

126



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"DIMENSIONAMIENTO DE LOS TALUDES DE UNA PRESA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTAN:
JULIETA RUIZ CASTAÑEDA
ARMANDO SAUCEDO HERNANDEZ

29/6/1970

M.I. REGINALDO JOSE HERNANDEZ ROMERO



MEXICO, D. F.

2001



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/071/00

Señores  
**JULIETA RUIZ CASTAÑEDA**  
**ARMANDO SAUCEDO HERNANDEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. REGINALDO JOSE HERNANDEZ ROMERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"DIMENSIONAMIENTO DE LOS TALUDES DE UNA PRESA"**

**INTRODUCCION**

- I. METODO DE ANALISIS**
- II. ESTRUCTURA ANALIZADA**
- III. ANALISIS DE ESTABILIDAD**
- IV. PLANEACION Y CONSTRUCCION**
- V. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cd. Universitaria a 27 de junio de 2000.

EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GER/GMP/mstg.

*Agradezco*

*A ti Dios mío*

*Gracias, por permitirme existir, por esos padres maravillosos, por mis hermanos, sobrinos, amigos y por esa mujer tan maravillosa que tengo a mi lado con quien ahora tenemos una razón más para darte gracias nuestro hijo. Gracias señor, por permitirnos culminar una más de nuestras metas, gracias por que fuiste tu quien puso los elementos, las personas y las circunstancias que nos permitieron culminar este logro.*

*A mis padres Alejandra y Carlos*

*Quienes para mí son las personas más maravillosas del mundo, quienes con sus consejos, ejemplo, empeño y esfuerzo han logrado la realización de esta gran meta. Sabiendo que jamás existiría una forma de agradecerles una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constantes, solo deseo que comprendan que este logro es de ustedes, que mi esfuerzo es inspirado en ustedes y que son y serán mi único ideal. Además gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas; la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. Por eso y por tantas cosas tan maravillosas que me han pasado en esta vida, este trabajo se los dedico a ustedes, mis padres, Alejandra y Carlos.*

*A mis dos ángeles*

*Mi esposa Julieta quien es la persona que en todo momento de esta trayectoria me supo apoyar, gracias por ser mi amiga y confidente, gracias por darme la dicha de ser padre de una criatura tan maravillosa, mi hijo Armandito, quien ahora me da fuerza y motivación para seguir superándome.*

*A mi ángel de la guarda, mi hermana Lupita*

*Sin duda la persona que siempre me ha apoyado incondicionalmente, gracias por estar siempre junto a mí, gracias por ser como eres, gracias por quererme tanto, gracias por ser como una madre, por eso, este logro también es tuyo.*

*A mis hermanos Alejandro y Carlos*

*Por el apoyo recibido y por aguantarme tantas cosas, por las alegrías y tristezas que nos toca vivir. La verdad es que me siento muy afortunado de tener dos hermanos como ustedes y espero de alguna forma poder corresponder ese cariño y paciencia que han tenido conmigo.*

*A mis sobrinos Dianita y Alejandro*

*Quienes de alguna forma han llenado mi vida de alegrías, y espero tener la satisfacción de ver que día a día se van superando como personas y como seres humanos. Los quiero mucho.*

*Gracias.*

*Agradezco*

*A mis padres: Bertha y José*

*Por que siempre me han apoyado en todas mis decisiones y han estado a mi lado cuando más los necesito; por que gracias a su educación y ejemplo he aprendido a apreciar todas las cosas que tengo; pero principalmente por ese amor que me dan día con día con el cual van llenando de felicidad mi vida.*

*A mi esposo: Armando*

*Por toda la alegría que ha traído a mi vida desde el momento en que lo conocí; por el amor y la paciencia que me tiene, por permanecer a mi lado en todo momento y por ayudarme a realizar todos mis sueños.*

*A mi hermana: Chary*

*Que siempre ha sido un ejemplo para seguir superándome.*

*A mi hermano: Pepe*

*Por que me ha permitido conocer que puedo ser un buena influencia para alguien.*

*Y a Ti Dios:*

*Por permitirme formar parte de esta familia, por mantenernos siempre juntos, por haber puesto en mi camino las herramientas necesarias para salir adelante; pero sobretodo por haberme dado la razón más grande del mundo para seguir viviendo: Armandito*

*Gracias.*

**DIMENSIONAMIENTO  
DE LOS TALUDES DE  
UNA PRESA**

# INDICE

## DIMENSIONAMIENTO DE LOS TALUDES DE UNA PRESA

### Introducción

I.- Método de análisis.....	1
I.1 Método de las dovelas diferenciales.....	6
I.2 Método estático y dinámico.....	12
I.2.1 Vacía.....	12
I.2.2 Llenado lento.....	12
I.2.3 Llenado rápido.....	12
I.2.4 Vaciado rápido.....	12
II.- Estructura analizada.....	15
II.1 Geometría y materiales.....	16
II.2 Ubicación y coeficiente sísmico.....	21
II.3 Parámetros de resistencia.....	22
II.4 Redes de flujo.....	24
II.4.1 Flujo establecido.....	32
II.4.2 Vaciado rápido.....	33
III.- Análisis de estabilidad.....	35
III.1 Sección original.....	36
III.1.1 Talud aguas abajo.....	36
III.1.2 Talud aguas arriba.....	37
III.2 Alternativa con bermas.....	37
III.2.1 Talud aguas abajo.....	38
III.2.2 Talud aguas arriba.....	39
IV.- Planeación y construcción.....	51
V.- Programa (Anexo).....	81
Conclusiones.....	92
Bibliografía.....	95

# **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCION

Se construyen presas para crear un lago artificial o derivar el río a una cota prefijada, con objeto de almacenar o captar los escurrimientos y regar tierras y generar energía, o bien, dotar de agua potable a poblaciones o centros industriales. También sirven para regularizar el flujo de una corriente que provoca inundaciones en predios y poblados. Dichas estructuras no siempre responden a solo una de las finalidades antes mencionadas, más bien se proyectan para funciones múltiples, coordinando los servicios de riego, electrificación y regularización de avenidas, con miras al desarrollo integral de una región.

De lo anterior se infiere que la presa es el resultado de un estudio general, en el que intervienen las características del río, la geología de la región, la existencia de sitios apropiados para crear el embalse y cimentar la obra, de tierras de labor o necesidades de energía en la región o bien de poblaciones que proteger o dotar de agua.

México es un País en el que no existe coincidencia entre la oferta de recursos hidráulicos y la demanda. En efecto mientras en una extensa zona el exceso de agua es una amenaza constante, en el resto del territorio la escasez de ese líquido es un continuo freno al progreso, pues las lluvias ocurren en cortos periodos de tres a cinco meses y no se presentan en el resto del año. Por otra parte, el 60% de la población vive por encima de los 1500 metros sobre el nivel del mar ocupando el 51% de la superficie, en donde solo esta disponible el 12% de todos los recursos del agua. Esta situación hace posible decir, sin temor a exagerar, que sin presas que regulen los escurrimientos naturales, no habría progreso en México.

Es importante mencionar que desde años atrás se han construido presas desde 5 m de altura hasta las que sobrepasan los 130 m; las que almacenan medio millón de metros cúbicos y las que sobrepasan los 18 millones; las que fueron construidas con procedimientos intuitivos en un pasado ya remoto y las terminadas recientemente con refinadas técnicas de la Ingeniería moderna. Esto es un ejemplo de los esfuerzos y dedicación de la Ingeniería que se ha venido desarrollando en el País.

Por lo importante que es el desarrollo de nuevas tecnologías para el diseño y construcción de estructuras que incrementen el bienestar de la sociedad, sin hacer a un lado el desarrollo de infraestructura como son puentes, carreteras, vivienda, etc., en este caso y por tal motivo se desarrolla en esta Tesis el diseño o dimensionamiento de los taludes de una presa de materiales graduados.

En Tema I, el cual lleva por título Método de Análisis, se expone en que consiste el método de las dovelas diferenciales, que es el método por medio del cual se llevará a cabo el cálculo de los taludes de la presa, así como las condiciones de llenado y vaciado de la misma (Presa vacía, llenado lento, llenado rápido, vaciado rápido).

El Tema II, titulado Estructura Analizada, se habla básicamente de las características físicas y mecánicas de la cortina de la presa, describiendo la geometría y materiales de la cortina, también se habla de los parámetros de resistencia de los materiales utilizados para

la construcción de esta, así como de las condiciones de flujo de agua a través de la cortina.

Para platicar del dimensionamiento de los taludes, con los que se construirá la cortina, se ha desarrollado el Tema III que lleva por nombre Análisis de Estabilidad. El contenido de este Tema, se enfoca básicamente al diseño de los taludes de la cortina mediante la ayuda de un programa de computadora. Este programa tiene que ser alimentado con datos previamente calculados, como son: datos de la geometría de la sección original de la presa, redes de flujo de agua para los casos de vaciado rápido o flujo establecido; este análisis debe realizarse aguas abajo y aguas arriba de la cortina.

Por último se tiene el Tema V que se refiere al procedimiento constructivo, el cual se ha desarrollado desde la etapa de planeación hasta la etapa de construcción. Dentro de lo que es la planeación se expone cuales son los puntos necesarios o que se deben tomar en cuenta para la construcción de una presa. En lo que se refiere al proceso constructivo se desarrolla desde la etapa de proyecto hasta la forma en que deben ser tratados los materiales, el lugar de la cimentación, las laderas, hasta la forma en como deben irse colocando los materiales.

# **I MÉTODO DE ANÁLISIS**

## 1 MÉTODO DE ANÁLISIS

Los métodos de estabilidad de taludes son análisis al límite para calcular la posibilidad de que se desarrolle un deslizamiento de tipo rotacional en el cuerpo de un talud: al igual que prácticamente todos los métodos de cálculo de estabilidad de taludes, siguen tres pasos fundamentales:

1. Se establece una hipótesis sobre el mecanismo de la falla que se producirá. Ello incluye tanto la forma de la superficie de falla como una descripción cinemática completa de los movimientos que se producirán sobre ella y un análisis detallado de las fuerzas motoras
2. Se adopta una ley de resistencia para el suelo. Con base a tal ley se podrán analizar las fuerzas resistentes disponibles.
3. Se establece algún procedimiento matemático de "confrontación", para definir si el mecanismo de falla propuesto podrá ocurrir o no bajo la acción de las fuerzas motoras, venciendo el efecto de las fuerzas resistentes.

Para el análisis de estabilidad de taludes, existen varios métodos, entre los cuales podemos mencionar:

### Métodos de estabilidad de taludes.

#### Método Sueco

Aplicado a taludes en la que se puede considerar como ley de resistencia la expuesta por Mohr-Coulomb

$$S = C + \sigma \tan \phi \quad (1.1)$$

Y en el caso de análisis que se hacen con esfuerzos totales para suelos situados sobre el nivel de aguas freáticas.

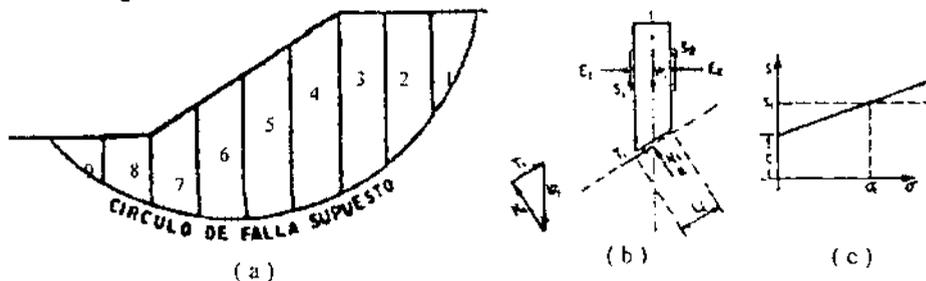


FIGURA 1.1  
PROCEDIMIENTO DE LA DOVELA

El método consiste en proponer un círculo de deslizamiento y la masa deslizante; delimitada por la frontera del talud y el círculo propuesto, se divide en dovelas (Figura I.1.a), de tal forma que en cada dovela sea posible conocer el conjunto de fuerzas que actúan (Figura I.1.b). Las fuerzas en cada dovela, al igual que las fuerzas actuantes en todo el conjunto de la masa deslizante, deben estar en equilibrio. Sin embargo, las fuerzas E y S, actuantes en los lados de las dovelas, dependen de las características de esfuerzo deformación del material y no se puede evaluar rigurosamente; para poder manejarlas es preciso hacer una hipótesis razonable sobre su valor

La Hipótesis más simple a este respecto es que el efecto conjunto de las cuatro fuerzas laterales es nulo, por lo tanto, esas fuerzas no ejercen ningún papel en el análisis; de hecho esta fue la hipótesis de Fellenius en el procedimiento de cálculo original que presento, que equivale a considerar que cada dovela actúa independientemente de las demás y que las componentes  $N_i$  y  $T_i$ , equilibran el peso  $w_i$ , de la dovela i-ésima, (figura I.1)

### Método de Jambu

Para taludes simples y homogéneos Jambu expresa el factor de seguridad asociados a círculos correspondientes a fallas por el pie del talud, y los expresa por medio de la fórmula:

$$F_s = \frac{NeC}{\gamma mH} \quad (1.2)$$

Donde Ne es un número de estabilidad que puede obtenerse de la figura I.2 a condición de conocer el valor del parámetro  $\lambda c\phi$ , el cual es calculado con la expresión:

$$\lambda c\phi = \frac{\gamma mH}{c} \quad (1.3)$$

Donde:  $\lambda$  = Peso volumétrico del material  
 $H$  = Altura del cuerpo del talud  
 $\phi$  = Angulo de fricción interna  
 $c$  = Cohesión del material

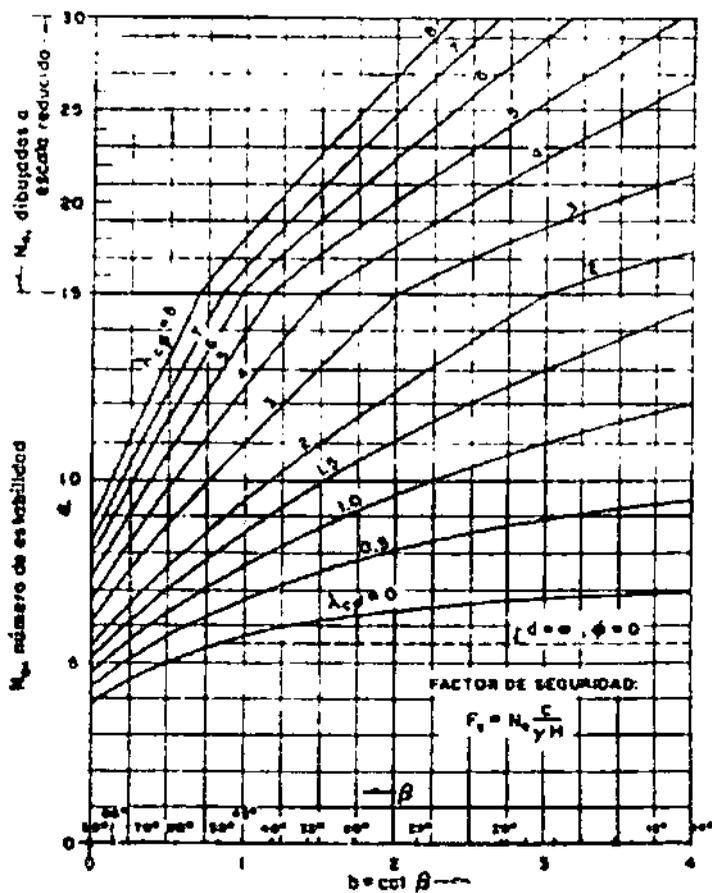


FIGURA 1.2  
NÚMEROS DE ESTABILIDAD ASOCIADOS A CÍRCULOS CRÍTICOS POR EL PIE DEL TALUD

Para conocer el centro de dicho círculo crítico se procede utilizando la figura 1.3 y las relaciones:

$$X = X_0 H \quad (1.4)$$

$$Y = Y_0 H \quad (1.5)$$

Donde  $X_0$  y  $Y_0$  se obtienen de la figura 1.3 y  $H$  es el desnivel o altura del cuerpo del talud.

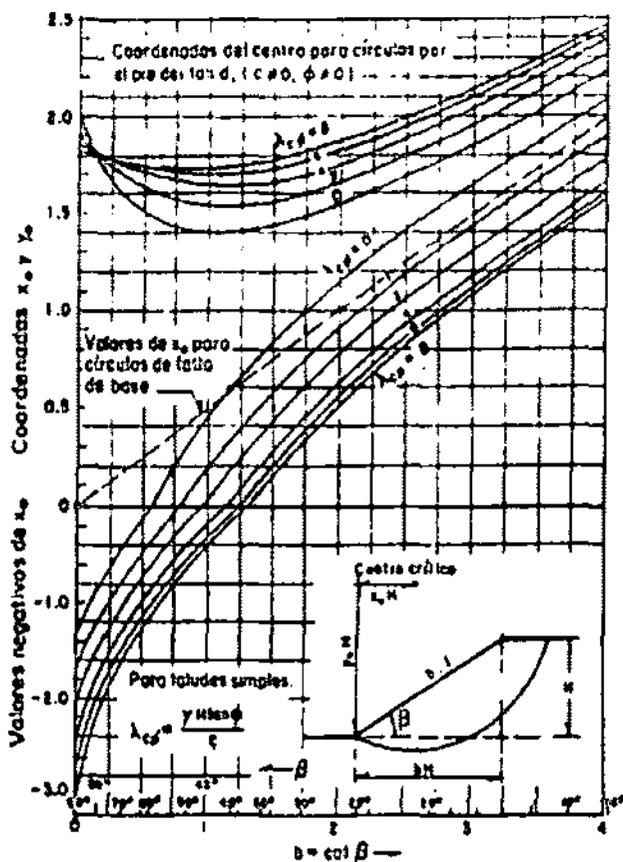


FIGURA 1.3  
COORDENADAS DE LOS CENTROS DE CIRCULOS CRITICOS POR EL PIE DE TALUD

Si se tiene que el suelo que forma el cuerpo del talud es cohesivo-friccionante, es posible determinar la proporción del factor de seguridad total, obteniendo la parte correspondiente a la parte cohesiva y lo mismo para la parte friccionante a partir de la figura 1.3.

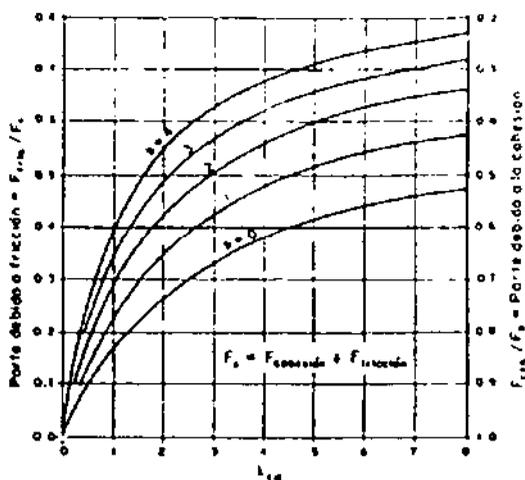


FIGURA L4  
CONTRIBUCION DE LA FRICCION Y LA COHESION AL FACTOR DE SEGURIDAD

Cabe mencionar que la gráfica y fórmulas anteriores se refieren solamente a taludes en que no hay presiones de agua en el interior del talud.

### L.1 MÉTODO DE LAS DOVELAS DIFERENCIALES

Además de los métodos mencionados existen muchos otros que bajo ciertas condiciones permiten conocer la estabilidad de una estructura de tierra de manera fácil o sencilla, entre ellos se tiene el Método de las dovelas diferenciales, el cual tiene la ventaja de que permite graficar y obtener rápidamente el factor de seguridad mediante una integración.

En forma muy general se describe dicho método.

Considérese una dovela, formada por secciones verticales que intersectan la superficie del terraplén y la línea de la superficie potencial de falla. Esta dovela tendrá un ancho diferencial "dx" y peso "dv", el cual descomponemos en sus componentes normal y tangencial ("dn" y "dt", respectivamente), que son fuerzas diferenciales normal y tangencial, actuantes en la base de la dovela diferencial, como se muestra en la figura L.5

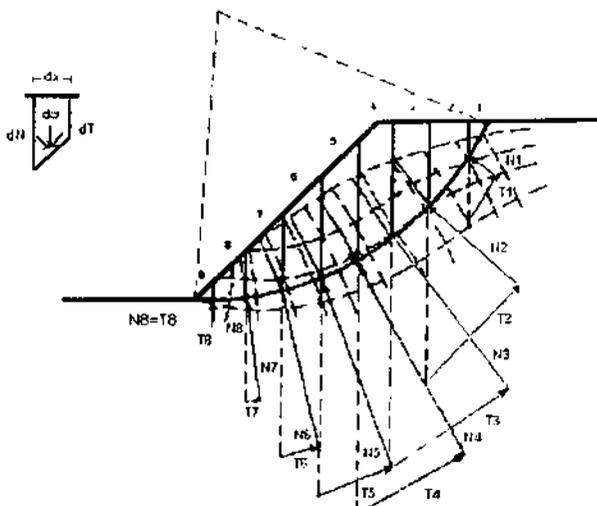


FIGURA 1.5  
FUERZAS NORMALES Y TANGENCIALES ACTUANTES EN LA BASE DE LA DOVELA

El factor de seguridad se define como:

$$F_s = \frac{M_r}{M_m} \quad (1.6)$$

donde:

$M_r$  = Momento resistente

$M_m$  = Momento motor

Si expresamos el momento resistente y al momento motor para la dovela  $x$ , por un ancho unitario se tiene:

$$dM_r = SRdL \times l \quad (1.7)$$

$$dM_m = Rdt \quad (1.8)$$

Donde el momento motor se obtiene a partir de las fuerzas actuantes en dicha dovela, y el momento resistente a partir de los parámetros de resistencia del suelo en cuestión.

Para el estudio de estabilidad en suelos es conveniente utilizar como ley de resistencia la proporcionada por Mohr-Coulomb, esta ley considera que el comportamiento es rígido-plástico, por lo tanto:

$$S = c + \tau \tan \phi \quad (1.9)$$

Donde:

$c$  = cohesión

$\sigma$  = esfuerzos efectivos

$\varphi$  = ángulo de fricción interna

Al sustituir la Ley de resistencia propuesta por Mohr-Coulomb en la ecuación del momento resistente (ecuación 1.6), tenemos que:

$$dM_r = (c + \sigma \tan \varphi) R dL \quad (1.10)$$

$$\text{siendo } \sigma = \frac{dN}{dL} = U dL \quad (1.11)$$

donde:

$$dN = dw \cos \theta = \gamma h \cos \theta dx$$

Si considerando la presión de poro se tiene:

$$\sigma = \frac{h\gamma \cos \theta - U dL}{dL} \quad (1.12)$$

Al sustituirlo en la ecuación 1.10, da como resultado que el momento resultante es:

$$\begin{aligned} dM_r &= \left[ \left( c + \frac{h\gamma \cos \theta - U dL}{dL} \right) \tan \varphi \right] R dL \\ dM_r &= [c R dL + (R h \gamma \cos \theta dx - R U dL)] \tan \varphi \\ dM_r &= R (c dL + h \gamma \cos \theta dx - U dL) \tan \varphi \end{aligned} \quad (1.13)$$

Por otra parte de la ecuación 1.8:

$$dM_m = dt R$$

en donde:

$$dt = dw \sin \theta = h \gamma \sin \theta dx$$

Se tiene que el momento motor es:

$$dM_m = R h \gamma \sin \theta dx \quad (1.14)$$

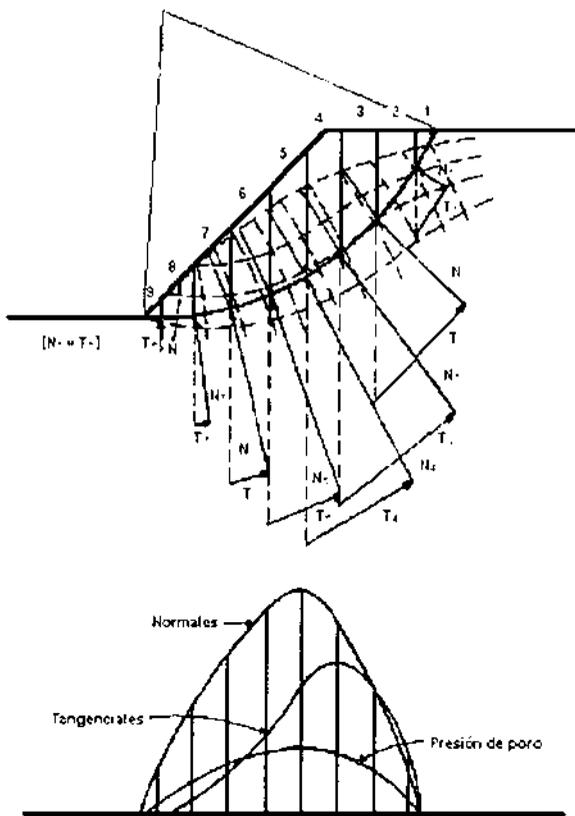
El factor de seguridad (ecuación 1.6) para la dovela diferencial a partir del momento motor (ecuación 1.10) y del momento resistente (ecuación 1.13) es:

$$FS = \frac{\int_0^L cdL + \left( \int_0^L h\gamma \cos \theta dx \cdot \int_0^L UdlL \right) \tan \varphi}{\int_0^L h\gamma \sin \theta dx} \quad (1.15)$$

Para calcular el factor de seguridad de todo el cuerpo del talud considerando la superficie de falla propuesta, tendrá que sumarse el factor de seguridad obtenido para cada dovela, por lo que el factor de seguridad del talud, será entonces:

$$FS = \frac{\int_0^L cdL + \left( \int_0^L h\gamma \cos \theta dx \cdot \int_0^L UdlL \right) \tan \varphi}{\int_0^L h\gamma \sin \theta dx} \quad (1.16)$$

En estas ecuaciones puede observarse que cada una de las integrales son áreas por lo que la obtención del factor de seguridad puede obtenerse gráficamente, para lo cual, el área bajo las curvas se puede medir con un planimetro o bien integrarse por incrementos finitos. (Figura 1.6)



**FIGURA 1.6**  
**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AREA BAJO LA CURVA**

De acuerdo con las consideraciones anteriores, para resolver gráficamente la ecuación 1.16, se procede de acuerdo a la siguiente secuela:

1. Elijase un círculo de falla a través del cuerpo del talud
2. Dibújese un número arbitrario de secciones verticales a lo largo del probable círculo de falla propuesto, procurando escoger entre ellos, aquellos que pasen por los puntos de cambio de pendiente en el talud o por los puntos por donde cambia el material. Es conveniente pasar una sección por el centro del círculo de falla propuesto.

3. Por cada uno de los puntos elegidos trázese la vertical que intercepte al talud y al círculo, prolongándose hasta interceptar a una línea horizontal, dibujada previamente.
4. A escala, determínese la altura  $h$  del material comprendido entre el talud y el círculo de falla; para cada punto multiplíquese por el peso volumétrico para obtener el valor  $\gamma h$ ; pudiendo ser  $\gamma h$  formado de varias partes cuando se interceptan diferentes materiales con distinto peso volumétrico. El valor final de  $\gamma h$  será la suma de los materiales interceptados en la línea vertical que pasa por el punto en cuestión. Lívese al centro de cada sección a una escala arbitrariamente elegida, el valor  $\gamma h$  correspondiente y descompóngase cada uno de estos sectores en una componente normal y otra tangencial al círculo, utilizando como guía el radio del círculo.
5. Teniendo a escala los valores de  $\gamma h \cos \theta$  y  $\gamma h \sin \theta$ , represéntese gráficamente y a la misma escala sobre la línea horizontal AB, en la proyección del punto correspondiente. Uniendo todos los puntos así obtenidos con una curva se tendrán las integrales:

$$\int_0^L \gamma y \cos \theta dx \quad \text{e} \quad \int_0^L \gamma y \sin \theta dx \quad (1.17)$$

de la ecuación (1.16). De igual manera puede hacerse un diagrama de las presiones de poro, calculadas para cada punto a partir de la línea de saturación, previo trazo de la red de flujo, y se tendrá el área que representa a la integral

$$\int_0^L U dl \quad (1.18)$$

6. Mídanse, con un planímetro, todas las áreas bajo cada una de las curvas y se obtendrán así los valores de las integrales de la ecuación (1.16). El término CL es el producto de la cohesión por la longitud total del arco de círculo, medida gráficamente sobre el dibujo. Sustituyendo estos valores en la ecuación (1.16) se tiene el valor del factor de seguridad para el círculo analizado.

Este procedimiento gráfico es aún más rápido que el procedimiento de las dovelas y permite el ahorro de tiempo en la ejecución de los análisis de estabilidad de taludes.

## 1.2 MÉTODO ESTÁTICO Y DINÁMICO

La estabilidad de taludes deberá realizarse bajo las condiciones de carga estática y dinámica en los taludes de aguas arriba y aguas abajo de la presa, considerando las condiciones de nivel de embalse nulo (presa vacía), el nivel de operación (NAMO) y el nivel extraordinario (NAME); así como la variación súbita del nivel, ocasionado por un vaciado rápido.

Previas investigaciones han mostrado que es muy complicado hacer cálculos rigurosos de la influencia de las presiones de poro del agua en la estabilidad de los taludes, particularmente cuando el agua se filtra a través de los poros. Sin embargo; mediante suposiciones referidas a los esfuerzos efectivos, pueden obtenerse estimaciones aproximadas.

El análisis de las siguientes condiciones es útil en muchas ocasiones.

Caso I	Sumersión total.
Caso II	Vaciado Rápido.
Caso III	Flujo establecido.
Caso IV	Fuerza neutral de frontera cero.

El análisis de estas cuatro condiciones de frontera, las cuales se muestran en la figura 1.7, son obtenidas mediante el siguiente procedimiento, en el cual las fórmulas necesarias son:

$$F_s = \frac{N_c \phi C}{\gamma_d H} \quad (1.19)$$

$$\lambda_c \phi = \frac{\gamma_w H \tan \phi}{C} \quad (1.20)$$

Aquí los significados de  $\gamma_s$  y  $\gamma$  (peso unitario efectivo) son los siguientes:

Caso I	$\gamma_s = \gamma = \gamma' = \gamma - \gamma_w$
Caso II	$\gamma_s = \gamma = \gamma' = \gamma'$
Caso III	$\gamma_s = \gamma; \gamma' = \gamma - \frac{H' w + D}{H = D} \gamma_w$
Caso IV	$\gamma_s = \gamma = \gamma$

Donde:  $\gamma = \gamma_w$

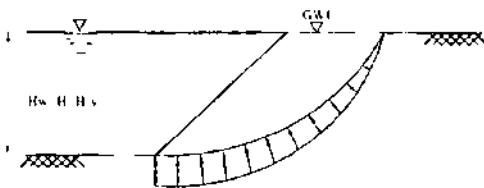
El valor numérico para el caso I, define un factor de seguridad como límite superior.

Durante el vaciado, los esfuerzos neutros son reducidos gradualmente, particularmente cerca de la cara del talud. Sin embargo, si la permeabilidad del suelo es baja y si el vaciado es instantáneo, la diferencia podría ser pequeña entre las áreas de los diagramas de los esfuerzos neutros a lo largo de la superficie de deslizamiento para el caso I y II.

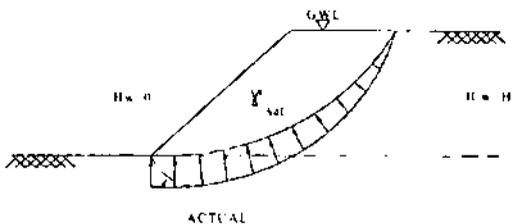
Entonces, si el peso unitario efectivo  $\gamma'$  es usado para el valor  $\gamma_c$ , de alguna manera se emplea una estimación conservadora del factor de seguridad. El caso II, define un factor de seguridad como límite inferior.

El valor de  $\gamma_c$  sugerido para la condición de flujo establecido bajo la superficie libre definida por  $H'w$ . El valor numérico de  $\gamma_c$  esta localizado entre  $\gamma'$  (caso II) y  $\gamma$  (caso IV). La fórmula lineal no es segura para la etapa intermedia entre el caso II y el caso IV, pero el margen de error debe ser pequeño, ya que la diferencia total entre los valores del factor de seguridad para los casos II y IV es relativamente pequeña.

Caso I Sumersión Total (Llenado rápido)



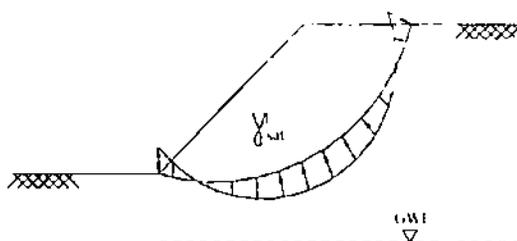
Caso II Vaciado rápido.



Caso III Flujo establecido (llenado lento)



#### Caso IV Fuerza neutral de frontera cero (Vacía)



**FIGURA 1.7**  
**CONDICIONES DE FRONTERA**

El caso I o llenado rápido se presenta cuando el nivel del agua está en el punto más alto de la estructura, es decir, para nuestro caso el nivel del agua, llega a sobrepasar el NAME, en este caso la carga hidráulica será igual a la altura que existe desde el nivel de la cimentación, hasta el nivel más alto del agua, presentando un diagrama de subpresión regular, siendo estas de mayor a menor desde la parte más baja, hasta la parte más alta, para este caso el material se encuentra saturado.

Caso II o Vaciado Rápido, las condiciones de este caso serán muy parecidas a las del Caso I, sólo que la consideración que se hace, es que el nivel del agua es cero, pero conservando las mismas características en cuanto a materiales y diagrama de subpresión.

Para el caso III o Llenado Lento o Flujo Establecido, el nivel del agua va subiendo paulatinamente, obteniendo con esto un diagrama de subpresión muy regular, presentando las mayores en la parte central de la superficie de falla y disminuyendo en forma gradual hacia los lados, el material que se encuentra por debajo del nivel del agua, se considerará saturado, mientras que el que se encuentra en la parte superior se considera seco.

Caso IV o Fuerza neutral cero o vacía, en el que se observa que el nivel freático se encuentra por debajo del nivel de cimentación, presentando la estructura un diagrama de presión equilibrado; el material del cual esta compuesto el talud se encuentra saturado.

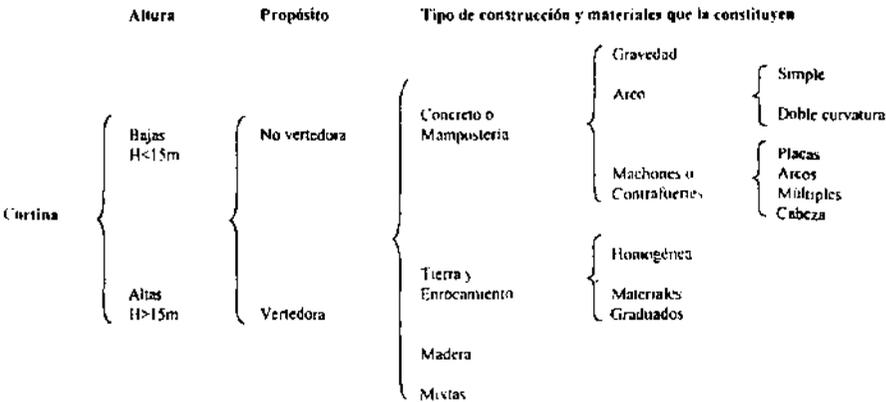
## **II ESTRUCTURA ANALIZADA**

## II.1 GEOMETRIA Y MATERIALES

El tipo de cortina que se estudio esta clasificada como una cortina de materiales graduados. Se ha dado este nombre a las presas en que los materiales se distribuyen en forma gradual, las cuales están compuestas en una zona central o corazón impermeable por suelos finos, con zonas semipermeables y zonas permeables.

Dependiendo de los materiales disponibles en la región, los respaldos de material permeable se pueden construir con gravas o enrocamiento de buena calidad. Las cantidades que de los diferentes materiales se colocan en el cuerpo de la cortina dependen en gran parte de la disponibilidad en la zona, de la economía y las características mecánicas de los mismos.

Las cortinas se pueden clasificar con referencia a: su altura, su propósito, el tipo de construcción y los materiales que la constituyen de la siguiente manera:



La seguridad de estas estructuras es una función de la estabilidad de sus taludes, en las diversas condiciones de trabajo, en donde el flujo de agua a través del cuerpo de las mismas desempeña un papel sumamente importante. Este tipo de presa ha sido el preferido por los ingenieros mexicanos, y en general la sección es simétrica.

La estructura analizada es una presa de materiales graduados, en donde esta perfectamente bien delimitados las zonas de enrocamiento, transición, filtro y corazón impermeable. Los taludes con los cuales se construye esta presa son 2:1, tanto en las ataguías como en los taludes del cuerpo de la misma, la primera capa que se encuentra en contacto directo con el agua es el enrocamiento el cual tiene un espesor de 4.0 m, seguido a éste se encuentran las transiciones constituidas de grava-arena, una capa de suma importancia son los filtros, los cuales son construidos con un talud de 0.3:1 y un espesor de 2.0 m y por último se tiene el

corazón construido de material impermeable, el cual tiene los mismos taludes que los filtros. éste material impermeable tiene un espesor de 4.0 m en la parte superior y en la base tiene un espesor de 17.0 m (Figura II.1).

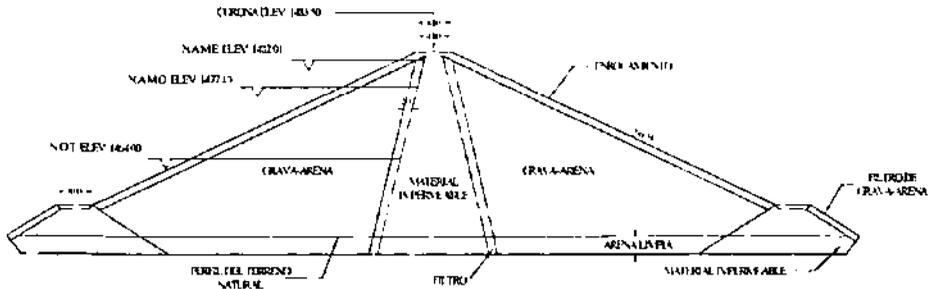


FIGURA II.1. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CORTINA

En la figura II.2 se muestra una vista general en planta de la cortina, en donde observamos la corona en la parte central del dibujo, está localizada en la elevación 1483.50; en la parte superior e inferior de la figura se observan los taludes que lo componen (2:1). De igual forma se pueden observar una de las estructuras que se utilizaron para el desvío del cauce del río, estas son la Ataguías, las cuales tienen una elevación máxima en la cota 1455.50, con un talud igual al de la cortina. Cabe señalar que las elevaciones tanto de la cortina como de las ataguías se han calculado basándose en un estudio hidrológico el cual nos indica el máximo gasto o escurrimiento que pudiese presentarse en la cuenca.

Sobre la margen derecha se tiene la obra de toma, con acceso en la cota 1,464.00.

Del lado izquierdo se localiza la obra de excedencia, con acceso en la elevación 1,476.00. En la dirección del flujo podemos observar la cresta vertedora que tiene una longitud de 4.00 m y un ancho de 4.00 m; enseguida se observa una transición, la cual tiene 4.00 m de ancho a la entrada de ésta y a la salida un ancho de 2.50 m, y cuenta con una pendiente  $S = 0.195$ , ésta transición sirve básicamente para las cambios de velocidad. Posterior a esta transición le sigue un canal de salida con una pendiente  $S = 0.0444$  y un ancho de 2.50 m.

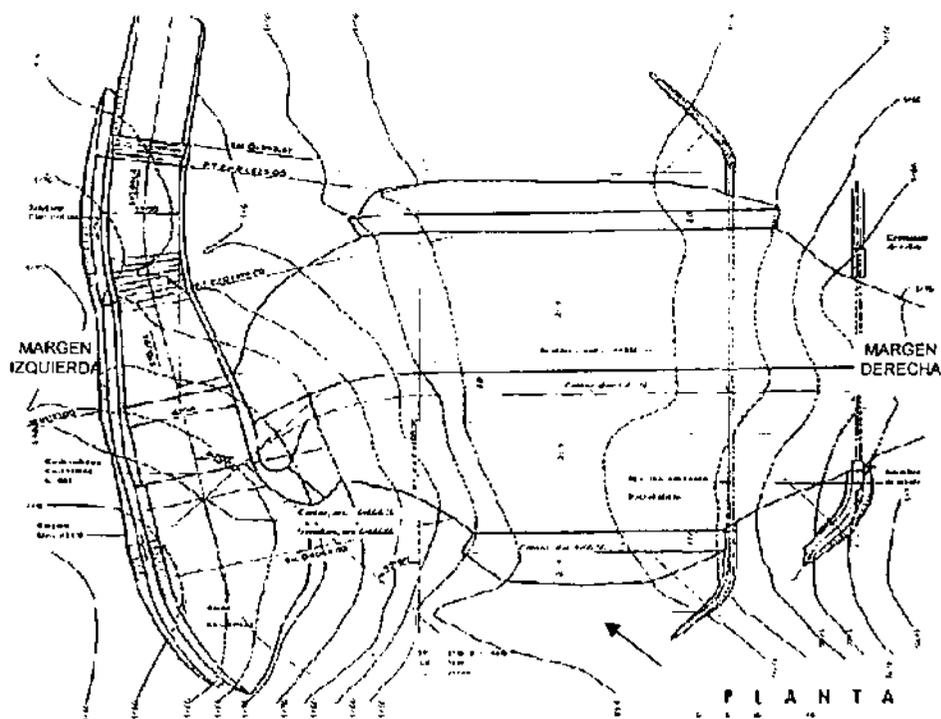


FIGURA II.2 VISTA EN PLANTA DE LA CORTINA

### MATERIAL PARA EL NUCLEO

Dentro de los materiales más importantes que se colocan en la cortina de una presa de tierra y enrocamiento se encuentra el material impermeable, que se coloca en el núcleo, el cual está constituido generalmente por materiales con baja permeabilidad, que de acuerdo a sus características es el material que contiene el cierre hidráulico de la cuenca.

En los materiales que se colocan en el núcleo se realizan estudios minuciosos en varios pozos y/o bancos para obtener el mejor material posible.

Obtenidas muestras de los pozos y/o bancos se someten a pruebas de granulometría para definir el porcentaje de grava, arena o finos que contiene el banco, así como la prueba de límites de consistencia como son límite líquido, límite plástico, pruebas de compactación, cálculo del coeficiente de permeabilidad, además de las pruebas triaxiales y de consolidación para el cálculo del ángulo de fricción interna, cohesión y deformabilidad de cada material.

Para nuestro caso se realizaron estudios en dos bancos, identificados como C1 y C3, a los cuales se les aplico una serie de pruebas en diferentes pozos.

En un estudio preliminar se encontraron materiales con un promedio de arenas de 10% y finos de 90%, limite líquido 50%, limite plástico 20%, prueba Proctor 1650 kg/m<sup>3</sup>, contenido de agua 23 %

## **MATERIAL PARA EL FILTRO**

En un estudio preliminar realizado por especialistas de campo y laboratorio se obtuvieron muestras de suelo, recopiladas de diferentes bancos, con el fin de encontrar el material que mejor reúna las características requeridas por el proyecto.

En uno de los muestreos realizados en el pozo número 22 a una profundidad de 0.0 a 1.90m se encontró material con características más o menos recomendables, en las cuales se tiene un 40% de gravas, 57.7% de arenas y un 2.0% de finos, presentando un peso volumétrico suelto de 1500 kg/m<sup>3</sup> y un peso volumétrico compactado de 2000 kg/m<sup>3</sup>. De igual forma se llevó a cabo el muestreo de diferentes pozos, encontrando características del material no aptas para los requerimientos del proyecto, con excepción del pozo número 23, el cual presenta características muy parecidas a las del pozo número 22, excavando a una profundidad de 0.0 a 2.0 m se encontró que estas muestras contenian un 17.0% de gravas, 82.0% de arenas y 1.0% de finos, por lo que se decidió seguir buscando un material óptimo que reuniera las características necesarias para el proyecto, conduciendo esto a la realización de un estudio definitivo, en el cual, dentro del mismo banco, pero en pozos diferentes, se encontró material a una profundidad de 0.0 a 2.7 m en el pozo número 31 material que reunía las características necesarias para este trabajo, presentando un 18.0% de gravas, 82.0% de arenas y 0.0% de finos con un peso volumétrico de 1630 kg/m<sup>3</sup> y un peso volumétrico compacto de 1870 kg/m<sup>3</sup>, con una permeabilidad de  $1.29 \times 10^{-4}$  cm/seg.

## **MATERIAL PARA EL RESPALDO**

De igual forma, para el material de respaldo, es necesario llevar a cabo una serie de estudios en diferentes bancos, si este fuera el caso, para encontrar el material que puede ser utilizado para la construcción de la presa.

En el caso del material de respaldo, generalmente está compuesto de grava-arena. Para la localización de este material fue necesario el ensaye y muestreo de una serie de pozos en dos diferentes bancos, a los cuales se les dio el nombre de GS1 y GS2. En estos dos bancos se llevaron a cabo dos tipos de estudios, uno llamado preliminar, el cual se hace para así tener una mayor seguridad de en donde se debe buscar el material ya que dentro de los bancos seleccionados para la búsqueda del material se encontrarán diferentes tipos de estos, con diferentes características. De los materiales obtenidos en el estudio preliminar se lleva

un control estadístico el cual refleja las características de cada uno y así poder decidir en cual de ellos se debe realizar el estudio definitivo.

Para nuestro caso, como ya se menciono antes, en el estudio preliminar se analizaron materiales de dos pozos, GS1 y GS2 del cual se obtuvo un peso volumétrico suelo promedio de 1600 kg/cm<sup>3</sup> y 1840 kg/cm<sup>3</sup> compactado.

Mientras que en el estudio definitivo se encontró un peso volumétrico suelo de 1800 kg/cm<sup>3</sup> en promedio y un peso volumétrico compactado de 1950 kg/cm<sup>3</sup>.

### PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS

C O N C E P T O		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
		Material Impermeable	Filtro Grava-Arena	Respaldo Grava-Arena	Enrocamiento
Densidad					
Peso Volumétrico Seco.	Ton/m <sup>3</sup>				
Contenido de Agua.	%				
Peso Volumétrico Húmedo	Ton/m <sup>3</sup>				
Peso Volumétrico Saturado.	Ton/m <sup>3</sup>				
Relación de Vacíos.					
Peso Volumétrico Seco.	Ton/m <sup>3</sup>		1.85	1.9	1.7
Contenido de Agua.	%				
Peso Volumétrico Húmedo	Ton/m <sup>3</sup>	1.85	1.9	1.925	1.75
Peso Volumétrico Saturado.	Ton/m <sup>3</sup>		2	2	1.9
Compactación.	%				
Grado de Saturación.	%				
Angulo de fricción Interna.	°	3	32	35	45
Cohesión.	Ton/m <sup>2</sup>	2.5	0	0	0
Peso Volumétrico Seco.	Ton/m <sup>3</sup>		1.85	1.9	1.7
Contenido de Agua.					
Peso Volumétrico Húmedo	Ton/m <sup>3</sup>	1.95	1.9	1.925	1.75
Peso Volumétrico Saturado.	Ton/m <sup>3</sup>	2	2	2	1.9
Relación de Vacíos.					
Compactación.					
Grado de Saturación.					
Angulo de fricción Interna.		14	32	35	45
Cohesión.	Ton/m <sup>2</sup>	2	0	0	0
Permeabilidad	cm/seg				

## 11.2 UBICACIÓN Y COEFICIENTE SISMICO

La selección del mejor lugar adecuado para un determinado tipo de presa, requiere de la consideración cuidadosa de cada tipo, en relación con los accidentes físicos del lugar y la adaptación a los fines para los que se supone que va a servir la presa, así como lo que respecta a la economía, seguridad y otras limitaciones que pueden existir. Algunos factores a considerar en la selección del lugar donde se construirá la presa son:

**Topografía:** La topografía, dicta en gran medida, la primera elección de el lugar para la construcción de una presa, así como el tipo de ésta. Una de las primeras preocupaciones es comunicar la zona de objeto de estudio con la red de caminos, ferroviaria o pluvial. Es necesario construir caminos de penetración, para transportar equipo ligero, provisiones y mantener contacto con las brigadas de estudio. Después de un reconocimiento terrestre o de preferencia aéreo, se fijan los monumentos básicos para apoyar los levantamientos topográficos. Es conveniente contar con una triangulación geodésica, la longitud de sus lados depende de las características del terreno (montañoso o plano, tipo de vegetación, etc.)

**Las condiciones geológicas y la cimentación:** Las condiciones de la cimentación dependen de las características geológicas y del espesor de los estratos que van a soportar el peso de la presa; de su inclinación, permeabilidad, y relación con los estratos subyacentes, fallas y fisuras. Es importante señalar que el proyecto para la construcción de una presa, en ocasiones resulta ser un costo demasiado excesivo, debido a que no se toma en consideración la elección de un buen lugar, el cual reuniera las características necesarias en lo que respecta a su cimentación

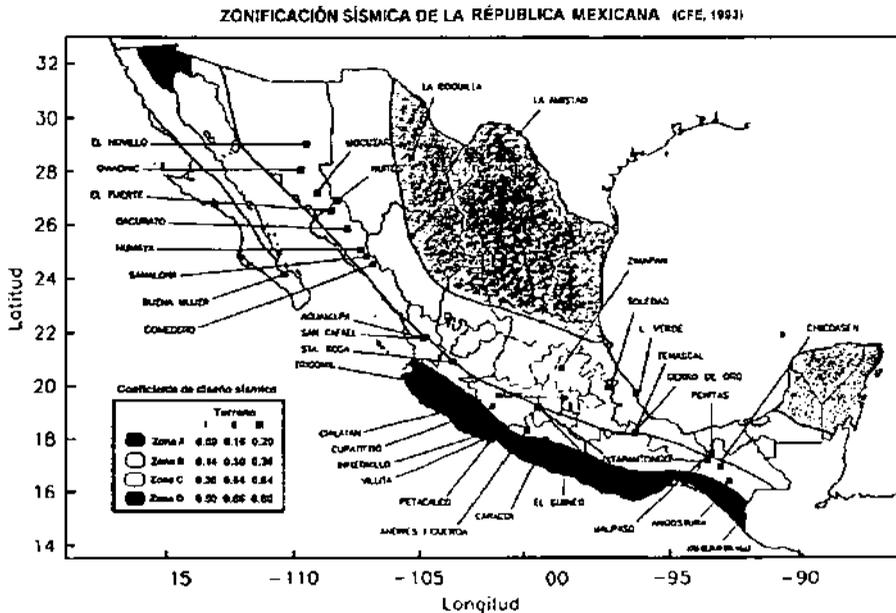
**Materiales disponibles:** Los materiales para las presas de varios tipos, que pueden encontrarse algunas veces cerca o en el lugar son:

1. Suelos para terraplenes.
2. Rocas para terraplenes y para enrocamiento.
3. Agregados para concreto (arena, grava, piedra triturada).

La eliminación o reducción de los gastos de acarreo de los materiales de construcción, especialmente de los que se utilizan en grandes cantidades, reducirán considerablemente el costo total de la obra. El tipo más económico de presa será con frecuencia aquel para el que se encuentren materiales en suficiente cantidad y dentro de distancias razonables del lugar.

El poder disponer de arena buena y grava para el concreto localmente, a un costo razonable y, además, dentro de la propiedad que se adquiriera para el proyecto, es un factor favorable para emplear una estructura de concreto. Por otra parte, si se pueden encontrar suelos buenos para una presa de tierra puede resultar la más económica. Deberán aprovecharse al máximo todos los recursos locales para reducir el costo de la obra sin sacrificar la eficiencia y calidad de la estructura final.

La presa que se estudiara se encuentra localizada en el estado de Guerrero, en el Río Papagayo, a 40 kilómetros de su desembocadura, por lo que el coeficiente sísmico con el cual se diseño fue de 0.50. Este valor fue tomado dependiendo de la ubicación de la estructura en un mapa de zonificación sísmica editado por CFE, el cual se muestra en la figura II.3.



**FIGURA II.3**  
**ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

### II.3 PARAMETROS DE RESISTENCIA

Los resultados obtenidos, al someter a una prueba rápida no consolidada al material, para la zona 1 o material impermeable; que generalmente se trata de arcillas o limos de baja compresibilidad, se obtuvo un peso volumétrico de  $1.85 \text{ ton/m}^3$ , un ángulo de fricción interna de  $3^\circ$  y cohesión de  $2.5 \text{ ton/m}^2$ , mientras que al aplicar a este mismo material una prueba rápida consolidada, se encontró un peso volumétrico húmedo de  $1.95 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico saturado de  $2.0 \text{ ton/m}^3$ , un ángulo de fricción interna de  $14^\circ$  y cohesión de  $2.0 \text{ ton/m}^2$ .

En lo que respecta a la zona 2 o filtro, éste está constituido de material pétreo Grava-Arena. De igual forma que al material de la zona 1, se le sometió a una prueba rápida y rápida consolidada, obteniendo resultados idénticos en las dos pruebas, siendo estos: peso

volumétrico seco  $1.8 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico húmedo  $1.9 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico saturado  $2.0 \text{ ton/m}^3$ , un ángulo de fricción interna de  $32^\circ$  y cohesión de  $0 \text{ ton/m}^2$ .

Zona 3, Respaldo, construido de material grava-arena, cuyas características de los materiales se encuentran un poco arriba de las del filtro, teniendo con esto, tanto para la prueba rápida como para la prueba rápida consolidada, resultados iguales. Se tiene con esto un peso volumétrico seco  $1.9 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico húmedo  $1.925 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico saturado  $2.0 \text{ ton/m}^3$ , un ángulo de fricción interna de  $35^\circ$  y una cohesión de  $0 \text{ ton/m}^2$ .

Por último, la zona 4 o enrocamiento, la cual se encuentra en contacto directo con el agua. también se le aplicaron las mismas pruebas antes mencionadas. obteniendo resultados idénticos en las dos pruebas (rápida y rápida consolidada), se tiene con esto un peso volumétrico seco  $1.7 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico húmedo  $1.75 \text{ ton/m}^3$ , peso volumétrico saturado  $1.9 \text{ ton/m}^3$ , ángulo de fricción interna de  $45^\circ$  y cohesión de  $0 \text{ ton/m}^2$ .

## 11.4 REDES DE FLUJO

La condición de flujo, de un flujo establecido a través de suelos isotrópicos queda representada por la ecuación diferencial de Laplace:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (2.1)$$

Donde  $h$  es la carga hidráulica y "x", "y" y "z" son las coordenadas correspondientes en un sistema tridimensional.

Para el caso más común en presas, el problema de flujo se puede simplificar en un sistema bidimensional, por lo que la expresión anterior se reduce a:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (2.2)$$

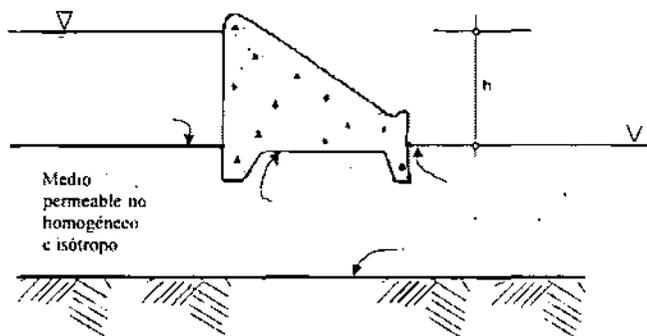
La solución a esta última ecuación está representada gráficamente por un par de familias de curvas que se intersectan entre sí en ángulos rectos. Esa solución, con las condiciones de frontera apropiadas, de la variación de la carga hidráulica y por tanto la dirección del escurrimiento en todo punto de la zona de flujo.

En hidromecánica estas curvas se conocen como líneas de flujo y líneas equipotenciales (de igual carga hidráulica) respectivamente.

El método gráfico ideado por Forchheimer presenta numerosas ventajas para resolver cualquier problema de flujo en dos dimensiones. Entre ellos están las siguientes que señala A. Casagrande:

- a) Durante el trazo de la red de flujo se pueden apreciar obviamente los cambios que se requieren en el diseño para mejorar la estabilidad y las condiciones de flujo (y en ocasiones también la economía) de la obra.
- b) Con un poco de experiencia en el trazo de las redes de flujo, los efectos de cambiar uno u otro detalle de diseño se pueden apreciar muy fácilmente sin necesidad de encontrar toda la red de flujo para diferentes secciones transversales; es decir, en un lapso de tiempo relativamente corto se pueden estudiar muchas alternativas que, con cualquier otro método, pueden requerir varias semanas de trabajo.
- c) El método desarrolla una cierta sensibilidad de la dirección del flujo que no solo mejora la rapidez y la aproximación con que se determinan las redes de flujo, sino que también propicia un mejor entendimiento de la hidromecánica del flujo de agua.
- d) Sirve para verificar o localizar errores de otros métodos.

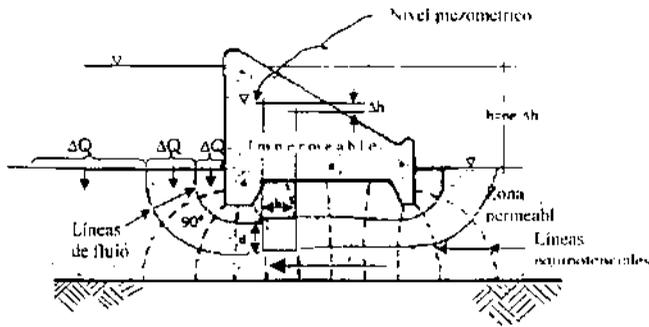
Se puede explicar en que consiste la red de flujo a través del planteamiento de un problema. Considérese por ejemplo el caso de una presa de concreto que tiene la siguiente sección transversal (figura II.3):



**FIGURA II.4**  
SECCION TRANSVERSAL DE UNA PRESA QUE SE APOYA SOBRE UN ESTRATO DE MATERIAL PERMEABLE.

Lo primero que debe uno procurar es establecer las líneas de frontera, es decir, definir las líneas equipotenciales y las de flujo que son frontera. Generalmente, la frontera con el estrato impermeable constituye la línea más larga de flujo, mientras que el contorno de la base de la estructura constituye en ocasiones la línea más corta. La línea de contacto entre el agua y el material permeable constituyen líneas equipotenciales.

Una vez establecidas dichas fronteras se proceden a trazar tres o cuatro líneas de flujo de manera que entre cada una de éstas se tracen las líneas equipotenciales que permitan que entre una y otra haya la misma caída de potencial. Es decir, si del número infinito de líneas de flujo escogemos sólo unas cuantas, de manera que entre cada dos de ellas pase una misma fracción de flujo  $\Delta q$ , y si del número infinito de líneas equipotenciales trazamos también sólo unas cuantas de manera que entre cada una de ellas y la que le sigue hay una misma fracción de caída de potencial  $\Delta h$  (la caída total es  $h$ ), la red resultante poseerá la propiedad de tener una relación constante entre los lados de los rectángulos que resultan (ver rectángulo sombreado de la figura II.5). Es decir:



**FIGURA II.5**  
**SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA PRESA CON LAS LÍNEAS**  
**EQUIPOTENCIALES Y DE FLUJO**

$$a/b = \text{constante} \quad (2.3)$$

En estas condiciones el gasto que pasa por cada canal de flujo es, de acuerdo con la ley de Darcy, el siguiente:

$$\Delta q = K i A \quad (2.4)$$

pero  $i = \Delta h / b$

Además si consideramos un ancho unitario  $A = a \times 1$ , y tomamos en cuenta que:

$$\Delta h = h / n^c$$

donde:  $n^c =$  número de caídas de potencial, de las ecuaciones (2.3 Y 2.4) se puede escribir:

$$\Delta h = q / n^f = (K h / n^c) a / b$$

donde  $n^f =$  número de canales que se forman entre cada dos líneas de flujo y  $q =$  gasto total que pasa por unidad de longitud.

Este gasto resulta entonces:

$$q = Kh n^f / n^c (a / b) \quad (2.5)$$

Si además hacemos  $a = b$ , se obtiene:

$$q = Kh (n^f / n^c) \quad (2.6)$$

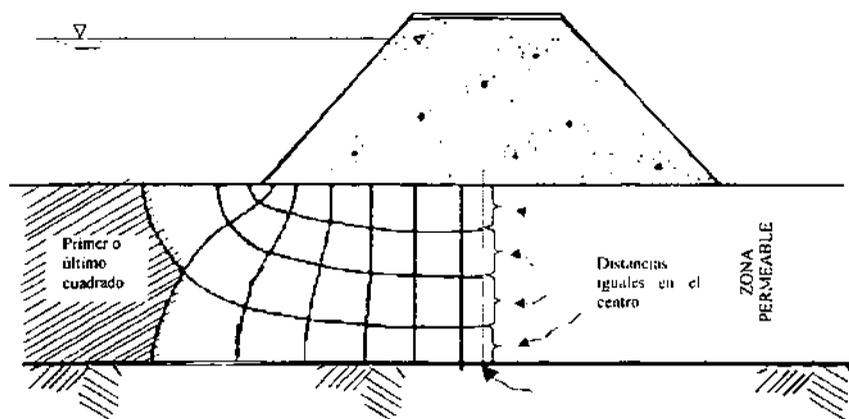
Cuando la red de flujo queda en estas condiciones, es decir, después de haber trazado un par de familias de curvas que se intersecan a  $90^\circ$ , formando cuadrados (curvilíneos) y satisfaciendo las condiciones de frontera, se habrá resuelto en forma gráfica la ecuación diferencial de Laplace (2.1).

A la relación  $n_t / n_e$  se le denomina factor de forma. Dicho factor lo representaba A. Casagrande con el signo de  $\$,$  es decir,  $q = Kh\$,$  la razón de ello, es que el factor de forma indica la cantidad de gasto que se puede fugar o se puede ahorrar en un proyecto, en función de los detalles que se cambien y consecuentemente en la red de flujo que resulte.

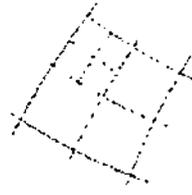
Reglas empíricas para la construcción de Redes de Flujo.

Para el trazo de la red de flujo, Casagrande dio las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar un papel sin rayado, es decir un papel en blanco.
2. Utilizar una escala adecuada.
3. Trazar 3 o 4 canales.
4. Utilizar un lápiz suave, manteniéndolo siempre con buena punta y trazar líneas delgadas.
5. La forma de las líneas de flujo debe ser elíptica o parabólica, las transiciones suaves.
6. Mover todo el brazo y no solamente la mano
7. Señalar las fronteras.
8. Buscar la simetría.
9. Cuando la red es lo suficientemente larga, como en el caso de una sección homogénea de una presa que se apoya sobre un estrato permeable, deberá haber distancias iguales en el centro (ver figura II.6).
10. Dar forma a los cuadrados; girar la hoja de papel y ver si los ángulos son de  $90^\circ$  y si son realmente cuadrados.
11. Si están bien hechos los cuadrados, al subdividirlos, se debe seguir teniendo cuadrados (ver figura II.7).
12. Buscar siempre la apariencia de toda la red de flujo: no tratar de ajustar detalles antes de que toda la red esté aproximadamente bien.



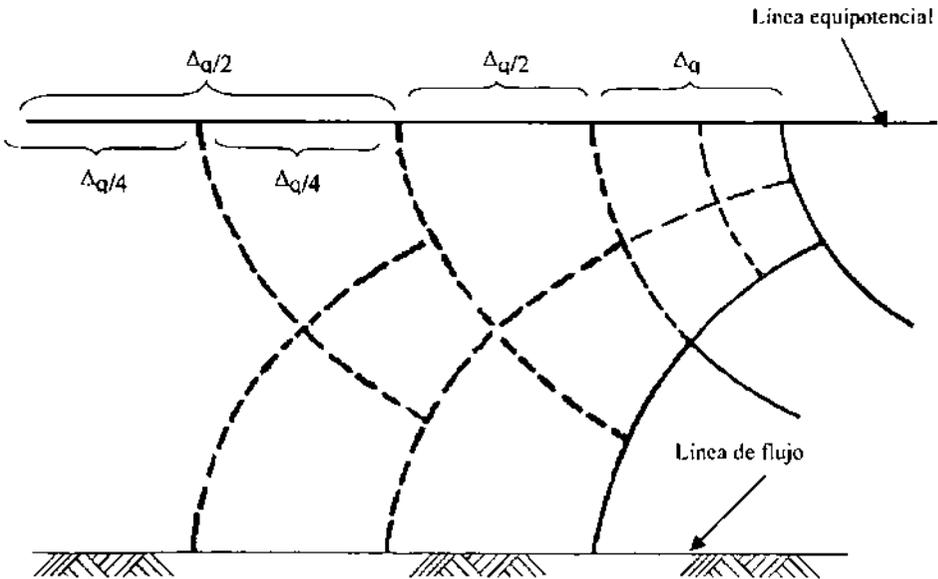
**FIGURA II.6 RED DE FLUJO QUE MUESTRA COMO DEBEN QUEDAR LAS DISTANCIAS IGUALES EN EL CENTRO Y CERCA DE EL, EN UNA SECCION RELATIVAMENTE LARGA**



**FIGURA II.7 CUADRO DE UNA RED DE FLUJO QUE AL SUBDIVIDIRSE DEBEN SEGUIR QUEDANDO CUADRADOS**

Existen algunos cuadrados dentro de la red de flujo que no parecen verdaderos cuadrados y algunos puntos de intersección donde aparentemente las líneas de flujo y las equipotenciales no se cruzan a  $90^\circ$ . Algunos de estos casos son:

- a) La línea equipotencial y la de flujo se unen en el infinito en cero grados; tal es el caso mostrado en la figura II.8

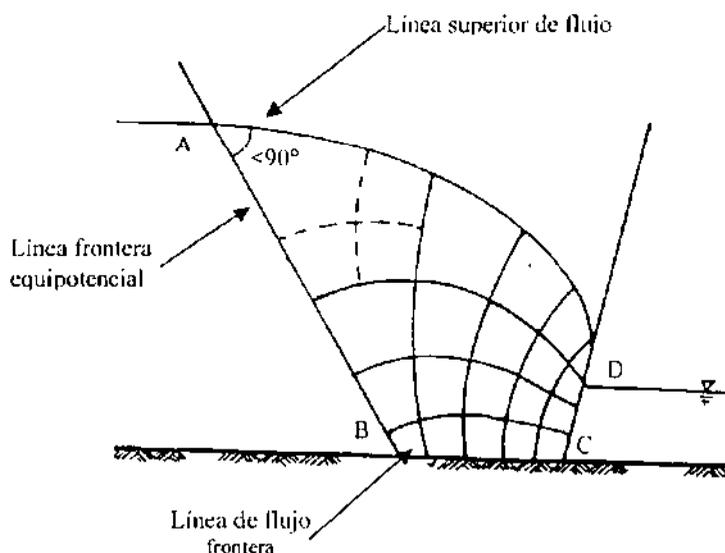


**FIGURA II.8 SUBDIVISION DEL ULTIMO CUADRO EN UN ESTRATO HORIZONTAL**

Como se puede ver en esta figura, al subdividir repetidamente el último cuadrado, el gasto correspondiente a la última subdivisión se va reduciendo y en el límite dicho gasto vale cero; o sea, la singularidad de que una de las líneas equipotenciales y una de las de flujo del último cuadrado no se intercepten, resulta que en el límite en esa última subdivisión no existe flujo de agua.

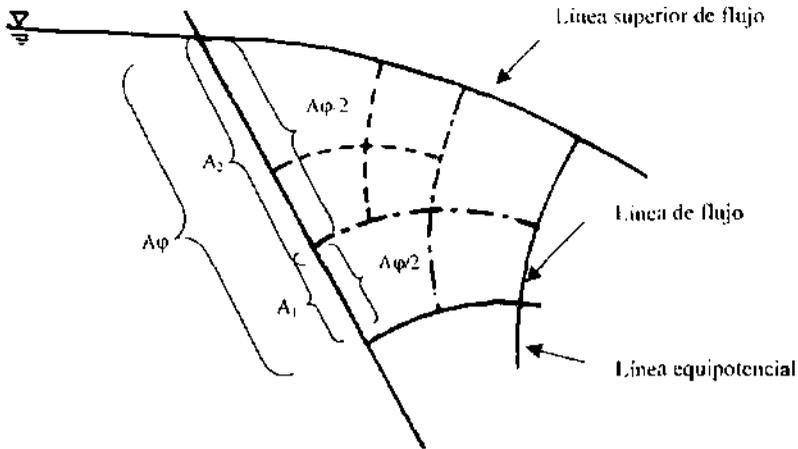
b) Cuadrados donde regiones de la frontera del suelo (que constituye una línea equipotencial y en la que hay entrada o salida de agua) se une con una línea de flujo formando un ángulo mayor o menor de  $90^\circ$ . Las figuras H.9, H.10 y H.11 ilustran estas regiones.

Como puede observarse en la figura H.9 en los puntos A, B y C, las líneas frontera de flujo y equipotenciales no se interceptan a  $90^\circ$  y los cuadrados en torno a ellos muestran una singularidad. Así, en el punto A, la línea superior de flujo y la línea equipotencial se interceptan en un ángulo menor de  $90^\circ$ , en este caso, al subdividir repetidamente este cuadrado se podrá observar que mientras el gasto se reduce a la mitad cada vez que se subdivide, el área del último canal subdividido tiene un área mayor que la mitad.



**FIGURA II.9 RED DE FLUJO DONDE SE TIENEN DIVERSAS CONDICIONES DE FRONTERA**

Superficie del agua



**FIGURA II.10 SUBDIVISION DEL PRIMER CUADRO DE LA RED DE FLUJO DE LA FIGURA II.6**

Tomando en cuenta que la velocidad de flujo esta dada por la siguiente expresión:

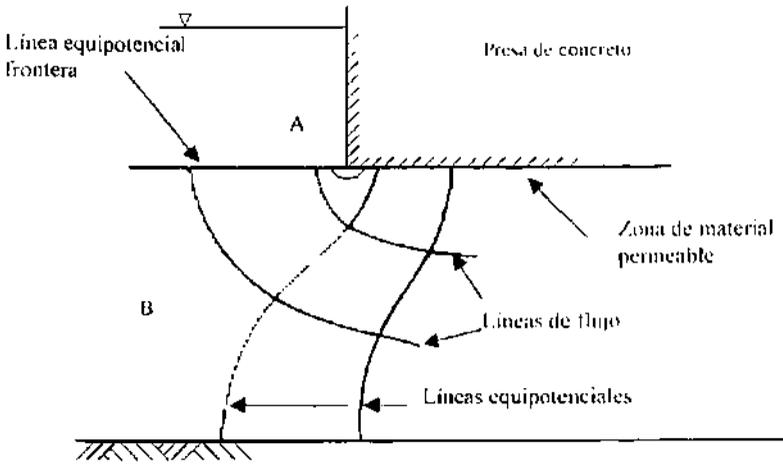
$$\text{Velocidad} = \text{Gasto} / \text{Area}$$

En el limite resulta que la velocidad en el punto A de las figuras II.9 y II.10 es cero. Este hecho es, precisamente, el que hace la singularidad de este cuadro.

Respecto a los cuadrados en los puntos B y C donde el ángulo con el que se interceptan las líneas equipotenciales y de flujo fronterizos es mayor de  $90^\circ$ , el efecto que resulta de subdividir esos cuadrados es el contrario al señalado en la figura II.10, y en este caso la velocidad en estos puntos es infinita.

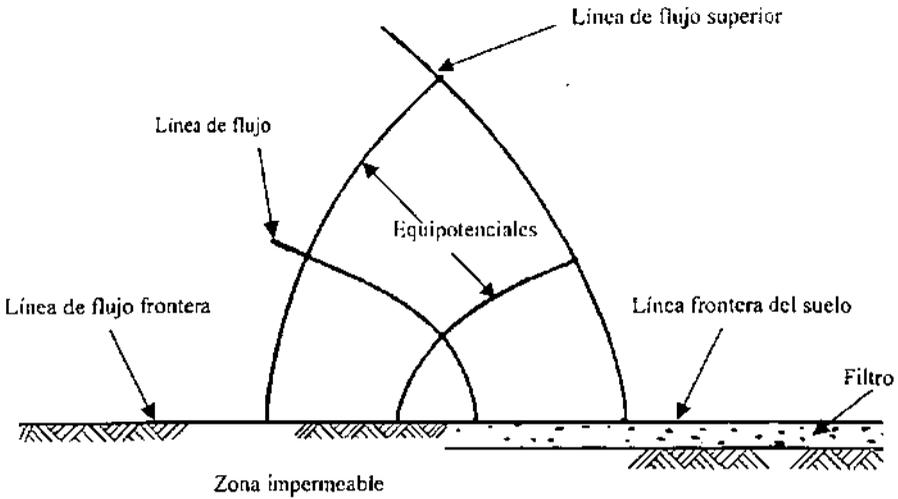
En los puntos donde teóricamente la velocidad es infinita, la velocidad real esta influida de el hecho que para esas velocidades el flujo es turbulento y la ley de Darcy ya no es válida, amén de que los cambios en la carga de velocidad ya no son despreciables. Además, en este caso, la ecuación diferencial de Laplace dada por la expresión 2.1, tampoco es válida y la red de flujo se desvía de la forma teórica. Sin embargo, las áreas afectadas son tan pequeñas que se pueden despreciar. En resumen, la velocidad que teóricamente es infinita, en realidad no lo es por lo antes señalado.

Otro ejemplo de singularidad se muestra en el ejemplo de la figura II.11, donde el ángulo entre las líneas equipotenciales y de flujo fronterizos es de  $180^\circ$  (punto A).



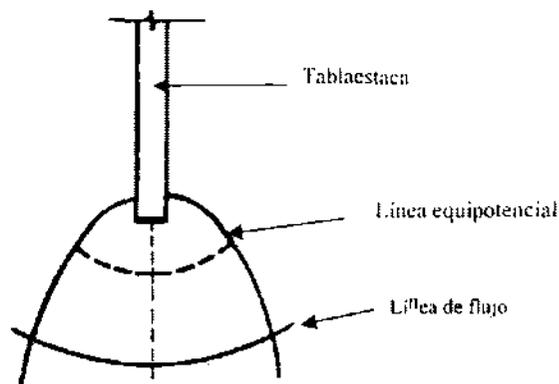
**FIGURA II.11 SINGULARIDAD DEL CUADRO EN TORNO AL VERTICE A**

Otro caso semejante al anterior es el correspondiente a la llegada de agua a un filtro horizontal, como el mostrado en la figura II.12. Este caso particular se conoce como la parábola de Kozeny.



**FIGURA II.12 PARABOLA DE KOZENY FORMADA SOBRE UN FILTRO HORIZONTAL**

Como se puede ver en la siguiente figura, siempre debe buscarse la simetría, particularmente donde se tienen tablaestacas o esquinas. Algunos detalles de cómo deben ir los cuadrados alrededor de estas zonas se ilustran en la siguiente figura II.13.

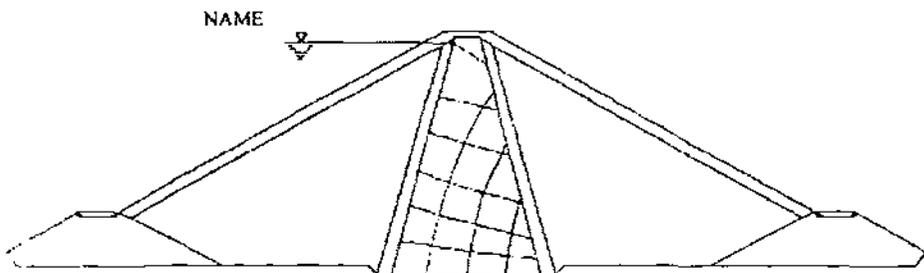


**FIGURA II.13 DETALLE DE UN CUADRADO ALREDEDOR DE LA PUNTA EN UNA TABLAESTACA**

#### II.4.1. FLUJO ESTABLECIDO

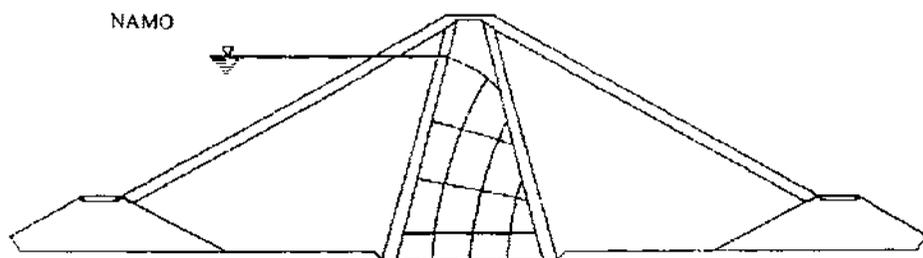
El flujo establecido se presenta cuando el nivel del embalse no muestra variaciones importantes y el gasto a través del suelo es constante, con esto en las redes de flujo se formarán canales de flujo regulares y las caídas de potencia serán iguales.

Para el caso específico de la sección propuesta, las redes de flujo establecido, tanto al NAMO como al NAME se muestran a continuación, las cuales se realizaron siguiendo las recomendaciones propuestas por A. Casagrande.



**FIGURA II.14  
RED DE FLUJO PARA FLUJO ESTABLECIDO AL NAME**

La red de Flujo Establecido al NAMÉ está compuesta por seis canales de flujo y seis caídas de potencial, en donde se tiene una carga total  $H=42$  m y cada caída de equipotencial es de 7 m.



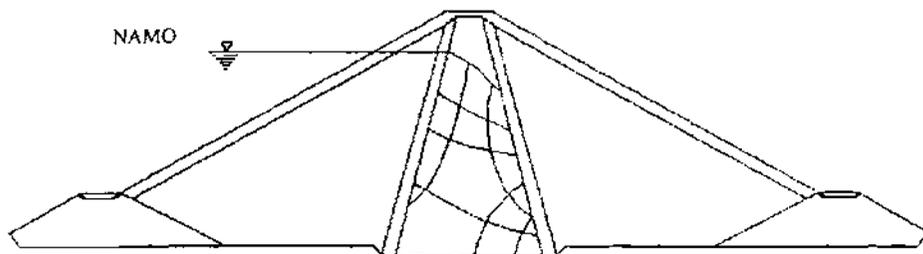
**FIGURA II.15**  
**RED DE FLUJO PARA FLUJO ESTABLECIDO AL NAMO**

La red de Flujo Establecido al NAMO esta compuesta por cuatro canales de flujo y cuatro caídas de potencial, en donde se tiene una carga total  $H=37.10$  m y cada caída de equipotencial es de 9.28 m.

#### II.4.2. VACIADO RAPIDO

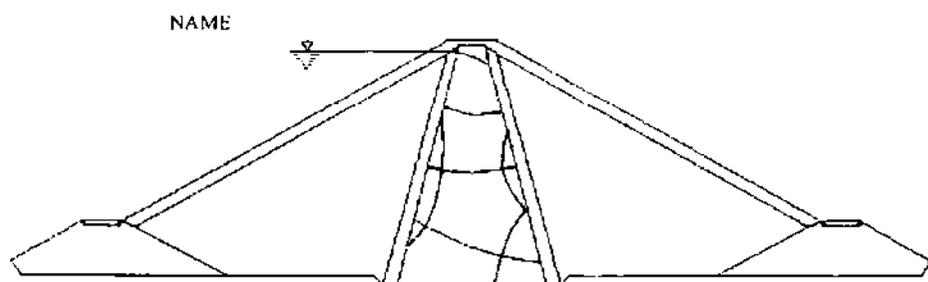
El vaciado como el llenado rápido se presenta cuando el nivel del embalse tiene una variación importante el cual se quiere vaciar o llenar lo más pronto posible, se dice que es vaciado o llenado rápido por que en ese momento no se forman canales de flujo ni líneas equipotenciales, ya que la única línea que se forma es la que va marcando el nivel del agua, además que la presión que actúa sobre esta línea es la atmosférica.

La red de Flujo vaciado rápido al NAMO esta compuesta por cuatro canales de flujo y seis caídas de potencial, en donde se tiene una carga total  $H=37.10$  m y cada caída de potencial es de 6.18 m. Se puede observar que el canal de flujo No. 3, tiene flujo de agua en dos direcciones, tanto para aguas arriba como aguas abajo.



**FIGURA II.16**  
**RED DE FLUJO PARA VACIADO RAPIDO AL NAMO**

La red de vaciado rápido al NAME está compuesta por cuatro canales de flujo y seis caídas de potencial, en donde se tiene una carga total  $11.42$  m y cada caída de equipotencial es de  $8.4$  m.



**FIGURA II.17**  
**RED DE FLUJO PARA VACIADO RAPIDO AL NAME**

# **III ANALISIS DE ESTABILIDAD**

### III.1 SECCIÓN ORIGINAL

De acuerdo a los niveles de embalse proporcionados por los estudios hidrológicos y basándose en la topografía con la que cuenta el sitio, donde se construirá la cortina, además que el sitio cuenta con un alto grado de sismicidad, hemos propuesto como primer intento una sección transversal de la cortina simétrica, este tipo de presa está clasificada dentro de las Presas de Tierra y Enrocamiento la cual tiene un talud de 2:1; éste talud se conserva hasta las transiciones, mientras que el núcleo tiene un talud de 0.5:1.65, con las características de los materiales antes mencionadas para cada una de las secciones que conforman a la cortina (Núcleo, Filtro y Transición), para la cual se realizó un análisis de estabilidad para el talud aguas abajo y talud aguas arriba.

El método utilizado para conocer la estabilidad de los taludes de la cortina es el llamado de Diferencias Finitas, el cual fue programado para fines de este trabajo. Los análisis estático y dinámico se realizaron con dicho programa.

Los valores permisibles de los factores de seguridad utilizados son los que proporciona la SRH y permitirán definir si existen posibilidades de falla.

#### III.1.1 TALUD AGUAS ABAJO

El análisis de estabilidad que se hizo al Talud aguas abajo se realizó con la ayuda de un programa de computadora, el cual se tiene que alimentar de una serie de datos referentes a las redes de flujo y las características de los materiales, que se encuentran en el talud en estudio.

Bajo la condición estática el factor de seguridad calculado es mayor que el propuesto por la SRH, mientras que los factores de seguridad obtenidos en los análisis considerando la sección original bajo condiciones sísmicas, tanto para flujo establecido como para flujo en vaciado rápido son las únicas que quedan por debajo de las permisibles.

Los resultados obtenidos en este análisis y comparados con los recomendados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para la presas son los siguientes:

Condición de Llenado	Factor Recomendado	Factor Obtenido
Vaciado rápido con sismo	1.15	1.10
Flujo establecido con sismo	1.30	1.15

En vista que para las condiciones dinámicas no se cumple con que los factores de seguridad sean mayores a los permisibles es necesario modificar la sección.

### III.1.2 TALUD AGUAS ARRIBA

De igual forma, al igual que el talud aguas abajo se analiza el talud aguas arriba con ayuda del programa de computadora, alimentando a este con los datos correspondientes. Una vez analizado este talud se obtiene los siguientes resultados:

Condición de Llenado	Factor Recomendado	Factor Obtenido
Vaciado rápido con sismo	1.25	1.20
Flujo establecido con sismo	1.40	1.30

Los factores de seguridad obtenidos en este estudio son menores a los recomendados, igual situación que en el análisis aguas abajo, por lo que se propondrá una sección transversal con taludes más tendidos para la cortina ó se colocarán bermas en otro nivel.

### III.2 ALTERNATIVA CON BERMAS

La falla del talud se presenta cuando se pierde o sobrepasa la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y para aumentarla es necesario colocar mayor peso al pie del talud.

Para explicar el efecto de la pérdida de la resistencia al cortante en el material que conforma al talud, nos apoyaremos en la figura III.1 a y b.

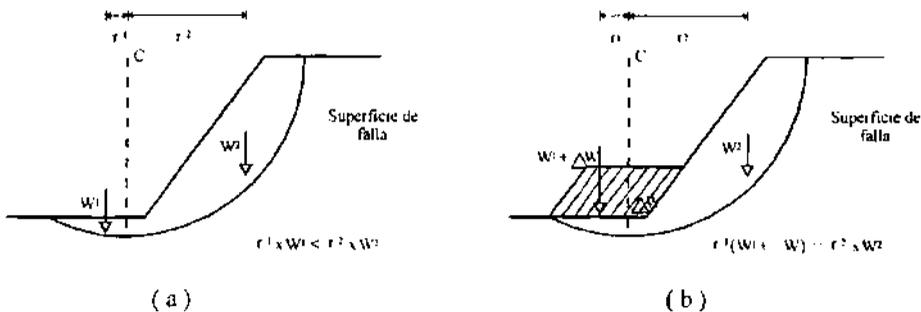


FIGURA III.1 TALUD CON BERMAS AL PIE DEL TALUD

Consideremos una superficie circular cilíndrica, definida por un centro y un radio que corta al talud definiendo en el plano un área, y una línea vertical que pasa a través del centro dividiendo ésta área en dos bloques, los cuales cuentan con un peso ubicado en el centro de gravedad de cada bloque ( $W_1$  y  $W_2$ ) y una distancia a partir de la línea vertical dibujada ( $r_1$  y  $r_2$ ).

Como consecuencia de tener una fuerza  $W$  y un brazo de palanca  $r$ , esto genera un momento. Se puede apreciar en la figura III.1 que el momento mayor resultara de multiplicar  $M_2 = W_2 \times r_2$ , debido a que  $W_2$  es mucho mayor que  $W_1$  al igual que  $r_2$  y  $r_1$ , por lo que al ser mayor  $M_2$ , provocará que el material presente un deslizamiento hacia el lado de  $W_1$ .

Para poder contrarrestar este deslizamiento, una solución es compensar el peso de  $W_2$  y la solución a éste problema es colocar un peso adicional en el pie del talud ( $\Delta W$ ), a ésta estructura se le llama Berma (ver figura III.1 b). El peso de la berma ( $\Delta W$ ) deberá ser tal que el momento generado por  $W_2$  sea igual al de  $W_1$ , es decir, se debe cumplir la siguiente igualdad:

$$(W_1 + \Delta W)r_1 = W_2 r_2$$

Por los resultados obtenidos con la sección anterior propuesta se tiene la necesidad de proponer una nueva sección transversal con un talud más tendido. El talud que ahora proponemos es el de 2:0.75, por lo que las características de los datos con los que se alimentará el programa de computadora cambiarán (véase manual de procedimiento para el uso del programa de computadora para el cálculo de los taludes de una presa). Al igual que en el primer intento se analizarán los taludes aguas abajo y aguas arriba.

### III.2.1 TALUD AGUAS ABAJO

Una vez alimentado el programa con los datos necesarios de la nueva sección para el cálculo del factor de seguridad para los taludes propuestos se tienen los siguientes resultados:

Condición de Llenado	Factor Recomendado	Factor Obtenido
Vaciado rápido con sismo	1.15	1.20
Flujo establecido con sismo	1.30	1.35

Dados estos factores como resultado y comparándolos con los recomendados podemos decir que la sección propuesta es estable, por lo que sólo resta revisar que el talud aguas arriba también cuente con factores de seguridad iguales o superiores a los recomendados.

### III.2.2 TALUD AGUAS ARRIBA

Una vez que se corre el programa para el talud aguas arriba, se tiene:

Condición de Llenado	Factor Recomendado	Factor Obtenido
Vaciado rápido con sismo	1.25	1.27
Flujo establecido con sismo	1.40	1.43

Obtenidos los resultados en esta última comparación, se tiene una estructura totalmente estable en cuanto a la inclinación de sus taludes.

Al dibujar todos los círculos de falla analizados durante el estudio de la estabilidad del talud, aproximadamente 1500 en ambos taludes, se puede dibujar la envolvente de las superficies analizadas.

En la figura se presenta la envolvente de falla en ambos taludes, en donde se tienen factores de seguridad mayores al permisible.

Nota: La figura corresponde a la sección corregida con un talud en ambos lados de 2:0.75

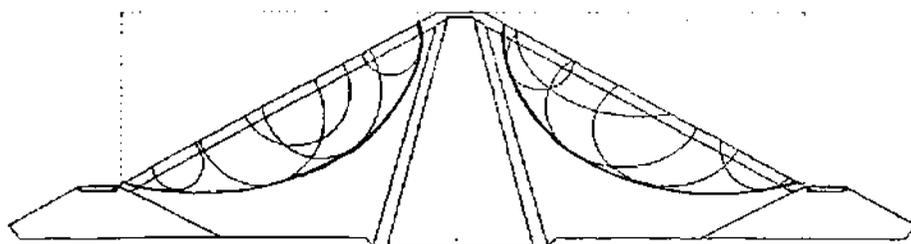


FIGURA III.2 ENVOLVENTE DE CÍRCULOS DE FALLA

## **Manual de procedimiento para el uso del programa de computadora para el cálculo de los taludes de una presa**

Para ejecutar el programa *slop-dif.exe* es necesario crear varios archivos los cuales contendrán información referente a la sección transversal propuesta de la cortina, el lugar de ubicación, las condiciones de carga bajo las cuales va a operar, las condiciones de flujo del agua de las diferentes condiciones que se deberán analizar y las propiedades de los materiales propuestos para la construcción de la cortina para las diferentes condiciones que se deben analizar.

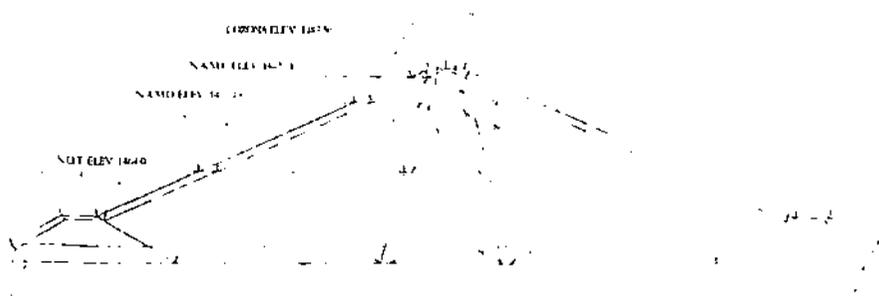
Los archivos necesarios para ejecutar este programa, de acuerdo al orden en que se van solicitando, son los siguientes:

**M-fe-mo.dat.-** Estos archivos contendrán información referente a las propiedades de los materiales, a las coordenadas de las líneas que forman cada sección con materiales de las mismas propiedades para las diferentes condiciones bajo las cuales trabajará la presa, el radio del círculo de falla propuesto y la sección en la cual ubicará el centro de este mismo. A este procedimiento le llamaremos la discretización del medio a partir de los puntos característicos.

El objetivo de este punto o procedimiento, es identificar los diferentes tipos de material que se encuentran en la cortina, tomando en cuenta las características en las que se encuentra cada uno de ellos (húmedo, seco o saturado), según sea el caso.

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. En un corte transversal de la sección máxima de la cortina, se enumeran todos y cada uno de los vértices o intersecciones entre línea y línea que forman a la sección. Esta numeración se hace tomando como primero, el punto o vértice que se encuentra más alejado del lado izquierdo.
2. La numeración debe ir en orden creciente de izquierda a derecha, (cambiando esta como ya se menciona en el punto anterior, en los vértices o en donde se note un cambio de material). Esta numeración terminará hasta que todos y cada uno de los vértices hayan quedado numerados (desde el inicio hasta el final).
3. Se procede a la formación de líneas, empezando siempre por el punto número uno y terminando siempre hasta el último punto, para nuestro caso será el punto número 35.



**FIGURA III.3**  
**PUNTOS GENERADORES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.**

4. A partir de los puntos que delimitan la geometría de la sección se procede a la formación de líneas, empezando siempre por el punto número uno y terminando siempre hasta el último punto, para nuestro caso será el punto número 35. La formación de líneas nos ayudara a delimitar los materiales y las condiciones de saturación en las que se encuentran estos.
5. Las líneas podrán superponerse en ciertas secciones, necesariamente, para poder delimitar algún tipo de material; pero nunca se podrá superponer una línea en otra en toda su longitud.
6. El sentido de la formación de estas líneas, será siempre en sentido positivo, con respecto al eje X.
7. Será necesario formar tantas líneas como las que se requieran para hacer la identificación de todos y cada uno de los materiales existentes en la cortina.

En la figura 3.1 se muestra como ejemplo la formación de algunas líneas, las cuales nos ayudarán a delimitar y a identificar las características de los diferentes materiales.

En la tabla 2.2 se muestra el tipo de material, el número y la cantidad de líneas que lo forman; esta tabla será de gran utilidad para la formación del archivo de datos de materiales según sea el caso, estos archivos son:

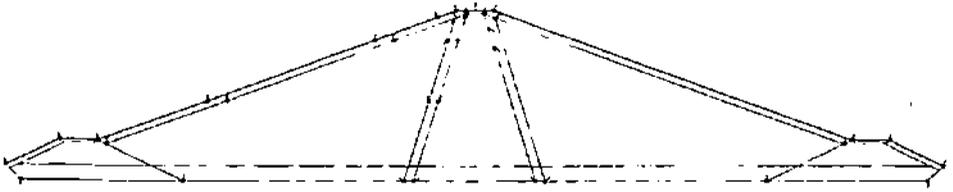
M-fe-mo.dat M-fe-me.dat M-vra-mo.dat M-vra-me.dat

No. de Material.	MATERIAL FORMADO	Lineas que forman el material
1	Enrocamiento de protección de seco, aguas abajo	Línea 1 y 2
2	Enrocamiento de protección de seco, aguas arriba.	Línea 2 y 3
3	Respaldo aguas abajo, seco	Línea 3 y 4
4	Atagüa aguas abajo, seco	Línea 4 y 5
5	Filtro aguas abajo, seco	Línea 5 y 6
6	Filtro aguas arriba, seco	Línea 6 y 7
7	Núcleo arriba de la red de flujo al NAME	Línea 7 y 8
8	Enrocamiento de protección entre NAMO y NAME	Línea 8 y 9
9	Respaldo entre NAMO y NAME	Línea 9 y 10
10	Filtro entre NAMO y NAME	Línea 10 y 11
11	Núcleo entre NAMO y NAME	Línea 11 y 12
12	Enrocamiento de protección entre NOT y NAMO	Línea 12 y 13
13	Respaldo entre NOT y NAMO	Línea 13 y 14
14	Núcleo entre NOT y NAMO	Línea 14 y 15
15	Enrocamiento de protección sumergido, aguas abajo del NOT	Línea 15 y 16
16	Respaldo sumergido, aguas abajo del NOT	Línea 16 y 17
17	Núcleo abajo del NOT	Línea 17 y 18
18	Atagüa aguas arriba	Línea 18 y 19
19	Núcleo en red de flujo al NOT.	Línea 19 y 20

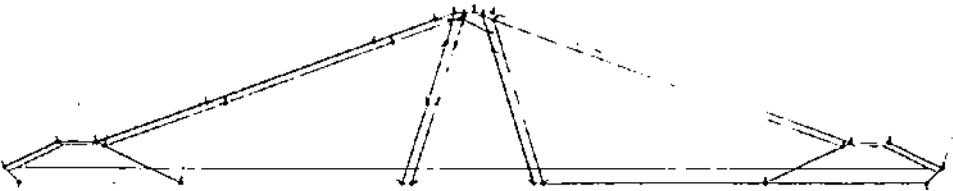
TABLA I.1

TOPOLOGIA DE LOS MATERIALES

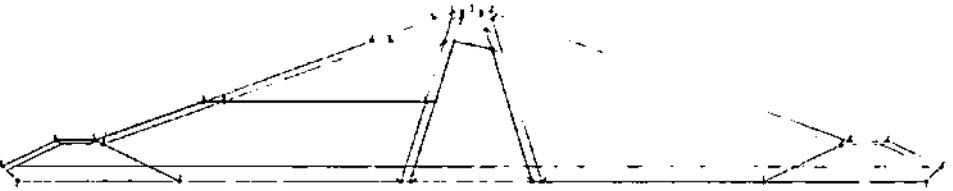
No. de línea	No. de puntos	Puntos característicos	
1	11	1,3,4,6,9,15,18,24,32,33,35	Fig. III.1 a
2	14	1,3,4,6,9,15,18,22,23,26,31,32,33,35	
3	14	1,3,4,6,9,15,20,22,23,26,31,32,33,35	
4	16	1,3,4,6,9,15,20,22,23,26,29,30,31,32,33,35	
5	14	1,3,4,6,9,15,20,22,23,26,29,30,34,35	
6	16	1,3,4,6,9,15,20,22,23,25,27,28,29,30,34,35	
7	17	1,3,4,6,9,15,20,21,22,23,25,27,28,29,30,34,35	
8	15	1,3,4,6,9,15,20,21,25,27,28,29,30,34,35	Fig. III.1 b
9	16	1,3,4,6,9,12,17,20,21,25,27,28,29,30,34,35	
10	17	1,3,4,6,9,12,16,17,20,21,25,27,28,29,30,34,35	
11	16	1,3,4,6,9,12,16,19,21,25,27,28,29,30,34,35	
12	14	1,3,4,6,9,12,16,,19,27,28,29,30,34,35	
13	14	1,3,4,6,8,12,16,19,27,28,29,30,34,35	
14	14	1,3,4,6,8,13,16,19,27,28,29,30,34,35	
15	14	1,3,4,6,8,13,14,19,27,28,29,30,34,35	Fig. III.1 c
16	14	1,3,4,5,8,13,16,19,27,28,29,30,34,35	
17	15	1,3,4,5,7,10,13,14,19,27,28,29,30,34,35	
18	15	1,3,4,5,7,10,11,14,19,27,28,29,30,34,35	
19	13	1,2,7,10,11,14,19,27,28,29,30,34,35	Fig. III.1 d
20	10	1,2,7,10,11,28,29,30,34,35	



a) GENERACION DE LINEA 1 A PARTIR DE PUNTOS CARACTERISTICOS.



b) GENERACION DE LINEA 8 A PARTIR DE PUNTOS CARACTERISTICOS.



c) GENERACION DE LINEA 15 A PARTIR DE PUNTOS CARACTERISTICOS.

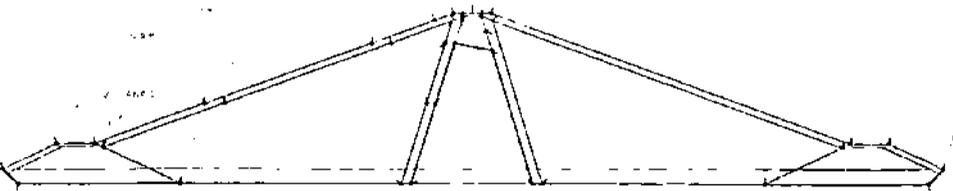


FIGURA III.4 GENERACIÓN DE DIFERENTES LINEAS A PARTIR DE PUNTOS CARACTERÍSTICOS

De acuerdo a las condiciones de carga hidráulica a las que se deberá analizar la presa se deben crear los siguientes archivos:

1. M-fe-mo.dat.- flujo establecido al namo
2. M-var-mo.dat.- vaciado rápido al namo
3. M-fe-me.dat.- flujo establecido al name
4. M-var-me.dat.- vaciado rápido al name

El formato que deberán tener estos archivos es el siguiente, entre paréntesis se encuentra la variable de cada línea:

{Nombre o título del estudio del estudio que se realiza a la presa)

PRESA AL NAMO ANALISIS AGUAS ARRIBA

{ Tipo de análisis a realizar y coeficiente sísmico para la zona)

6,AGUA EN EL NAMO EMPUJE HIDROSTATICO Y SISMO DE 0.32

{Número total de líneas, Radio del círculo de falla, Xi, Yi, Xf, Yf, Altura del nivel que se esta analizando, I,0)

19,5,25.00,12.80,80.00,35.00,30.40,0.32,1,0

{Número de material, Peso específico, Angulo de fricción interna, Cohesión, Descripción del tipo de material)

1,1.7,45,0 enrocamiento de protección seco, aguas abajo.

2,1.7,45,0 enrocamiento de protección seco, aguas arriba.

3,1.9,35,0 respaldo aguas abajo seco.

4,1.9,32,0 ataguía aguas abajo seco.

5,1.85,32,0 filtro aguas abajo, seco.

6,1.85,32,0 filtro aguas arriba, seco.

7,1.85,3,2.5 núcleo arriba de la red de flujo al name.

8,1.7,45,0 enrocamiento de protección entre namo y name, aguas arriba.

9,1.9,35,0 respaldo entre namo y name, aguas arriba.

10,1.85,32,0 filtro entre namo y name, aguas arriba.

11,1.85,3,2.5 núcleo entre namo y name.

12,0.9,45,0 enrocamiento de protección entre not y namo, aguas arriba.

13,1,35,0 respaldo entre not y namo, aguas arriba.

14,1.85,3,2.5 núcleo entre not y namo.

15,0.9,45,0 enrocamiento de protección sumergido, aguas abajo del not.

16,1,35,0 respaldo sumergido, aguas abajo del not.

17,1,32,0 filtro aguas abajo del not.

18,1,32,0 ataguía aguas arriba.

19,1.85,3,2.25 núcleo en red de flujo al namo.

**Esta-geo.out.-** Este archivo se genera al ejecutar el programa **slop-geo.exe**, y contiene las coordenadas de las diferentes líneas que forman la sección transversal de la cortina, este archivo, además, es de gran ayuda para poder graficar esta información en una hoja de cálculo y poder observar físicamente la ubicación de los diferentes círculos de falla propuestos.

Para poder ejecutar el programa **slop-geo.exe** se necesita tener un archivo que se nombrará **esta-geo.dat**, el cual contendrá la siguiente información en el siguiente formato:

Número de líneas formadas para generar los diferentes materiales

	35	
	20,0	50
1.	0.00.	3.70
2.	3.20.	0.00
3.	11.20.	8.80
4.	19.20.	8.80
5.	20.21.	7.94
6.	36.80.	0.00
7.	41.87.	17.30
8.	45.87.	17.30
9.	76.80.	30.40
10.	80.80.	30.40
11.	82.99.	0.00
12.	84.99.	0.00
13.	88.20.	17.30
14.	89.90.	35.31
15.	90.20.	17.30
16.	92.14.	30.40
17.	93.59.	35.19
18.	93.87.	35.31
19.	93.87.	36.80
20.	94.14.	30.40
21.	95.62.	35.31
22.	95.87.	36.13
23.	99.87.	36.13
24.	100.85.	32.88
25.	101.87.	36.80
26.	102.10.	28.74
27.	102.15.	35.19
28.	110.75.	0.00
29.	112.75.	0.00
30.	158.94.	0.00
31.	174.83.	7.94
32.	176.54.	8.80
33.	184.54.	8.80
34.	192.54.	0.00
35.	195.74.	3.20

Número de puntos generadores de la sección transversal

Coordenadas de cada punto generador

Coordenadas de cada punto generador

Esta información fue tomada de la sección transversal en donde se aprecian los puntos generadores, también se utilizaron las secciones transversales donde se aprecia la generación de las líneas, las cuales delimitan los tipos de materiales Ver figura III.1

Número de línea

1.	11, 1.3, 4, 7, 9, 14, 19, 25, 32, 33, 35
2.	14, 1.3, 4, 7, 9, 14, 19, 22, 23, 27, 31, 32, 33, 35
3.	14, 1.3, 4, 7, 9, 14, 18, 22, 23, 27, 31, 32, 33, 35
4.	16, 1.3, 4, 7, 9, 14, 18, 22, 23, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 35
5.	14, 1.3, 4, 7, 9, 14, 18, 22, 23, 27, 29, 30, 34, 35
6.	16, 1.3, 4, 7, 9, 14, 18, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35
7.	17, 1.3, 4, 7, 9, 14, 18, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35
8.	15, 1.3, 4, 7, 9, 14, 18, 21, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35
9.	16, 1.3, 4, 7, 9, 10, 17, 18, 21, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35
10.	17, 1.3, 4, 7, 9, 10, 16, 17, 18, 21, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35
11.	16, 1.3, 4, 7, 9, 10, 16, 20, 21, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35
12.	14, 1.3, 4, 7, 9, 10, 16, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
13.	14, 1.3, 4, 7, 8, 10, 16, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
14.	14, 1.3, 4, 7, 8, 13, 16, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
15.	14, 1.3, 4, 7, 8, 13, 15, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
16.	14, 1.3, 4, 5, 8, 13, 16, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
17.	15, 1.3, 4, 5, 6, 11, 13, 15, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
18.	15, 1.3, 4, 5, 6, 11, 12, 15, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
19.	13, 1.2, 6, 11, 12, 15, 20, 26, 28, 29, 30, 34, 35
20.	10, 1.2, 6, 11, 12, 28, 29, 30, 34, 35

Puntos generadores de la línea

Cantidad de puntos que forman la línea.

**Factores.res.-** Este archivo, es un archivo de salida del programa **slop-dif.exe**, en él se nos proporcionarán los diferentes factores de seguridad para las diferentes coordenadas propuestas en el archivo **m-fe-mo.dat**.

**Fes-namo.fil.-** Este archivo tendrá las coordenadas de las diferentes líneas que forman las redes de flujo para las diferentes condiciones de análisis; por ejemplo:

- Fes-namo.fil.- namo, flujo establecido
- Var-namo.fil.- namo- vaciado rápido
- Fes-name.fil.- name, flujo establecido
- Var-name.fil.- name, vaciado rápido

Generación de base de datos para las redes de flujo.

1. Se trazan las redes de flujo en la sección original, para cada uno de los casos a estudiar. Para nuestro caso se trazaron las redes de flujo al NAMO Y NAME, cada una en su caso para Flujo establecido y vaciado rápido.
2. Referido a un sistema de ejes globales XY se enumeran todas las intersecciones generadas por las líneas que forman a la Red de Flujo. Esta numeración será siempre en orden creciente, la forma en que se le asignará un número a cada intersección, será barriendo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, hasta llegar a la intersección más abajo y alejada del origen del sistema de referencia elegido.
3. Se enumeran todos los cuadros que se forman al generar la Red de Flujo, esta numeración se realizará en la misma forma en la que se enumeraron las intersecciones de las líneas ( de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo).
4. Ya que se tienen completados los 3 pasos anteriores, se procede a medir las coordenadas de todas las intersecciones de las líneas que forman la Red de Flujo, además de estos datos, se contará para cada uno de los cuadros formados, el número de puntos por los cuales esta formado para su posterior captura, se hará un análisis para cada cuadro que sea entero dentro del Corazón o Núcleo y los que se encuentre repartidos entre el Núcleo y la parte exterior a este.

La forma en que deberán ser capturados los datos para este tipo de archivo es como a continuación se muestra.

Este análisis se tiene que hacer para todos los casos a estudiar (Red de Flujo tanto al Name como al Namo para vaciado rápido y flujo establecido).

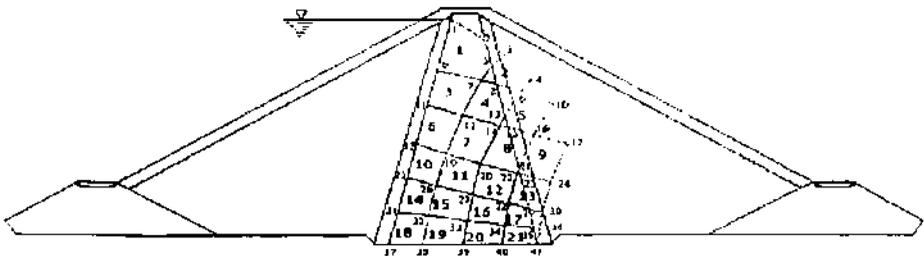


FIGURA III.5 RED DE FLUJO ESTABLECIDO AL NAME

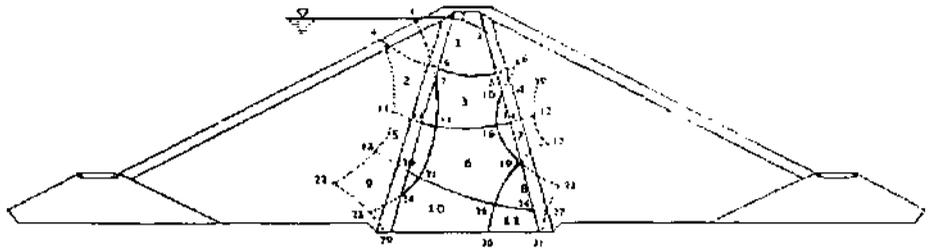


FIGURA III.6 RED DE FLUJO VACIADO RAPIDO AL NAME

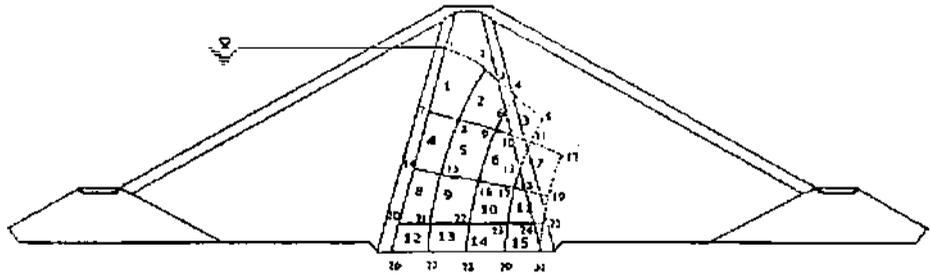


FIGURA III.7 RED DE FLUJO ESTABLECIDO AL NAMO

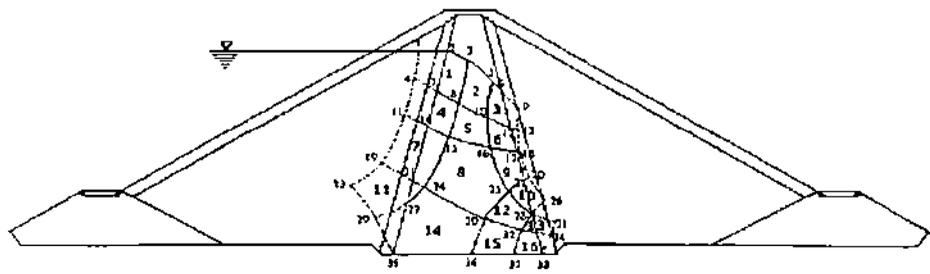


FIGURA III.8 RED DE FLUJO VACIADO RAPIDO AL NAMO

Estos archivos deberán llevar la siguiente información en el siguiente formato:

Número de cuadrados que forman a la red de flujo.	<p>16.38.9.28          1.89.92.31.28          2.94.64.31.28          3.98.72.29.52          4.89.12.27.04          5.102.72.26.00          6.103.52.25.41          7.92.72.24.80          8.96.72.22.56          9.107.44.21.60          10.101.28.20.00          11.87.20.20.80          12.105.28.18.56          13.106.72.18.00          14.90.72.19.20          15.94.96.17.20          16.102.08.15.20          17.106.72.14.40          18.107.36.14.40          19.83.12.13.20          20.108.88.10.40          21.88.32.10.24          22.107.60.9.76          23.77.52.9.44          24.90.40.8.80          25.105.52.8.00          26.111.52.6.56          27.86.88.5.76          28.109.52.4.40          29.81.92.4.00          30.101.12.3.36          31.113.12.3.04          32.107.52.1.44          33.110.72.1.04          34.112.32.0.80          35.84.72.0.00          36.98.88.0.00          37.106.08.0.00          38.111.12.0.00</p>	Número de intersecciones que forman la red de flujo.
Número de punto o intersección formada por la red de flujo.	<p>4.1.3.8.4.2.3.8.7          4.3.5.10.8.3.5.10.8          4.5.10.9.10.13.5.6.12.10          4.4.8.15.11.7.8.15.14          4.8.10.16.15.8.10.16.15          4.10.13.18.16.10.12.17.16          4.11.15.24.19.14.15.24.21          5.15.16.25.30.24.15.16.25.30.24          4.16.18.20.25.16.17.22.23          3.20.26.28.25.22.28.25          3.19.24.29.23.21.24.27          4.25.28.32.30.25.28.32.30          3.28.31.34.32.28.33.32          5.24.30.36.35.29.24.30.36.35.27          4.30.32.37.36.30.32.37.16          4.32.34.38.37.32.33.38.37</p>	Coordenada del punto o intersección de la red de flujo.
Número de puntos que forman los cuadrados de la red de flujo. (Cuadrado completo).	Información tomada de la red de flujo Vaciado rápido al NAMO	Números de puntos o intersecciones que forman a los cuadros completos de la red de flujo, mostrando también los puntos de estos cuadros que se interceptan con alguna línea la cual pertenece a la sección transversal de la estructura.

Al ejecutar el programa *slop-dif.exe* se generará el archivo *Factores.res*, con el cual procederemos a trabajar. Este archivo contendrá la siguiente información:

(Nombre de la presa)  
(Tipo de análisis)

X	Y	Radio	Factor de seguridad
---	---	-------	---------------------

A partir de estos datos y con una gráfica de la sección transversal de la cortina, se revisarán los diferentes círculos de falla propuestos, de la siguiente manera:

Del listado de coordenadas y factores de seguridad obtenido, se tendrán que ubicar con exactitud en una gráfica de la sección transversal de la cortina, los centros de los círculos de falla con su respectivo radio para ver si se trata de un radio que deba analizarse, esto es, que realmente forme un círculo de falla en los taludes de la cortina propuestos, o bien, no se deba analizar, que será el caso cuando el círculo de falla se encuentre completamente dentro o fuera de la sección transversal de la cortina.

También se deben tomar en cuenta los rangos en los que debe variar este factor de seguridad, según sean las condiciones que se estén analizando, los factores que queden dentro de este rango si se analizarán.

Por último se procede a depurar los datos, lo cual consiste en revisar todos los factores de seguridad arrojados por el programa, poniendo gran cuidado en aquellos que resulten menores de 1; cuando sea este el caso se dibujara el círculo de falla correspondiente a este factor de seguridad en la sección transversal de la cortina, si este círculo de falla estuviese contenido en su totalidad dentro del cuerpo de la estructura significa que no hay peligro de inestabilidad, al igual si este estuviera fuera de esta.

Cuando el factor de seguridad fuera menor a 1 y además este estuviese ubicado en el talud de la estructura, indicando un posible deslizamiento, se tendría que tomar la decisión de dejar como bueno este factor o como malo, tomando como criterio el siguiente: si el área del círculo de falla es poco considerable indicando un deslizamiento muy pequeño este se tomará como bueno, pero si el área del círculo de falla se encuentra en su totalidad dentro de la estructura indicando un deslizamiento muy grande, este se tomará como malo.

En el caso de que el número de factores de seguridad arrojados por el programa de cálculo de estos fuera menor a 1 y se encontraran contenidos sobre el talud de la estructura la opción que se tomará será cambiar de talud por uno más tendido, esto se deberá hacer hasta tener una estructura totalmente estable y segura.

Para nuestro caso en el primer intento o proposición de talud, con el programa obtuvo en su mayoría factores de seguridad menores a 1 y además estos estaban contenidos dentro del talud, por lo que se decidió proponer un nuevo talud.

# **IV PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN**

#### **IV.- PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN**

La planeación del Proyecto de una Obra Hidráulica, como puede ser una Presa, la podemos dividir en dos etapas:

##### **A. Objeto de la obra:**

1.- Generalidades: El término proyecto, para nuestro caso, significa un sistema de aprovechamiento hidráulico. Puede ser pequeño o grande, sencillo o complejo, para un objeto o para varios, pero debe constar de las instalaciones necesarias para obtener el máximo aprovechamiento de los recursos hidráulicos explotados.

En muchos casos, el proyecto tendrá un objeto doble o múltiple. Por esta razón, las investigaciones pueden abarcar un gran número de materias, de las cuales algunas o todas influirán en la selección del emplazamiento de la presa, en el tamaño de la misma, y en los objetos a los que se le destine. Por lo tanto, todo el proyecto debe considerarse como una sola unidad, antes de establecer los requisitos de diseño correspondientes a un solo elemento, como una presa. Cada objeto al que se destina y cada incremento en su tamaño o alcance, deben justificar su inclusión en el proyecto con alguna medida apropiada de viabilidad o de justificación, que generalmente se relacionan a los beneficios que producen, la necesidad que remedian, o a la inversión que se puede recuperar con o sin interés.

Al estudiar la viabilidad de las presas y vasos deben siempre tomarse en cuenta las posibles objeciones con respecto a la salubridad pública y a los perjuicios que se puedan producir, y se deben hacer los esfuerzos necesarios para evitarlos. El fondo de un vaso, que queda expuesto cuando se vacía, no solo es poco atractivo, sino que también puede dificultar el acceso al agua. Al secarse los azolves, los olores de la vegetación podrida o el polvo que levanta el viento pueden producir molestia y daños reales a la salud y a las propiedades. En algunos casos, la retención de aguas negras puede aumentar el peligro. El agua dulce estancada, cuando se mantiene a un nivel constante, constituye un lugar ideal para el desarrollo de mosquitos, creando molestias y posiblemente facilitando la transmisión de la malaria o la encefalitis.

2.- Irrigación: El agua almacenada debe ser suficiente para regar eficientemente a un costo razonablemente económico por hectárea. La calidad del agua debe ser tal que no sea peligrosa para los cultivos o para los suelos en que vaya a usarse. Si el sistema de distribución va a funcionar por gravedad, el vaso debe quedar lo suficientemente alto con relación a la superficie regada.

3.- Aplicaciones domésticas y municipales: La cantidad de agua debe ser la adecuada para satisfacer los requisitos. Son conceptos importantes la demanda presente y un sobrante para afrontar los aumentos previsibles en los consumos. La cantidad del agua debe ser tal que se pueda potabilizar y utilizarse para uso doméstico y en la mayor parte de las aplicaciones industriales con métodos de tratamiento económicos. Deberá satisfacer las normas oficiales de salubridad con respecto a su pureza bacteriana.

4 - Usos industriales: Aunque la calidad del agua para servicios municipales es, por lo general, suficientemente buena para usos industriales, algunos procesos industriales requieren normas más exigentes con respecto a que no deben contener sustancias químicas perjudiciales para los equipos o para los productos manufacturados.

5.- Agua para el ganado: La calidad del agua para el consumo del ganado debe servir para ese objeto. El estanque debe estar situado en un lugar accesible a este, ya sea directamente o por medio del uso económico de zanjas o tubos.

6.- Producción de energía: Cuando se incluye la generación de potencia, la capacidad del equipo y las demandas de carga están íntimamente relacionadas a la cantidad de agua disponible y a la magnitud del almacenamiento. La altura de las presas para obtener energía la dictan generalmente estos requisitos.

7.- Control de avenidas: En el estudio y proyecto de las obras y estructuras para el control de avenidas deberán considerarse los siguientes factores:

- La relación del costo del control a los beneficios obtenidos por la reducción de los daños acumulados, debe ser favorable en comparación con otros procedimientos con los que se obtengan beneficios semejantes, tomando en consideración el interés público.
- El almacenamiento temporal debe ser suficiente para disminuir los gastos máximos o para disminuir la frecuencia de las avenidas menores.
- Hasta donde sea posible, el método de control, deberá ser automático en vez de manual.

8.- Esparcimiento: Se deben considerar los siguientes factores con respecto al fomento de proyectos de esparcimiento:

- Debe contarse con el volumen conveniente de agua para tomar en cuenta las pérdidas por evaporación y para mantener el agua a un nivel dentro de las limitaciones supuestas como base para el desarrollo de zonas de esparcimiento y residenciales en sus riveras.
- El agua se debe mantener libre de contaminación.
- Si se va a utilizar para baño, debe tener el agua una profundidad adecuada en las cercanías de un playa muy tendida.
- Cuando las diversiones acuáticas vayan a ser de naturaleza variada, se debe zonificar la ribera, para separar las que se interfieran, como en zonas residenciales, para acampar, para días de campo, baño y navegación deportiva.
- La variación del nivel normal que se utilice en la operación no deberá tener superficies extensas de poca pendiente que tengan aspecto desagradable cuando queden descubiertas.

9.- Animales salvajes: Los proyectos para almacenar agua para los animales salvajes no se deben emprender sin los consejos de un biólogo. Se deben considerar los siguientes factores:

- La profundidad del agua y su volumen deben ser suficientes para mantener las condiciones de vida de todos los animales durante toda la sequía.
- Las grandes fluctuaciones del nivel del agua son perjudiciales para los peces y otros animales salvajes, porque impiden o destruyen el desarrollo de la vegetación acuática para su alimento.
- El agua y el vaso deberán ser los adecuados para producir la clase conveniente de alimento y deben proporcionar el refugio apropiado, libre de perturbaciones por el hombre.

10.- Almacenamiento para regulación de las corrientes: Son necesarias las obras de este tipo en aquellas regiones donde la corriente cesa en forma total o se reduce a valores extremadamente pequeños durante partes del año. En los proyectos de estas obras es necesario asegurarse de que:

- La corriente segura, cuando se regula en forma correcta, sea suficiente para producir el gasto mínimo regulado requerido para el objeto, después de haber deducido las probables pérdidas (incluyendo la evaporación); y
- Que el almacenamiento para este objeto no produzca alteraciones perjudiciales en la calidad del agua.

11.- Obras varias para la conservación del agua: Ocasionalmente se proponen proyectos para regular el nivel del agua en lagos poco profundos, pantanos, o estanques, para otros objetos diferentes de los mencionados. En esta clasificación se incluyen también los proyectos para represar o derivar una corriente para conservarla, transformándola en agua superficial en agua subterránea por el proceso de infiltración.

### **13. Estudios de los proyectos.**

12.- Estudios de viabilidad: El objetivo en la planeación de proyectos es la determinación de su viabilidad. Para ello son necesarios estudios que permitan hacer el análisis correcto y obtener conclusiones con respecto a consideraciones técnico - económicas. Las principales son:

- Que el proyecto dé la solución a una necesidad social o económica presente o futura.
- Que el proyecto corresponda al fin que se persigue en forma conveniente.
- Que los servicios que se esperan obtener por medio del proyecto justifiquen su costo.

13.- Valor estético: el valor estético puede ser de gran importancia en un proyecto. En la localización y proyecto de presas y de otras estructuras importantes, se le debe dar la importancia necesaria, que debe reconocerse desde los primeros estudios que se hagan, y se le seguirá dando atención en los estudios posteriores y en las operaciones de construcción. Sin embargo, no se permitirá que los valores estéticos adquieran una importancia mayor que la seguridad o la corrección del proyecto estructural.

La aplicación de los principios necesarios varía tanto, que la solución con respecto a cualquier presa en especial requiere de un estudio individual.

14.- Extensión de los estudios: No existe ninguna regla sencilla para determinar la extensión de las investigaciones que es necesario efectuar en cada caso especial. Por ejemplo, una presa que se va a construir sobre una cimentación débil o permeable para represar el agua a una profundidad de 15 pies, requerirá investigaciones mucho más extensas que una presa de 50 pies de altura que se va a construir sobre roca sólida que no está fisurada, que se encuentra bajo una capa delgada de tierra.

15.- Etapas de la investigación: La investigación, si se hace completa, es una fase costosa y requiere de bastante tiempo de la elaboración del proyecto. Además, puede indicar que el proyecto no es ni económico ni técnicamente correcto. Por lo tanto la investigación debe programarse y ejecutarse de manera que la bondad del proyecto se determine lo más pronto y con el menor costo posible. Para alcanzar este objetivo, la investigación se puede dividir hasta en tres etapas. La primera, o reconocimiento, se proyecta principalmente para sostener la decisión, para proseguir con investigaciones más detalladas, tomando como base datos generales y estudios abreviados. La segunda, o etapa de viabilidad, determina el objeto, magnitud, plan esencial y detalles, y los beneficios y costos aproximados del proyecto, con precisión suficiente para apoyar la autorización del mismo o su aprobación de su construcción. La tercera, que es la etapa de las especificaciones, complementa la etapa de la viabilidad, hasta el grado necesario para preparar los planos finales y especificaciones después de la autorización o aprobación y cuando es inminente la construcción.

Muchos de los proyectos más pequeños no requerirán, en la etapa de las especificaciones ninguna información adicional a las ya obtenidas en los estudios sobre viabilidad. Los proyectos mayores y más difíciles requerirán a menudo levantamientos adicionales extensos e investigaciones. Sin embargo, el tamaño del proyecto no es el único factor que decide sobre la necesidad de hacer estudios más detallados, sino también puede depender de la complicación del lugar, o de las condiciones de la cimentación, y a menudo factores hidrológicos.

16.- Proyectos relacionados y estudios de necesidad: El proyecto propuesto debe ser consistente con cualquier programa de planeación de largo alcance que pueda haberse adoptado para la vecindad. Toda el área que va a servirse con el proyecto propuesto debe estudiarse para determinar si existen conflictos con otros proyectos de naturaleza semejante para el uso de la tierra o de los recursos hidráulicos, caídas para la producción de energía, etc., o, si es posible, efectuar economías haciendo la explotación conjunta.

Si un proyecto potencial resulta antagónico con otros servicios semejantes que ya se hayan terminado o en proyecto, es conveniente someter la cuestión a las autoridades estatales correspondientes.

17.- **Elaboración del plan general:** El plan de un proyecto se origina generalmente con el deseo de satisfacer las necesidades específicas, objetivos o propósitos de su patrocinador. Al irse obteniendo apoyo para el proyecto, las necesidades pueden aumentar, los objetivos pueden ampliarse y los propósitos pueden multiplicarse conforme avanza el proceso de la formulación del proyecto hasta que se obtienen las selecciones finales de la magnitud y el objeto.

Al principio del estudio de reconocimiento, generalmente se dispone de muchos datos básicos en la forma de planos, fotografías aéreas, registros de aforos, informes geológicos regionales, censos estadísticos, rendimientos de los cultivos, estadísticas de mercados, cargas de energía, informes de investigaciones anteriores, etc. El investigador debe valorizar estos datos, completarlos con datos adicionales aproximados, y concebir un plan básico operable que utilice los recursos disponibles para satisfacer las necesidades. Este plan básico puede entonces compararse en términos generales con otras alternativas para lograr los objetos deseados, aumentando o disminuyendo progresivamente el objeto o la escala. Es posible, por razonamiento o un estudio rápido, eliminar muchas alternativas de manera de obtener un plan final aproximado, que incluya los objetivos, localizaciones aproximadas y alturas de las presas, capacidad de los vasos, vertedores de demasias, obras de toma, canales, plantas de fuerza y otros detalles. Este plan se irá afinando en las etapas de viabilidad y de especificaciones. El carácter y el objeto de los levantamientos para determinar la viabilidad, las investigaciones, y los estudios pueden analizarse con criterio y experiencia, haciendo un estudio del plan y de sus componentes, aplicando los conocimientos adquiridos durante el estudio hecho en la etapa de reconocimiento.

18.- **Plan general de investigaciones:** Este plan constituye una guía para el ingeniero de campo, indicando los conceptos que deben considerarse en los estudios de presas y vasos. El plan incluye conceptos que pueden no ser aplicables en muchos casos.

#### **I.- Datos generales necesarios**

A. **Mapa de localización y de los alrededores:** Localización del proyecto, localización de las obras existentes por la obra propuesta, localización de carreteras, ferrocarriles, y otros servicios de relocalizaciones propuestas, localización de las oficinas de la superintendencia de construcción, lugares de embarque por ferrocarril, etc..

B. **Datos hidrológicos:** Registros de aforos, incluyendo las descargas diarias, volúmenes mensuales, y gastos máximos momentáneos, rendimiento hidráulico de la corriente y el vaso, volúmenes de agua requeridos, incluyendo la necesaria para las pérdidas por irrigación y para obtener energía, pérdidas de conducción, etc., estudio de avenidas, estudio de azolve, datos sobre niveles de agua freática, derechos hidráulicos.

- C. Datos climáticos: Temperaturas y precipitaciones mensuales e intensidad de las tormentas, intensidad de la evaporación, temperaturas máximas, mínimas y medias, direcciones y velocidades del viento, espesores de hielo.
- D. Datos geológicos: Informe geológico, discusión de las formaciones geológicas, especialmente cuando exista caliza cavernosa u otras formaciones solubles, lava descubierta, grava descubierta, y depósitos glaciales de naturaleza permeable que puedan ser causa de filtraciones importantes, observaciones sobre nivel freático, presencia de materiales perjudiciales y de depósitos de sal, fotografías mostrando el lugar del vaso y de los terrenos, secciones transversales geológicas donde sean necesarias.

## **II.- Datos del vaso**

- A. Plano del vaso: Topografía, alineamientos de control horizontal y vertical, un sistema de coordenadas, clasificación por cultivos de los terrenos del vaso, linderos de las propiedades y nombres de los propietarios.
- B. Levantamiento de los caminos y otros servicios públicos: Cambios de localización y reconstrucción de ferrocarriles y carreteras, cambios de localización y reconstrucción de servicios públicos, informe preliminar de la inspección hecha en unión de los funcionarios municipales o propietarios de servicios públicos.
- C. Datos varios: Estimación de la vida probable del vaso, levantamiento para la clasificación de los terrenos, tabulación de las áreas que van a desmontarse, con su costo estimado, descripción de edificios, cercados y construcciones agrícolas que deban quitarse o utilizarse, descripción de terrenos adyacentes al vaso propuesto para uso público, limitaciones económicas o físicas.

## **III.- Datos para las presas**

- A. Plano del emplazamiento de la presa: Topografía de emplazamiento de la presa y de las zonas de la cortina, controles verticales y horizontales, cuadrícula para coordenadas, localización de los afloramientos de roca y detalles geológicos aparentes, Localización de sondeos, pozos de prueba hechos por el hombre.
- B. Exploraciones para la cimentación: Hacer suficientes sondeos , con la posteadora y/o pozos de prueba para determinar el carácter y la profundidad del material de despalme para determinar la viabilidad de las especificaciones del proyecto, descripción y registros de exploración, incluyendo elevaciones del terreno en los sondeos, muestras, suficientes exploraciones para determinar el carácter de la roca o de los estratos impermeables de la cimentación por lo que toca a viabilidad y especificaciones par el proyecto.
- C. Exploración para localizar materiales: Localización y descripción de las características del material que se propone utilizar en la construcción de la

cortina, levantamiento de los bancos de préstamo, mostrando la localización de los sondeos hechos para determinar la viabilidad y las especificaciones de proyecto, registros de las exploraciones, muestras representativas que contienen los bancos de préstamo.

- D. Datos sobre el agua de descarga: Curvas de aforos de las corrientes, si se pueden obtener, secciones transversales de las corrientes, con elevaciones y flechas arriba y abajo de la cortina, curvas de descarga y de remanso para las marcas de las avenidas especificadas.
- E. Condiciones locales que controlan el proyecto de la presa: Caminos necesarios, escaleras para peces necesarias, o medidas para conservarlas, necesidades de edificios permanentes o de campamentos para los operadores, efecto de las condiciones locales con respecto a las compuertas del vertedor de demasías y de las obras de toma, disponibilidad de energía eléctrica para la operación del equipo mecánico.
- F. Condiciones locales que afectan la construcción: Servicios adicionales de transporte requeridos para la construcción, incluyendo caminos de acceso, trazo de ferrocarriles, carreteras o aeropuertos, mejoras necesarias en los servicios de transporte existentes, distancias de acarreo de la estación de ferrocarril más cercana y tarifas de acarreo locales, disponibilidad de energía eléctrica para la construcción, requisitos para el campamento de construcción, estimando el número de empleados y campamentos necesarios para los empleados para la supervisión y construcción; servicios de abastecimiento de agua y sanitarios, etc.

19.- Formulación de programas para levantamientos e investigaciones: Durante el estudio de reconocimiento es conveniente formular planes para los levantamientos detallados e investigaciones, especialmente si se sabe que probablemente se ejecutará un estudio de viabilidad. Al formular un estudio de éstos, se deberán tomar en cuenta los conceptos siguientes: El personal necesario, alojamiento y alimentación del personal, ubicación de la oficina de campo si es necesaria, equipo de transporte y otros, materiales y abastecimiento para este trabajo, carácter de la investigación adicional necesaria para la cimentación y equipo necesario, facilidades para obtener trabajadores y equipo locales, arreglos con los propietarios de las propiedades privadas para evitar el allanamiento de terrenos durante los levantamientos y exploraciones, transporte del equipo de perforación a los lugares aislados e inaccesibles, considerar los controles verticales y horizontales para los levantamientos, localización de las estaciones de aforo y datos hidrológicos disponibles, condiciones climáticas para el trabajo, condiciones sanitarias si la contaminación va a ser un factor limitador para la utilización del proyecto y programas y fondos para la obra.

20.- Investigaciones hidrológicas: Las investigaciones hidrológicas que pueden ser necesarias para el estudio de los proyectos incluyen la determinación de lo siguiente: Aportación de la corriente, aportación del vaso, agua necesaria para el proyecto, sedimento que se depositará en el vaso, avenidas, y condiciones del agua subterránea. Se debe hacer la estimación más precisa posible del volumen de agua que se exceda de la aportación de los derechos hidráulicos adquiridos con anterioridad como base del almacenamiento

justificable. El agua almacenada en el vaso completará el gasto natural de la corriente durante los periodos en que es insuficiente. La aportación segura del vaso será la cantidad de agua que puede entregarse sobre una base firme en el periodo crítico de las aguas mínimas con una capacidad determinada del vaso. La cantidad anual que se va a depositar de sedimento se debe determinar para tener la seguridad de que se deja suficiente volumen de almacenamiento de azolves en el vaso, de manera que las funciones útiles del vaso no desmerezcan por el depósito de sedimentos dentro de la vida útil de la obra.

21.- Investigaciones sobre la cimentación y los materiales: En todos los proyectos de presas, la impermeabilidad del vaso, la bondad de las cimentaciones para la presa y estructuras accesorias y los bancos de los materiales para la construcción, son aspectos importantes geológicos y de ingeniería. La extensión de las investigaciones para resolver estos problemas debe estar de acuerdo con la importancia del proyecto y con la etapa de investigaciones. El obtener datos muy detallados de las condiciones subterráneas puede exceder el costo justificable para un proyecto pequeño; por lo tanto, se deberá confiar en el criterio y experiencia más que en una exploración extensa subterránea y pruebas de laboratorio

22.- Estudios sanitarios: La necesidad de estudios sanitarios la determina el grado en el que la contaminación constituya un factor limitador en la utilización de la obra propuesta. Todas las fuentes posibles de contaminación por los desechos humanos, animales, e industriales deben investigarse y cuantificarse. Si las municipalidades están situadas en la cuenca de captación, se deben investigar los sistemas de evacuación de las aguas negras

23.- Esparcimiento, peces y animales: Estas investigaciones, especialmente las que se relacionan con los peces y animales salvajes, requieren los servicios de expertos en el campo. Las investigaciones para esparcimiento incluyen la determinación del número de personas que pueden visitar el lugar una o más veces en una estación, la duración probable de la visita, los usos posibles y la necesidad de zonificar el área y una comparación del área con las competidoras.

## **PROYECTO**

La selección del tipo de presa que se piensa construir, dependen de una serie de factores que influyen al determinar definitivamente el tipo de presa. Estos factores podemos decir quizá son los más importantes en el proceso de decisión y son los siguientes:

- 1.- Topografía de la boquilla
- 2.- Geología de la boquilla
- 3.- Disponibilidad de materiales
- 4.- Objetivos de proyecto
- 5.- Acomodo de las estructuras auxiliares

Los factores anteriores redundan en una de las bases que más se deben tomar en cuenta en la ingeniería: "La economía de la obra y su mejor eficiencia "

## **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

### **Presa de materiales graduados**

Se ha dado este nombre a las presas en que los materiales se distribuyen en forma gradual, de los suelos finos en el corazón, pasando por los filtros y transiciones a los enrocamientos en los que también se trata de colocar respetando la misma idea, generalmente la sección es simétrica.

### **Cortina o pesa**

Ambos términos se emplean como sinónimos al designar la estructura que tiene por objeto crear un almacenamiento de agua o derivar el río.

### **Boquilla o sitio**

Es el lugar que se ha elegido para la construcción de la cortina.

### **Sección de la cortina**

En general es cualquier corte de la presa; pero a menos que se especifique la estación o encadenamiento de dicho corte, es la sección de máxima altura de la cortina.

### **Altura de la cortina**

Se define como la distancia vertical máxima entre la corona y la cimentación, la cual no necesariamente coincide con la medida desde el cauce del río por la presencia de depósitos aluviales.

### **Corona o cresta**

Es la superficie superior de la Cortina, que en ciertos casos puede alojar a una carretera o a una vía de ferrocarril; normalmente es parte de la protección de la presa contra el oleaje y sismo, además de que sirve de acceso a otras estructuras.

### **Talud**

Es cualquier plano que constituye una frontera entre los materiales de la cortina o con el medio circulante. Se medirá por la relación de longitudes en el cateto horizontal y el

vertical; por ejemplo un talud 3.5:1, significa que la cotangente del ángulo que forma el plano de la traza con la horizontal es 3.5.

#### **Corazón impermeable**

También llamado núcleo de tierra, es el elemento de la presa que cierra al valle al paso del agua contenida en el embalse o vaso.

#### **Resaldos permeables**

Son las masas granulares que integran con el corazón impermeable la sección de la Cortina, pueden estar formados por filtros, transiciones y enrocamientos como se muestra en la figura 10.

#### **Name**

Abreviación del nivel de aguas máximo extraordinario, es la elevación del agua en el vaso cuando la presa esta llena y además funciona el vertedor a su máxima capacidad, hay otros niveles usuales en presas como son el nivel de aguas máximas ordinarias ( NAMO ), el nivel medio de operación y el máximo de azolves, la diferencia entre la corona y el NAME es el bordo libre.

#### **Núcleo**

El principal material del que se encuentra constituido es de arcilla, ya que es uno de los materiales de impermeabilidad alta.

#### **Filtros**

Van adyacentes al núcleo y su función tiene efecto en las épocas de llenado y vaciado de la presa.

#### **Transición**

Constituye el material que separa los filtros del enrocamiento para evitar fugas del primer material hacia el segundo.

#### **Enrocamientos**

Constituyen el material que formará el cuerpo de la cortina.

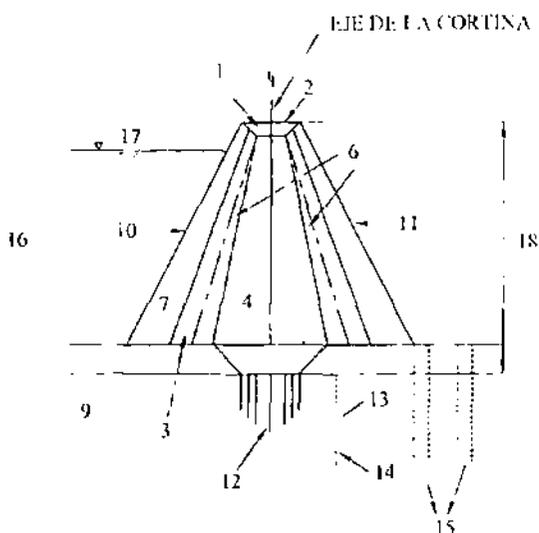


FIGURA IV.1  
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CORTINA

- |                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1.- Cresta o corona.              | 10.- Talud agua arriba.       |
| 2.- Revestimiento de la cortina.  | 11.- Talud aguas abajo.       |
| 3.- Filtros.                      | 12.- Pantalla de inyecciones. |
| 4.- Corazón o núcleo impermeable. | 13.- Galería.                 |
| 5.- Trinchera.                    | 14.- Drenes.                  |
| 6.- Transiciones.                 | 15.- Pozos de alivio.         |
| 7.- Enrocamientos.                | 16.- Embalse o vaso.          |
| 8.- Depósito aluvial.             | 17.- Bordo libre.             |
| 9.- Roca basal.                   | 18.- Altura de la cortina.    |

### Procedencia de los materiales

El abastecimiento de los materiales requeridos en la cortina puede realizarse mediante dos fuentes abastecedoras:

- 1.- Bancos de material pétreo
- 2.- Bancos de material impermeable

#### 1.- Bancos de material pétreo

Se cuenta con dos diferentes tipos de bancos de material pétreo: los bancos naturales de préstamo y los bancos originados por la extracción de materiales en la construcción, ya sea de los túneles vertedores, obra de toma o casa de máquinas.

## **ESPECIFICACIONES**

### **Especificaciones para la excavación del recinto entre las ataguías para la construcción de la cortina**

Los trabajos aquí mencionados cubren la ejecución de todas las operaciones requeridas para la excavación del recinto entre ataguías, como se especifica a continuación.

Los trabajos incluirán pero no quedarán limitados a lo siguiente:

1. - Desagüe superficial del estanque entre ataguías
2. - Perforación y operación de pozos profundos para abatir el nivel de agua del recinto y en la zona de los aluviones por excavar.
3. - Excavación y cargas de los aluviones en el recinto, así como su transporte tanto a los sitios indicados para su almacenamiento como al lugares en donde van a ser utilizados como materiales de relleno.
4. - Excavación con explosivos de los bloques que se encuentran en el cauce.
5. - Ejecución de los trabajos específicos complementarios para la protección de las superficies expuestas.
6. - Sellado de fracturas y grietas en las paredes del cañón que pueda provocar flujo de agua al interior del recinto.

### **Preparación y tratamiento de la roca de cimentación**

Se define la roca de cimentación como la superficie de roca sana alcanzada mediante las excavaciones indicadas en los planos y sobre la cual se desplantarán los enrocamientos, filtros y corazón impermeable de la cortina.

De las exploraciones geológicas llevadas a cabo en el sitio puede preverse la existencia de posibles fracturas, fisuras y alteraciones en la roca de cimentación. Esta característica puede dar por resultado la existencia de irregularidades en las excavaciones no indicadas en los planos; sin embargo cualquier modificación y/o adaptación de la superficie de cimentación podrá ser ejecutada solamente previa autorización del contratante.

Si en el curso de las excavaciones se observa en la roca de cimentación la presencia de pequeñas fisuras de poca profundidad deberá procederse a su relleno con lechada.

Si en el curso de las excavaciones se nota la presencia de roca fracturada o que muestra la tendencia a desintegrarse por intemperismo, puede hacerse a juicio del contratante, proteger dichas zonas con una capa de gunita o de concreto lanzado.

Las superficies de la roca de cimentación sana, deberán limpiarse cuidadosamente en forma manual, mediante pico y pala u otros aditamentos.

En la zona de la roca de cimentación correspondiente al corazón impermeable de la presa, la operación de limpieza deberá complementarse con chorros de agua o aire comprimido o mediante el efecto combinado de ambos. Todo material fino, suelto existente en los huecos

o irregularidades de la superficie de la roca deberá removerse antes de iniciar el tratamiento prescrito a la colocación de los materiales del corazón.

Toda el agua que emerja dentro del área de la cimentación proveniente de filtraciones, lluvias, curados de concreto, construcción de filtros o de cualquier otra naturaleza, deberá quedar debidamente aislada o drenada de manera que no interfiera con la preparación de la superficie de cimentación ni con el tratamiento y colocación de los rellenos en áreas adyacentes. En los sitios en que se tengan filtraciones abundantes o manantiales en la roca de cimentación. Deben colocarse dispositivos de achique con diámetro mínimo de tubería de 20" de diámetro, para eliminar dicha agua.

Deberán removerse todos lo bloques sueltos o rocas aisladas, bien sea mecánicamente o con pequeñas cargas de explosivos ( moncos ). También deben de eliminarse los taludes de las laderas con pendientes negativas, o superficies cuyas irregularidades impidan el contacto adecuado con los materiales de la cortina. Para lograr lo anterior se emplearán rellenos de concreto u otros procedimientos aprobados.

Una vez que se haya terminado la preparación y tratamiento de la superficies de la roca de cimentación, no se permitirá tráfico alguno a través de ellas hasta que no se haya colocado sobre ellas la primera capa de materiales.

## **Especificaciones para los trabajos de limpieza y tratamiento superficial de las laderas**

### **Limpieza de las laderas**

Consistirá en la remoción dentro del recinto entre ataguías de todos los materiales orgánicos y deletéreos, así como los fragmentos sueltos que se encuentren en peligro de caer.

Todos los materiales así removidos deberán transportarse fuera del área de trabajo y colocarse en tiraderos localizados en sitios aprobados por los ingenieros.

### **Tratamiento superficial de las laderas**

Este tratamiento se dividirá en dos zonas:

- a) Contacto entre el corazón impermeable y las laderas.
- b) Contacto entre los respaldos de enrocamiento y las laderas.

#### **a) Tratamiento superficial en el contacto con el corazón impermeable.**

Para el corazón de la Cortina, se deberá hacer todo lo posible para conformar y consolidar las paredes del cañón, removiendo perfectamente, todas las rocas que resulten defectuosas, sueltas o potencialmente inestable.

En el caso de masas rocosas potencialmente inestables, de tamaño considerable o que sirvan de apoyo a otros grandes bloques de roca, quedara a juicio del especialista, la decisión de eliminar o no dichas masas. En caso de no eliminarse, se deberá adoptar un procedimiento adecuado para su tratamiento, como sería limpiar los huecos con chorros de aire a alta presión o por medio de otros métodos convenientes aceptados por los especialistas en el área, para después rellenar con lechada, mortero o concreto y aún en caso necesario, asegurar la masa de roca a las paredes del cañón por medio de anclas.

En algunas otras partes, el tratamiento de las paredes del cañón se hará localmente, debiendo aplicarse los siguientes métodos de tratamiento:

1. - Las superficies horizontales con caras adyacentes con altura de tres metros ó menor pueden permanecer.(Figura IV.2)

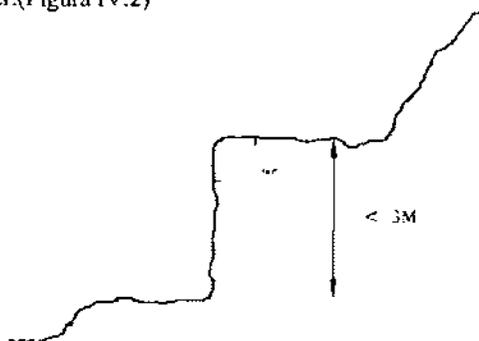


FIGURA IV.2

2. - Los escalones o irregularidades con altura mayor a tres metros deberán costurarse sin el uso de explosivos y ser removidos. (Figura IV.3 )

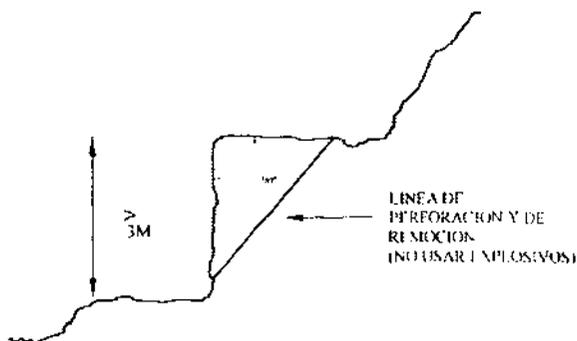
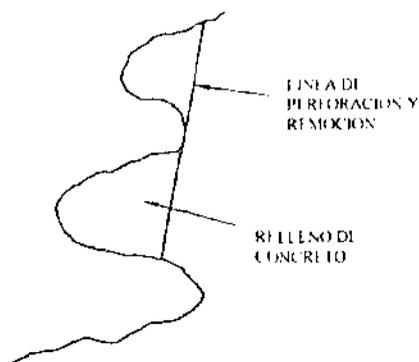


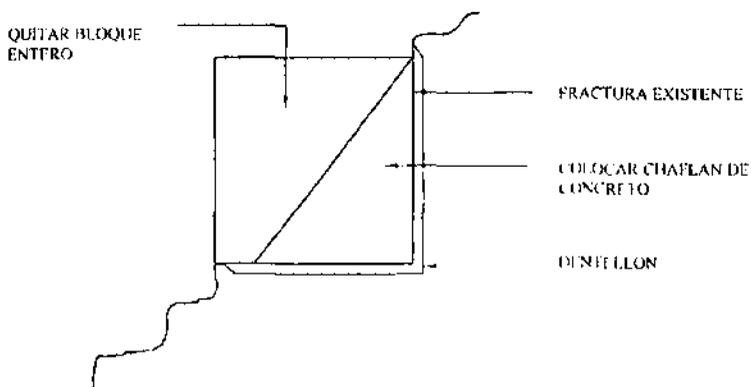
FIGURA IV.3

3.- Todos los voladizos deberán ser removidos o rellenados con concreto con el fin de evitar vacíos o huecos que queden cuando se coloque el material y traigan como consecuencia la formación de conductos por las que el agua pase, pudiéndose presentar el fenómeno de tubificación. (Figura IV.4)



**FIGURA IV.4**

4.- Los bloques con grietas verticales deberán ser removidos y sustituidos por un chaflán de concreto. (Figura IV.5)



**FIGURA IV.5**

5- En general deberá evitarse la construcción de chahanes de concreto que se extiendan a través del ancho total del corazón. Si esto es indispensable, deberán excavarse en cada caso dos dentellones en la roca antes de colocar el concreto. (Figura IV.6)

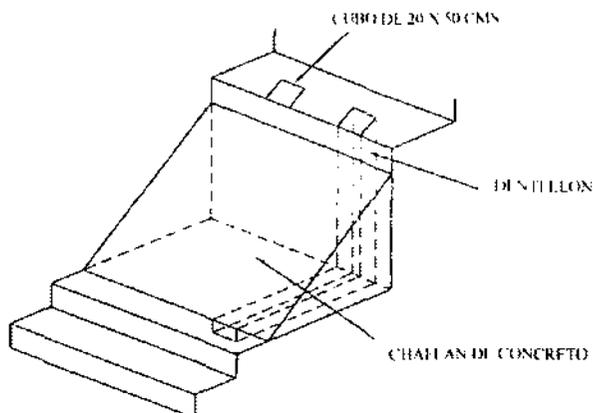


FIGURA IV.6

6- Las capas de roca blanda u otro material interestratificado deberán ser cuidadosamente examinadas y tratadas. En caso de que estas sean más permeables que el material del corazón o bien, erosionables, dichas capas deberán ser removidas hasta una profundidad mínima de 15 cm. y reemplazadas con concreto dental. Otras capas pueden ser dejadas in situ directamente en contacto con el material plástico del corazón, siempre que dicho material de la cimentación no se haya secado y agrietado. (Figura IV.7). Puede requerirse inyección posterior como parte del tratamiento de algunas de las capas de material blando.

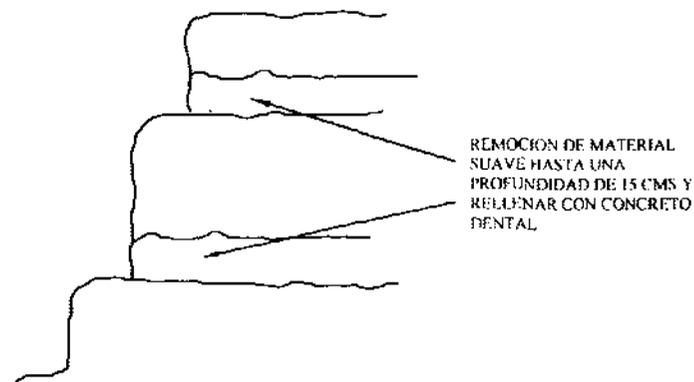


FIGURA IV.7

7.- Los voladizos profundos deberán limpiarse cuidadosamente y ser rellenados de concreto. ( Figura IV.8)

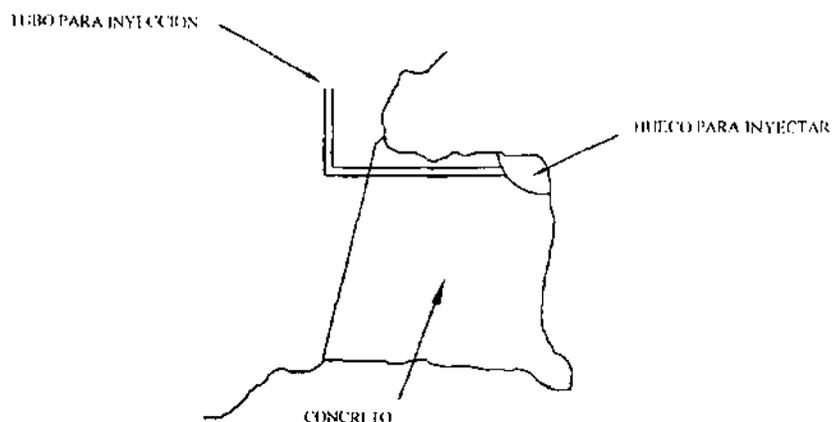


FIGURA IV.8

8.- La roca altamente fracturada deberá ser excavada hasta alcanzar roca sana. ( Figura IV.9)

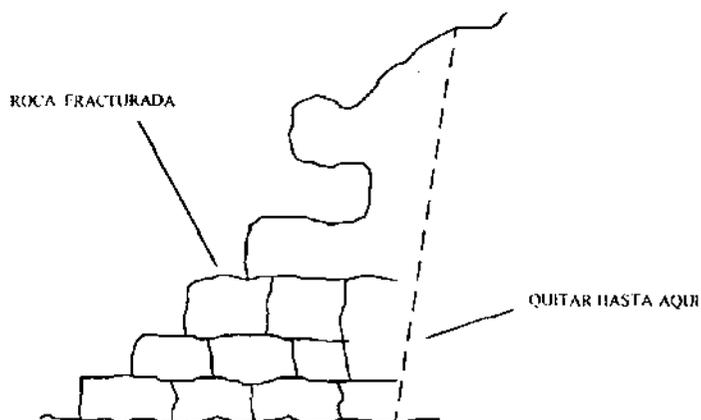


FIGURA IV.9

9.- En el contacto del corazón con las laderas, se colocará un material tal que no sea erosionable, con un contenido de agua 2% mayor que el óptimo. El espesor de esta capa deberá ser de 1.0 m. aproximadamente.

10.- Pudiesen encontrarse filtraciones de agua en algunas de las grietas en el contacto con el corazón. Tales zonas deberán ser cuidadosamente limpiadas y colocarse en ellas un pequeño challán de roca triturada sobre el área húmeda. Si tales filtraciones se encuentran próximas a los extremos de aguas arriba o de aguas abajo del corazón, la roca puede conectarse al extremo del corazón con un tubo de plástico de pequeño diámetro. Subsecuentemente la roca triturada y el tubo de descarga deberán ser inyectados con lechada de cemento hasta que la lechada sea expulsada a través del tubo de respiración. (Figura IV.10). Si las filtraciones están localizadas cerca de la porción central del corazón, deberán emplearse dos tubos verticales hacia arriba: (Figura IV.11). Tan pronto como se coloque la roca triturada, deberán colocarse inmediatamente a su alrededor varias capas de arcilla altamente plástica para soportar la presión y forzar el agua a subir por los tubos verticales. Posteriormente se inyectará lechada a través de uno de los tubos, actuando el otro como línea de retorno.

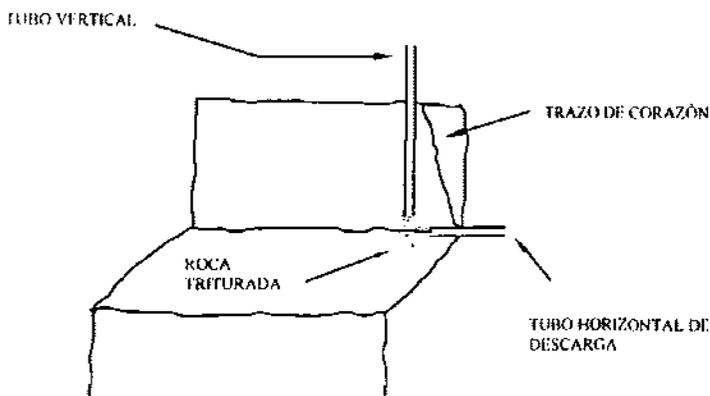


FIGURA IV.10

2 TUBOS VERTICALES

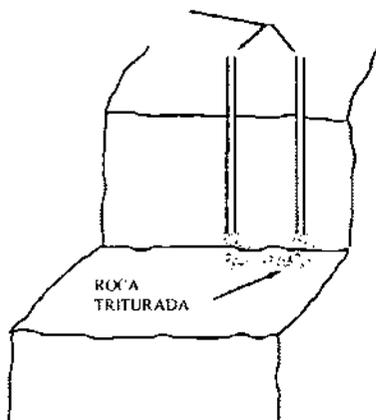


FIGURA IV.11

Inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del contacto del corazón con las laderas y la cimentación deberá hacerse un tratamiento de modo que exista una transición gradual en una distancia horizontal de 5.0 m. a partir de la arista del corazón, hasta llegar al talud natural de la roca.

#### **b) Tratamiento superficial en el contacto entre las laderas y los respaldos de enrocamiento aguas arriba y aguas abajo**

1. - Deberán eliminarse todas las masas y rocas sueltas e inestables en las secciones de enrocamiento.
2. - Se podrán hacer excepciones en las masas de roca cuyo tamaño sea tan grande que resulta más conveniente limpiarlas y rellenarlas con mortero o concreto y fijarlas con anclas para roca.

### **ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA.**

Las especificaciones que a continuación se describen, cubren tanto el abastecimiento de los materiales como la ejecución de los trabajos relacionados con la construcción de las zonas que formarán la Cortina, dichas zonas son las siguientes:

Zona 1.- Zona que albergará el material No. 1, que corresponde al corazón impermeable

Zona 2.- Zona de material No. 2 o filtros.

Zona 3.- Zona de material No. 3 o transiciones.

Zona 4.- Zona de material No. 4 o enrocamiento de gran tamaño colocado a volteo.

Los trabajos que cubren estas especificaciones incluyen los siguientes conceptos:

Excavación de los materiales impermeables para el corazón de la Cortina, de los bancos y almacenamientos correspondientes indicados en el plano de la residencia "LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL", así como su procesamiento, transporte, colocación y compactación con los equipos adecuados para efectuar estos trabajos.

Extracción, procesamiento y carga de los materiales granulares, naturales o mezclados, que formarán las zonas de filtros y transición de la Cortina, de los bancos y almacenamientos que se muestran en el mismo plano, así como el transporte, colocación y compactación de dichos materiales, con los equipos correspondientes.

Carga y procesamiento del material producto de la excavación de vertedores, obra de toma, obras subterráneas y canteras, incluyendo su transporte, colocación y compactación en la Cortina, con los equipos adecuados para efectuar dichos trabajos.

#### **Terraplenes**

Se definirá como terraplenes de la cortina a los materiales arcillosos, granulares y enrocamientos que formarán el corazón, filtros, transiciones, respaldos y protecciones.

## COLOCACIÓN DE LOS MATERIALES.

### Núcleo Impermeable

Los materiales que se usan en este elemento de la presa son suelos finos en general, como arcillas, limos o combinaciones de ellos. Sin embargo, en muchos casos se acepta el empleo de materiales con alto contenido de grava y arena, y el porcentaje de finos necesario para producir una masa impermeable y poco compresible. Esta característica, deseable cuando la cimentación es firme, resulta un problema de consideración en estructuras de sección compuesta o desplantadas sobre formaciones susceptibles de deformación.

Los materiales de referencia pueden ser de origen aluvial, residual, lacustre o glaciario. Los primeros se caracterizan por su estratificación; en los segundos cabe esperar una granulometría muy uniforme en la frontera en la frontera del limo y la arena fina; la erraticidad y variación de propiedades son típicas de los suelos residuales; los lacustres son en general arcillas blandas y compresibles; finalmente, el producto de morrenas es bien graduado, aunque muy variable en composición. A excepción de las arcillas lacustres compresibles, los materiales antes descritos se han usado en la construcción de presas de tierra y enrocamiento; los más frecuentes en México son los suelos aluviales y los residuales.

### Colocación del material No. 1 Corazón impermeable.

Deberá incrementarse el contenido de agua del material en el almacenamiento, mediante riego por aspersión de manera que se logre alcanzar un valor ligeramente mayor que el óptimo ( menor o igual al 2% ), para asegurar que se coloque en el terraplén con el contenido de agua óptimo. Estas determinaciones deberán efectuarse periódicamente por el personal del laboratorio de Mecánica de suelos de campo.

Una vez que se haya alcanzado la condición anterior podrá procederse a la explotación de almacén, atacándolo en rampa para que al cargarse se obtenga un mejor mezclado del material.

Durante la carga del material en el almacén, los inspectores de laboratorio deberán verificar sistemáticamente, la calidad del mismo, principalmente en lo que se refiere a contenido de agua y homogeneización.

Al llegar al sitio del corazón de la Cortina, los camiones descargarán el material en los lugares indicados por los inspectores o encargados del frente, procediendo posteriormente a extenderlo de manera que forme una capa de 30 cm. de espesor en estado suelto, utilizando para ello una motoconformadora, quedando a juicio del inspector en jefe de la Cortina si se requiere o no mezclarlo.

Una vez extendida la capa, se procederá a compactarla con 4 pasadas de rodillo liso vibratorio de 13.5 ton. de peso estático; si se emplea un rodillo más ligero, el laboratorio de campo definirá el número de pasadas requerido para lograr alcanzar el 100% de grado de compactación.

Antes de colocar la siguiente capa deberá escarificarse la superficie de la ya compactada para asegurar la liga entre ellas, y se continuará con la construcción del terraplén en la forma antes indicada.

El material del corazón en contacto con los cantiles, deberá colocarse con un contenido de agua igual a  $W_0 + 2\%$  y compactar con equipo de llantas lastrados y en los lugares de acceso más difíciles con bailarinas.

Los taludes con los que debe colocarse este material son simétricos.

Las curvas granulométricas resultantes para el material impermeable, deberán estar comprendidas dentro de los límites especificados como se indica en la figura IV.12

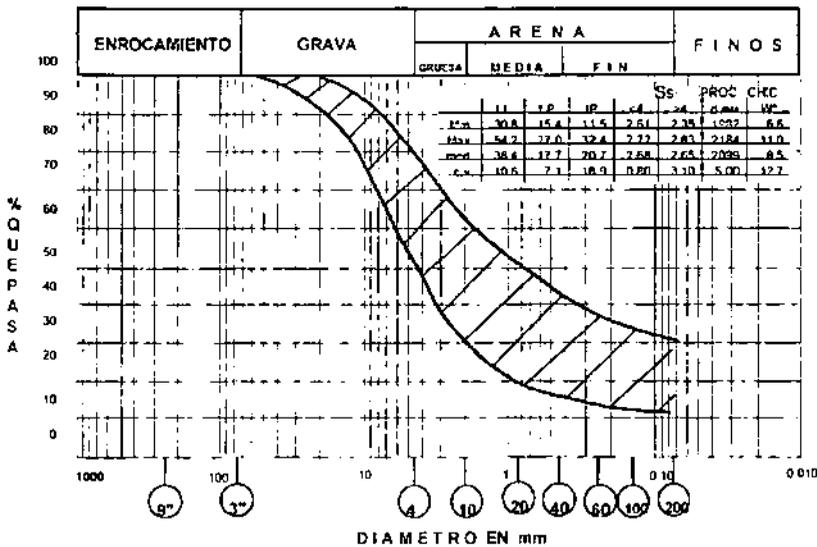


FIGURA IV.12 CONGLOMERADO

**Filtros y Transiciones.**

El requisito fundamental para estos dos elementos de la cortina es una buena granulometría. Son pocas la presas mexicanas que tienen filtro, en cambio sin excepción todas ellas poseen una amplia zona de transición entre el núcleo de tierra y el enrocamiento. El material empleado en presas que se construyeron hace más de diez años era la rezaga producida en las canteras, posteriormente se hizo amplio uso de grava y arena extraídas del propio río.

Para obtener el arena de los filtros es necesario procesar el producto de un depósito aluvial o triturarlo en plantas cribadoras, con lavado, para separar la fracción prevista por las especificaciones del proyecto, de los finos y los gruesos presentes en la materia prima.

### Colocación del material No. 2 Filtros ( zona 2 )

Para la construcción de los filtros en la primera etapa, se empleara grava-arena, eliminando los tamaños mayores de 7.5 cm. (3"). Las curvas granulométricas deberán estar comprendidas dentro de los límites especificados como se indica en la figura IV.13

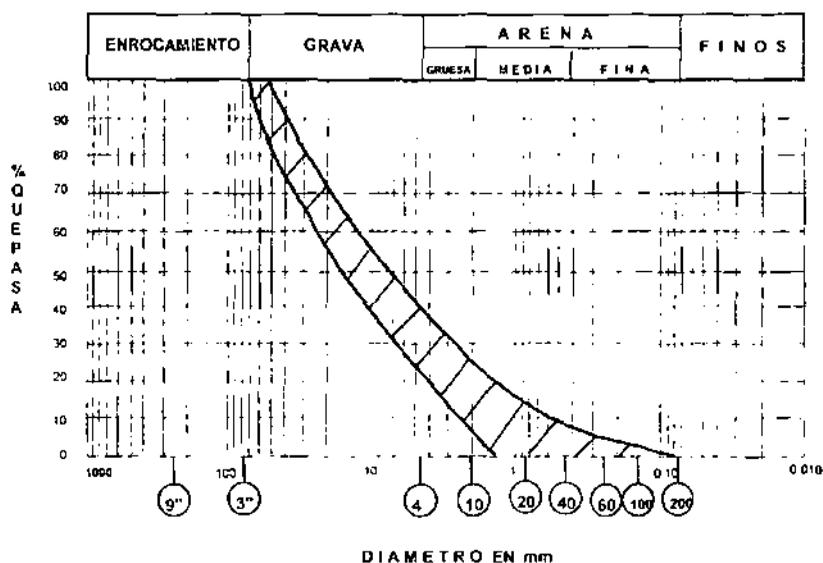


FIGURA IV.13 FILTRO AGUAS ARRIBA

Zona de aguas abajo, constituida de grava-arena, con un tamaño menor de 3", combinado con limo poco plástico. Las curvas granulométricas resultantes deberán estar comprendidas dentro de los límites especificados como se indica en la figura IV.14

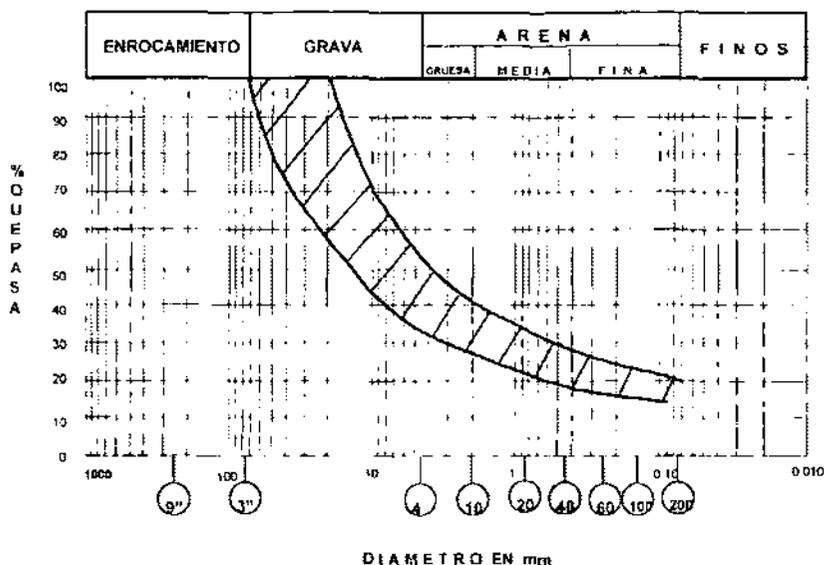


FIGURA IV.14 FILTRO AGUAS ABAJO

En la segunda y tercera etapas, para ambas zonas se emplearán de preferencia materiales producto de excavaciones en roca, sujetos estos a un previo procesamiento.

La especificación anterior, tiene por objeto conservar el mayor volumen posible de material granular natural para la fabricación de los concretos.

Una vez aceptados los bancos de almacenamiento por el laboratorio, se procederá a iniciar la colocación en las trazas correspondientes.

Para evitar la segregación de los materiales, se requiere el empleo de "cajas distribuidoras" que permitan depositar los filtros sobre el terraplén desde una altura de caída mínima.

El material se colocará en capas de 50 cm. en estado suelto y se compactará con un mínimo de 4 pasadas de rodillo liso autopropulsado, hasta obtener un peso volumétrico seco mayor de 2000 kg/m<sup>3</sup>, el tamaño máximo de las partículas será de 7.5 cm.(3").

### Colocación del material No. 3 Transiciones zona 3

En la primera etapa, la transición Aguas abajo se obtendrá del almacenamiento de grava-arena, eliminando por cribado los tamaños máximos de 15 cm. (6"). En la transición de Aguas arriba, se utilizará rezaga, eliminando los tamaños mayores de 15 cm. (6"). Las curvas granulométricas resultantes para las transiciones 3 TAR y 3 TAB, deberán estar comprendidas dentro de los límites especificados como se indica en la figura No. IV.15

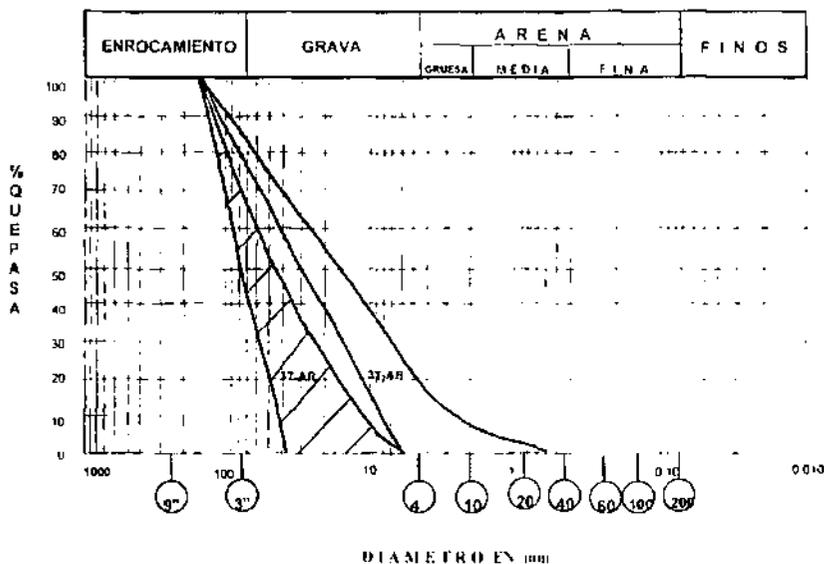


FIGURA IV.15 TRANSICION 3T-AR Y 3T-AB

Una vez aceptados los bancos de almacenamiento por el laboratorio, se procederá a colocar el material entre las trazas correspondientes.

Para evitar segregación durante el transporte y colocación de este material se recomienda el empleo de "cajas distribidoras" que permitan depositar el material de transición sobre el terraplén desde una altura de caída mínima.

El material se colocará en capas de 50 cm. de espesor en estado suelto y se compactará con un mínimo de cuatro pasadas de rodillo liso vibratorio autopropulsado de 9 ton. de peso estático.

#### Colocación del material No. 4 Enrocamiento de gran tamaño zona 4

Este material se obtendrá de las excavaciones subterráneas y de la explotación de las canteras y será enviado directamente al sitio de la Cortina. Figura IV.16

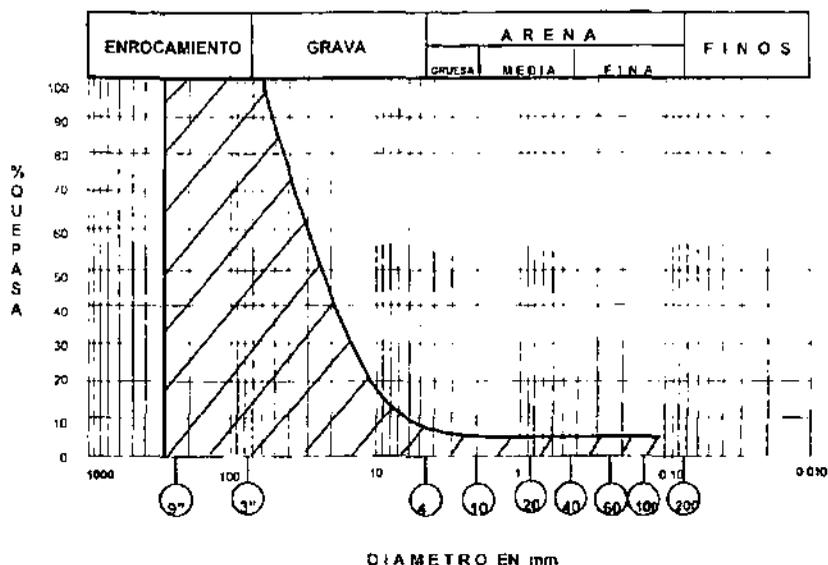


FIGURA IV.16 ENROCAMIENTOS

Se colocará a volteo, el tamaño de este material tendrá que ser mayor que  $1 \text{ m}^3$ .

#### SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.

La colocación de los materiales en una presa siempre ha sido objeto de discusiones enfocadas a saber cual es el mejor sistema o proceso para transportar estos materiales y posteriormente colocarlos en la Cortina.

Existen en la actualidad una serie de procesos definidos para la construcción de presas, más no existe en proceso establecido para esto, ya que cada presa es un caso particular porque presenta características singulares que no la hace común a las demás. Tanto su diseño como su planeación y construcción, dependerán exclusivamente de la topografía y geología de la boquilla, es decir, de la forma que presente el sitio donde se ubicará la Cortina, así como la disponibilidad de materiales requeridos para su construcción.

## TRATAMIENTO DE MATERIALES

Es lógico pensar que algunos de los materiales que formarán la Cortina, no podrán colocarse directamente de los bancos de préstamo al sitio de la presa, pues estos deberán ser tratados o procesados ya que las especificaciones de construcción así lo indican. Por ejemplo, los filtros se obtienen, pudiera ser de pedreras o de almacenes de aluvión, naturalmente se puede deducir que el material extraído no tendrá la granulometría especificada, por tal motivo esta se verá sujeta a un tratamiento para que cumpla con las especificaciones requeridas y así con esto se pueda colocar en la Cortina.

De los materiales pétreos se puede decir, sólo sufren un proceso de trituración y en algunos casos de lavado en alguna de las plantas, a diferencia del material impermeable que se le da un tratamiento en los almacenes y posteriormente si así se requiere, otro al colocarse en la Cortina. Los tratamientos y procesamientos indicados por especificación son los siguientes:

### MATERIAL PÉTREO

**Filtros:** Deberán procesarse en la planta correspondiente, hasta obtener un tamaño máximo de 3".

**Transición:** Este material también será procesado en la planta correspondiente. Deberá ser lavado ya que no se permiten materiales finos, el tamaño mínimo de las partículas será de 3/8" y el máximo de 6".

**Enrocamiento:** Este tipo de enrocamiento podrá ser colocado directamente de los bancos a la Cortina ya que su tamaño es considerable  
( 1.0 m<sup>3</sup> )

### MATERIAL IMPERMEABLE

#### PROCESO DE TRATAMIENTO

El material impermeable proveniente de los bancos de arcilla será transportado hasta los almacenes mediante camiones de volteo que tirarán el material formando camellones, una vez formado el camellón, por medio de una motoconformadora se procederá a extenderlo formando capas, posteriormente se agregará material pétreo menor de 2" (por especificación) con el fin de formar una estructura o esqueleto cuando se coloque este material en la Cortina.

Ya colocado el agregado o material pétreo, con la misma motoconformadora se extenderá y mezclará con el material arcilloso con el objeto de homogeneizarlos, posteriormente se volverán a formar capas de 25 cm. de espesor de material ya homogéneo para proceder al tratamiento de agua, consistente en riego por aspersion hasta lograr la humedad óptima igual a  $W_0 = 11\%$ .

## **TRATAMIENTO DE LA ROCA.**

Se hará conforme a las especificaciones de construcción (tratamiento superficial de laderas), en los lugares indicados por la Residencia de Mecánica de Suelos, sujeto esto a un previo estudio.

El tratamiento de la roca, abarca desde la limpieza de las laderas, es decir, desde la remoción de todos los materiales orgánicos y deletéreos, así como de fragmentos de roca suelta que se encuentren en peligro de caer, hasta el anclaje de grandes bloques de roca y la colocación de concreto dental.

### **Concreto dental**

Consiste en limpiar la superficie de la roca a base de chiflones de aire o agua a compresión según el caso, retirando todo el material suelto con herramienta de mano, procediéndose de inmediato a la colocación del concreto para lograr una superficie regular en las paredes del cantil.

El fin del concreto dental es el de uniformizar las paredes del fondo del cauce o de las laderas mediante colados de concreto simple para rellenar grandes huecos y calafateo con mortero para redondear aristas y pequeñas salientes de roca. También se utiliza este tipo de concreto para proporcionar taludes positivos a los cantiles de la boquilla.

Es conveniente que la colocación del concreto dental debe efectuarse hasta que se haya llegado a la roca firme o sana, o en su defecto cuando se hayan anclado debidamente los grandes bloques de roca inestable.

El tratamiento de la roca se hará en las siguientes zonas:

Zona 1.- En el contacto entre el corazón impermeable y el fondo del cauce, laderas y cantiles.

Zona 2.- En el contacto entre los respaldos de enrocamiento y las laderas.

Una vez tratada la roca, se procederá a colocar los materiales en la Cortina.

### **Equipos de transporte, colocación y compactación de materiales**

Dentro de los procesos de construcción, se encuentra la forma en que se realizará el Movimiento de Materiales, dicho movimiento consta desde la extracción de materiales en los bancos de préstamo, la carga de estos a los camiones, el transporte o acarreo, ya sea a los almacenes, a alguna planta para que este reciba el tratamiento indicado, o directamente a la Cortina, la colocación de material en esta y finalmente la compactación de materiales en la Cortina.

A continuación se define la forma en que se hace este movimiento de materiales, haciéndolo individualmente por cada material que conforma a la cortina.

## Arcilla

En el periodo de inicio el movimiento de este material se realizará de la siguiente manera: La arcilla o material impermeable, será extraída de los bancos de préstamo por medio de un tractor de orugas equipado con cuchilla y cargador frontal de 6 ½ o 9 Yd<sup>3</sup>, que colocarán en camiones de volteo de 6 m<sup>3</sup> de capacidad. Estos camiones lo acarrearán hasta los almacenes, en donde se les dará el tratamiento requerido. Ya tratando el material se procederá a transportarlo directamente hasta la Cortina, donde se depositará formando camellones de 1.0 m de altura aproximadamente en estado suelto, a continuación mediante motoconformadoras, se extenderá formando capas de 25 cm. de espesor, en estado suelto, estas capas se compactarán al 100% por medio de un rodillo liso vibratorio de 13.5 ton. de peso estático mediante 4 pasadas. Se podrá utilizar también para la compactación, un compactador patas de cabra.

Después de compactar el material, con una motoconformadora se procederá a escarificar el material, a una profundidad de 10 cm., con el fin de que al poner la otra capa de material exista una liga entre ambas capas y no queden huecos que puedan producir filtraciones posteriormente. Ya escarificado el material se humedecerá mediante riego por aspersión o pipas con el fin de conservar la humedad óptima que se requiere.

En las zonas de difícil acceso a los compactadores, la compactación del material, se realizará por medios manuales, como son las bailarinas.

La colocación y compactación de este material se hará a lo largo del eje de la Cortina, es decir transversalmente al sentido del río, con el fin de evitar oquedades por las que pueda filtrarse el agua y forme canales, ocasionando que con el tiempo se pueda presentar el fenómeno de tubificación.

En caso de compactar la arcilla mediante el compactador pata de cabra, no será necesario la escarificación del material.

En los periodos restantes, el proceso es similar, con la única diferencia que el acarreo del material ya no será con la ayuda de camiones, sino por medio de bandas transportadoras, debido al grado de dificultad que se presenta.

## Material 2, 3 y 4

Estos materiales serán extraídos del banco de material determinado previamente por Mecánica de Suelos. La extracción en este banco se hará mediante banqueos de 15 m. de espesor, con ayuda de una pala. El material extraído será cargado en camiones de volteo para así ser transportados a las diferentes plantas de tratamiento. De este lugar el material que ya ha sido sometido a un tratamiento, será acarreado a los diferentes lugares de colocación (Aguas arriba o Aguas abajo), posteriormente el material ya clasificado se tirará y será tendido por tractores de orugas equipados con cuchilla.

La compactación de estos materiales difiere y se menciona a continuación:

Material 2. Filtros.- Será colocado en capas de 50 cm. de espesor y compactado mediante 2 pasadas con rodillo liso vibratorio de 9 ton. de peso estático.

Material 3. Transición.- Su colocación consistirá en formar capas de 50 cm. de espesor, este se compactará con rodillo liso vibratorio de 9 ton. de peso estático.

Material 4. Enrocamiento de gran tamaño.- Este material se transportará con ayuda de camiones de capacidad de 50 ton., donde se colocará a volteo.

# **V PROGRAMAS**

## PROGRAMA SLOP-DIF.FOR

```

DIMENSION XS(20000),YS(20000),GAMA(10000),FHI(10000),C(10000)
DIMENSION AMORC(20000),XR(20000),ATAN(10000)
CHARACTER*12 F20,F30,F40,F50,F60
CHARACTER*72 TITLE1,TITLE2
PI=4.0*ATAN(1.0)
NANAL=1
1000 FORMAT(A12)
DO 10101 KOPO=1, NANAL
WRITE(*,1001)
1001 FORMAT(///20X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE MATERIALES'/
+          20X,' (EJ.. B:FILENAME.MAT) --> ')
READ(*,1000) F20

WRITE(*,1002)
1002 FORMAT(/20X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE GEOMETRIA DEL TALUD'/
+          20X,' (EJ.. B:FILENAME.OUT) --> ')
READ(*,1000) F40

WRITE(*,1003)
1003 FORMAT(/20X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE FACTORES DE SEGURIDAD'/
+          20X,' (EJ.. B:FILENAME.RES) --> ')
READ(*,1000) F40
WRITE(*,1004)
1004 FORMAT(/20X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE RED DE FLUJO'/
+          20X,' (EJ.. B:SLOP-GEO.FIL) --> ')
READ(*,1000) F50
WRITE(*,1005)
1005 FORMAT(/20X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS PARCIALES'/
+          20X,' (EJ.. B:FILENAME.OUT) --> ')
READ(*,1000) F60

C
C
C LECTURA DEL ARCHIVO DE PROPIEDADES Y CENTRO DEL CIRCULO
C
OPEN(20,FILE=F20,STATUS='OLD')
READ(20,*) TITLE1
READ(20,*) ICAS,TITLE2
1000 FORMAT(A72)
1001 FORMAT(I3,A72)
READ(20,*) NLINES,R,XI,YI,XF,YF,YNAME,CS,ITER,IPRI
1010 FORMAT(I3,7F8.2,I5,I3)
DO 1 I=1,NLINES-1
READ(20,*) ILO,GAMA(I),FHI(I),C(I)
1011 FORMAT(I3,F5.2,F6.2,F5.2)
FHI(I)=FHI(I)*PI/180
CLOSE(20)

C
C LECTURA DE LA GEOMETRIA DEL TALUD
C
OPEN(30,FILE=F30,STATUS='OLD')
READ(30,1015) NPUNP
1015 FORMAT(I5)
DO 10 I=1,NPUNP
1017 READ(30,*) XS(I),(YS(I,L),L=1,NLINES)
1020 FORMAT(20F10.3)
CLOSE(30)

C ARCHIVA LOS DATOS NECESARIOS PARA EL ARCHIVO DE SALIDA

```

```

OPEN(40,FILE F40,STATUS 'NEW')
WRITE(40,*)
WRITE(40,400) TITLE1
WRITE(40,*)
WRITE(40,401) TITLE2
WRITE(40,*)

DEFINICION DEL ANALISIS AGUAS ARRIBA IA = 0 AGUAS ABAJO IA = 1

XORD=XI
YORD=YI
XMED=(XS(NPUNP)+XS(1))/2
IF(XORD.LT.XMED) IA=0
IF(XORD.GT.XMED) IA=1
IF(IA.EQ.0) WRITE(40,*) 'ANALISIS AGUAS ARRIBA'
IF(IA.EQ.1) WRITE(40,*) 'ANALISIS AGUAS ABAJO'
WRITE(40,*)
WRITE(40,300)
FORMAT('X',X,'Y',Y,'RADIO',R,'FACTOR DE SEGURIDAD',FAC)
IF(IPRI.EQ.1) OPEN(60,FILE F60,STATUS 'NEW')

)
) CALCULA EL NUMERO DE CENTROS EN X Y Y
)
NUMX=ABS(INT(XF-XI))
NUMY=ABS(INT(YF-YI))
)
)
) CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD, VARIACIONES EN EL TIEMPO
)
ILO=0
DO 400 INR=1,40
ILO=ILO+1
DO 200 INY=1,NUMY,2
DO 300 INX=1,NUMX,2
kk=0
)
)
) CALCULA LA FUERZA DE FILTRACION Y EL EMPUJE HIDROSTATICO SI ES
NECESARIO
)
) CASO SEGUN LA CNA
)
) ICAS = 1 EMPUJE HIDROSTATICO AL NAME
) ICAS = 2 FUERZAS DE FILTRACION FLUJO ESTABLECIDO
) ICAS = 3 EMPUJE HIDROSTATICO AL NOT
) ICAS = 4 FUERZAS DE FILTRACION FLUJO ESTABLECIDO
) ICAS = 5 FUERZAS DE FILTRACION VACIADO RAPIDO
)
FF=0.0
EMPHI=0.0

IF(ICAS.EQ.1) THEN
FF=0.0
EMPHI=0.0
ENDIF

IF(ICAS.EQ.2) THEN
EMPHI=0.0
IF(XORD+R.LT.94.25) GO TO 5252
CALL EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EMPHI)
5252 FF=0.0

```

```

ENDIF

IF(ICAS.EQ.3) THEN
EMPHI=0.0
IF(XORD+R.LT.94.25) GO TO 5254
CALL EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EMPHI)
5253 CALL FILTRA2(XORD,YORD,R,FF,F50,IPRI)
ENDIF

IF(ICAS.EQ.4) THEN
EMPHI=0.0
IF(XORD+R.LT.94.25) GO TO 5254
CALL EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EMPHI)
5254 FF=0.0
ENDIF

IF(ICAS.EQ.5) THEN
EMPHI=0.0
IF(XORD+R.LT.94.25) GO TO 5255
CALL EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EMPHI)
5255 CALL FILTRA2(XORD,YORD,R,FF,F50,IPRI)
ENDIF

IF(ICAS.EQ.6) THEN
EMPHI=0.0
IF(XORD+R.LT.94.25) GO TO 5256
CALL EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EMPHI)
5256 FF=0.0
ENDIF

IF(ICAS.EQ.7) THEN
EMPHI=0.0
IF(XORD+R.LT.94.25) GO TO 5257
CALL EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EMPHI)
5257 CALL FILTRA1(XORD,YORD,R,FF,F50,IPRI)
ENDIF

DO 50 K=2,NPUNP
X=XS(K)
DISC=R**2-(X-XORD)**2
IF(DISC.LE.0.0) GOTO 50
Y=YORD-SORT(DISC)
N NLINES
DO 30 I=1,NLINES
IF(Y.GT.YS(K,I)) GO TO 20
II=II+1
50 CONTINUE
70 CONTINUE
SUM=0.0
IF(YS(K,1)-Y.LT.0.0) GO TO 50
DO 40 J=2,II
50 SUM=SUM+(YS(K,J-1)-YS(K,J))*GAMA(J-1)
SUM=SUM+(YS(K,II)-Y)*GAMA(II)
IF(SUM.LT.0.0) GO TO 50
KK=KK+1
PE=SUM
XR(KK)=XS(K)
IF(YORD-Y.LE.0.0) GO TO 50
AL=ABS(ATAN((XORD-X)/(YORD-Y)))
IF(IA.EQ.1.AND.X.LE.XORD) AL=AL

```

```

IF (IA.EQ.1.AND.X.GT.XORD) AL=-AL
IF (IA.EQ.0.AND.X.LE.XORD) AL=-AL
IF (IA.EQ.0.AND.X.GT.XORD) AL=AL
ACORT(KK)=PE*(SIN(AL)+CS*1.016)
ANORM(KK)=PE*(COS(AL)-CS*1.016)
IF (IPRI.EQ.1) WRITE(60,*) KK,XR(KK),ASUM1(KK),ANORM(KK),AC
X1=XS(K-1)
WRITE(23,*) K,X1,XORD,YORD,R
X1=XORD-R
*1 Y1=YORD-SQRT(R**2-(X1-XORD)**2)
X2=XS(K)
*2 Y2=YORD-SQRT(R**2-(X2-XORD)**2)

ANORM(KK)=ANORM(KK)*TAN(FHI(II))*(X2-X1)
ACORT(KK)=ACORT(KK)*(X2-X1)
A1=X1-XORD
A2=Y1-YORD
B1=X2-XORD
B2=Y2-YORD
A=SQRT(A1*A1+A2*A2)
B=SQRT(B1*B1+B2*B2)
CD=A1*B1+A2*B2
THETA=ACOS(CD/(A*B))
ALONG=THETA*R
COHE=ALONG*C(II)
ASUM1=ASUM1+ANORM(KK)
ASUM2=ASUM2+ACORT(KK)
ASUM3=ASUM3+COHE
CONTINUE
FS=(ASUM1+ASUM3)/(ASUM2+EMPRI+FF)
IF (FS.GT.1.6) GO TO 51512
WRITE(40,2020) XORD,YORD,R,FS
*11 CONTINUE
asum1=0.0
asum2=0.0
asum3=0.0
*12 FORMAT(8F10.3)
XORD=XORD+2.0
CONTINUE
XORD=XI
YORD=YORD+2.0
*13 CONTINUE
YORD=YI+2.0*ILO
R=R+2
CONTINUE
*14 CONTINUE
CLOSE(1)
END

SUBROUTINE FILTR1(XORD,YORD,R,FE,F50,IPRI)
DIMENSION X(50),Y(50),N(50),ICE(50,4),ICI(50,6),AREACE(50)
DIMENSION AREACT(50),AREA(50),AL(50),ALP(50),PZA(50),XEDI(50)
CHARACTER*12 F50
PI=ACOS(-1.)
OPEN(1,FILE=F50,STATUS='OLD')
READ(1,1000) NCUA,NPUN,AH
*15 FORMAT(2I5,5F10.3)
DO 10 L=1,NPUN
READ(1,1010) X(L),Y(L)
*16 FORMAT(3F10.3)

```

```

DO 20 L=1,NCUA
READ(1,1020) N(L), ICE(L,1), ICE(L,2), ICE(L,3), ICE(L,4)
FORMAT(15I3)
30 L=L+1,NCUA
NN=4
B=0.0
DO 40 I=1,NN-1
A=A+X(ICE(L,I))*Y(ICE(L,I+1))
B=B+X(ICE(L,I+1))*Y(ICE(L,I))
A=A+X(ICE(L,NN))*Y(ICE(L,1))
B=B+X(ICE(L,1))*Y(ICE(L,NN))
AREACE(L)=ABS((A-B)/2)
CONTINUE
GO 50 L=L+1,NCUA
NN=N(L)
A=0.0
B=0.0
DO 60 I=1,NN-1
A=A+X(ICE(L,I))*Y(ICE(L,I+1))
B=B+X(ICE(L,I+1))*Y(ICE(L,I))
A=A+X(ICE(L,NN))*Y(ICE(L,1))
B=B+X(ICE(L,1))*Y(ICE(L,NN))
AREACI(L)=ABS((A-B)/2)
CONTINUE
DO 70 I=1,NCUA
AREA(I)=AREACI(I)/AREACE(I)
SUM=0.0
SUM3=0.0
SUM1=0.0
LL=0
NN=4
DO 130 I=1,NCUA
DO 140 K=1,NN
DIST=R**2-(X(ICE(I,K))-XORD)**2
IF(DIST.LT.0.0) GO TO 130
YC=YORD-SORT(R**2-(X(ICE(I,K))-XORD)**2)
IF(YC.LT.Y(ICE(I,K))) GO TO 150
CONTINUE
GO TO 130
CONTINUE
LL=LL+1
X1=(X(ICE(I,1))+X(ICE(I,4)))/2
X2=(X(ICE(I,2))+X(ICE(I,3)))/2
Y1=(Y(ICE(I,1))+Y(ICE(I,4)))/2
Y2=(Y(ICE(I,2))+Y(ICE(I,3)))/2
AL(LL)=ABS(X2-X1)
FZA(LL)=AREA(I)*AL(LL)*AH
SUM=SUM+FZA(LL)
IF(X2-X1.EQ.0.0) ALP(LL)=PI
IF(X2-X1.NE.0.0) ALP(LL)=ATAN((Y2-Y1)/(X2-X1))
SUM1=SUM1+ALP(LL)
IF(IPRI.EQ.1) WRITE(60,*) I,LLALP(LL),AL(LL)
CONTINUE
FF=SUM
IF(IPRI.EQ.1) WRITE(60,*) FF,ALP, SUM1/LL,SUM
CLOSE(1)
RETURN
END

```

SUBROUTINE FILTRA2(XORD,YORD,R,FF,F50,IPRT)

```

DIMENSION X(50),Y(50),N(50),ICE(40,4),ICI(50,4),AREACE(50)
DIMENSION AREACI(50),AREA(50),ALP(50),FZA(50),NMEDI(50)
CHARACTER*12 F50
PI=ACOS(-1.)
OPEN(1,FILE=F50,STATUS='NEW')
READ(1,1000) NCUA,NPUN,AR
1000  FORMAT(2I5,5F10.3)
DO 10 L=1,NPUN
10  READ(1,1010) X(L),Y(L)
1010  FORMAT(3F10.3)
DO 20 L=1,NCUA
20  READ(1,1020) N(L),(ICE(L,I),I=1,4),(ICI(L,I),I=1,4)
1020  FORMAT(15I3)
DO 30 L=1,NCUA
NN=4
A=0.0
B=0.0
DO 40 I=1,NN-1
A=A+X(ICE(L,I))*Y(ICE(L,I+1))
B=B+X(ICE(L,I+1))*Y(ICE(L,I))
40  A=A+X(ICE(L,NN))*Y(ICE(L,1))
B=B+X(ICE(L,1))*Y(ICE(L,NN))
AREACE(L)=ABS((A-B)/2)
30  CONTINUE
DO 50 L=1,NCUA
NN=N(L)
A=0.0
B=0.0
DO 60 I=1,NN-1
A=A+X(ICI(L,I))*Y(ICI(L,I+1))
60  B=B+X(ICI(L,I+1))*Y(ICI(L,I))
A=A+X(ICI(L,NN))*Y(ICI(L,1))
B=B+X(ICI(L,1))*Y(ICI(L,NN))
AREACI(L)=ABS((A-B)/2)
50  CONTINUE
DO 70 I=1,NCUA
AREA(I)=AREACI(I)/AREACE(I)
70  SUM=0.0
SUM3=0.0
SUM1=0.0
LL=0
NN=4
DO 130 I=1,NCUA
DO 140 K=1,NN
DIST=R**2-(X(ICE(I,K))-XORD)**2
IF(DIST.LT.0.0) GO TO 140
YC=YORD-SQRT(R**2-(X(ICE(I,K))-XORD)**2)
IF(YC.LT.Y(ICE(I,K))) GO TO 150
140  CONTINUE
GO TO 130
150  CONTINUE
LL=LL+1
X1=(X(ICE(I,1))+X(ICE(I,2)))/2
X2=(X(ICE(I,3))+X(ICE(I,4)))/2
Y1=(Y(ICE(I,1))+Y(ICE(I,2)))/2
Y2=(Y(ICE(I,3))+Y(ICE(I,4)))/2
xmmedi(LL)=(x1+x2)/2
FZA(LL)=AREA(I)*AL(LL)*A#
SUM=SUM+FZA(LL)
IF(Y2-Y1.EQ.0.0) ALP(LL)=0.0

```

```

IF (Y2-Y1.NE.0.0) ALPHA=ATAN(Y2-Y1/(X2-X1))
SUM1=SUM1+ALP(LL)
SUM3=SUM3+XMED1(LL)*FZA**2
SUM4=SUM4+AM*LL
IF (IPRI.EQ.1) WRITE(6,*) 'X',X1,'Y',Y1,'Z',Z1,'SUM1',
CONTINUE
IF (SUM.LE.0.0) GOTO 7
XPOS=SUM3/SUM
YPOS=YORD-SQRT(ABS(R**2-(XPOS-XORD)**2))
ALPHA=ATAN((XORD-XPOS)/YORD)
FF=SUM*COS(SUM/LL-ALPHA)
IF (IPRI.EQ.1) WRITE(6,*) 'X',X1,'Y',Y1,'Z',Z1,'SUM1',
CLOSE(1)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE EMPUJE(YNAME,XORD,YORD,R,EM)
YTOP=1482.5
PEND=0.3
XIN=94.25
YIN=1440.3
XNAME=PEND*(YNAME-YIN)+XIN
DX=(XNAME-XIN)/0.10
IX=INT(DX)
EM=0.0
XC1=XIN+0.10
C WRITE(33,*) XORD,YORD,R
L=1
DO 10 I=1,IX
YLI=YIN+(XC1-XIN)/PEND
C WRITE(31,*) 'A DO', I,YLI
IF (YLI.GT.YTOP.OR.YLI.GT.YNAME) GO TO 500
IF ((R**2-(XC1-XORD)**2).LT.0.0) GO TO 30
YC1=YORD-SQRT(R**2-(XC1-XORD)**2)
C WRITE(33,*) 'DO',XC1,YC1,YLI
IF (ABS(YC1-YLI).LT.0.5) GOTO 20
30 XC1=XC1+0.10
L=L+1
10 CONTINUE
20 CONTINUE
IF (YC1.LE.0.0.OR.YC1.GE.YNAME) GO TO 500
YAPL=(YNAME-YC1)/3.0+yc1
XAPL=PEND*(YAPL-YIN)+XIN
C WRITE(33,*) XC1,YC1,YAPL,XAPL,R
C XAPL=XC1
D=SQRT((YNAME-YAPL)**2+(XNAME-XAPL)**2)
D1=YNAME-YAPL
EM=D*D1/2
XC2=XAPL
C WRITE(*,*) 'YAPL',YAPL,YC1,XC1
DO 40 I=L,10000
YL=YAPL-PEND*(XC2-XAPL)
C WRITE(33,2565) XORD,XC2,R,YL
IF (R**2-(XC2-XORD)**2.LT.0.0) XC2=XORD-R
YC2=YORD-SQRT(R**2-(XC2-XORD)**2)
IF (ABS(YC2-YL).LT.0.5) GOTO 50
XC2=XC2+0.10
40 CONTINUE
50 CONTINUE
AM1=(YAPL-YC2)/(XAPL-XC2-.10)

```

```

AN2 (YOR2-YC2)/(XOR2-XT2)
ALP1 ATAN((AN2-AN1)/(X2-AN1))
WRITE(33,2565) XOR2,YOR2,AN1,ALP1,ALP2,EM,EM2
FORMAT(7F15.5)
EM EM*SIN(ALP1)
WRITE(*,*) ALP1,ALP2,EM
.. : CONTINUE
RETURN
END

```



# **V CONCLUSIONES**

## V.- CONCLUSIONES

En la actualidad sabemos que existen grandes adelantos en cuanto a Ciencia y Tecnología, y uno de los puntos de gran importancia en el campo de la ingeniería son los procesos de construcción, además de los métodos de cálculo de las diferentes estructuras que ayudan a mejorar las condiciones de vida de la sociedad.

Antiguamente los cálculos matemáticos se realizaban única y exclusivamente con ayuda de papel y lápiz, lo que originaba que todos los tipos de proyectos tardaran en terminarse, además de que el costo por la elaboración de estos se incrementara ó se construía y si fallaba el siguiente proyecto era una modificación del anterior, de tal forma que se obtenía experiencia basándose en estructuras falladas.

En la actualidad existen programas de computadora que facilitan la mayoría de los cálculos de muchos tipos de proyectos, haciéndolos en su mayoría eficientes y económicos creando con esto un ambiente de competitividad para que los estudios realicen cada vez mejor, logrando tener el análisis de varias alternativas antes de definir el proyecto final.

De lo antes mencionado podemos decir que la utilización del programa de computadora para el cálculo de los taludes de una presa tiene varias ventajas con respecto a un procedimiento gráfico, que aunque el programa de computadora se apoya en resultados gráficos elaborados estos a papel y lápiz sigue siendo ventajoso ya que con este programa se pueden proponer diferentes pendientes en los taludes, modificando únicamente algunos datos, hasta obtener el talud más seguro y estable, mientras que si se utiliza un método gráfico su mayor desventaja sería, el tiempo utilizado en el cálculo, ya que en un determinado momento, en el que por ciertas circunstancias el talud fuera inestable, el procedimiento tendría que repetirse desde el principio.

Haciendo uso de esta gran ventaja que nos permite el programa de computadora, para este caso, en un primer intento se propuso una pendiente para los taludes de 2:1, esta pendiente resulta ser inestable ya que una vez que se corre el programa, los factores de seguridad arrojados por este fueron menores a los recomendados por la entonces llamada Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, por lo que se tuvo la necesidad de proponer un nuevo talud, este talud propuesto por segunda vez fue de 2:0.75 obteniendo con este nuevo talud factores de seguridad ligeramente mayores a los recomendados por la Secretaría antes mencionada.

De no haber contado con el programa de computadora, el procedimiento de cálculo hubiera sido más tardado, además de que con este programa se puede iterar hasta encontrar una sección transversal de la cortina eficiente, segura y económica.

Se dice que una presa o algún otro tipo de estructura es eficiente cuando cumple o cubre todas las necesidades para las cuales fue creada, además de que trabaja en perfectas condiciones.

La obra será segura cuando garantice que trabajando al 100% de su capacidad jamás podrá causar daños que pudieran poner en peligro a la sociedad.

Y será económica cuando la estructura no cuente con elementos adicionales innecesarios perjudicando con esto, en algunos casos, la buena funcionalidad de la estructura además de encarecerla. En este caso se encontró el talud mínimo con el cual la cortina es estable, reduciendo con esto los volúmenes de material utilizados para la construcción de ésta.

Un punto si no es que el más importante para el abatimiento de los costos en la construcción de una presa, es la Planeación, ya que el planteamiento de un buen procedimiento de construcción reducirá tiempos en las maniobras para la colocación de los materiales, mano de obra, herramienta y equipo.

La rapidez con la que se construye una presa debe ir de la mano con la calidad, no se debe escatimar con la calidad de los materiales ni con la colocación de estos ya que de esto depende el buen funcionamiento de la estructura además de la seguridad de la sociedad.

Uno de los aspectos a los que se les debe poner mucho cuidado, es al diseño de los taludes, ya que de la estabilidad de estos, depende en gran medida que las estructuras y en especial las presas de tierra y enrocamiento no lleguen a fallar. Por los análisis realizados en este trabajo, se puede observar que a medida que los taludes de la estructura son más tendidos, la estabilidad de estos será cada vez mayor y por consecuencia la estructura tendrá un grado de seguridad mas alto, pero en consecuencia, los volúmenes de material que se utilizarán para la construcción de estos, serán mayores, incrementando principalmente los costos en la construcción de estos, por tal motivo se debe encontrar el talud óptimo, que como se menciona anteriormente, nos dará una estructura mas eficiente, segura y económica.

# **BIBLIOGRAFÍA.**

Handbook of Dam Engineering  
Alfred R. Golzé  
1997  
Litton Educational Publishing, Inc.

Apuntes: Flujo de agua a través de suelos  
Comisión Nacional del Agua  
IMTA  
Coordinación del consultivo Técnico  
Dr. Raúl Flores Berrones

Presas de Tierra y enrocamiento  
Daniel Resendiz  
1988

Mecánica de Suelos Tomo III  
Juárez Badillo  
1986