



Universidad Nacional
Autónoma

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-418 T.E.

Señor DAVID ARANDA BARRERA,
P r e s e n t e .

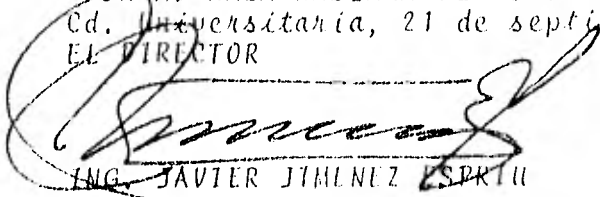
En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Francisco Torres Herrera, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"DISEÑO DE PRESAS DE DERIVACION"

1. Tipos de presas. Su objetivo.
2. Elementos de que consta una presa de derivación. Localización y funcionamiento.
3. Dimensionamiento de las estructuras de una presa de derivación.
4. Cortinas vertedoras cimentadas en roca. Cortinas vertedoras cimentadas en terreno suave. Cortinas tipo indio; características.
5. Algunas consideraciones sobre construcción de presas derivadoras.

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

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, 21 de septiembre 1982
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMÉNEZ ESPRÍU



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

T E M A S

DISEÑO DE PRESAS DE DERIVACIÓN

- 1.- Tipos de presas.Su objetivo.
- 2.- Elementos de que consta una presa de derivación.
Localización y funcionamiento.
- 3.- Dimensionamiento de las estructuras de una presa de derivación.
- 4.- Cortinas vertedoras cimentadas en roca.Cortinas vertedoras cimentadas en terrenos suaves.Cortinas tipo indio,características.
- 5.- Algunas consideraciones sobre construcción de presas derivadoras.

1.-Tipos de presas, su objetivo.

Existen dos tipos de presas: de almacenamiento y de derivación.

Una presa de almacenamiento tiene fines de aprovechamiento y de defensa, en tanto que las de derivación, específicamente, tienen fines de riego, abastecimiento y control de azolves.

Se piensa en una obra de almacenamiento cuando el gasto de la corriente a aprovechar es menor que el caudal necesario para satisfacer la demanda de agua y se piensa en una de derivación cuando dicho gasto es igual o mayor que el de la demanda, en el caso de que en la corriente no exista una presa de almacenamiento aguas arriba del sitio probable de localización de la derivadora. (Ver fig. No. 1).

Una presa derivadora se construye con dos fines:

- Primero.-Crear la diferencia de presión hidrostática necesaria para encauzar el agua hacia las obras de distribución y de estas hacia el lugar de su utilización, todo ello sin alterar el régimen de la fuente de abastecimiento.
- Segundo.-Proporcionar a las obras de conducción y de distribución agua libre de acarreo y sólidos flotantes, esto es, con la calidad posible para no afectar canales y tuberías.

2.-Elementos de que consta una presa de derivación. Localización y funcionamiento.

Una presa de derivación consta de las siguientes partes:

- 2.1 Bocatoma u obra de toma.
- 2.2 Cortina.
- 2.3 Estructura de tirria.
- 2.4 Obras complementarias.

La localización de una presa derivadora en el cauce de un río está en función de la de su obra de toma. Puesto que el fin de la presa es proporcionar una carga hidrostática, se buscarán las zonas topográficas adecuadas y las condiciones geológicas favorables para una zona de cauce definida, sin peligro de destrucción y pérdida de sedimentos uniforme. Si fuera necesario localizarla aguas arriba del punto de abastecimiento con el ob-

a las velocidades del agua producidas por la fuerza centrífuga al pasar por la curva, los acarreos se depositan en la parte convexa.

2.1 Bocatoma u obra de toma.

Son orificios por los cuales pasa el agua hacia el canal de conducción a la zona de aprovechamiento, con compuertas deslizantes o radiales que regulan la admisión. Es necesario se diseñe con dos compuertas adicionales por lo menos, como sustitutas durante los servicios de reparación, mantenimiento o emergencia.

2.2 Cortina

Con la cortina se represa el agua hasta una elevación suficiente que permita derivar el gasto por la bocatoma y se diseña para que la corriente vierta sobre ella, ya sea parcial o totalmente en su longitud, por lo que siempre se tienen cortinas vertedoras. Así, la cota topográfica de su cresta está determinada por la altura de la bocatoma.

Las cortinas se clasifican por la forma de su eje en planta, por el tipo de materiales que la forman y por el tipo de control en su cresta. En México, las presas derivadoras construidas, en su gran mayoría, son del tipo flexible llamado "indio" y de cresta fija o sin control.

2.3 Estructura de limpia.

En vista de que el agua que escurre por el lecho del río lleva gravas y arenas como arrastre de fondo, se debe considerar la construcción de algún dispositivo desarenador, con el fin de eliminar tales arrastres antes de que el agua circule por la toma y posteriormente al sistema de conducción. Asimismo, los escurrimientos frecuentemente llevan sólidos flotantes que pueden provocar molestias y conflictos en la operación del sistema de conducción y por ello es conveniente prever, en tales casos, la instalación de rejillas.

Este dispositivo desarenador se forma de:

a) Canal de acceso que construye sobre la corriente, en la margen

perpendicular a este canal, aunque puede variar su ángulo, según la eficiencia que se desee por la estructura desarenadora.

b) Estructura limpiadora, para la continuación del canal de acceso hacia aguas abajo. Consiste de una compuerta, radial generalmente, la que mediante su apertura provoca un aumento del gasto, y por lo tanto, de la velocidad, que barre con el depósito de acarreos, los que son regresados al cauce del río por el desfogue del desarenador. Su diseño debe ser tal que permita una operación eficiente.

2.4 Obras complementarias.

Algunas de ellas son:

- muros de encauzamiento
- obras de seguridad en el canal de conducción o principal.
- zanpeados en las descargas.
- revestimientos en las laderas.

Los muros de encauzamiento son complementarios al canal de acceso, y se utilizan, como su nombre lo indica, para facilitar el paso del agua hacia éste.

En el caso de un aumento brusco del gasto en el río, y por consiguiente del tirante frente a la toma, aumentará también el gasto a través de ella, por lo que será necesario prever la construcción de un evacuator lateral, inmediatamente aguas abajo de la toma, en el canal de conducción. Esta es una de las obras de seguridad en el canal principal.

Los zanpeados son, en las cortinas de concreto, losas que destruyen o evitan la erosión producida por el agua al caer por el vertedor.

Los revestimientos son necesarios si se descortía de las laderas o las márgenes del río.

3.-Dimensionamiento de las estructuras de una presa de derivación.

3.1 Obra de toma.

El diseño de las obras de toma en las presas derivadoras se debe efectuar en conjunto con el de la cortina, ya que las características de ambos se relacionan íntimamente, como se hizo alusión anteriormente al funcionamiento de la presa derivadora, y depende de las condiciones topográficas, geológicas e hidráulicas del sitio de la localización.

En general, las obras de toma se deben planear de manera que las extracciones sean con un mínimo de disturbios en el flujo, así como de pérdidas de carga a través de compuertas, rejillas y transiciones.

El tirante aguas arriba de las compuertas debe ser suficiente para obtener las velocidades que se requieran del agua, a través de las rejillas y compuertas y para suministrar los tirantes adecuados al flujo aguas abajo de la toma.

3.1.1 Cálculo hidráulico de la toma.

Comprende:

- Dimensiones del orificio y conducto.
- Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas.

3.1.1.1 Dimensiones del orificio y conducto.

El cálculo del conducto de la obra de toma se reduce a considerar un orificio con tubo corto sumergido. Si es una tubería, se deberán considerar todas las pérdidas que se puedan tener en el flujo, y si es un canal, se deberán determinar las características del régimen de escurrimiento para proporcionar el conducto.

Es recomendable que el orificio trabaje abogado con un mínimo de 10.0 cm. En estas condiciones:

$$Q = CA \sqrt{2gh}$$

Q = gasto de derivación o gasto normal en la toma, en $m^3/\text{seg.}$
g = aceleración producida por la gravedad = $9.81 m/\text{seg}^2$
C = coeficiente de descarga para el orificio correspondiente.
h = carga del orificio, en m.

El coeficiente C depende del tipo de orificio: a una mejor condición de los bordes de entrada se tiene un coeficiente mayor. Para anteproyecto se puede considerar $C = 0.8$.

Dependiendo de la magnitud del gasto, el área necesaria podrá dividirse en uno o más orificios y así también será el número de compuertas que se tengan en la toma. Existen planos tipo de compuertas deslizantes para ser adaptadas y adoptadas al proyecto en estudio. En el caso de requerirse dimensiones especiales o tenerse una carga hidrostática de mayor magnitud que las que se indican será necesario diseñar una compuerta para el caso especial.

La carga sobre el orificio generalmente es relativamente pequeña (de 10 a 20 cm) a fin de tener velocidades bajas del agua al pasar por las compuertas. En lo posible, esta velocidad debe ser aproximadamente igual a la del desarenador cuando opere la toma, para evitar achiflonamientos que remuevan y arrastren materiales hacia la toma (del orden de 0.5 m/seg).

Asimismo, la velocidad del agua entre los espacios de soleras de las rejillas debe ser del orden de 0.6 a 1.0 m/seg y la velocidad del agua a través de los vanos de las compuertas es recomendable que tenga valores de alrededor 2.5 m/seg, para gasto de diseño.

La carga sobre el orificio es la diferencia de cotas del espejo del agua en el canal desarenador y el canal o tubería de conducción y para que se cumplan las características adecuadas de flujo debe ser :

$$h = K_e \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} + 0.20 \frac{v^2}{2g}$$

El valor de $K_e = 0.20$ es un valor experimental del I.S.G.R. para considerar pérdidas por fricción, imponderables de pérdidas por sólidos en suspensión, azolves, etc.

Así pues, una forma de determinar la dimensión de la compuerta

o compuertas se considerará un valor de 0.10m a la carga h del orificio y calcular el área.

$$A = \frac{Q}{C \sqrt{2 g h}}$$

De acuerdo con este valor se podrá saber si conviene más de una compuerta y además seleccionar sus dimensiones comerciales consultando los planos tipo que ya existen.

Hecho esto se determinará la carga del orificio, ya con el área de las compuertas seleccionadas. Se debe verificar $h \geq 0.10m$

$$h = \frac{Q^2}{2 C^2 A^2 g}$$

De otra manera, con la velocidad en el orificio (de 0.5 a 1.0 m/seg) se calcula el área correspondiente con la ecuación de continuidad :

$$A = \frac{Q}{V}$$

Entonces, se eligen las compuertas convenientes y se verifica el valor de h sobre el orificio.

3.1.1.2 Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas de terra.

La elevación de la superficie del agua que se considera en el río para la determinación del gasto máximo es la que corresponde a la carga máxima sobre el vertedero.

El gasto que pasa por el orificio es igual al del canal principal. Por la ley de continuidad :

$$Q_0 = Q_c \quad \text{y:}$$

$$Q_0 = C A_0 \sqrt{2 g h}$$

$$Q_c = v A_c = \frac{1}{n} R^{1/3} S^{2/3} A_c \quad (\text{si se adopta la fórmula de Manning para la velocidad})$$

El valor de R se supene con el tirante r :

El gasto máximo será cuando circulan $u_c = \dot{Q}_c = \dot{Q}_{\text{máx.}}$

Entonces, primero se proponen las dimensiones del canal para después verificar el funcionamiento hidráulico de la toma con la sección más alta del canal principal.

3.2 Cortina

3.2.1 Estabilidad de la cortina

3.2.1.1 Cortinas rígidas. Sección típica

La sección típica es de forma trapezoidal con cimacio en la corona, como se indica esquemáticamente en la fig. No. 2.

3.2.1.1.1 Fuerzas que actúan :

- a) Peso propio
- b) Presión hidrostática
- c) Empuje de sedimentos y azolves
- d) Sub-presión

Existen mas fuerzas que actúan sobre la cortina, pero debido a sus características dimensionales suelen despreciarse, como las fuerzas sísmicas o las presiones negativas entre el manto de agua y el paramento aguas abajo de la cortina.

a) Peso propio

Se calcula de acuerdo al material del banco empleado.

b) Presión hidrostática

Se considera la presión hidrostática que actúa sobre el paramento aguas arriba de la cortina.

c) Empuje de sedimentos y azolves

Se valúa en forma aproximada empleando la expresión de Rankine :

$$E_t = \frac{1}{2} \gamma h_t^2 \left(\frac{1 - \frac{\sin \phi}{\sin \phi}}{1 + \frac{\sin \phi}{\sin \phi}} \right) = \frac{1}{2} \gamma h_t^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

siendo :

E_t = Empuje activo de tierras o sedimentos, en kg.

h_t = Espesor de tierra o sedimentos, en m.

ϕ = Angulo formado con la horizontal y el talud natural de los acarrees. Para grava y arena $\phi = 34^\circ$ aproximadamente.

γ = peso del material sumergido en el agua, en kg/m^3 .

Este peso es :

$$\gamma = \gamma' - \gamma_w (1-k)$$

en el que :

γ' = Peso del material seco, en kg/m^3 .

γ_w = Peso específico del agua = 1000 kg/m^3 .

k = Porcentaje de vacíos en el material.

d) Sub-presión

Es la presión debida al agua de filtración que actúa en la cimentación de la cortina con sentido de abajo hacia arriba por lo que es desfavorable a la estabilidad de la cortina.

Para determinar su valor en la cimentación de las presas derivaderas, se definirá primero el "recorrido de filtración" y se indicarán las medidas tendientes a disminuir el valor de la sub-presión.

Recorrido de filtración

La mayoría de las cortinas de presas derivaderas destinadas al riego, tanto rígidas como flexibles, y ubicadas en zonas de planicies costeras, se encuentran sobre cimentación permeable debido a que se desplantan a poca profundidad del cruce y por lo general en el lecho de los ríos se encuentran gravas, boleos y cantos redondos.

Al tener permeabilidad en la cimentación, el agua filtrada produce una sub-presión y cuando la velocidad de esta agua llega a ser suficiente como para lavar y arrastrar los materiales de cimentación, se originan tubificaciones que producen asentamientos y deslizos.

Por lo anterior, las cortinas sobre cimentación permeable deberán diseñarse con recorrido de filtración suficiente para que el agua bajo la estructura tenga siempre velocidades bajas.

Para el análisis de paso de filtración y sub-presión se han adoptado los criterios de F.U. Lane y el de Light.

Conclusiones mas importantes de Lane (ver fig. No. 3) :

$$L = \frac{1}{3} L_h + L_v$$

L = longitud de filtración compensada.

L_h = longitud de filtración horizontal.

L_v = longitud de filtración vertical.

Se consideran distancias verticales y horizontales las que tienen una inclinación mayor de 45° y menor de 45° respectivamente.

$$2.- \quad S_x = (H_x - \frac{L_x}{L} H) \gamma_w$$

S_x = sub-presión a una distancia "x". (kg/m²)

H_x = carga hidráulica en el punto "x" (m) = H - H'

L_x = longitud compensada hasta el punto "x". (m).

L = longitud compensada total del paso de filtración (m).

H = carga efectiva que produce la filtración, igual a la diferencia del nivel hidrostático entre aguas arriba y aguas abajo de la cortina (m).

H' = desnivel entre el agua abajo de la cortina y el punto que se está estudiando.

γ_w = peso volumétrico del agua.

$$3.- \quad C = \frac{L}{H} = \frac{1/3 L_h + L_v}{H}$$

C = carga compensada (depende del tipo de material)

L = longitud total de filtración compensada.

H = carga hidráulica efectiva

En la fig. No. 4 se muestran algunos valores de C según Lane y según Blight. Con este valor teóricamente se impiden las tubificaciones.

Criterio de Blight

Le da la misma efectividad a los recorridos horizontales que a los verticales y recomienda valores más altos para C. La expresión de sub-presión es la misma.

3.2.1.1.2 Dimensionamiento.

Como en las cortinas para almacenamiento, también se proponen dimensiones establecidas pragmáticamente y se fijan al vari-

3.2.1.1.3 Condiciones de estabilidad.

El análisis de estabilidad de una cortina rígida, de poca altura, se concreta al cálculo de un muro de retención considerando las fuerzas que se han descrito anteriormente y verificando que se cumplan los tres requisitos de estabilidad.

3.2.1.1.3.1 Volteamiento

Se evita pasando la resultante por el tercio medio de la base o bien que :

$$\frac{\sum M (F_v)}{\sum P (F_H)} \geq 1.5$$

3.2.1.1.3.2 Deslizamiento

Se evitará cuando :

$$\frac{A \times c + (W_c - S) \tan \varphi}{E} \geq Q$$

Siendo :

A = Área de la sección transversal que se analice.

c = resistencia unitaria al esfuerzo cortante del concreto (cohesión).

W_c = peso de la cortina (unitario)

S = sub-presión actuante en la base de la cortina.

tan φ = coeficiente de fricción interna del concreto.

E = empuje horizontal

Q = factor de seguridad recomendado (entre 4 y 5)

3.2.1.1.3.3 Esfuerzo de los materiales

Se puede presentar una falla en los materiales cuando los esfuerzos a que estén trabajando sean mayores que los especificados como admisibles para ellos, esto es, que el esfuerzo máximo cortante sea menor que el permisible :

$$f_{\max} \leq f_c$$

Este esfuerzo es función del ángulo de inclinación del pavimento aguas abajo de la cortina :

$$\sigma_1 = \frac{N}{T} \pm \frac{Ne}{T^2}$$

En el que :

N = resultante de la suma de fuerzas verticales.

T = longitud de la base.

e = excentricidad de la resultante.

3.2.1.2 Cortinas flexibles, de enrocamiento o tipo indio.

La cortina llamada de tipo "indio", cuya sección típica se muestra en la figura No. 5, se constituye de un elemento impermeabilizante formado por un racizo o dentellón, que puede ser de mampostería o concreto, además de un respaldo de material compactado que sirve también para aumentar la longitud del paso de filtración de estas cortinas. La estabilidad de la cortina se consigue principalmente con el enrocamiento acomodado o semi-acomodado de aguas abajo del dentellón (con talud exterior muy tendido). Este enrocamiento se refuerza con una cuadrícula superficial de concreto simple cuya profundidad de los dentellones sea de 50.0 cm a un m.

Entre el enrocamiento y el nivel del terreno se coloca un filtro de grava o rezaga que descarga en una trinchera de enrocamiento localizada al final del paramento de aguas abajo de la cortina y cuyo objeto es resguardarla de las socavaciones que pueden presentarse en ese sitio.

3.2.1.2.1 Dimensionamiento

El diseño de estas cortinas se hace en base a datos empíricos y prácticos. Se aconsejan taludes muy tendidos y se recetan generalmente así: el de aguas abajo de 10:1 hasta de 14:1 y el de aguas arriba de 3:1 a 8:1, dependiendo de las características del material a emplear y del criterio del proyectista de acuerdo con lo observado en otras presas ya construidas, así como de la bondad notoria de los materiales que se emplearán en su fabricación.

Cuando el caso lo amerite, se tenga el estudio de los materiales que se vayan a emplear en el cuerpo de la cortina y los

que se encuentran en el sitio de la construcción, se pueden diseñar estas cortinas con el método de Blight, el cual se basa en la teoría del recorrido de filtración en medios permeables, como se expone a continuación: (ver fig. No. 6)

El recorrido de filtración en una cortina maciza bajo una carga H de agua será: $l = C \cdot H = abcd$

$$l = C \cdot H = abcd$$

Ahora bien, considerando una cortina hecha de material permeable, como la de enrocamiento, en la que se considera que los vacíos dentro de su cuerpo están llenos de agua y comunicados entre sí (ver fig. No. 7) se estima que en un block como el $MPQP$ el recorrido de filtración será la longitud $MP = l$ y la carga correspondiente a esta longitud será $h = MP - QP$.

También obsérvese que $\tan \alpha = h/l$, suponiendo la superficie del agua que escurre paralela al talud del paramento.

Blight establece que el suelo bajo el enrocamiento es estable si la pendiente del paramento de la cortina de aguas abajo es igual o menor que la recíproca del coeficiente de filtración de dicho material, es decir cuando:

$$\tan \alpha = \frac{1}{C} \quad \text{o bien que } \tan \alpha = \frac{h}{l} \quad \text{puesto que } C = \frac{l}{h}$$

El cumplimiento de esta condición se traduce en proporcionar un talud que resulte ser muy tendido y en ocasiones esto motiva un volumen de enrocamiento tal que hace antieconómica a la cortina.

Por lo anterior, Blight propone la solución que se indica enseguida:

Considérese la figura No. 8, que representa a una cortina de enrocamiento con un vertederol constituido de un macizo independiente o dentellón. La superficie libre del agua se encuentra a la elevación de la corona.

La longitud del paso de filtración para evitar turbidación bajo el dentellón es:

$$abcd = l_1 \quad \text{y la pérdida de carga será: } h_1 = \frac{L_1}{C} = \frac{abcd}{C}$$

Mediante el valor h_1 se puede encontrar el punto I que in-

Trazando por el punto E la línea EF con pendiente $(1/C) = \tan$ se estará garantizando la estabilidad del suelo bajo el enrocamiento según lo escrito anteriormente.

Cuando al prolongar la línea EF se sitúa arriba del perfil del paramento del enrocamiento, ya no se estará asegurando el equilibrio del suelo de cimentación y por lo tanto, es necesario construir otro dentellón en el punto donde la línea EF trazada con la pendiente de "seguridad" $(1/C)$ corte a la línea del talud.

El procedimiento usado para localizar el primer dentellón se aplica para localizar el segundo y así sucesivamente hasta localizar los necesarios, es decir, considerando que h_2 sea la pérdida de carga en el dentellón E_1 .

Trazando la línea E_1F_1 con la inclinación $1/C$ hasta cortar la superficie del enrocamiento en F_1 se encontrará la localización del dentellón E_2 .

Por razones económicas y para aumentar el paso de filtración se construye un respaldo de arcilla compactada como lo indica la fig. No. 9. Con esto se logra disminuir el número de dentellones y consecuentemente acortar la longitud transversal de la cortina. Para estos casos, el valor de la pérdida de carga del dentellón principal será de acuerdo con la fig. No. 9:

$$h_1 = \frac{L}{C} = \frac{alcd\epsilon f}{C}$$

Piedras para enrocamiento.

Para verificar el tamaño mínimo aproximado de las piedras que deberán formar el enrocamiento de una cortina de este tipo, puede hacerse en base a la expresión de S.F. Isbach, que determina la velocidad crítica, máxima y mínima de una corriente sobre un cuerpo.

Velocidad crítica mínima es aquella capaz de empezar a modificar la trayectoria vertical de un cuerpo que se deja caer para atravesar una corriente de agua, pero sin que sea capaz de modificar el sitio de caída de dicho cuerpo. La velocidad crítica máxima es aquella que después de modificar la trayectoria vertical del cuerpo es capaz de empezar a rodarlo por el fondo del cauce.

$$V_{crit.} = \sqrt{2g \left(\frac{h_1}{C} - \frac{h_2}{C} \right) \sqrt{D}}$$

para la velocidad crítica mínima y máxima de arrastre, respectivamente.

g = aceleración debida a la gravedad (m/sec^2)

W_p = peso volumétrico del material que forman las piedras (kg/m^3)

W_a = peso volumétrico del agua (1000 kg/m^3)

D = diámetro de una esfera equivalente a la piedra.

Por otro lado, el volumen V de la esfera vale:

$$V = \frac{\pi D^3}{6} \quad \text{y su peso } w_p = VW_p = \frac{\pi D^3}{6} W_p$$

3.2.2 Hidráulica de las cortinas

3.2.2.1 Elevación de la cresta vertedera

Fuente que la presa derivadora sirve para aumentar el tirante de agua de la fuente de abastecimiento para derivar un determinado gasto, la elevación de la cresta vertedera dependerá de las necesidades de carga hidráulica que se requieran para operar la bocanoma.

En la fig. No. 10 se observa el caso típico de la disposición de la bocanoma, cortina y canal principal de conducción.

Como puede observarse, la elevación "C" de la cresta vertedera es igual a la elevación correspondiente a la plantilla del canal en su inicio (elevación "F") más el tirante "d" del mismo canal más la carga hidráulica "h" del orificio de la toma:

$$\text{Elev. C} = \text{Elev. F} + d + h$$

La elevación de la plantilla del canal principal es un dato que de antemano se conoce, al iniciarse el diseño. Se fija considerando la elevación de la zona de los terrenos que se van a regar y de la carga que se va a perder entre dicha zona y el sitio de la derivación. En esta carga se deberá tener presente el desnivel que se pierde por la pendiente del canal y las cargas que se necesitan para el funcionamiento de las estructuras que se requieran en el trayecto de la conducción atendiendo a la topografía, geología, etc., del trazo como son caídas, sifones, puentes canal, etc.

Así que generalizando:

$$\text{Elev. C} = \text{Elev. Z. R.} + \Delta c + h$$

Siendo:

Elev. Z. R. = Elevación de la zona de riego o de la rasante del canal en el inicio de la zona de riego.

Δc = Desnivel que recorre el canal, según la pendiente o pendientes y la longitud o longitudes del mismo.

h = Suma de energías necesarias para el funcionamiento de las estructuras de arte del trayecto.

Es claro que para definir la elevación "C" habrá necesidad de

La determinación de la carga H se realizó en el tema relativo a la licitadora.

3.2.2.2 Características del vertedor

La expresión comúnmente empleada para definir las características hidráulicas de la cortina vertedera es la de Francis, en la cual no se consideran el efecto de la velocidad de llegada ni las contracciones laterales del vertedor. Esto se debe a que el agua, antes de verter, es retenida por el vaso que se forma al elevarse el tirante y por lo tanto puede considerarse que el agua tiene una velocidad nula. Las contracciones laterales se eliminan fácilmente limitando al vertedor en sus extremos con paredes verticales y perpendiculares a su cresta, de suficiente altura y longitud.

$$Q = C L H^{3/2}$$

Siendo :

Q = Gasto del vertedor, en m^3 , seg.

C = Coeficiente de descarga.

L = Longitud efectiva de la cresta, en m .

H = Carga sobre la cresta del vertedor, medida a $2.5 H$ aguas arriba de la cresta.

El gasto del vertedor es el correspondiente a la avenida de proyecto elegida en el estudio hidrológico de derivación.

3.2.2.3 Disipador de energía

Al elevarse el tirante del agua en un río y hacer que la corriente se derrame sobre el muro vertedor, el agua adquiere una energía de posición que se transforma en energía de velocidad o cinética, cuya magnitud depende de la altura de caída y consecuentemente de la altura de la cortina.

Los perjuicios que ocasiona el escurrimiento del agua a una alta velocidad son fundamentalmente los efectos debidos a la socavación y erosión del agua al pie de las estructuras, que obviamente

ponen en peligro su estabilidad e la dañan parcialmente.

Si la caída es pequeña o si en el lecho del cauce existe material resistente, el golpe del agua puede no afectarle al muro vertedor y probablemente serán suficientes las precauciones que se tomen para amortiguar o resistir la velocidad del agua, por ejemplo con zampados o revestimientos de corta longitud después del muro vertedor.

El espesor de los revestimientos (delantales) o zampados se calcula tomando en cuenta el peso del material y la sub-presión existente y que por razones de seguridad se adopta una relación de cuatro tercios :

$$\frac{3}{4} e W_m = S_x$$

y con tirante de agua:

$$\frac{3}{4} e W_m = S_x - H_2 W_a$$

de donde :

$$e = \frac{4}{3} \frac{S_x - H_2 W_a}{W_m}$$

siendo :

S_x = sub-presión

W_a = peso volumétrico del agua

H_2 = tirante de agua en la sección considerada

W_m = peso volumétrico del material.

En la mayoría de las presas de derivación es necesario diseñar un dispositivo adosado al cuerpo de la cortina o formando parte de ella, con el objeto de disipar la energía de velocidad del escurrimiento en el vertedor y entregar el flujo del agua al cauce natural del río con velocidades que no ocasionen deterioro a las estructuras que forman la derivación.

Esos dispositivos, con muchas variantes se pueden agrupar de la siguiente manera, con la observación de que el último no es usual en México :

- a) Colchones o tanques amortiguadores
- b) Estructuras deflectoras

a) Colchón amortiguador

Consiste en un tanque al pie de la cortina con una profundidad que viene siendo el espesor del colchón de agua para amortiguar el golpe del chorro. El diseño de este tanque se basa en el principio del salto hidráulico.

El objeto de diseñar el tanque aguas abajo de la cortina es contar con las condiciones adecuadas para que el cambio brusco de tirantes se verifique dentro de una longitud mínima del cauce, que es lo que se debe proteger.

b) Estructuras deflectoras

Cuando el sitio donde se pretende construir la derivadora es favorable en cuanto a impermeabilidad y resistencia, la descarga del agua se controla mediante estructuras deflectoras construídas al pie de la cortina. El objeto de estos dispositivos es alejar de la estructura el agua de descarga hasta un sitio en el que sus efectos, como la erosión y socavación, ya no sean peligrosos para la estabilidad de la cortina.

Existen varios tipos de deflectores y los tipos más empleados son el trampolín sumergido y el salto de esquí.

3.3 Estructura de Diques

En el proyecto de un canal desarenador se debe propiciar un un fácil acceso del agua hacia él y su funcionamiento deberá de ser libre, es decir sin posibilidad de ahogamiento.

En la Fig. 3.3.11 se muestra la sección típica de un desarenador.

Para una descarga libre del canal se debe proyectar a modo de tener un régimen rápido o supercrítico, verificando además, que la velocidad en dicho canal sea superior a la del río en el sitio de la descarga y que la elevación de la superficie libre del agua en el canal sea superior a la del agua en el río o como mínimo que ambas coincidan a fin de garantizar una descarga sin posibilidad de ahogamiento.

3.3.1 Geometría e hidráulica del desarenador

La determinación de las características geométricas del desarenador se basa en las condiciones de su funcionamiento, y así, consideraremos dos formas de operarlo :

Primera condición : canal desarenador cerrado y obra de toma abierta.

Segunda condición : Canal desarenador abierto y catoma cerrada.

3.3.1.1 Primera condición de funcionamiento

El trazo del desarenador abierto frente a las compuertas de la catoma funciona como un tanque de sedimentación. Su geometría deberá permitir velocidades bajas del agua para dar oportunidad a que los acarrea se depositen en ese sitio.

La elevación de la plantilla del canal desarenador frente a la toma es inferior a la del canal de ésta con el propósito de cortar con un espacio para el depósito de los sedimentos, evitando así su pase al canal de riego. Lo normal, por experiencia se recomienda como mínimo 0.80 m.

De acuerdo con lo anterior, el diseño de canal se reduce a determinar su ancho y su profundidad, se lea a decide la velocidad del

superficie libre del agua corresponde con la elevación de la cresta de la catena o cota de celeridad. Entonces :

$$Q = Av \quad \text{de donde } b = \frac{Q}{av}$$

y por otro lado $b = d$ (sección rectangular) de donde $b = \frac{Q}{av}$

En un momento dado, el gasto en este canal será el que debe pasar por la toma y por lo tanto, será igual al gasto de derivación normal. Por experiencia, se recomienda como mínimo de anchura de 1.50 a 2.00 m.

(Otras recomendaciones resultado de la experiencia son :

Que la velocidad en el canal desarenador de será ser menor que la velocidad en el río para cuando está operando la toma.

También se debe verificar que la velocidad adoptada para propiciar el depósito de escombros sea menor que la que tenga el canal de conducción e inmediatamente después de las compuertas de la bo-catoma.

3.3.1.2 Segunda condición de funcionamiento

Para lograr la limpieza del desarenador, el flujo que se establezca debe ser de régimen rápido y con velocidad suficiente de arrastre, pero no debe ser tan alta que ocasiona erosión a lo largo del canal o socavaciones al pie de la descarga.

Para fijar la pendiente que garantiza la velocidad de arrastre suficiente se pueden considerar dos casos :

- a) Se cuenta inicialmente con el gasto normal de derivación.
- b) Se tiene un gasto mayor que el normal de derivación.

Para el primer caso se tiene :

$$Q = vA \quad \text{y para sección rectangular } A = bd$$

$$\text{luego : } Q = vbd \quad \text{de donde } d = \frac{Q}{vb} \quad \text{y también } r = \frac{A}{P} = \frac{bd}{b+2d}$$

con lo anterior y utilizando la expresión de Manning $v = \frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$

de donde $v = \left(\frac{Q}{n} \right)^{3/2} r^{-2}$

Para el segundo caso :

$A = bd$ (siendo d la altura del orificio en el canal desarenador)

$$P = b + 2d \quad \text{y} \quad r = \frac{bd}{b + 2d}$$

y según Manning la velocidad valdrá $v = \frac{1}{n} S^{1/2} R^{2/3}$

La pendiente calculada en el primer caso será la correcta cuando esta velocidad quede entre los valores límites de las velocidades que se adopten como máximas y mínimas del flujo en el desarenador.

3.4 Obras complementarias

Se tratará únicamente la obra de seguridad en el canal principal. La estructura limitadora típica se muestra en la fig. No. 12 aunque en México se emplea en la mayoría de las presas el limitador de gasto con pantalla, que es un muro que se coloca al final del vertedor y normal al escurrimiento, con un orificio que puede ser igual a la sección hidráulica del canal para el gasto normal.

El funcionamiento de esta pantalla es el siguiente: se fija la cresta del vertedor a una altura arriba de la plantilla del canal igual al tirante normal más la carga h_n necesaria para el funcionamiento del orificio. Al presentarse en el canal un gasto mayor que el normal, será necesaria determinada carga para el funcionamiento del orificio, represándose el agua antes de la pantalla y consiguiéndose una carga sobre el vertedor que se traduce en la evacuación del gasto en exceso. La carga del vertedor depende mucho de las dimensiones del orificio y luego de una serie de ensayos variando las dimensiones de éste y calculando las del vertedor, permitirán adoptar la mejor solución.

A continuación se expone la secuela para el cálculo hidráulico de este limitador, partiendo del hecho de que las características del canal después de la obra de toma ya se tienen definidas:

- a) Resumen de datos
- b) Determinación del gasto máximo que puede pasar por la obra de toma al presentarse la avenida máxima de proyecto, del gasto máximo que no va a admitir escurrir por el canal después del limitador y consecuentemente el gasto que se va a evacuar por el vertedor.
- c) Cálculo de las características del canal después del limitador
- d) Determinación de las dimensiones del orificio que regulará el gasto en la obra limitadora y cálculo de la carga sobre el vertedor.
- e) Diseño del perfil del vertedor y descarga.

4. Cortinas vertedoras cimentadas ya sea cortinas vertedoras cimentadas en terreno o ve cortinas tipo indio, características.

El factor primordial que decidirá el tipo de cortina es el perfil geológico de la quebrada, que indicará el tipo de material sobre el cual se cimentará la estructura y conforme a este, el tipo de material adecuado para su construcción.

Si la geología de la quebrada muestra estratos resacas, ciertamente se puede construir una cortina de concreto con que se contará con una cimentación impermeable y resistente a la erosión y las socavaciones.

En el caso de una geología de estratos compuestos por gravas, bolos y cantos rodados (que es el caso de la mayoría de las cortinas de presas derivadores con finalidades de riego en las planicies costeras del País) se tiene entonces las dos alternativas: o cortina rígida o cortina flexible.

Primera alternativa.-Cortina rígida.

Si se construye una cortina rígida en este tipo de terreno para cimentación compuesta de materiales permeables, el agua filtrada produce una presión hacia arriba o sub-presión que obra en contra de la estabilidad de la cortina. La sub-presión y el peso propio de la cortina se combinan dando lugar a un efecto de flotación y por esto a este tipo de cortinas suele llamárselas flotantes.

Para aumentar la longitud de filtración en las cortinas y por lo tanto para disminuir la sub-presión, se emplean dentellones, ya sea de concreto o de arcilla, delante de concreto, taretes de arcilla compactada o rampestería o un sistema de lloraderos. Con este último se consigue cortar el recorrido de filtración.

El problema que se presenta en este caso es el siguiente:

Debido a que en la realidad los escurrimientos sobre el vertedor no son constantes, el tirante crítico tampoco, por lo que para unos caudales el agua hidráulica se abre y para otros se cierra, en variaciones cíclicas de este.

Lo anterior se traduce en que no se puede predecir un rango de variaciones de caudal hidráulico y mucho menos localizarlo para

prevenir el control de las socavaciones en la descarga producidas por la energía que lleva el agua al verter.

De esta manera, la construcción de un delantal rígido no es muy conveniente porque poco a poco se irá socavando la cimentación hasta provocar el volteamiento de la cortina.

Una solución aceptable es disipar la energía en la descarga con un trampolín libre o salto de esquí, diseñando una longitud de salto lo bastante alejada de la cimentación.

Segunda alternativa.-Cortina flexible.

Una alternativa más práctica al problema mencionado en el inciso anterior es la cortina flexible o tipo indio. Las ventajas que presenta son :

a) Con las variaciones de gasto en la cortina, el salto hidráulico estará oscilando en el paramento aguas abajo o al pie de la cortina, pero no se ahogará ni barrerá debido al talud muy extenso. El enrocamiento y sus cuadrículas de concreto de la cortina no permiten las socavaciones.

La relación que define al gasto con el tirante y su conjugado en el salto hidráulico es :

$$Y_c^3 = \frac{q^2}{g} = \frac{t_1 + t_2}{2} (t_1 t_2)$$

en donde :

Y_c = tirante crítico

q = gasto por unidad de ancho que pasa por la cortina vertedera

t_1, t_2 = tirantes antes y después del salto hidráulico, respectivamente.

g = aceleración producida por la fuerza de gravedad.

b) La trinchera al pie del paramento aguas abajo evita las socavaciones en esa parte.

c) Se eliminan casi por completo las sub-presiones en la cimentación por ser una cortina permeable en su cuerpo.

d) Las turbidaciones en la cimentación se eliminan con el

cepta las partículas finas de la cimentación que recorren el agua aún con poca velocidad.

5. Algunas consideraciones sobre construcción de presas derivadas.

Cimentación

a) Cuando se empleen drenes con filtros invertidos, aliviaderos, o tubos de drenaje como medios para contrarrestar las filtraciones subterráneas en el caso de una cortina rígida, los valores que se recomiendan para la relación de carga de filtración (C), pueden reducirse hasta en un diez por ciento.

b) Deberá tenerse cuidado durante la construcción de la cortina para que los dentellones se unan correctamente en sus extremos a fin de que el agua no pueda flanquearlos..

Canal principal

c) El tirante normal del canal de conducción se adopta considerando la topografía y geología en donde se ubique; por ejemplo no será la misma sección de un canal alojado en roca que lo de otro en tierra y además revestido.

El canal alojado en roca podrá tener sus paredes menos inclinadas y velocidad más fuerte, en cambio el otro, el talud de sus paredes será más tendido, su pendiente más suave, etc. Por lo tanto los tirantes en uno y otro caso variarán.

Por otro lado en los canales alojados en roca se procure disminuir los volúmenes de excavación reduciendo la sección y localizándola en talcón.

Vertedor

d) Los valores de la longitud de la cresta y su carga se eligen considerando las condiciones físicas del sitio para ubicar la cortina, previendo su costo, las excavaciones que se originan, la altura de los muros de protección y encauzamiento, etc. Por ejemplo, en ocasiones se tienen cauces muy anchos y habrá que definir si conviene construir la cortina vertedera en toda su longitud o bien construir un vertedor más corto y cerrar el cauce con muros macizos o terraplenes, según lo permita la geología de dicho cauce.

Lo que definirá adoptar una de las dos soluciones será el hecho de efectuar un estudio económico de ambas, además de considerar el funcionamiento hidráulico que se prefiera en cada caso.

Canal desarenador

e) Para facilitar el acceso del agua al canal, lo más práctico es cortar el terreno a fin de formar una banqueta desde el inicio del canal desarenador hacia aguas arriba, a una elevación que corresponda a la de la plantilla del desarenador, pero preferentemente un poco menor que esta elevación. Sin embargo, para definir el acceso (banqueta) habrá que considerar la ubicación del desarenador, así como otras características del sitio, tales como: tipo de materiales en la ladera, elevación de la plantilla del desarenador con relación al fondo del cauce, ancho del canal, etc.

En ocasiones debido a la topografía de la ladera y por la conveniencia de localizar el canal dentro de ella, una banqueta horizontal ocasionaría volúmenes de excavación grandes.

f) La pendiente que garantice un régimen rápido en el canal deberá adaptarse en lo posible al perfil del terreno, a fin de disminuir los volúmenes de excavación que se originan. En algunas ocasiones debido al desnivel existente entre el inicio del canal y su descarga, será necesario construir caídas o rápidas con colchones amortiguadores para disipar la energía cinética. En otras ocasiones el desarenador puede quedar localizado en tal forma que su descarga siga el mismo perfil del paramento de la cortina y será necesario por tanto construir un muro divisor o guía para impedir el paso de los acarreos hacia la zona de la cortina.

g) En otras ocasiones también, el desnivel entre el inicio del desarenador y su probable descarga puede ser escasa y entonces hay necesidad de darle un desarrollo mayor para que la descarga no sea tan inmediata y con peligro de propiciar su ahogamiento.

En lugar de esto último se puede aumentar la elevación de la plantilla del desarenador en su inicio, pero por supuesto aumentará también la elevación de la obra de tierra. Esta solución origina aumentar la altura de la cortina, muros laterales, etc, y por ello la adopción de una de estas alternativas dependerá del aspecto económico de cada una de ellas.

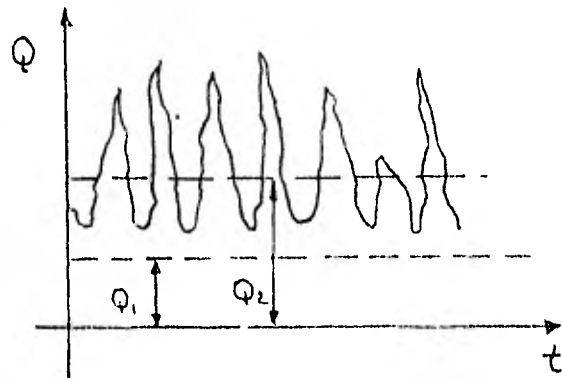


FIG. No. 1

Q_1 --- necesidades de agua --- presa de derivación

Q_2 --- necesidades de agua --- presa de almacenamiento

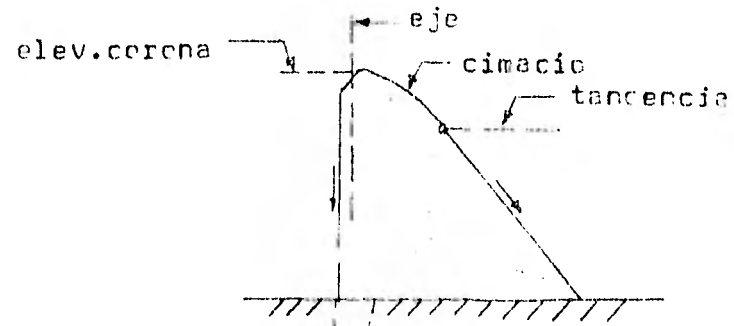


FIG. No. 2

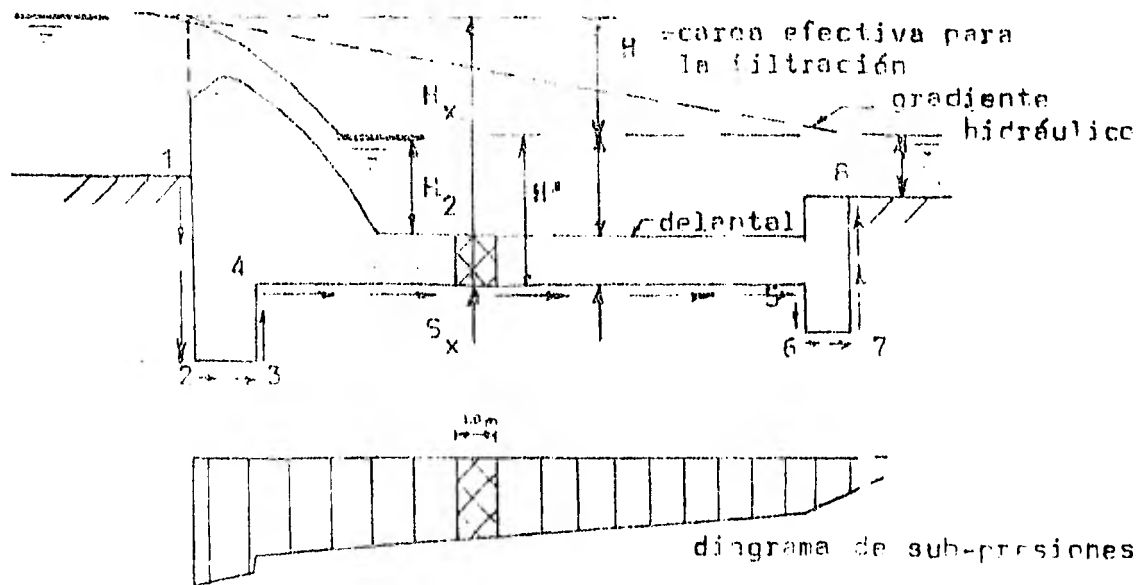


FIG. No. 3

CRITERIO DE FLIGHT

Material	Valores de "C"
Limo y arena muy fina	18
Arena fina	15
Arena de grano grueso	12
Grava y arena	9
Tierra o cascajo con arena y grava	4 a 6

CRITERIO DE LAPE

Material	Valores de "C"
Arena muy fina o limo	8.5
Arena fina	7.0
Arena tamaño medio	6.0
Arena gruesa	5.0
Grava fina	4.0
Grava media	3.5
Grava gruesa incluyendo cantos	3.0
Boleos con cantos y grava	2.5
Arcilla blanda	3.0
Arcilla de consistencia media	2.0
Arcilla dura	1.0
Arcilla muy dura	1.0

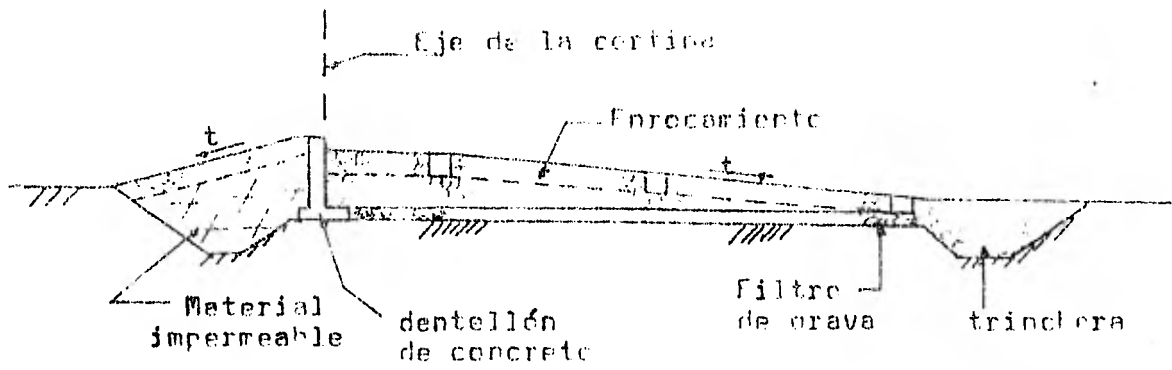


FIG. No. 5

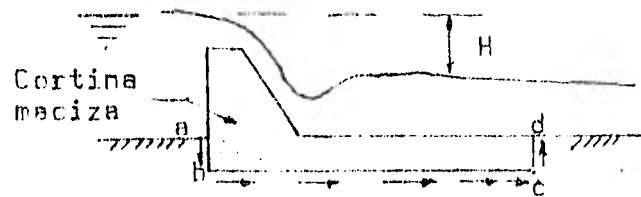


FIG. No. 6

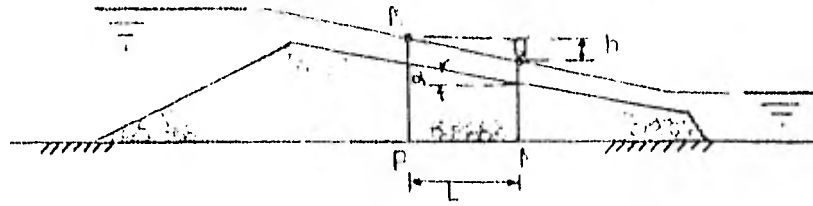


FIG. No. 7

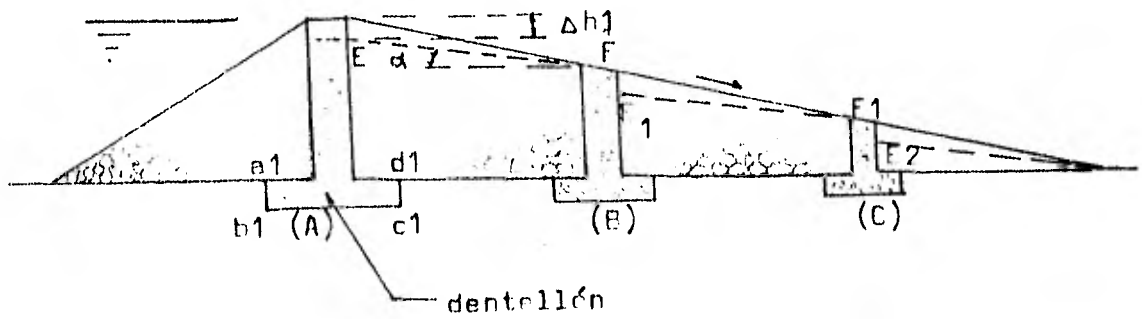


FIG. No. 8

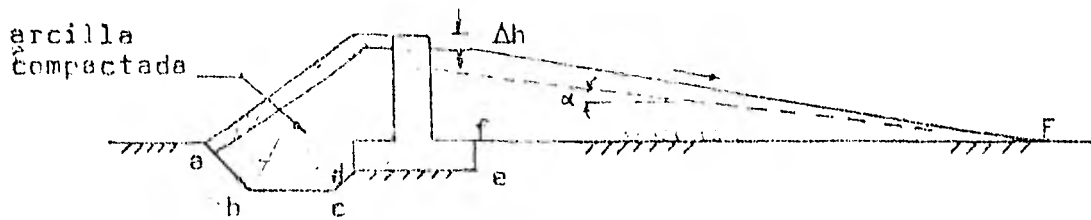
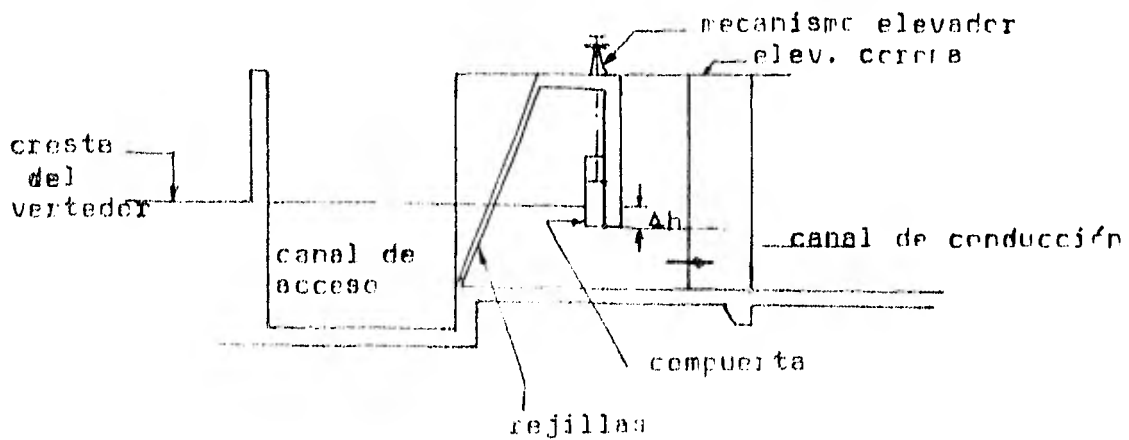
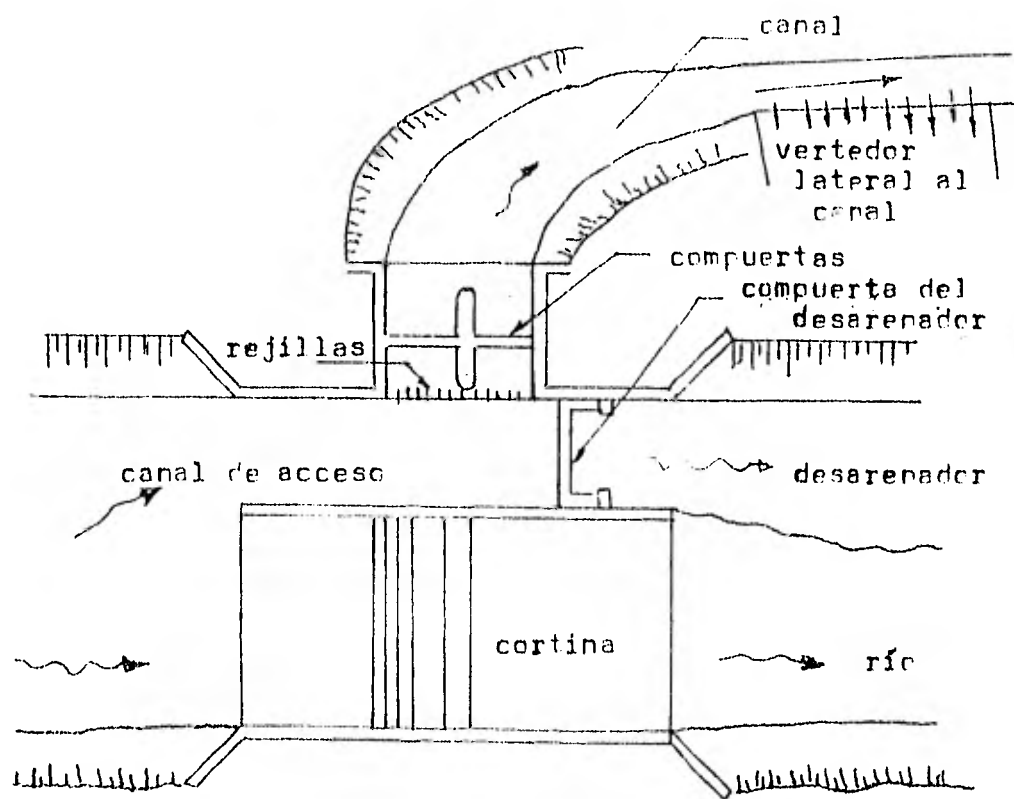


FIG. No. 9



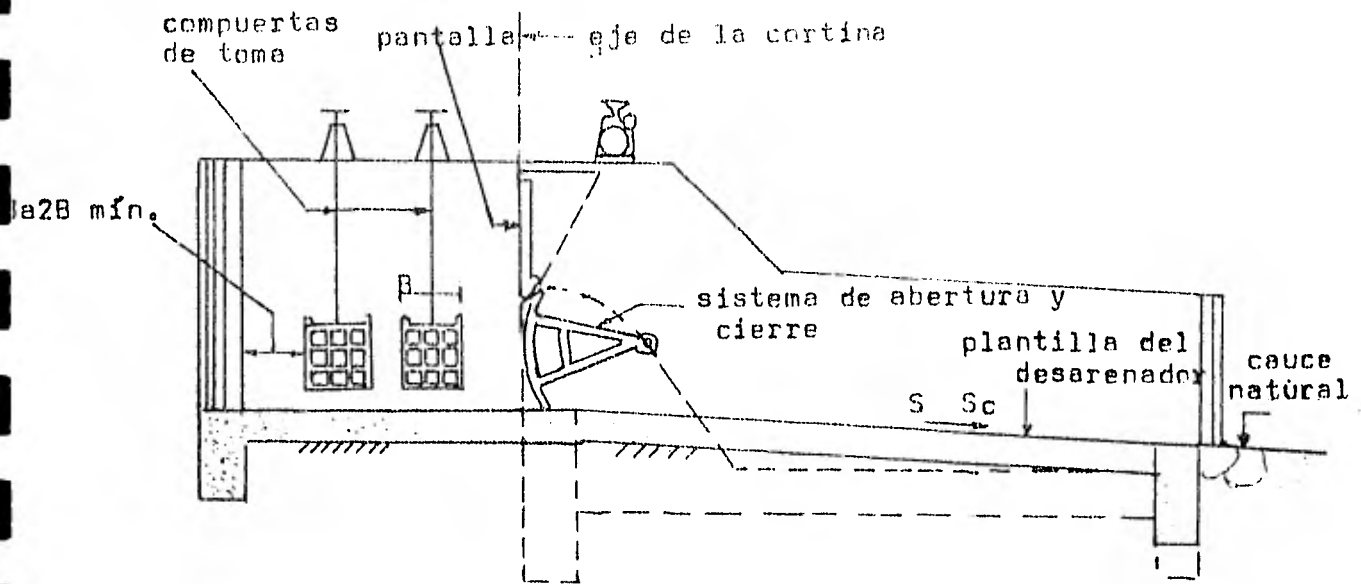


FIG. No. 11

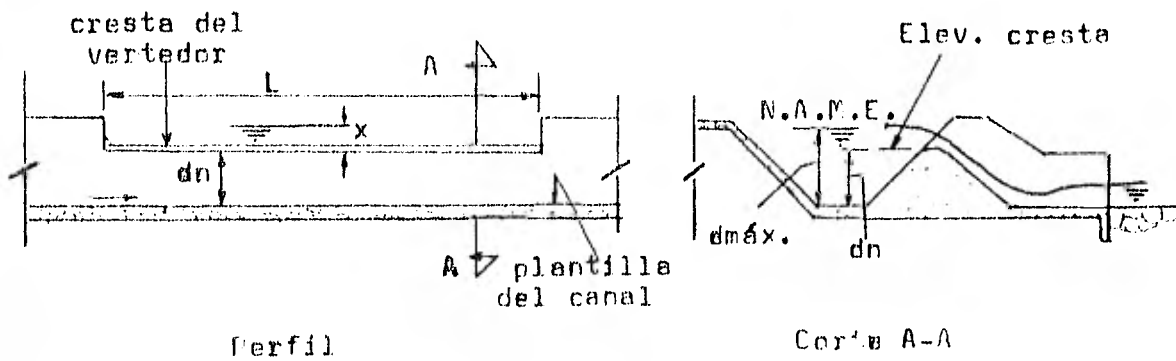


FIG. No. 12