q_d + Q_v + Q_f$$

El gasto desviado se obtiene de la curva de Elev - Q en el conducto de desvío la cual se obtuvo al calcular el perfil hidráulico.

El gasto vertido se calcula con la siguiente fórmula, se supo

ne que la sección por donde pasa el agua funciona como un vertedor, ver el capítulo 3.

$$Q_v = m \sqrt{2g} \ b m H_o^{3/2}$$

El gasto filtrado será el que pasa a través de los huecos que quedan entre las rocas y se puede calcular con las siguientes fórmulas, ver capítulo 3.

- La atagüfa esta sumergida y el agua que pasa a través de ella trabaja a presión.

$$q_f = 2 k_f \left[\frac{a \cdot z}{0.9L} \right]^{1/2} \left[a - 0.39 \sqrt{a - Y_o} \right]$$

- La atagüfa sale del agua, la filtración es turbulenta y no hay presión.

$$q_f = k_f \sqrt{\frac{a}{L}} \left[2\sqrt{az} - 2\sqrt{z(a-dr)} + \sqrt{\frac{z^3}{3(a-dr)}} \right]$$

La solución simultánea de las fórmulas anteriores nos irá dando para diferentes etapas de construcción la repartición de los gastos desviados, vertidos y filtrados. Por ejemplo para una primera etapa los gastos desviados y filtrados valdrán cero en cambio el gasto vertido valdrá el 100% del $Q_{río}$, en una segunda etapa el gasto desviado empieza a aumentar rápidamente, el gasto filtrado aumentará lentamente y el gasto vertido empieza a disminuir, en una tercera etapa el gasto desviado sigue aumentando, el gasto vertido disminuye considerablemente y el gasto filtrado empieza a disminuir, en una cuarta etapa y última el gasto desviado vale 100% del $Q_{río}$ y el gasto vertido y filtrado valen cero, para ejemplificar en proporción se presenta la siguiente tabla.

etapa de construcción	gasto des. Q_d	gasto ver. Q_v	gasto fil. Q_f	gasto río Q_r
1	0%	100%	0%	100%
2	30%	55%	15%	100%
3	70%	25%	5%	100%
4	100%	0%	0%	100%

Nota; en algunos casos se considera el gasto filtrado despreciable.

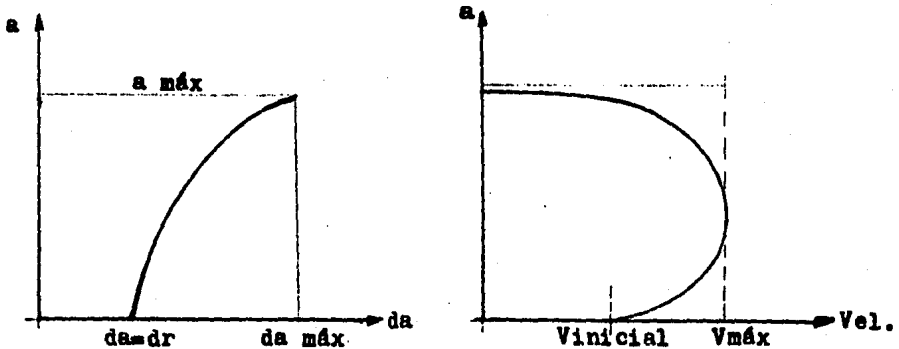
La obtención de la velocidad máxima que puede resistir un elemento para no ser arrastrado se puede calcular con la siguiente fórmula para una velocidad límite, ver capítulo 3.

$$V \text{ lím} = Yc \sqrt{2g \frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma}} \sqrt{d}$$

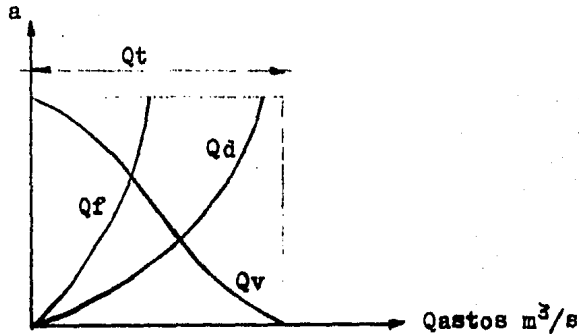
Como se puede ver en la fórmula lo que influirá solamente para la determinación de la velocidad será la forma y peso del material que se utilizará para el cierre.

Para el método frontal que es el más indicado a utilizar se ha desarrollado un proceso de cálculo para ir determinando la forma que la atagüa va tomando para las etapas de construcción y así determinar al final la forma definitiva de la atagüa y la cantidad de material a utilizar, ver capítulo 3.

Como una ayuda para el diseño es conveniente construir una curva de tirantes (d_a) contra velocidades (V_a) ya que a medida que avanza el cierre suben los niveles aguas arriba, con la siguiente disminución de la velocidad media y por tanto de la carga de velocidad. También es conveniente además de la tabla hacer un dibujo de la repartición de Q_v , Q_d y Q_f contra altura de atagüa, ver las siguientes figuras.

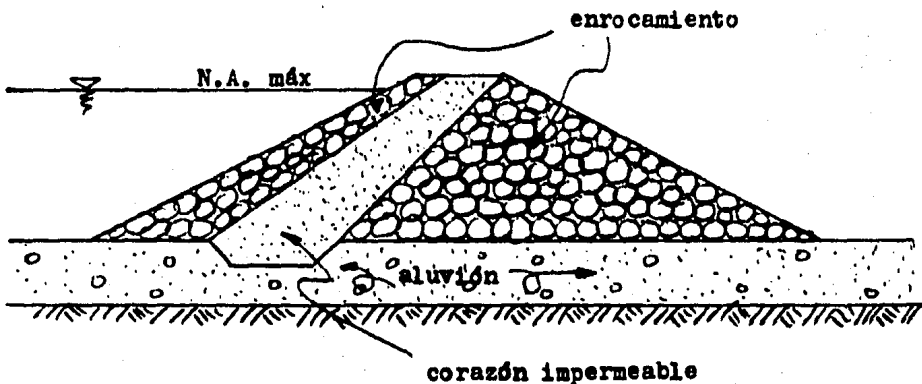


a = altura de atagüa



4.3.2 Procedimiento constructivo

En base al programa de construcción de la presa se fijarán las actividades y fechas para la construcción de las ataguas así como los tiempos requeridos. Para la construcción de la ataguía primero se seleccionan los materiales a utilizar para el cierre después el método a utilizar ya sea frontal ó lateral ó una combinación de ambos. La construcción de estas ataguías es bastante más sencilla que en el caso de una ataguía para una presa de tierra y roca pero el proceso es casi semejante, ver capítulo 3. En el caso de una presa de gravedad en la construcción de sus ataguías no requiere de tanta precisión por lo mismo que será una estructura provisional y no importará tanto que el agua pase a la zona de trabajo, ver la siguiente figura.



4.4 PROBLEMA DE APLICACION

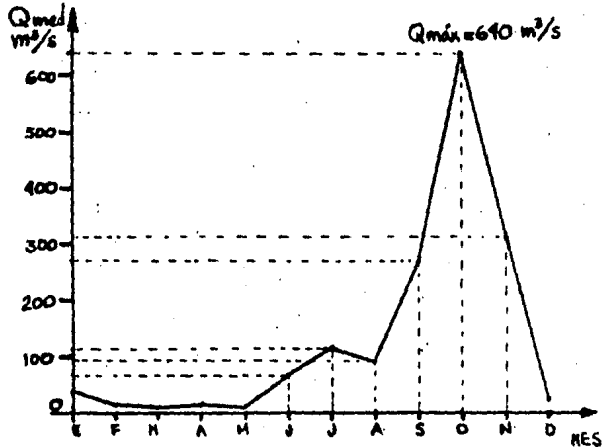
4.4.1 Introducción.

Con los mismos datos del problema del capítulo 3 diseñar una obra de desvío para una presa de gravedad la cual tendrá una altura de 50 m.

La presa será de concreto y se construirá por bloques los cuales tendrán un ancho de 15 metros cada uno, ver el plano anexo.

- Hidrograma del río.- Con los máximos gastos medios-diarios de cada mes se tiene una envolvente de gastos:

MES	Q med. (m ³ /s)
enero	37
febrero	10
marzo	8
abril	11
mayo	7
junio	68
julio	112
agosto	96
septiembre	271
octubre	640
noviembre	309
diciembre	26



Analizando la información anterior se usará como desvío la combinación de un conducto a través de la presa y una escotadura (dos bloques de la presa sin colar).

El proceso que se seguirá consiste en construir en dos etapas los bloques de concreto de la presa. En la primera etapa se construirán todos los bloques excepto los dos que servirán como escotadura; a la vez estos bloques de la primera etapa se harán en dos partes; primeramente en época de estiaje, conduciendo la corriente por un pequeño canal, se construirá la base de los bloques hasta una altura tal que en épocas de avenidas el -

agua no rebase la estructura (esta altura se obtendrá del cálculo hidráulico de la escotadura). Durante la construcción de estos bloques se dejarán dos orificios a través de ellos (por facilidad de construcción serán de sección rectangular). En épocas de avenidas, funcionando la escotadura se terminarán de construir los bloques de la primera etapa.

En la segunda etapa se construirán los bloques restantes - (los cuales sirvieron como escotadura); para ello se construirán dos ataguías celulares en la entrada y salida de la escotadura para desviar la corriente del río por los orificios o "conductos" que se dejaron en los bloques de la primera etapa.

Una vez construídos los bloques restantes se cerrarán los - conductos por medio de obturadores y se colarán sendos tapones de concreto para tapar los conductos, se retirarán los obturadores y se comenzará el almacenamiento.

4.4.2 Gasto de diseño.

Como se tiene una presa de concreto los daños que se nos - puedan presentar si el agua pasara sobre la estructura no ocasionarán tanto problema por lo que se correrá un riesgo del 40%.

El gasto de diseño que se obtendrá se aplicará únicamente a la escotadura ya que ésta conducirá los mayores gastos durante el desvío; el tiempo de funcionamiento de la escotadura será - máximo de un año.

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

donde;

R = riesgo

n = años de funcionamiento del desvío.

Tr = tiempo de retorno, en años.

sustituyendo los datos en la ecuación 1 se tiene:

$$0.4 = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr} \right)^1$$

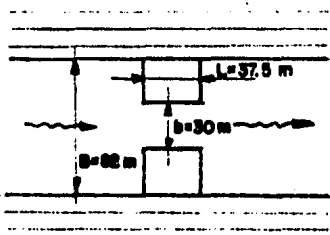
despejando T_r nos da; $T_r = 2.5$ años

De la muestra histórica de gastos máximos anuales registrados y con $T_r = 2.5$ años aplicando los métodos de Nash y Gumbel nos dio un gasto de diseño de $703 \text{ m}^3/\text{s}$.

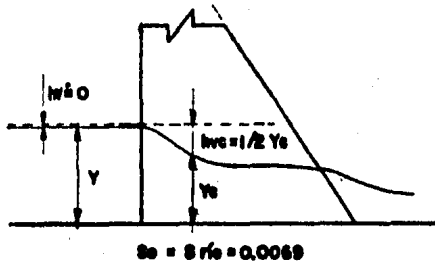
$$Q_{\text{dis}} = 703 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4.3 Funcionamiento hidráulico de la escotadura.

La forma de la escotadura es la siguiente:



PLANTA



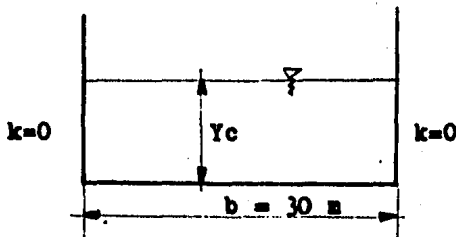
SECCION

Como se puede ver se tiene una contracción y después una expansión por lo que en la escotadura se presentará una sección de control. El problema es conocer el tirante aguas arriba que se tendrá con el gasto de diseño; este tirante nos dará la altura de los bloques en la primera etapa para la época de estiaje.

La pendiente de la escotadura es la misma que la del río.

$$S_o = S_{\text{río}} = 0.0069$$

Sección Escotadura

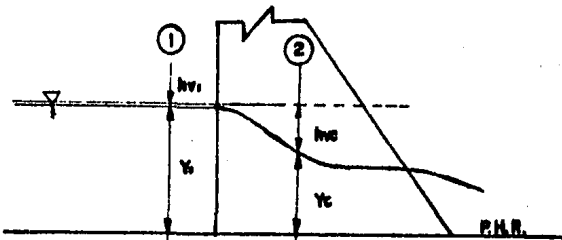


para determinar el tirante crítico se tiene:

$$Q_{dis.} = 703 \text{ m}^3/\text{s} \quad ; \quad q = \frac{Q}{b} = \frac{703}{30} = 23.43 \text{ m}^2/\text{s}$$

para una sección rectangular:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(23.43)^2}{9.81}} = 3.8249 \text{ m} .$$



aplicando la ecuación de la energía entre 1 y 2 se tiene:

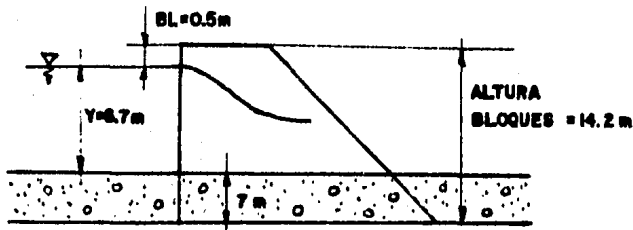
$$Y_1 + hv_1 = Y_c + hvc + \Delta h_e = H_c + \Delta h_e$$

si consideramos que la carga de velocidad en la sección 1 es -
cero $h_{v1} = 0$ y además que $h_{vc} = \frac{1}{2} Y_c$ y que aproximadamente
 $\Delta h_e \doteq 0.5 h_{vc}$, se tiene:

$$Y_1 = Y_c + h_{vc} + \Delta h_e = Y_c + \frac{1}{2} Y_c + 0.5 \left(\frac{1}{2} Y_c \right)$$

$$Y = 3.8249 + \frac{1}{2} (3.8249) + 0.5 \left(\frac{1}{2} 3.8249 \right) = 6.7 \text{ m}$$

El tirante aguas arriba para la escotadura será aproximada-
mente de 6.7 m , y la altura de los bloques en primera etapa -
para época de estiaje es:



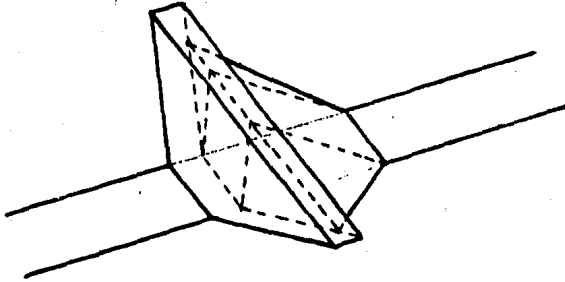
Con la altura de estos bloques se determinará el volumen de concreto a colocar y el tiempo de construcción.

4.4.4 Programa de construcción.

Como el objetivo del presente trabajo no es precisar en cálculos sino dar una idea de lo que es una obra de desvío, los rendimientos y tiempos de construcción que se dan a continuación para las actividades serán aproximados a la realidad.

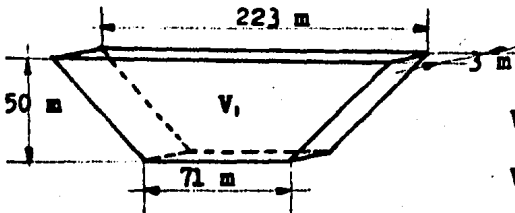
Cubicación de la presa

Figura geométrica que semeja la presa, esta figura nos dará un volumen aproximado al real que para el fin de este trabajo se toma por bueno.



Se puede descomponer de las siguientes figuras:

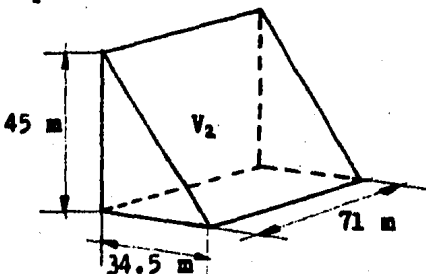
1 pieza



$$V_1 = \left(\frac{223 + 71}{2} \times 50 \right) 3$$

$$V_1 = 22,050.00 \text{ m}^3$$

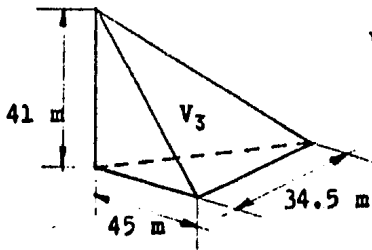
1 pieza



$$V_2 = \left(\frac{45 \times 34.5}{2} \right) 71$$

$$V_2 = 55,113.75 \text{ m}^3$$

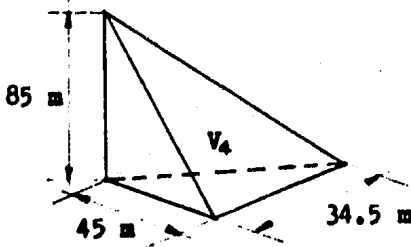
1 pieza



$$V_3 = \left(\frac{45 \times 34.5}{2} \right) \frac{41}{3}$$

$$V_3 = 10,608.75 \text{ m}^3$$

1 pieza



$$V_4 = \left(\frac{45 \times 34.5}{2} \right) \frac{85}{3}$$

$$V_4 = 21,993.75 \text{ m}^3$$

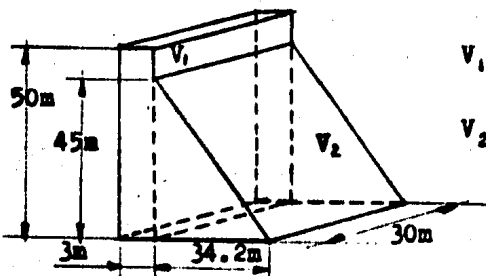
$$\text{VOLUMEN total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 22,050.00 + 55,113.75 + 10,608.75 + 21,993.75 = 109,766.25 \text{ m}^3$$

$$\therefore V_{\text{total}} = 109,766.25 \text{ m}^3$$

Determinación del tiempo de construcción de los bloques de la presa para la primera y segunda etapa, se tomará un rendimiento de colocación del concreto de 14,000.00 m³/mes.

- Segunda etapa.

En la segunda etapa se contruirán los bloques que sirvieron como escotadura, los cuales son el bloque No. 6 y el bloque No. 7 y tienen un volumen entre los dos de:



$$V_1 = 3 \times 50 \times 30 = 4,500 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \left(\frac{45 \times 34.2}{2} \right) 30 = 23,085 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2$$

$$V_{\text{bloques 6 y 7}} = 4,500 + 23,085 = 27,585 \text{ m}^3$$

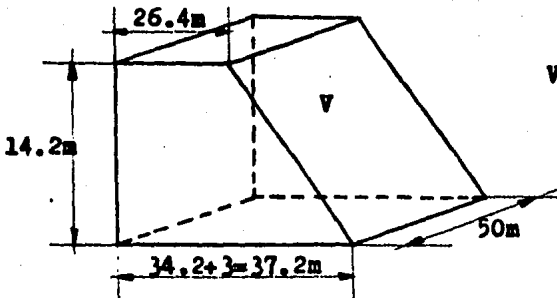
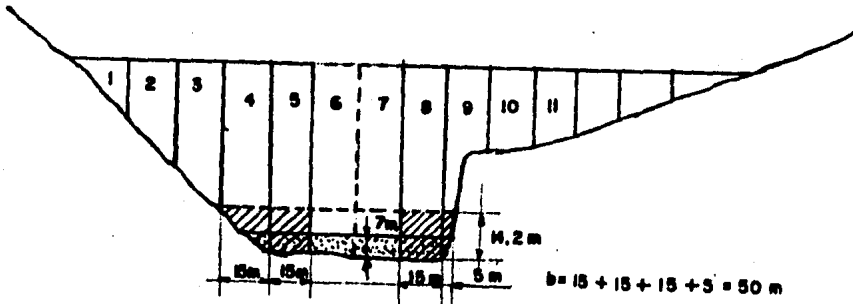
$$\text{si; } T_c = \text{tiempo de construcción} = \frac{\text{volumen}}{\text{rendimiento}}$$

$$T_c = \frac{27,585 \text{ m}^3}{14,000 \text{ m}^3/\text{mes}} = 1.97 \text{ meses} \hat{=} 2 \text{ meses}$$

- Primera etapa.

+ época de estiaje.

Con la altura de 14.2m que deben tener los bloques y viendo el plano se tiene que sólo se construirán los bloques 4, 5, 8 y parte del 9 por lo que el volumen será de la siguiente forma:



$$V = \left(\frac{26.4 + 37.2}{2} \times 14.2 \right) 50$$

$$V = 22,578 \text{ m}^3$$

$$T_c = \frac{22,578 \text{ m}^3}{14,000 \text{ m}^3/\text{mes}}$$

$$T_c = 1.61 \text{ meses} \hat{=} 1 \text{ mes y 3 semanas}$$

+ época de avenidas.

El volumen será el restante del volumen total de la presa - menos el volumen de la 2a. etapa y la. etapa en épocas de estiaje.

$$\begin{aligned} V_{\text{1a. etapa avenidas}} &= V_{\text{total presa}} - (V_{\text{2a. etapa}} + V_{\text{1a. etapa estiaje}}) \\ &= 109,766.25 - (27,585 + 22,578) \\ &= 59,603.25 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Como se presenta la temporada de lluvias las operaciones se vuelven más lentas por lo que el rendimiento baja a 11,500 m³/mes

$$T_c = \frac{59,603.25 \text{ m}^3}{11,500 \text{ m}^3/\text{mes}} = 5.18 \text{ meses} = 5 \text{ meses y 1 semana.}$$

Presentación de las actividades por orden de ocurrencia:

- Construcción de un pequeño canal por el centro del río.
Tc = 1 semana cuando mucho.
- Limpia de terreno y excavación de trincheras para la primera etapa. Tc = 1.5 meses
- Tratamiento de cimentación para la primera etapa.
Tc = 1 mes
- Construcción de los bloques de concreto para la primera etapa en época de estiaje y dejar dos conductos a través de ellos.
Tc = 1 mes y 3 semanas (se vio anteriormente)
- Construcción de los bloques de concreto para la primera etapa en época de avenidas.
Tc = 5 meses y 1 semana (se vio anteriormente)
- Colocación de obturadores en los conductos (incluyendo su instalación fija). Tc = 1 semana
- Construcción de atagüas celulares provisionales para desviar la corriente del río por los conductos.
Tc = 1 mes
- Limpia de terreno y excavación de trincheras para la segunda etapa. Tc = 1 mes
- Tratamiento de cimentación para la 2a. etapa.
Tc = 1 mes y 2 semanas
- Construcción de bloques de concreto para la 2a. etapa.

Tc = 2 meses (se vio anteriormente)

- Retiro de ataguías, cierre de obturadores y colado de los con
ductos; limpia final.

Tc = 1 mes y 2 semanas

Con los tiempos de construcción que nos dieron se elaborará un diagrama de barras de las actividades anteriores tomando en cuenta que el diagrama se hará en función de las actividades - obligadas para época de estiaje y época de avenidas.

ACTIVIDAD	M E S E S																		
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
PEQUEÑO CANAL POR EL CENTRO DEL RIO																			
LIMPIA DE TERRENO Y EXCAVACION DE TRINCHERAS 1a. ETAPA																			
TRATAMIENTO DE CIMENTACION 1a. ETAPA																			
BLOQUES 1a ETAPA EPOCA DE ESTIAJE																			
BLOQUES 1a. ETAPA EPOCA DE AVENIDAS																			
OSTURADORES EN LOS CONDUCTOS																			
ATAGUIAS CELULARES PROVISIONALES																			
LIMPIA DE TERRENO Y EXCAVACION DE TRINCHERAS 2a. ETAPA																			
TRATAMIENTO DE CIMENTACION 2a. ETAPA																			
BLOQUES 2a. ETAPA																			
RETIRO DE ATAGUIAS, CIERRE DE OBTURADORES Y COLADO DE CONDUCTOS																			

4.4.5 Diseño del pequeño canal por el centro del río.

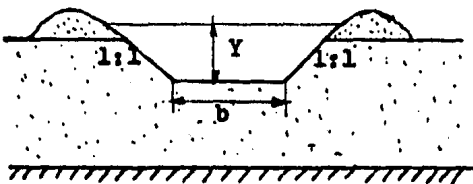
El gasto con que se diseñará el canal será de 11 m³/s que es el que se presenta en el mes de abril. A principios de junio - puede haber gastos mayores pero la altura alcanzada en los colados permitirá su paso por la escotadura en formación (ver el

diagrama de barras de las actividades).

La sección necesaria para conducir el gasto de estiaje será de la siguiente forma:

Con un metro de excavación en la entrada y llegando al nivel del terreno del río a la salida se recorre una distancia aproximada de 250 m. por lo que la pendiente aproximada del canal es;

$S_o = \frac{1}{250} = 0.004$ y considerando que el material que se excava se deposita a las orillas del canal se tiene lo siguiente:



si; $Q = 11 \text{ m}^3/\text{s}$

$S_o = 0.004$

$n = 0.030$

$Y = 1 \text{ m}$

Por medio de la fórmula de Manning se determinará la b .

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} S_o^{1/2} ; A = (b + kY)Y = [b + (1)(1)] 1 = b + 1$$

$$P_m = b + 2Y \sqrt{1 + k^2} = b + 2(1) \sqrt{1 + (1)^2} = b + 2.8284$$

$$Q = \frac{b + 1}{0.030} \left(\frac{b + 1}{b + 2.8284} \right)^{2/3} (0.004)^{1/2}$$

por tanteos nos da ; $b = 5.2 \text{ m}$

Por lo tanto el canal tendrá un ancho de 5.2 m con talud de 1:1, pendiente de 0.004 y una excavación de 1 m a la entrada y tendiendo a salir al nivel del río a la salida, el borde libre que se le dará será el material que se deposita a las orillas del canal el cual es producto de la excavación.

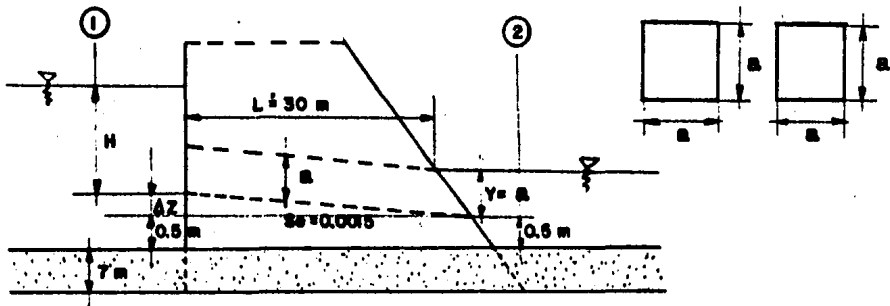
4.4.6 Diseño de los conductos y altura de ataguías.

El conducto o los conductos funcionarán de diciembre a mayo teniendo con esto un gasto máximo en este período de $37 \text{ m}^3/\text{s}$ - (ver hidrograma del río) con este gasto se diseñarán los conductos.

Como el tamaño de los conductos no es factor importante en el costo sino lo que influirá será la dimensión de las ataguías nuestra atención se fijará en éstas.

Por facilidad de construcción se recomienda que el conducto sea de sección rectangular o cuadrada, cada conducto conducirá exactamente la mitad del gasto.

Las características de ambos conductos son; $n = 0.015$ y $S_o = 0.0015$, estos conductos trabajarán a toda su capacidad con el límite de salida ahogada, ver la siguiente figura.



Aplicando la ecuación de la energía entre 1 y 2 nos da:

$$H + \frac{Q^2}{2g Ar^2} = Y_t + (1+K'e) \frac{Q^2}{2g At^2} + \left[\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right]^2 L - SoL$$

si; la carga de velocidad a la entrada se desprecia $\frac{Q^2}{2g Ar^2} \approx 0$
 $Y_t = a = Y$ para ésta condición.

Como los bordes a la entrada son afilados $K'e = 0.5$

Para el conducto lleno se tiene que $Vt = \frac{Q}{At}$; $Vt^2 = \frac{Q^2}{At^2}$

$$\Delta Z = SoL = 0.0015(30) = 0.045 \text{ m}$$

Por lo tanto la ecuación anterior nos queda:

$$H = a + (1 + 0.5) \frac{Vt^2}{2g} + \left(\frac{Vt \cdot n}{Rt^{2/3}} \right)^2 L - \Delta Z \dots\dots\dots 1$$

Como el conducto trabajará lleno tenemos que:

AREA conducto = $a \times a = a^2$ y apoyandonos de la ecuación de con-

tinuidad $\rightarrow Q_{\text{conducto}} = V_{\text{conducto}} \cdot A_{\text{conducto}} = Vt \cdot A_{\text{conducto}}$
 $Q_{\text{conducto}} = Vt (a)^2$

despejando la velocidad nos da; $Vt = \frac{Q_{\text{conducto}}}{a^2} \dots\dots 2$

sustituyendo la ecuación 2 en 1 y por tanteos obtendremos H.

Como se pueda ver para diferentes valores de "a" obtendremos "H" diferentes. Nosotros escogeremos la H mínima que para una "a" razonable nos sirva para determinar la altura de las atagufas.

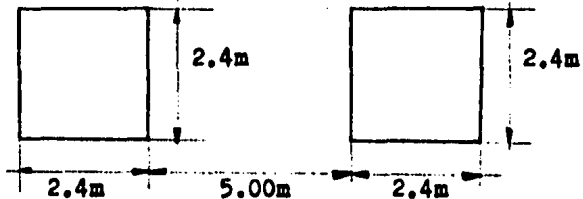
Haciendo uso del programa que viene en la siguiente hoja y que lleva como título "RELACION a - H PARA CONDUCTOS" se tiene la siguiente tabla:

Los datos son; $Q = \frac{37}{2} = 18.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0.015$ (para concreto con poca rugosidad) , $L = 30 \text{ m}$, $\Delta Z = 0.045 \text{ m}$

a (m)	H (m)
0.5	1010.52
1.0	41.79
1.2	19.32
1.4	10.60
1.8	4.89
2.0	3.95
2.2	3.49
2.4	3.28
2.8	3.24
3.0	3.32
3.5	3.65

De la tabla a - H elegimos para la sección de los conductos una $a = 2.4 \text{ m}$, la cual nos da una $H = 3.28 \text{ m}$, esta altura H nos definirá la altura de las atagufas.

SECCION CONDUCTOS



- Altura de atagufas.

Para definir la altura de las atagufas nos apoyaremos de la siguiente figura.



PROGRAMADOR Fernán García J.

DATA ENERO 1985
FECHA

DIVISÃO (Op 17)
DIVISION (Op 17)

[3.1.9.1.9]

MÓDULO DA BIBLIOTECA
MODULO DE LA BIBLIOTECA

IMPRESSOR
IMPRESORA

CARTÕES
CARTONES

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA - DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Para la condición de funcionamiento de conducto lleno con límite de salida ahogada, se determina "a" y se calcula su "H" correspondiente. Se utilizan las siguientes ecuaciones:



$$H = a + (1.5) \frac{v^2}{2g} + \left(\frac{v \cdot n}{R h^{3/8}} \right)^2 L - \Delta Z$$

$$v = \frac{Q}{a^2}$$

INSTRUÇÕES DE USO - INSTRUCCIONES DE USO

PASSO PASO	PROCEDIMENTO - PROCEDIMIENTO	INTRODUZA INTRODUZCA	PRESIONE APRETE	VISOR
1	Introducción de datos	Q(m ³ /s)	A	Q
2	Introducción de datos	n	R/S	n
3	Introducción de datos	L(m)	R/S	L
4	Introducción de datos	ΔZ(m)	R/S	ΔZ
5	Introducir "a"	a(m)	B	a
6	Obtención de "H" en metros		C	H(m)

Nota; se dan diferentes valores a "a" y se obtienen sus "H" correspondientes, con esto se hace una tabla de relación H - a .

TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIALES TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIALES	REGISTROS DE DADOS - REGISTROS DE DATOS (<u>000</u>)	LOCALIZADORES - ETIQUETAS (Op 08)
A	0	0
B	1	1
C	2	2
D	3	3
E	4	4
A'	5	5
B'	6	6
C'	7	7
D'	8	8
E'	9	9

000 001 002 003 004 005 006 007 008 009

010 011 012 013 014 015 016 017 018 019

020 021 022 023 024 025 026 027 028 029

030 031 032 033 034 035 036 037 038 039

040 041 042 043 044 045 046 047 048 049

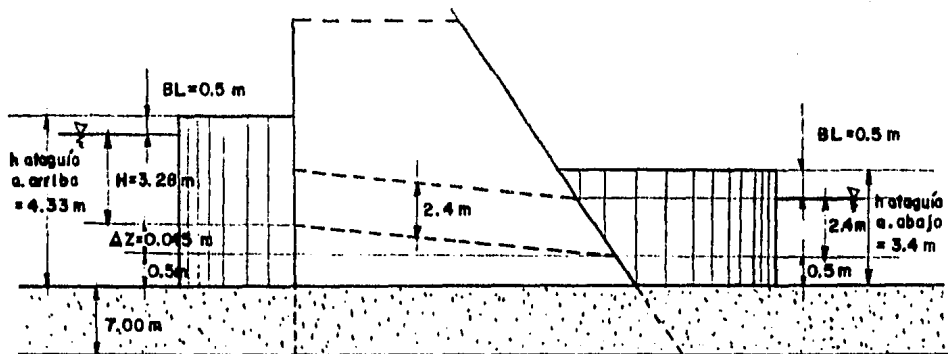
050 051 052 053 054 055 056 057 058 059

060 061 062 063 064 065 066 067 068 069

070 071 072 073 074 075 076 077 078 079

080 081 082 083 084 085 086 087 088 089

090 091 092 093 094 095 096 097 098 099



La altura de la atagüa aguas arriba será de 4.33 m.

La altura de la atagüa aguas abajo será de 3.4 m.

4.4.7 Resumen final.

En conclusión, la obra de desvío para este caso consistirá en:

- Un canal por el centro del río.
- Una escotadura (dos bloques de la presa) de sección rectangular con un ancho de 30 metros y una altura de 7.2 metros, ver el plano anexo.
- Dos conductos a través de la presa de sección cuadrada de 2.4 metros cada uno y una separación entre ellos de 5 metros, ver el plano anexo.
- Dos atagüas celulares, una en la entrada y la otra en la salida de la escotadura.
 - + La atagüa aguas arriba tendrá una altura de 4.33 metros.
 - + La atagüa aguas abajo tendrá una altura de 3.4 metros.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Del estudio que durante el desarrollo de este trabajo se ha hecho a las obras de desvío se puede concluir lo siguiente:

- La obra de desvío como elemento de la presa juega un papel primordial ya que de una buena elección y diseño de ésta depende el éxito de la ejecución y terminación de la presa.
- Como una herramienta básica para diseñar bien la obra de desvío y en general cualquier obra hidráulica es el poder conocer con precisión las características de la zona en estudio como pueden ser; los escurrimientos en el río, las formaciones geológicas en las laderas, la forma topográfica del lugar, etc.
- El estudio de la obra de desvío se debe hacer en conjunto con las demás estructuras de la presa esto es, que formen un sistema en el cual todas las estructuras cumplan con el objetivo común y persigan el mismo fin que será en este caso la optimización de los costos, rendimiento, durabilidad, seguridad y eficiencia de la obra en total.
- El tipo y dimensiones de la obra de desvío queda supeditada al programa de construcción que a la vez dependerá de la ocurrencia de la naturaleza. Del programa de construcción se obtendrán fechas de inicio, fechas de terminación y holguras.
- El criterio profesional y experiencia del Ingeniero se verán reflejados en la forma de atacar los problemas que durante el proceso de construcción de la obra de desvío se puedan presentar por lo que una buena selección del personal será indispensable.

- El considerar que la obra de desvío en muchos casos es una obra provisional no quiere decir que no se le preste la misma atención que a las demás estructuras (cortina, obra de excedencias y obra de toma, las cuales son definitivas) ya que la obra de desvío es la primera que se construye y será cimiento para las demás.

- Para una presa de tierra y roca el análisis de su obra de desvío requiere de una atención minuciosa por lo mismo del material que forma la presa, una falla y accidente en la obra de desvío puede provocar la destrucción parcial ó total de la presa en proceso de construcción, esto traería como consecuencia una gran pérdida en dinero y tiempo. Como este tipo de presa no admite el vertido sobre ella se escogerá un esquema de desvío con derivación total (factores de seguridad altos).

- Para una presa de gravedad se puede considerar que si su obra de desvío llegara a fallar ó la atagüa ser rebasada por el agua esto no tendría gran problema en la presa ya que ésta puede funcionar como vertedor y no ocasionaría grandes pérdidas. Como este tipo de presa sí admite el vertido sobre ella se puede escoger un esquema de desvío con derivación total y posibilidad de inundación (factor de seguridad bajo).

- Comparando la obra de desvío que se requiere para una presa de tierra y roca con una que se usaría para una presa de gravedad se puede decir que resulta más cara la obra de desvío para una presa de tierra y roca por lo mismo que los factores de seguridad son altos.

BIBLIOGRAFIA

- Bureau of Reclamation, " Design of Small Dams", Second Edition, U.S. Department of the Interior, Washington 1979.
- Sánchez, J. y Cruickshank, C., " Contribución a la hidráulica del Cierre de Cauces", Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., vol XXXIII, Tomo I, México, Enero 1963.
- Leon Herrera Luis Alejandro, " Presa Cerro de Oro, Oaxaca y Veracruz, Obra de Control y Obra de Desvío", Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1981.
- Pco. Torres H., " Apuntes de Obras hidráulicas", Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1983.
- Cruickshank, C., " Contribución a la hidráulica del Cierre de Cauces", Tesis de Maestría, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1972.
- Isbach, S. and Jaldre, H., " Hydraulics of River Channel Closure", Butterworth and Co. Ltd, London 1970.
- Thomas, H., " The Engineering of Large Dams", John Wiley and Sons, Tomo I, London 1976.
- John A. Sanduver, " Theoris of Closure of Rockfill Dams", Journal of the Construction Division, Proceedings of the ASCE, - Noviembre 1971.

- Thomas, M. Leps, " Conferencias sobre Presas", Flow Through Rockfill, Universidad de California 1975.
- J. Guthrie Brown, " Hydro-Electric Engineering Practice", - vol I, Blackie and Son, 1958.
- C.F.E., " Obras de Desvío" Manual de Diseño de Obras Civiles, México 1983.
- Hernandez Ochoa, José, " Proyecto Obra de Desvío Presa Chicoacen sobre el Río Grijalva, Chiapas" Tesis de Licenciatura Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1976.
- Aguilar Solorio, Arturo, " Estudio de la Obra de Desvío para la Presa El Tunal II, Durango", Tesis de licenciatura, - U.I.A., Reséndiz, México 1976.