

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**Proyecto para la modificación de la presa de almacenamiento
“el bajo”**

por:

Francisco Mancera Cornejo

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:**

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Junio del 2002**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA

**Proyecto para la modificación de la presa de almacenamiento
“el bajo”**

TESIS

Realizada por:

Francisco Mancera Cornejo

*Que somete a consideración el H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:*

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Aprobada:

M. C. Manuel Gonzáles Molina
Asesor Principal

M.C. Luis Samaniego Moreno
Asesor

Dr. Felipe de J. Ortega Rivera
Asesor

M. C. Luis Edmundo Ramírez Ramos
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México; Junio del 2002

AGRADECIMIENTOS

A quienes hicieron posible la realización y culminación del presente trabajo:

M. C. Manuel Gonzáles Molina

Quien dedicó su tiempo para la culminación del presente trabajo y por ser un gran amigo.

M.C. Luis Samaniego Moreno

Por apoyarme en la revisión del presente trabajo además de sus consejos y enseñanzas.

Dr. Felipe de J. Ortega

Por su participación en la elaboración del trabajo.

A los que me apoyaron siempre en mi carrera:

Ing. Juan Jose Rojas Rangel

M. C. Gregorio Briones

M. C. Luis Edmundo Ramírez

M. C. Sergio Z. Garza Vara

Ing. Fernando Villareal

Dr. Salvador Muñoz Castro

Ing. Jorge del Angel Vargas

A “mi alma mater”, por recibirme y darme la oportunidad de terminar una meta que dio inicio en un jardín de niños. Gracias a dios por permitirme llegar felizmente.

A la señora Olga Ramírez Morales por su apoyo incondicional durante toda mi estancia en Saltillo Coah.

A mis amigos y compañeros de la generación XCII de ingenieros agrónomos, que me brindaron en el tiempo que estuvimos juntos, las convivencias que compartimos y disfrutamos: en especial para Israel, Eduardo, Jorge, Ernesto, José, Héctor, Juan Pablo, Juan Carlos, a la banda Y a los que no aparecen pero saben que convivimos juntos.

Al departamento que forma Ingenieros de capacidad profesional. “Riego y Drenaje”.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES: Sr. Francisco Mancera Flores y Sra. Ignacia Cornejo Pérez. Por darme la vida y educarme siempre con el más grande ejemplo de lucha, tenacidad y valor ante los retos. Gracias por haberme tenido confianza y paciencia todos estos años, por impulsarme a superarme como individuo integro. Creo que la culminación de esta etapa de mi vida me permite honrar y bendecir la palabra padres.

A MIS HERMANOS: San Juana, Ma. Isabel, Ignacio, José Javier y Leticia. Les dedico la presente de manera especial, por el apoyo y ejemplo que me brindaron desde mi niñez, hasta mi formación profesional y por la muestra del gran amor y cariño hacia mi persona, con amor, respeto y admiración para ustedes. "GRACIAS".

A TODA LA FAMILIA:

A MIS ABUELOS: Sr. Dionisio Mancera, Sra. Eufracia de Mancera y Sr. Macario Cornejo, Sra. Paula de Cornejo, quienes siempre sembraron los valores de unidad y respeto en la familia.

A MIS SOBRINOS: Tratando de servir como ejemplo y estimularlos para que logren sus metas en su vida, que seguramente será exitosa.

A MIS TIOS: Por dar el ejemplo de lucha continua, que seguramente sus padres les inculcaron y por ser personas integras.

A MIS CUÑADOS: por ser grandes amigos y a sus familias, respetuosamente, con cariño su amigo Francisco Mancera Cornejo.

A todos y cada una de las personas que no menciono que de alguna manera aportaron su granito de arena para mi formación profesional, **mil gracias**.

INDICE DE CONTENIDO

	Pag
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
EL AGUA	4
Importancia	4
OBRAS HIDRAULICAS	6
Definiciones	6
CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE PRESAS	7
Generalidades	7
Clasificación según su uso	7
Clasificación según su funcionamiento hidráulico	9
Clasificación según los materiales	10
FACTORES FISICOS QUE GOBIERNAN LA SELECCIÓN	13
Generalidades	13
Topografía	14
Las condiciones geológicas y la cimentación	14
Materiales disponibles	16
LAS PEQUEÑAS PRESAS	17
LAS PRESAS DE TIERRA	18
Origen y evolución	18
Selección de tipo de presa de tierra	20
CORTINAS PARA PRESAS	21
Definición	21
OBRAS DE EXCEDENCIAS PARA PRESAS	22
Definición	22
Clasificación	23
OBRA DE TOMA DE LAS PRESAS	24
Definiciones	24
Consideraciones necesarias	24
Clasificación	25
Partes constitutivas	26
Mecanismos de control	27
Accesorios	28
TALUDES PARA PREASAS DE ALMACENAMIENTO	29
RED DE FLUJO	30
Definición	30

Trazo de líneas de flujo.....	33
Trazo de líneas de saturación.....	34
MATERIALES Y METODOS	39
LUGAR DE ESTABLECIMIENTO DEL TRABAJO.....	39
ANTECEDENTES.....	40
HIDROGRAFIA Y EXTENSIÓN.....	40
CULTIVOS ESTABLECIDOS.....	41
MATERIAL UTILIZADO.....	41
METODOLOGIA.....	42
Forma de trabajo.....	42
Estudios topográficos.....	42
Determinación de la naturaleza de la obra.....	44
Capacidad de almacenamiento de presa.....	45
Calculo de red de flujo.....	46
VERTEDOR TIPO LAVADERO.....	48
El diseño hidráulico.....	48
Diseño estructural.....	57
Canal de descarga.....	59
OBRA DE TOMA CON CAJA DE VÁLVULAS.....	61
El diseño hidráulico.....	61
RESULTADOS	67
CALCULO DE ALAMCENAMIENTO Y DE VOLUMENES DE TIERRA.....	67
CALCULO DE LA ALTURA MAXIMA DEL BORDO.....	68
CALCULO PARA EL VERTEDOR DE LA OBRA DE TOMA.....	69
El diseño hidráulico.....	69
El diseño estructural.....	75
CALCULO DE OBRA DE TOMA CON CJA DE VALVULAS.....	77
EL diseño hidráulico.....	77
El diseño estructural.....	81
CALCULO DEL GASTO DE INFILTRACIÓN.....	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFIA	87
APENDICE	88

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Distribución del agua.....	5
Tabla No. 2 Taludes recomendados para presas de tierra.....	29
Tabla No. 3 Taludes con relación al tipo de suelo.....	29
Tabla No. 4 Ancho de corona recomendados para presas de tierra.....	30
Tabla No. 5 Valores del coeficiente de rugosidad para canales y zanjas.....	55
Tabla No. 6 Velocidades permisibles en canales de acuerdo al material de	

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1	Trazo de la línea de saturación de la un presa de tierra.....	35
Figura No. 2	Construcción de la parábola base	Ap
Figura No. 3	Construcción de la red de flujo.....	Ap
Figura No. 4	Dimensiones de muros de contención.....	Ap
Figura No. 5	Alturas del muro de cabeza de estructura de entrada.....	Ap
Figura No. 6	Altura de los muros de la caja de válvulas.....	Ap
Figura No. 7	Longitud de la obra de toma con válvulas a la salida.....	Ap
Figura No. 8	Longitud del ducto de la obra de toma con válvulas a la salida.	Ap
Figura No. 9	Diagrama de Moody.....	Ap
Figura No. 10	Perfiles de obra de toma.....	Ap
Figura No. 11	Perfil del vertedor tipo lavadero.....	Ap
Figura No. 12	Area de influencia.....	Ap
Figura No. 13	curva de elevaciones-áreas-capacidades.....	Ap

Ap = APENDICE

INTRODUCCIÓN

El uso adecuado del agua desde hace muchos años es uno de los problemas que enfrentan una gran cantidad de organismos vivos. La importancia máxima corresponde al agua en su estado líquido. Las precipitaciones atmosféricas son las fuentes más importantes de agua dulce, no solamente en su totalidad sino también en lo que respecta a la frecuencia y distribución de las lluvias con relación a las diversas fases de desarrollo vegetativo de las plantas y el ser humano no está exento de éstos, por su gran importancia que esta tiene para sus funciones de vida y en la producción de sus alimentos, considerando que menos de 0.01 por ciento del total de agua está potencialmente disponible para su uso, doméstico, agrícola o industrial, y el resto no puede utilizarse, es entonces como el hombre ha buscado alternativas, como el tratar de recoger el agua de lluvia en cuencas naturales o artificiales, y derivarla a pequeñas obras de almacenamiento para canalizarlas correctamente para su aprovechamiento en la producción de alimentos y potabilización para auto consumo, es y ha sido la preocupación de muchas sociedades humanas a través de su historia e incluso hasta hoy en nuestros días.

Se estima que el 68 por ciento de la cantidad de agua dulce disponible es utilizada por la agricultura y debido al rápido crecimiento de nuestras

poblaciones también se incrementa la demanda de alimentos cada día más, por lo que siempre se trata de optimizar el agua en materia de riego.

El origen del uso adecuado del agua para riego se pierde en la prehistoria más antigua, y a través de la historia escrita de la humanidad existen documentos que muestran la antigüedad del riego. Cabe citar los sistemas de riego de Egipto, Mesopotamia, la India, China, etc. En el Génesis se cita a Amraphes, rey de Shinar y contemporáneo de Abraham, que probablemente sea el mismo Hammurabi, sexto Rey de la primera dinastía de Babilonia, el cual promulgó el llamado código de Hammurabi de cuyo contenido se deduce que la existencia de la gente dependía del riego. (Aguilera y Martínez, 1996).

Egipto se precia de poseer la presa más antigua del mundo, construida hace 5000 años, para almacenar agua para riego y abastecimiento de la población. (Israelsen Y Hansen, 1965).

Como antecedente, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro cuenta con una obra derivadora construida sobre el cauce del arroyo del pueblo, que pasa dentro de los límites de la Universidad en su extremo suroeste terreno conocido como el bajío. La obra derivadora alimenta a una presita de almacenamiento por medio de un canal que está muy cerca de dicha obra y una longitud pequeña por lo que no alcanza una carga hidráulica necesaria para derivar los volúmenes suficientes del vital líquido hacia la presita de almacenamiento que es muy pequeña y su alto grado de azolvamiento, no

permiten captar la cantidad de agua que demanda una huerta de 18 hectáreas de nogales. Es entonces como surge la idea de ampliar la presa de almacenamiento para tratar de hacer riegos de auxilio más frecuentes para el desarrollo de las actividades agrícolas de la huerta y procurar retener o conservar el vaso con ciertos volúmenes de agua para recargar los mantos freáticos locales que mucha falta les hace.

En el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos:

- Contar con un proyecto para la modificación de la presa de almacenamiento del Bajío, que sea más grande para tratar de dar riegos de auxilio más frecuentes.
- Tratar de tener una alternativa confiable para solucionar el problema de falta de agua para fines de riego en la Universidad.
- Dar seguimiento al proyecto más grande que comprende la modificación de obra de derivación, la presa de almacenamiento con obra de toma así como el vertedor de excedencias y diseño de canal para riego usando las aguas excedentes del vaso de almacenamiento.

MATERIALES Y METODOS

LUGAR DE ESTABLECIMIENTO DEL TRABAJO.

El lugar de establecimiento del trabajo está dentro de los límites de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista Saltillo Coahuila, en su extremo suroeste, lugar conocido como “el bajo”, esta superficie es de 25 has, pero el área de mayor influencia es un huerto de nogales que tiene una superficie de 18 hectáreas donde se cuenta con las siguientes condiciones geográficas:

Latitud 25° 22´

Altitud 1743 m.s.n.m.

Longitud 101° 22´oeste

Y con las características climático-edáficas siguientes de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García de Miranda.

Temperatura media anual 19.8 C

Precipitación media anual 298.5 mm

Zona semi-árida

Clima semi-cálido extremo

Suelo de aluvión

ANTECEDENTES

Dentro de la propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), existe una presa de almacenamiento que tiene un deficiente funcionamiento, por su mal diseño en el proyecto original.

La presa fue construida en la década de lo 50' y su objetivo era el de derivar el escurrimiento superficial hacia la presa de almacenamiento a través de un canal de tierra, para posteriormente regar la zona que es precisamente donde se realizan la mayor cantidad de actividades agrícolas de la universidad.

En el lugar de estudio existe una cuenca torrencial, la cual se caracteriza por pendientes fuertes e irregulares, deforestación de sus vertientes, avenidas súbitas y violentas y carga de sedimentos en las aguas.

HIDROGRAFÍA Y EXTENSIÓN.

La corriente principal que provee a la presa derivadora es el arroyo del pueblo, nace aproximadamente a 15 Km al sureste del lugar del proyecto. El área de captación se extiende en la parte Sur, Sureste y Suroeste de la UAAAN que es aproximadamente de 99.14 Km². Las principales corrientes que aportan a este arroyo son las del cañón de las terneras, salsipuedes y la encantada, que pertenecen a la sierra de Zapaliname ubicada al Sureste de la zona del

proyecto. Del lado Suroeste existen otras corrientes que aportan pero en menor cantidad, tal es el caso de las corrientes de la cañada chorreras, cuevas, el indio, entre otras (Vásquez, 2001).

CULTIVOS ESTABLECIDOS.

Los cultivos que se establecen están compuestos principalmente por nogales y cultivos productivos e investigación como el maíz, frijol y algunas hortalizas, dicha área de cultivo es aproximadamente de 25 has. Localizada en el extremo suroeste de la zona bajo de la universidad.

MATERIAL UTILIZADO.

Personal necesario.

La brigada topográfica debe estar compuesta por:

1 topógrafo (tesista)

1 aparatero anotador

1 balicero

1 estaquero

aparatos y equipo necesario

Los aparatos mínimos necesarios son:

1 tránsito

1 nivel montado (láser)

- 1 cinta metálica de 50 o 30 m
- 2 estadales de 4 m al cm
- 3 balizas
- 1 marro
- 1 calculadora
- 1 equipo de computo (software topográfico)

METODOLOGÍA.

Forma de trabajo.

El presente trabajo se realizó bajo los siguientes hábitos de trabajo:

1. Se realizó estudio topográfico del área de influencia.
2. Se determinó el tipo de obra a realizar.
3. Se realizaron los cálculos de diseño de la presa de almacenamiento.

Estudios topográficos.

La ejecución de estudios topográficos encaminados al proyecto diseño y construcción de pequeñas obras hidráulicas, tiene como objetivos principales proporcionar la información geométrica que permita conocer las características de campo que son necesarias para el estudio y diseño de cada una de las

estructuras componentes de la obra, así como establecer los puntos de control de líneas y niveles para su construcción.

Dada la importancia del estudio topográfico en la determinación de la obra a realizar, se realizaron 3 levantamientos topográficos para definir perfectamente el área con que se cuenta, los levantamientos fueron:

1. Levantamiento altimétrico sobre la corona de la presa existente, trazando una poligonal abierta y tomando puntos debajo de los lados de la corona y sobre la misma.
2. Levantamiento altimétrico sobre el terreno donde se encuentra la presa de almacenamiento, que fue mediante una cuadrícula de 30 m por 30 m.
3. Levantamiento altimétrico sobre todo el terreno que se considera beneficiado por el trabajo. Este fue sobre toda la huerta de nogales de 18 has de superficie que se trato de tomar lecturas sobre los lugares de pendiente mayor para definir perfectamente el perfil de terreno natural.

Con información proporcionada por el departamento de planeación de la universidad se hizo posible trazar una poligonal cerrada de la área de estudio, para después complementar con los datos tomados en campo y así contar con un plano topográfico completo con curvas a nivel a cada 50 cm.

Los planos topográficos y de tipo fueron realizados con la ayuda de el paquete de computo de autoCAD 2000 y SURFER 6.

Teniendo los datos topográficos se procedió a calcular el volumen y capacidad de almacenamiento de las condiciones actuales de la presa de almacenamiento.

Determinación de la naturaleza de la obra.

Contando con la información de campo y el trabajo realizado por Vásquez (2001) en su tesis llamada proyecto de rehabilitación de la presa derivadora “el bajío”, y siendo las presas de tierra las más económicas aunada a su fácil construcción y diseño, se llego a las decisiones siguientes:

- Se modificará la presa de almacenamiento, para que sea más grande y retenga mayor cantidad de agua que servirá para de dar riegos de auxilio a la huerta de nogal.
- La cortina será de arcilla compactada, por ser un elemento abundante en el sitio.
- No se realizará análisis de estabilidad, por ser una presa de pequeña altura.
- Determinar la red de flujo para calcular el gasto de filtración en la presa.
- La obra de toma será con válvulas a la salida.
- El vertedor es de tipo lavadero.

Capacidad de almacenamiento de la presa

Las condiciones de la presa de almacenamiento son muy irregulares tanto en su forma actual como en taludes que los podemos encontrar de 1.5:1 hasta de 3:1, como en ancho de corona con variaciones de 10 m hasta de 4 m, y cotas de la corona de 100.5 hasta de 102.2 tomando como cota base 100.0 la cresta del vertedor de la obra de derivación existente sobre el cauce del arroyo.

Con los datos de los levantamientos topográficos se procedió a calcular el almacenamiento actual mediante el uso de programas de computo que fueron los de SURFER 6 y autoCAD 2000, que nos permitirán obtener resultados más confiables.

Para la realización de los planos topográficos se estimaron las curvas a nivel cada 50 cm en SURFER 6 y se exporto el dibujo a autoCAD 2000, para complementar la altimetría y la poligonal cerrada del área de trabajo.

Se determino trazar el eje del nuevo vaso de almacenamiento considerando 10 m entre el pie del bordo y los limites de la Universidad y el cauce del arroyo, para dejar espacio para un camino periférico que existe y otras obras. Se recorrió el vaso hasta alcanzar un volumen de diseño.

El volumen de diseño esta condicionado fundamentalmente por el área que es pequeña, limitada por su situación geográfica que tiene dentro del área de trabajo. También el volumen de diseño es función de la situación altimetría del lugar, considerando que no se pretende alterar en demasía el perfil natural del terreno, recomendación dada por expertos en construcción de presas; para no afectar el gasto de infiltración del lugar.

El calculo de capacidad de almacenamiento se realizo de la misma manera que para la presa actual, tomando un criterio de diseño que contemplo los aspectos económicos y el volumen de diseño.

Calculo de red de flujo

Se determina la parábola base, para calcular la línea de saturación usando la formula No. 7:

$$y = \sqrt{2xy_o + y^2_o}$$

Se obtienen los valores para la construcción de línea de saturación (X,Y) y se realizan los trazos de las transiciones, tomando en cuenta las reglas de Casagrande citado por Villaseñor (1979).

C.P.,(1980), establece que la red de flujo se obtiene usando un método gráfico, ver figura No. 3 del apéndice, que se basa en tanteos y consiste en trazar las líneas equipotenciales y perpendicularmente a ellas las líneas de corriente para formar figuras aproximadamente cuadradas en toda la red.

Para el trazo de las líneas equipotenciales es conveniente dividir la carga hidrostática en partes iguales y llevar horizontalmente dichas separaciones hasta cortar a la línea de saturación y al talud aguas abajo, de manera que quedan definidos puntos de donde parten las equipotenciales, que deben ser normales a la línea de saturación y al talud aguas abajo y llegar normales al estrato impermeable.

Normales a las equipotenciales se trazan las líneas de corriente, haciendo a ambos conjuntos de líneas los ajustes necesarios para lograr en la forma más aproximada a la formación de cuadros en la red de flujo.

Con la condición de bordo lleno el gasto de infiltración se obtiene con la formula:

$$Q_f = KH \frac{nt}{ne} \quad (9)$$

siendo:

Q_f = el gato de infiltración, cm^3/seg .

K = coeficiente de permeabilidad, cm/seg.

H' = carga hidrostática, este calculo se expresa en cm.

n_t = numero de tubos de corriente.

n_e = numero de equipotenciales.

El coeficiente de permeabilidad se obtiene experimentalmente o bien se consideran coeficientes de acuerdo al tipo de suelo con que sé este trabajo para nuestro caso es arcilla compactada tiene un valor de 1 cm/seg.

La carga hidrostática representa la distancia vertical entre el nivel de almacenamiento y el nivel aguas arriba del bordo.

El numero de tubos de corriente y equipotenciales se obtienen del dibujo de la red de flujo, figura No 6 del apéndice.

VERTEDOR TIPO LAVADERO

El diseño hidráulico

El diseño hidráulico consiste en determinar la longitud de la sección de control y la carga sobre la misma y en especificar los requisitos de los canales de acceso de acceso y descarga

Sección de control. El diseño hidráulico de la sección de control consiste en determinar su longitud y su carga de diseño.

Para definir estas características es necesario tomar en cuenta dos factores principales, que son: las condiciones topográficas en las que se ubica la obra y el costo de la misma. Por lo tanto, es necesario calcular las cargas sobre la sección de control a partir de diferentes longitudes de cresta y seleccionar la más económica.

A longitudes de cresta (L) la longitud de la sección de control varía en función de las condiciones topográficas y geológicas del lugar y del gasto de la avenida de diseño.

Carga de diseño (Hd). Dada la magnitud de las obras y para los gastos máximos que se presentan (entre 5 y 200m³/seg) se recomienda que las cargas de diseño fluctúen entre 0.05 y 2.00 m, las que se determinan con la formula general de vertedores:

$$Q = C L H_d^{3/2} \quad (10)$$

donde:

Hd = Carga de diseño sobre la sección de control, m

Q = Gasto de la avenida de diseño, m³/seg

C = coeficiente de descarga experimental es de 1.45. sin embargo, se puede ser menor, hasta 1.35, de acuerdo a la pendiente del canal de descarga

L = Longitud de la sección de control, m

Es importante hacer notar que la carga considerada para el diseño de la sección de control puede ser mayor a la real si el canal de descarga tiene una pendiente muy suave (menor que 0.0009) y una longitud controlada de descarga de una magnitud considerable (más de 30 m), tal que combinadas provoquen una curva de remanso que ahogue el vertedor y pueda invadir el borde libre de la obra. En este caso es conveniente determinar en forma más precisa la carga sobre la sección de control considerando dicho remanso.

Canal de acceso. El diseño hidráulico del canal de acceso consiste en definir una canal que permita que la corriente llegue en forma perpendicular a la sección de control y libre en toda su longitud para evitar la formación de turbulencias y zonas de vertedor sin flujo permanente.

Las características de este canal son las siguientes:

1. La pendiente de la plantilla debe ser $S=0.02$ como mínimo, en contra pendiente con el flujo y a partir de la elevación de la sección de control.
2. La plantilla en el inicio del canal (B') debe ser una y media veces la plantilla (L) del mismo canal en la sección de control: $B = 1.5 L$.

3. La línea de inicio de corte en la ladera debe ser una curva, para encausa los filetes líquidos y evitar turbulencias.
4. Los taludes se fijan de acuerdo al material del sitio, según el estudio geológico.
5. El trazo del canal de acceso se diseña como una curva espiral por el procedimiento indicado en los estudios topográficos.

Estas especificaciones tienen como finalidad proporcionar al canal de acceso la capacidad necesaria para conducir el gasto de la avenida de diseño y evitar que se invada el libre bordo de la cortina.

Canal de descarga. El diseño hidráulico del canal de descarga consiste esencialmente en determinar el tirante de escurrimiento, la sección transversal y la velocidad, para definir de acuerdo al material en que se localice, si es necesario protegerlo contra la erosión producida por el escurrimiento.

El procedimiento de calculo es el siguiente:

1. El ancho de la plantilla (B) se hace igual a la longitud de la sección de control, (L).
2. El tirante (Y_o) se hace igual a la carga de diseño, (H_d).
3. El talud (m) se fija de acuerdo al tipo de material existente en el desplante, según se indica en los estudios geológicos. En el canal de descarga, cuando no sea necesario revestirlo, se recomienda un talud de 1:1 para garantizar su estabilidad y para facilitar los cálculos hidráulicos.

4. Se calcula el valor del coeficiente del gasto. Se requiere que el gasto fluya con régimen uniforme de manera que no se provoque erosión ni se propicie ahogamiento en la sección de control.

Cuando se tiene régimen uniforme, el tirante y la pendiente se llaman normales y se designan por:

Y_0 = Tirante normal

S_0 = Pendiente normal

La velocidad en canales está dada por la formula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} r^{2/3} S_0^{1/2} \quad (11)$$

El gasto de acuerdo a la ecuación de continuidad se obtiene multiplicando el área hidráulica por la velocidad.

$$Q = A \frac{1}{n} r^{2/3} S_0^{1/2} \quad (12)$$

de donde:

$$\frac{Q}{S_0^{1/2}} = A \frac{1}{n} r^{2/3}$$

Y llamando:

$$K_o = \frac{Q}{S_o^{1/2}} \quad (13)$$

se obtiene:

$$K_o = \frac{A}{n} r^{2/3} \quad (14)$$

y puesto que el área hidráulica vale:

$$A = BY_o + mY_o^2 \quad (15)$$

el valor del perímetro de mojado es:

$$p = B + 2Y_o \sqrt{1 + m^2} \quad (16)$$

y el radio hidráulico esta dado por la expresión siguiente:

$$r = \frac{A}{p} = \frac{BY_o + mY_o^2}{B + 2Y_o \sqrt{1 + m^2}} \quad (17)$$

sustituyendo los valores de A y r en la ecuación 614:

$$K_o = \frac{1}{n} (BY_o + mY_o^2) * \left[\frac{BY_o + mY_o^2}{B + 2Y_o \sqrt{1 + m^2}} \right]^{2/3} \quad (18)$$

y, finalmente:

$$K_o = \frac{(BY_o + Y_o^2)^{5/3}}{n (B + 2Y_o \sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \quad (19)$$

en las ecuaciones del desarrollo anterior las literales significan:

Q = Gasto de la avenida de diseño, m³/seg

So = pendiente normal del canal, adimensional

Ko = Coeficiente de gasto, m³/seg

B = Plantilla del canal = L = Longitud de la sección de control, m

m = Talud del canal, adimensional

Yo = Tirante normal del canal = Hd = carga de diseño, m

n = Coeficiente de rugosidad de Manning se puede tomar para proyecto 0.025 en canales de tierra, alineados y uniformes en condiciones malas.

El coeficiente de rugosidad depende de las condiciones del material de la plantilla y los taludes. Algunos valores de n los podemos encontrar en la tabla No. 5 que se presenta a continuación:

Tabla No. 5 Valores del coeficiente de rugosidad para canales y zanjas

<i>SUPERFICIE</i>	<i>CONDICIONES DE LAS PEREDES</i>			
	Perfectas Regulares	Buena Malas		
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.022	0.025
En roca, limosos y uniformes	0.025	0.030	0.033	0.035
En roca con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	-----
Sinuoso y de escurrimiento lento	0.0225	0.025	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos tierra enhierbados	0.020	0.030	0.035	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035

5 Se calcula el valor de la pendiente normal. Elevando al cuadrado la ecuación

No. 13:

$$K\sigma^2 = \frac{Q^2}{S_o}$$

despejando S_o :

$$S_o = \left(\frac{Q}{K\sigma} \right)^2 \quad (20)$$

La pendiente S_0 obtenida será la mínima con que se debe construir el canal para que el lavadero no se ahogue en su sección de control.

6 Se determina el área hidráulica con la ecuación:

$$A = BY_0 + mY_0^2 \quad (21)$$

en donde:

A = Área hidráulica, m^2 .

7 Se calcula la velocidad a partir del área (A) y el gasto de la avenida de diseño (Q) con la ecuación de continuidad:

$$Q = AV \quad (22)$$

por lo que:

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

donde:

V = Velocidad del flujo de descarga, m/seg.

Esta velocidad se compara con los datos de velocidad permisibles que se indican en el siguiente cuadro para definir si es necesario protegerlo contra la erosión, de acuerdo con el material en que se aloja el canal. La Tabla No. 6 nos proporciona las velocidades:

Tabla No. 6 Velocidades permisibles en canales de acuerdo al material de construcción

<i>MATERIAL</i>	<i>VELOCIDAD PERMISIBLE</i>
	m/seg
Arcilla arenosa no coloidal	0.76
Arena fina coloidal	0.76
Limo arcilloso no coloidal	0.92
Limos aluviales no coloidales	1.07
Arcilla firme ordinaria	1.07
Ceniza volcánica	1.07
Arcilla aluvial coloidal	1.52
Limo aluvial coloidal	1.52
Grava fina	1.52
Material graduado de arcilla a guijarros no coloidal	1.52
Material graduado de limos a guijarros coloidales	1.68
Grava gruesa no coloidal	1.68
Guijarros y cascajos	1.68
Pizarras y conglomerados	1.83

Diseño estructural

En la obra de excedencias del tipo lavadero, el diseño estructural consiste en diseñar las dimensiones de muros y revestimiento de la sección de control y canal de descarga.

Canal de acceso. La plantilla no requiere revestimiento, sin embargo, es recomendable que siempre que las condiciones de la obra lo permitan, se

proteja con pastos de este canal, así el de descarga, de preferencia con pastos de guía.

En la ladera, sobre la curva que define el inicio de los cortes, en general tampoco es necesario ningún revestimiento o muro, siendo suficiente que el inicio del corte tenga el talud necesario según el material en que se excave.

Sección de control. En la sección de control se distinguen tres elementos estructurales principales:

- a) Revestimiento de la plantilla. En la plantilla de la sección de control, se debe construir un revestimiento que puede ser de mampostería o zampeado seco entre dentellones de mampostería.

La longitud del revestimiento en la sección de control (L_r) se determina con la relación:

$$L_r = 10Hd \quad (23)$$

Esta longitud debe ser como mínimo 6 metros.

Esta especificación es también de tipo hidráulico, ya que se debe cumplir para que el lavadero se considere como vertedor de cresta ancha, pues de otra forma funciona como canal corto.

- b) Muro del terraplén. La unión entre la sección de control con el terraplén se logra mediante un muro de mampostería.

La planta del muro es normal al bordo en toda su longitud, debiendo prolongarse en caso necesario hacia aguas abajo, para encauzar la descarga hasta que no provoque erosión en la traza seca del bordo.

La corona del muro de contención se diseña de acuerdo con las dimensiones de la figura No. 6.4 que proporciona valores para alturas hasta de $H_m = 3.60$ m.

siendo:

$$H_m = \text{Carga de diseño} + \text{libre bordo}$$

$$H_m = H_d + L B \quad (24)$$

El desplante (D) se hace hasta la roca firme y en caso de que ésta se encuentre muy profunda, se recomienda que la profundidad de desplante sea como mínimo de 1.00 m a partir del piso de la sección de control.

- c) Muro de ladera. En la unión de la sección de control y la ladera, puede ser necesario un muro de mampostería; este muro puede tener el talud de la excavación de la ladera, o bien ser vertical con transiciones regladas hacia el talud de la excavación aguas arriba y abajo, o con muros a escuadra empotrada en la ladera.

Las dimensiones de la sección transversal del muro de ladera, son las mismas que las del muro del terraplén.

Canal de descarga

En el canal de descarga, se tienen los siguientes elementos:

- a) Espiral a la salida. En el canal de descarga, puede ser necesario trazar otra espiral análoga a la del canal de acceso para lograr el encauce de la avenida nuevamente al arroyo; en este canal es necesario proyectar un tramo recto antes de la espiral, de manera que la descarga se efectúe aguas abajo de la traza seca del bordo.
- b) Dentellón. En la línea de terminación de corte aguas abajo, puede ser necesario proyectar un dentellón de mampostería o concreto ciclópeo, que evite erosión regresiva hacia la sección de control debida a la velocidad excesiva del flujo aguas abajo en el canal de descarga, provocado por una topografía que propicia una pendiente fuerte del mismo.
- c) Estructuras disipadoras de energía. Puede ser necesario en algunos casos, proyectar una estructura disipadora de energía al pie del canal de descarga. Esta estructura depende de las condiciones de la descarga que son particulares de cada obra, requiriéndose en caso necesario consultar la bibliografía al respecto.

En algunas ocasiones, si el material del sitio donde se localice la obra de excedencias no es muy susceptible a la erosión, es suficiente la construcción de un canal de alivio con sección trapezoidal, cuyo talud correspondiente al bordo se protege con mampostería.

Es recomendable que siempre que las condiciones de la obra lo permitan, se proteja con pastos el canal de acceso, la sección de control y el canal de descarga. De preferencia con pastos de guía como los tipos Bermuda (*Cynodon Dactylon*).

OBRA DE TOMA CON CAJA DE VALVULAS.

Diseño hidraulico

1. El procedimiento de cálculo es de demanda mensual máxima con la formula:

$$Q_{ot} = \frac{1000v_{dimax}}{3600HoDo} \quad (25)$$

donde:

Q_{ot} = Gasto de la obra de toma para el volumen de demanda máxima mensual, m³/seg

V_{dimax} = Volumen de la demanda máxima mensual, miles de m³

H_o = Horas de operación de la obra de toma por día

D_o = Días de operación por mes

2. Se propone un diámetro comercial del ducto.
3. Se calcula el volumen que corresponde a la suma:

$$volumenCZ + 0.1CI \quad (26)$$

donde:

CZ= capacidad de azolves, Mm³

CI= capacidad inicial útil, Mm³.

4. Se obtiene el volumen inicial del mes de demanda máxima:
5. Se comparan los volúmenes obtenidos en los puntos 3 y 4 y se toma el valor menor para los cálculos subsiguientes.
6. La elevación que corresponde al volumen determinado en el punto 5 se determina en la gráfica de elevaciones-áreas-capacidades del vaso.
7. En esta misma gráfica se obtiene la elevación correspondiente a la capacidad de azolve y se agrega el diámetro del ducto propuesto:

$$Elev(CZ + \Phi) \quad (27)$$

8. La carga mínima de operación o carga de diseño de la obra de toma se obtiene con las fórmulas siguientes.

$$H_{min} = Elev(CZ + 0.1CI) - Elev(CZ + \Phi) \quad (28)$$

$$H_{min} = ElevVI - Eleva(CZ + \Phi)$$

9. La longitud de la obra de toma se determina con las siguientes bases: el origen 0 + 000 del almacenamiento de la obra de toma se localiza en la intersección del talud aguas arriba, con la elevación de CZ; en este punto se fija el paño de aguas arriba de la estructura de entrada.

El extremo se localiza en la intersección del talud aguas abajo m23 con elevación de CZ; en este punto se fija el paño de aguas debajo de la caja de válvulas.

A la longitud comprendida entre el origen y el extremo se le agrega 2.4 m correspondientes al tanque de descarga.

La longitud de la obra de toma se calcula con la formula:

$$Lot = (m1 + m2)h + C + 2.4 \quad (29)$$

siendo:

Lot= longitud de la obra de toma, m

m1 = talud aguas arriba

m2 = talud aguas abajo

h = Elev corona - Elev CZ, m

C = ancho de la corona, m

10. Longitud del ducto. Es igual a la longitud de la obra de toma, y que corresponden a las longitudes de la estructura de entrada y del tanque de descarga, de acuerdo con la formula:

$$Ld = Lot - 1.60 - 2.20 \quad (30)$$

$$Ld = Lot - 3.80$$

donde:

Ld = Longitud del ducto, m

11. Longitud para el calculo de fricción. Para el cálculo de la velocidad de aguas a la salida del ducto, se consideran las pérdidas de carga por fricción en la tubería y las debidas a las dos válvulas y un codo, cuyos efectos se pueden transformar a una longitud equivalente de la misma tubería.

Por lo tanto, la longitud considerada para el cálculo de la velocidad es:

$$L = Ld + 2Lev + lec \quad (31)$$

donde:

L = longitud para el cálculo de la velocidad, m

Lev = longitud equivalente debida a pérdidas de carga por las válvulas, m

Lec = longitud equivalente debida a pérdidas de carga por codo, m

12. El área hidráulica de la sección circular es:

$$A = 0.7854\Phi^2 \quad (32)$$

donde

A = área hidráulica de la sección circular, m²

13. Velocidad aproximada. La fricción en el ducto y piezas especiales es función de la velocidad, por lo que en principio se requiere conocer ésta en forma aproximada y se calcula con

$$V' = \frac{Q_{ot}}{A} \quad (33)$$

14. Se obtiene el coeficiente de fricción f en función del diámetro, de la velocidad aproximada y del material del ducto.

15. Además de las pérdidas por válvulas y codo ya consideradas, se calcula el coeficiente total de pérdidas de carga locales que incluye a los coeficientes de pérdidas de carga por rejilla, por entrada y por salida de acuerdo a la relación:

$$KT = Kr + Ke + Ks \quad (34)$$

donde:

KT = coeficiente total de pérdidas

Kr = coeficiente de pérdida por rejilla; para proyectos se usa 0.10

Ke = coeficiente de pérdida por entrada de aristas redondeadas; para proyectos se usa 0.23.

Ks = coeficiente de pérdida por salida; para proyecto se usa 0.20

Por lo que:

$$KT = 0.53$$

16. Se calcula la velocidad mínima del agua a la salida con la fórmula:

$$V_{min} = 4.43 \sqrt{\frac{H_{min}}{1 + KT + f \frac{L}{\Phi}}}$$

sustituyendo el valor de KT:

$$V_{min} = 4.43 \sqrt{\frac{H_{min}}{1.53 + f \frac{L}{\Phi}}} \quad (35)$$

17. Con el área hidráulica y la velocidad, se calcula el gasto mínimo con la siguiente fórmula:

$$Q_{min} = AV_{min} \quad (36)$$

en la que:

Q_{min} = gasto a la salida del ducto, m³/seg

18. Verificación. Este gasto debe ser aproximadamente igual al gasto de la demanda mensual máxima Q_{ot} . Si no resulta así, se propone otro diámetro comercial de tubería y se repite el procedimiento hasta lograr que dichos gastos sean semejantes.

19. Una vez que se ha determinado el diámetro de la obra de toma en condiciones de demanda máxima mensual y de carga mínima es conveniente conocer el gasto máximo que dicha obra puede desfogar. La carga máxima que se calcula con la relación.

$$H_{max} = ElevNAME - (ElevVZ + \Phi) \quad (37)$$

donde:

H_{max} = carga máxima de la obra de toma, m

$ElevNAME$ = elevación del nivel de aguas normales de embalse

20. Se calcula la velocidad máxima de la obra con la formula:

$$V_{max} = 4.43 \sqrt{\frac{H_{max}}{1.53 + f \frac{L}{\Phi}}} \quad (38)$$

21. Se calcula el gasto máximo con la formula:

$$Q_{max} = Av_{max} \quad (39)$$

22. Durante el año se requiere hacer extracciones variables según las demandas consideradas para cada mes; por otra parte, se tienen variaciones en el nivel de embalse, las que provocan cargas variables en la obra de toma. La combinación de estos dos elementos requiere que la válvula se opere abriéndola o cerrándola para que proporcione el gasto de la demanda.

REVISIÓN DE LITERATURA

EL AGUA.

Importancia y distribución.

Aguilera y Martínez (1996), dicen que el agua es un recurso natural imprescindible para cualquiera de los tipos de vida existentes en la tierra, constituye el elemento natural de muchas especies tanto animales, como vegetales por ser ésta la parte esencial del protoplasma celular, constituye un elemento importante de la fotosíntesis y un medio indispensable de suministro de elementos nutritivos.

Aguilera y Martínez (1996) toman datos de la F.A.O. (1976) que dicen que las plantas esenciales para la alimentación del hombre merecen especial atención, pero ninguna técnica agrícola puede alterar el hecho de que se requieran de 400 o más litros de agua, para producir un solo Kilogramo (kg) de materia orgánica (seca), por otra parte también consideran que el peso corporal del hombre está integrado por agua en un 97% tres días después de su nacimiento, en un 81% ocho meses después y en un 65-75% en su vejez. El hombre, pues, necesita todos los días de 2.5 a 3 litros de agua potable de gran calidad biológica, incluida la contenida en los alimentos.

Por lo que es importante conocer la cantidad y distribución de ésta en el mundo para lograr su mejor aprovechamiento. Según el soviético Gorsky (1962), citado por Aguilera y Martínez (1996), el volumen de agua salada en los océanos es aproximadamente de 1370 millones de kilómetros cúbicos. En las masas polares de hielo y nieve, se tiene un volumen de más de 30 millones de kilómetros cúbicos de agua, en los lagos y en los ríos se encuentran 4 millones de kilómetros cúbicos, y en la atmósfera, las aguas en forma de vapor comprende de 7 a 12 mil kilómetros cúbicos. La distribución es aproximadamente como en la siguiente tabla:

Tabla No. 1 Distribución del agua

CONCEPTO	MILL DE KM ³	%
Océanos	1370	97.57
Casquetes polares	30	2.4
Agua de tierra firme	4	0.29
Atmósfera	0.007 a 0.012	0.0005
Total:	1404.010	100.0005

Respecto al agua contenida en la corteza terrestre, su volumen es relativamente grande, ya que representa el siete por ciento del peso de la misma corteza, pero con gran limitante de su salida a la superficie. Sobre este

tipo de agua, la bibliografía reporta datos. Así como según la hipótesis del soviético Viinogradov, citado por Gorsky (1962), los mantos acuíferos contienen agua equivalente a 1000 veces el peso del volumen de ésta existente en la atmósfera. Otra opinión es la del hidrólogo soviético N.A. Plotnikov, citado por Gorsky (1962), que dice que el volumen de agua subterránea en la atmósfera terrestre es de aproximadamente igual a 100 millones de kilómetros cúbicos, lo que constituye cerca de $\frac{1}{14}$ del volumen de agua de los océanos y los mares, lo que supera en 8000 veces el contenido de agua en el aire. Por último F. Kiuenen, citado por Gorsky (1962), calculó que solamente en la capa de los cinco kilómetros superiores de la corteza terrestre, el volumen de agua es aproximadamente tres veces mayor que el del feldespato, que ocupa en la corteza terrestre el 2º lugar en cantidad después del agua.

LAS OBRAS HIDRAULICAS.

Definición.

Las obras hidráulicas son estructuras destinadas a trabajar con líquidos (especialmente agua), y soportar la acción de los mismos; en dichas estructuras intervienen orificios, vertedores, tuberías y canales, o la combinación adecuada de ellos (Villaseñor, 1979).

Torres (1980); señala que las obras hidráulicas están formadas por un conjunto de estructuras construidas especialmente para manejar el agua cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.

También comenta que dentro de los aprovechamientos hidráulicos se encuentran los almacenamientos, formados por una presa, en un sitio previamente escogido, que es donde se cambia el régimen natural del escurrimiento al régimen artificial de la demanda, de acuerdo con el fin o los fines a que se destine. Aquí es conveniente recordar que una presa consta, en lo general, de las partes siguientes: vaso, cortina, obra de toma, obra de excedencia y si es conveniente obra de desvío.

CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE PRESAS.

Generalidades.

Las presas se pueden clasificar en un número de categorías diferentes, que depende del objeto de estudio, es conveniente considerar tres amplias clasificaciones de acuerdo con: el uso, el funcionamiento hidráulico, o los materiales que forman la estructura (Arthur, 1976).

Clasificación según su uso.

Las presas se pueden clasificar de acuerdo con la función más general que van a desempeñar, como de almacenamiento, de derivación, o regulación. Se pueden precisar más las clasificaciones cuando se consideran sus funciones específicas.

Presas de almacenamiento, se construyen para embalsar el agua en los periodos en que sobra, para utilizarla cuando escasea. Estos periodos pueden ser estacionales, anuales, o más largos. Muchas presas pequeñas almacenan los escurrimientos de primavera para usarse en la estación seca del verano. Las presas de almacenamiento se pueden a su vez clasificar de acuerdo con el objeto del almacenamiento, como para abastecimientos de agua, para recreo, para la cría de peces y animales salvajes, para la generación de energía hidroeléctrica, irrigación, etc. El objeto específico u objetos en los que se va a

utilizar el almacenamiento tienen a menudo influencia en el proyecto de la estructura, y pueden determinar conceptos como el de la magnitud de las fluctuaciones del nivel que pueden esperarse en el vaso y el del volumen de filtraciones que pueden permitirse.

Las presas de derivación, se construyen ordinariamente para proporcionar la carga necesaria para derivar el agua hacia zanjas, canales, u otros sistemas de conducción hasta el lugar en que se van a usar. Se utilizan en los sistemas de riego, para la derivación de una corriente natural hacia un vaso de almacenamiento que se localiza fuera del cauce natural de la corriente, para usos municipales e industriales, o para una combinación de los mismos.

Las presas reguladoras, se construyen para recargar el escurrimiento de las avenidas y disminuir el efecto de las ocasionales. Las presas reguladoras se dividen en dos tipos. En uno de ellos, el agua se almacena temporalmente, y se deja salir por una obra de toma con un gasto que no exceda de la capacidad del cauce de aguas abajo. En el otro tipo, el agua se almacena tanto tiempo como sea posible y se deja infiltrar en las laderas del valle o por los estratos de grava de la cimentación. A este tipo se le llama algunas veces de distribución o dique, porque su principal objeto es recargar los acuíferos. Las presas reguladoras también se construyen para detener los sedimentos. A menudo a éstas se le llaman presas para arrastres.

Clasificación según su funcionamiento hidráulico.

Las presas se pueden clasificar también como presas vertedoras o no vertedoras.

Presas vertedoras, se proyectan para descargar sobre su cresta vertedora. Deben estar hechas de materiales que no se erosionen con tales descargas. Es necesario emplear concreto, mampostería, acero y madera, excepto en las estructuras vertedoras muy bajas de unos cuantos pies de altura.

Presas no vertedoras, son las que se proyectan para que no rebase el agua por su crestas vertedoras. Este tipo de proyectos permite ampliar la elección de materiales incluyendo las presas de tierra y las de enrocamiento.

Con frecuencia se combinan los dos tipos de para formar una estructura compuesta, que consiste de, por ejemplo una parte vertedora de concreto de gravedad con extremos formados por terraplenes.

Clasificación según los materiales.

La clasificación más común que se usa en la discusión de los procedimientos de construcción se basa en los materiales que forman la

estructura. En esta clasificación se menciona el tipo básico de proyecto como, por ejemplo, presa de concreto de gravedad, o de concreto del tipo de arco.

En este trabajo se limita a los tipos más comunes de presas pequeñas que se construyen en las condiciones actuales; que son, las de tierra, las de enrocamiento, y las de gravedad de concreto.

Presas de tierra, las de tierra constituyen el tipo de presa más común, principalmente porque en su construcción intervienen materiales en su estado natural que requieren el mínimo de tratamiento. Además, los requisitos para sus cimentaciones son menos exigentes que para los otros tipos. Es probable que las presas de tierra continúen prevaleciendo sobre los demás tipos para fines de almacenamiento parcialmente, debido a que el número de emplazamientos favorables para las estructuras de concreto está disminuyendo como resultado de los numerosos sistemas de almacenamiento de agua que se han emprendido, especialmente en las regiones áridas y semiáridas en las que la conservación del agua para riego es una necesidad fundamental.

Aunque dentro de la clasificación de presas de tierra están comprendidos varios tipos, los adelantos obtenidos en los equipos de excavación, acarreo y compactación de materiales terrosos, a hecho el tipo de presas de tierra compactada tan económico que virtualmente ha reemplazado los tipos de terraplenes hidráulicos y semihidráulicos. Lo que es especialmente cierto al tratarse de la construcción de pequeñas estructuras, en las que relativamente

pequeña cantidad de material que hay que manejar, impide la instalación de la planta de grandes dimensiones que es necesaria para la eficiencia de las operaciones hidráulicas. Por esta razón solamente se tratan en este trabajo las presas de tierra compactada. Las presas de tierra compactada se subdividen en presas de un solo material, o de varios, o con diafragmas.

Presas de enrocamiento, en las presas de enrocamiento se utiliza roca de todos los tamaños para dar estabilidad a una membrana impermeable. La membrana puede ser una capa de material impermeable del lado del talud mojado, una losa de concreto, un recubrimiento de concreto asfáltico, placas de acero, o cualquier otro dispositivo semejante; o puede ser un núcleo interior delgado de tierra impermeable.

El tipo de enrocamiento se adapta a los emplazamientos remotos, donde abunda la roca buena, donde no se encuentra tierra buena para una presa de tierra, y donde la construcción de una presa de concreto resultaría muy costosa.

Presas de concreto, del tipo de gravedad, las presas de gravedad, de concreto se adaptan a los lugares en los que se dispone de una cimentación de roca razonablemente sana, aunque que las estructuras bajas se pueden establecer sobre estratos aluviales si se construyen los dados adecuados. Se adaptan bien para usarse como cresta vertedora y, debido a esta ventaja, a menudo se usan formando la parte vertedora de las presas de tierra y de enrocamiento o de una presa derivadora.

Presas de concreto tipo de arco, las presas de concreto del tipo de adaptan a los lugares en los que la relación de la distancia entre los arranques del arco a la altura no es grande y donde la cimentación en estos mismos arranques es roca sólida capaz de resistir el empuje del arco.

Presa de concreto del tipo de contrafuertes, las presas del tipo de contrafuertes comprenden las de losas y las de arco. Requieren aproximadamente el 60 por ciento menos de concreto que las presas macizas de gravedad, pero los aumentos debido a los moldes y al refuerzo de acero necesario, generalmente contrarrestan las economías de concreto. Se construyeron varias presas de contrafuerte en la decena de los 30', cuando la relación del costo de la mano de obra al costo de los materiales era comparativamente baja. Este tipo de construcción no se puede competir generalmente con los otros tipos de presas cuando la mano de obra es cara.

Otros tipos de presas. Se han construido presas de otros tipos aparte de los mencionados, pero la mayor parte de los casos satisfacen requisitos poco usuales o son de naturaleza experimental. En pocos casos, se ha usado acero estructural para la pantalla de aguas arriba y en armaduras de soporte en las presas. Antes de 1920, se construyeron numerosas presas de madera, especialmente en el noreste. La cantidad de mano de obra necesaria en la construcción de las presas de madera, combinada con la corta vida de la estructura, hace que este tipo sea antieconómico en la construcción moderna.

FACTORES FÍSICOS QUE GOBIERNAN LA SELECCION DE LA PRESA.

Generalidades.

Solamente en circunstancias excepcionales de ingenieros especializados pueden afirmar que sólo un tipo de presa es el conveniente o el más económico para un lugar determinado. Excepto en los casos en los que la selección del tipo es evidente, se encontrarán necesarios proyectos preliminares y presupuestos para varios tipos de presas antes de poder demostrar cuál es el más económico. Por lo tanto, es importante insistir en que el proyecto puede resultar indebidamente caro, a menos que las decisiones con respecto a la selección de tipo del que se base el estudio adecuado y después de consultar ingenieros competentes. En la selección de tipo para estructuras importantes, es también aconsejable obtener la asesoría de un ingeniero geólogo experimentado, en conexión con la relativa aplicabilidad de posibles tipos a la cimentación que existe en el lugar.

Topografía.

La topografía, en gran parte, dicta la primera elección del tipo de presa. Una corriente angosta corriendo entre desfiladeros de roca sugiere una presa vertedora. Las llanuras bajas, onduladas, con la misma propiedad, sugieren una presa de tierra con vertedor de demasías separado. Cuando las condiciones

son intermedias, otras consideraciones toman mayor importancia, pero el principio general de la conformidad con las condiciones naturales sigue siendo la guía principal.

La localización del vertedor es un factor importante que dependerá en gran parte de la topografía local y que, a su vez, tendrá una gran importancia en la selección final del tipo de presa.

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 la relación con los estratos subyacentes, fallas y fisuras. La cimentación limitará la elección del tipo en cierta medida, aunque estas limitaciones se modifican con frecuencia al considerar la altura de la presa propuesta. Se discuten enseguida las diferentes cimentaciones comúnmente encontradas.

Cimentación de roca sólida, debido a su relativamente alta resistencia a las cargas, y resistencia a la erosión y filtración, presentan pocas restricciones por lo que al tipo de presa que puede construirse encima de ellas. El factor decisivo será la economía que se pueda obtener en los materiales o en el costo total. Con frecuencia será necesario remover la roca desintegrada y tapar grietas y fracturas con inyecciones de cemento.

Cimentaciones de grava, si está bien compactada, es buena para construir presas de tierra, de enrocamiento, y presas bajas de concreto. Como las cimentaciones de grava son con frecuencia muy permeables, deben tomarse precauciones especiales construyendo dados efectivos o impermeabilizantes.

Cimentaciones de limo o de arena fina, se pueden utilizar para apoyar presas de gravedad de poca altura si están bien proyectadas, pero no sirve para las presas de enrocamiento. Los principales problemas son los asentamientos, evitar las tubificaciones, y las pérdidas excesivas por filtración, y la protección de la cimentación en el pie del talud seco, contra la erosión.

Cimentaciones de arcilla, se pueden usar para apoyar las presas, pero requieren un tratamiento especial. Como pueden producirse grandes asentamientos de la presa si la arcilla no está consolidada y su humedad es elevada, las cimentaciones de arcilla, generalmente no son buenas para la construcción de presas de concreto del tipo de gravedad, y no deben usarse para presas de escolleras. Generalmente es necesario efectuar pruebas del material en su estado natural para determinar las características de consolidación del material y su capacidad para soportar la carga que va a sostener.

Cimentaciones irregulares, ocasionalmente pueden ocurrir situaciones donde no será posible encontrar cimentaciones razonablemente uniformes que correspondan a alguna de las clasificaciones anteriores y que obligará a construir sobre una cimentación irregular formada de roca y materiales blandos. Estas condiciones desfavorables pueden a menudo resolver empleando detalles especiales en los proyectos. Cada lugar, sin embargo presenta un problema que deben tratar ingenieros experimentados.

Materiales disponibles.

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

- 1) Suelos para los 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 a que él para el que se encuentren materiales en eficiente cantidad y dentro de distancias razonables del lugar.

LAS PRESAS PEQUEÑAS

El Departamento del Interior de los E.U. (1981), dice que una presa “pequeña” es aquella cuya altura máxima arriba del punto más bajo del cauce original no excede de 15 metros, cuyo volumen no es de tal magnitud que se puedan efectuar economías importantes utilizando los métodos más precisos del proyecto, generalmente reservados a las presas grandes.

Además dice que las presas de tierra constituyen el tipo de presa más común, principalmente por que en su construcción interviene material que se encuentra en un estado casi natural y lo extraen de la misma región.

LAS PRESAS DE TIERRA.

Origen y evolución.

Las presas de tierra para el almacenamiento de agua para riego, como lo atestiguan la historia y los restos que sobreviven de las antiguas, se han usando desde los primeros días de la civilización. Algunas de las estructuras construidas en la antigüedad eran de enorme tamaño. En Ceilán, en el año 504 A.C. se terminó una presa de 17.70 kilómetros y de 21.4 m de alta, contenía, aproximadamente, 13 millones de metros cúbicos de terraplén. En nuestros días, como en el pasado la presa de tierra continúa siendo el tipo más común de presa pequeña, principalmente porque en su construcción se utilizan materiales en su estado natural con un mínimo de tratamiento (Arthur, 1976).

Hasta en los tiempos modernos todas las presas de tierra se proyectan por procedimientos empíricos, y la literatura de ingeniería está repleta de relatos de fallas. Estas fallas obligaron a darse cuenta de que los métodos empíricos debían remplazarse por procedimientos racionales de ingeniería, tanto en el proyecto como en la construcción. Uno de los primeros en sugerir que los taludes de las presas de tierra se eligieran en esta forma fue Bassell en 1907. Sin embargo, se hicieron pocos progresos en la elaboración de procedimientos de proyectos racionales hasta la década de 1930. El rápido avance de la ciencia de la mecánica de suelos, desde ese tiempo, había dado el desarrollo de procedimientos de proyectos muy mejorados para las presas de tierra. Estos

procedimientos constan de investigaciones previas de las cimentaciones y el estudio de los materiales de construcción; aplicación de los conocimientos y técnica de la ingeniería al proyecto; y métodos de construcción cuidadosamente proyectados y controlados. (Arthur, 1976)

Como resultado, las presas de tierra se construían en 1958 hasta alturas que sobrepasan de los 152.4 m arriba de sus cimentaciones; y cientos de grandes presas de tierra compactada se construyeron en los pasados 20 años sin haberse registrado ninguna falla. Sin embargo, las fallas de presas pequeñas continúan siendo cosa común. Aunque es probable que algunas de estas fallas sean el resultado de un mal proyecto, muchas de ellas han sido causadas por falta de cuidado en la construcción. Los métodos correctos de construcción incluyen la preparación adecuada de la cimentación y la colocación de materiales en la presa con el grado necesario de compactación, siendo un procedimiento establecido de prueba y de control.

El proyecto de una presa de tierra debe apegarse a la realidad. Debe acusar las condiciones reales del lugar en que se construye y los materiales de construcción de que se disponen, y no debe copiarse, simplemente, algún proyecto que haya tenido éxito usado en un lugar en condiciones diferentes.

Una presas de poca altura no se puede considerar pequeña si su volumen excede, digamos, de 765000 metros cúbicos.

Selección del tipo de presa de tierra.

Cuando se llega a la selección de una presa de tierra, se debe llegar a otra decisión respecto al tipo de presa de tierra.

Las presas de tierra del tipo compactado, en este tipo se construyen la principal parte del terraplén en capas sucesivas, compactadas mecánicamente. El material de los bancos de préstamo y el aprovechable de las excavaciones de las demás estructuras se utiliza en terraplén, generalmente, con camiones o escarpas. Luego se extiende con motoconformadoras o bulldozer y se humedece, si es necesario para formar capas de espesor reducido con la humedad óptima, que luego se compactan cuidadosamente y se unen con las capas anteriores por medio de rodillos movidos por tracción mecánica del tipo y peso adecuados. Las presas de tierra compactada con rodillos son de tres tipos: de diafragma, homogéneas, y de varios materiales.

Presas de tipo de diafragma, en este tipo de sección el cuerpo del terraplén se construye de material permeable (arena, grava, o roca) y se construye un diafragma delgado de material permeable para que construya la barrera hidráulica. La posición de este diafragma puede variar de la de una pantalla sobre el paramento de aguas arriba a la de un núcleo vertical. El diafragma puede ser de tierra, de concreto de cemento portland, de concreto bituminoso, o de otro material, si la pantalla o núcleo es de tierra, se considera que es un “diafragma” si su espesor en el sentido horizontal a cualquier altura

es menor de 3.00 m o menor que la distancia a la corona de la presa en este punto. Si la zona de tierra impermeable es igual o excede a este espesor, se dice que es una presa de sección compuesta.

CORTINAS PARA PRESAS.

Definición

Torres (1980), menciona que la cortina es una estructura que se coloca atravesada en el lecho de un río o arroyo, como obstáculo al flujo del mismo, con el objeto de formar un almacenamiento o una derivación.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH)(1976), dice que es la parte de la obra con que se represa el agua hasta una elevación suficiente que permita derivar el gasto por la obra de toma y se diseña para que el agua vierta sobre de ella, ya sea parcial o totalmente en su longitud; por lo que se tienen siempre cortinas vertedoras.

Torres (1980), las cortinas la clasifica con referencia a: su altura, su propósito, el tipo de construcción y los materiales que la constituyen.

La altura de una cortina de concreto se define como la diferencia en elevación entre la corona de la cortina y el punto inferior en la superficie de desplante, sin incluir dentellones o trincheras.

En las cortinas de tierra y enrocamiento se define como la diferencia entre la corona de la cortina y el punto inferior en superficie de desplante, incluyendo la trinchera principal, si existe.

Mientras que en las de concreto la altura hasta la cual se eleva el agua debido a la presencia de la cortina es la diferencia en elevación entre el punto más bajo en el lecho original del río, en el plano vertical del eje de la estructura, y el nivel de control más alto en el vaso.

La altura hidráulica de una cortina estará formada por la suma de las alturas correspondientes a las capacidades de azolves, más las de aprovechamiento.

OBRAS DE EXCEDENCIA PARA PRESAS.

Definición

El Colegio de Posgraduados de Chapingo (C.P.) (1980) define la obra de excedencia como una estructura que tiene por objeto proteger al sistema de almacenamiento permitiendo el paso encauzado de los volúmenes de agua excedentes a la capacidad normal del vaso de almacenamiento y su descarga en el arroyo, aguas abajo del bordo.

Clasificación.

Existen diferentes tipos de obras de excedencias que se seleccionan tomando en cuenta principalmente la topografía del lugar, el gasto por desalojar, su costo y las condiciones de cimentación. En general para el caso de pequeñas obras, se utilizan las estructuras conocidas como: lavaderos y vertedores.

Los lavaderos, son estructuras que constan de un canal de acceso, una sección de control o cresta vertedora y un canal de descarga. Su característica principal es que la cresta tiene la misma elevación que la cota de arranque de la rasante de la plantilla del canal de descarga. Las condiciones ideales para su selección son en laderas que tienen una pendiente suave en el sitio donde van a quedar alojados los canales de acceso y descarga

Vertedor tipo creager, este tipo de obra de excedencia es una estructura que consta de canal de acceso, sección de control, tanque amortiguador o dissipador de energía y canal de descarga. Se caracteriza por que su sección de control está formada por un cimacio que adopta la forma del flujo de agua y se conoce como perfil creager. Las condiciones para su selección son las que existen en aquellas ladera que presentan una pendiente fuerte y que el material es dura para la excavación, por lo que se requiere un vertedor de longitud corta, que pueda compensar esa longitud con un aumento de carga y logre desfogar la avenida de diseño.

Vertedor trapecial, este tipo de obra es semejante al vertedor tipo creager, con la diferencia que la sección de control es un trapecio.

OBRA DE TOMA DE LAS PRESAS.

Definiciones.

Son los orificios que permiten el acceso del agua del río o arroyo al canal de riego o conducción. El paso del agua por el orificio, se controla casi siempre mediante compuertas deslizantes que se operan con mecanismos elevadores, desde la corona de dicho muro. (Vásquez, 2001).

El C.P.(1980), define a la obra de toma de un bordo de almacenamiento como una estructura que tiene como función, regular las extracciones que se hagan de él para satisfacer las demandas de agua, en el tiempo oportuno y en cantidad necesaria para riego, abrevadero y usos domésticos.

Consideraciones necesarias.

Las obras de toma de deben planear de manera que las extracciones se puedan hacer con un mínimo de disturbios de flujo, así como de pérdidas de carga a través de compuertas, rejillas y transiciones.

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

En el caso de las obras de toma que se construyan en terrenos limo arcillosos o de rocas relativamente suaves y permeables se deben tomar precauciones especiales para evitar tubificaciones e infiltraciones excesivas, así como tener en cuenta el efecto de la subpresión en las diferentes partes de las estructuras.

Es de vital importancia que la cota del umbral de obra de toma que de al mismo nivel de la elevación correspondiente a la capacidad de azolves del almacenamiento, ya que en el momento en que los materiales que arrastra la corriente sobre pasen dicho nivel cubrirán la toma y el bordo dejará de ser útil para el fin propuesto.

Clasificación.

El C.P. (1980), las clasifica como: obra de toma con válvulas a la salida y obras de toma con muros de cabeza de mampostería y compuertas deslizantes.

La elección del tipo de obra a escoger estará determinado por la cantidad de agua que se maneje y el aspecto económico de la obra.

Partes constitutivas.

El buen funcionamiento de una obra de toma depende en gran medida de las partes que la constituyen; por lo tanto, es indispensable hacer una buena selección de sus partes, tales como: ductos, mecanismos de control, accesorios y estructuras complementarias.

Ductos, existen una gran variedad de ductos según los materiales que se pueden emplear siendo los más usados asbesto-cemento, fierro y concreto. *Precolado reforzado*, la selección del tipo de ductos depende primordialmente de la carga hidráulica, de la altura del bordo y del gasto de extracción, así como de la facilidad de construcción, del tipo de obra de toma, de los costos y de las existencias locales.

Asbesto cemento, cuando se tiene un bordo de poca altura y gasto de extracción pequeño, es factible la utilización de un ducto de asbesto-cemento que en general es de menor resistencia que el de fierro o concreto reforzado.

Fierro, los ductos de fierro se emplean principalmente cuando la carga hidráulica es grande y se tienen fuertes presiones hidrostática a lo largo de la tubería. Es frecuente utilizarlos también cuando el mecanismo de control se encuentra a la salida y el ducto esta sujeto todo el tiempo a la presión del agua.

Mecanismos de control.

Los mecanismos de control son dispositivos que tienen como función controlar las extracciones de agua del vaso de almacenamiento. En las pequeñas obras de almacenamiento los mecanismos más usados son las válvulas y las compuertas deslizantes.

Válvulas, las válvulas se localizan aguas abajo del bordo y se utilizan generalmente cuando los ductos son de tubería de fierro o de asbesto-cemento. Es conveniente proteger las válvulas para su conservación.

Compuertas deslizantes, las compuertas deslizantes se emplean por su facilidad de operación y su bajo costo cuando los diámetros de los ductos son grandes y éstos son construidos de concreto precolado; generalmente se colocan aguas arriba y constan de la compuerta propiamente dicha y de un mecanismo elevador, el cual debe quedar bien anclado para evitar fallas durante su operación. Existen en el mercado diferentes tamaños y formas comerciales, redondas, cuadradas y rectangulares, por lo que es preciso, al diseñar la obra de toma, tomar en cuenta dichos tamaños y formas, para ajustar la más conveniente al proyecto.

Accesorios.

En general las obras de toma deben estar equipadas con una serie de accesorios que permitan el buen funcionamiento del sistema y que faciliten las labores de mantenimiento. Dichos accesorios son:

Rejilla, es indispensable la colocación de una rejilla en el acceso a la tubería para evitar la entrada de basura que eventualmente pueda obturar u ocasionar algún desperfecto al conducto o al mecanismo de control. Es conveniente que esta rejilla sea móvil para facilitar su limpieza.

La rejilla consiste de un marco de fierro ángulo con barrotes de varilla o solera soldados con una separación de 0.10 m. Las varillas que se utilizan pueden ser lisas o corrugadas y su diámetro depende de los materiales que debe tener y de las fuerzas con que lleguen; generalmente son iguales o mayores de 12.7 mm (1/2'') o bien, soleras con sección de 12.7x38.1 mm (1/2''x1 1/2'').

Cajas de válvulas, es una estructura que constituye el alojamiento de las válvulas para que el equipo de operación quede protegido. La caja de válvulas consta de un registro de acceso y una escalera; debe ser lo suficientemente amplia para que una persona entre a operar las válvulas.

TALUDES PARA PRESAS DE ALMACENAMIENTO.

Villaseñor (1979), nos dice que frecuentemente se establecen valores que pueden servir como punto de partida en una alternativa; por ejemplo ciertos reglamentos de presas fijan como taludes mínimos los siguientes:

Tabla No. 2 Taludes recomendados para presas de tierra.

Altura de la presa	Talud aguas arriba	Talud aguas abajo
4.5 a 12	m 2:1 1	5:1
12 a 30	m 2.5:1	2:1
30 a 45	m 3:1	2.5:1

En un estudio sobre Ingeniería de Suelos (Spangler) se da la siguiente tabla:

Tabla No 3 Taludes con relación al tipo de suelo.

Taludes	Clases de suelo y otras condiciones
1.5 :1	Todos los rellenos de arena ya sean se encuentren inundados o no, rellenos de suelos cohesivos de menos de 1.50 m de altura y no sujetos a inundación
2 : 2.5	Rellenos de suelos cohesivos de más de 1.50 m pero menos de 15 m de altura y no sujetos a inundaciones
3 : 1	Todos los rellenos de suelos cohesivos que no excedan de 15 m de altura y sujetos a inundación total o parcial

Los terraplenes y presas de tierra de considerable altura, suponiendo, de más de 15 m deben ser individualmente analizados para determinar la estabilidad de los taludes y el factor de seguridad contra deslizamientos. La tabla anterior puede usarse como guía para el diseño de terraplenes menores de 15 m de altura.

Ancho de la corona. Se fija este ancho para aumentar el volumen de la presa y por consiguiente su estabilidad; para asegurar la resistencia de esta parte contra los deterioros ocasionados por el oleaje y para establecer los servicios que sean necesarios sobre la presa.

En ciertos códigos de presas se fijando como anchos mínimos en corona, los siguientes:

Tabla No. 4 Ancho de corona recomendados para presas de tierra.

Altura de las presas	Ancho
Presas hasta de 12 m de altura.....	3.00 m
Presas hasta de 30 m de altura.....	4.50 m
Presas hasta de 45 m de altura.....	6.00 m

La altura de la cortina, que en todos los diseños se deben tener como dato, se obtiene como resultado del estudio hidrológico, en el cual se llega a determinar el volumen de almacenamiento necesario para la demanda, y en relación con él, la altura económica de la presa.

RED DE FLUJO.

Definición.

La red de flujo es una representación diagramática de las líneas de corriente y equipotenciales del escurrimiento del agua en un medio poroso. Por lo expuesto, la red de flujo es un espectro de líneas ortogonales.

En una red de flujo todas las áreas limitadas por un par de líneas de corriente y un par de líneas equipotenciales, son homologas, por ejemplo; tiene la misma relación de anchura a longitud. Lo anterior implica que la red de flujo es un conjunto de rectángulos; en la practica, y por comodidad y conveniencia, se trazan líneas de corriente y equipotenciales formando redes de cuadrados, debiéndose interpretar como tales, las figuras que quedan determinadas al cortarse las líneas, de manera que las longitudes medias sean iguales.

En el diseño de una presa de tierra es indispensable contar con el trazo de la red de flujo.

Para trazar una red de flujo es necesario conocer cuatro condiciones de frontera de la red que se intenta construir.

En el trazo de una red de flujo es muy útil seguir las reglas que Casagrande da al respecto, y que son.

1. Estudiar la apariencia de redes de flujo bien construidas. Cuando la mente está empapada del dibujo, procúrese reproducirlo sin recurrir a la solución. Repítase esto hasta encontrarse apto para construir satisfactoriamente la red de flujo.
2. Para un primer intento es suficiente con cuatro o cinco tubos de corriente. El usar demasiados tubos de corriente puede distraerse la atención del aspecto esencial de la red.

3. Obsérvese siempre hay porciones de una red de flujo entera. No se trata de ajustar detalles antes de que la red de flujo entera esté aproximadamente correcta.
4. Frecuentemente hay opciones de una red de flujo en las cuales las líneas de corriente son aproximadamente rectas y paralelas entre sí. En tales condiciones los tubos de corriente son de igual anchura y por tanto, los cuadrados son de tamaño uniforme. Empleando a formar la red de flujo en esas zonas y poniendo que consiste en líneas rectas, se facilita la solución.
5. Las redes de flujo confinadas en áreas limitadas por fronteras paralelas, son frecuentemente simétricas, consistiendo de curvas de forma elíptica.
6. El principiante usualmente comete el error de dibujar transiciones demasiado bruscas entre las secciones rectas y las curvas de líneas de corriente o equipotenciales. Téngase en mente que todas las transiciones son suaves, de forma elíptica o parabólica. El tamaño de los cuadrados en cada tubo de corriente irán cambiando gradualmente.
7. En general, el número de tubos de corriente supuestos al principio, no conduce a una red de cuadrados. El número de caídas de potencial que corresponde a un número de entero arbitrario de tubos de corriente, no siempre es entero; de aquí que, cuando la red flujo ha sido terminada, queda una fila de rectángulos contigua a alguna de las fronteras. Esto no representa ningún inconveniente en la práctica, y la última fila se toma en consideración en los cálculos, estimando la relación de los lados de los rectángulos. Si por razones de apariencia, se desea que la red de flujo

sea una red de cuadrados, se hace necesario cambiar el número de tubos de corriente, ya sea por interpolación, o por un nuevo trazo. No se debe intentar forzar el cambio en cuadrados por ajustes en las áreas contiguas, a menos que la corrección necesaria sea muy pequeña.

8. Las condiciones de frontera pueden imprimir a la red de flujo ciertas características singulares.
9. Una superficie de descarga en contacto con el aire, no es ni una línea de corriente ni una equipotencial. De aquí que, los cuadrados a lo largo de una frontera tal, son incompletos. Sin embargo una frontera como ésta, debe llenar la misma condición que la línea de saturación, referente a que debe tener iguales caídas de potencial entre los puntos donde las líneas equipotenciales la intersectan.

Línea de saturación. Es la línea arriba de la cual no hay presión hidrostática, existiendo ésta abajo de ella.

Trazo de líneas de flujo.

- a) red de flujo cuando el material de la cimentación es homogéneo, isotrópico y muy permeable, comparando con el de la cortina. En este caso, es suficiente con trazar la red de flujo únicamente para la cimentación.
- b) red de flujo cuando la cortina es de sección transversal homogénea, constituida de material isotrópico y cimentada sobre material muy

permeable. En este caso la red de flujo se traza únicamente para la cortina, siendo necesario determinar primeramente la línea de saturación, por ser ésta la frontera superior de la red.

Trazo de línea de saturación.

Para una presa de tierra construida de material homogéneo y localizada sobre una cimentación de material impermeable, la línea de saturación corta al talud aguas abajo, arriba de la base de la presa, a menos que se adopten medidas especiales de drenaje. La localización de la línea de corriente en este caso y la del punto de donde ésta corta al paramento aguas abajo, depende únicamente de la forma de la sección transversal de la presa. La línea de saturación bajo las condiciones supuestas, es fundamentalmente una parábola con ciertas desviaciones debidas a las condiciones locales de entrada y salida, o sean las transiciones entre la línea real de saturación y la llamada parábola base.

Para el trazo de la línea de saturación consideremos el caso de la figura No. 1. Para mayor detalle véase la figura No. 2 del apéndice.

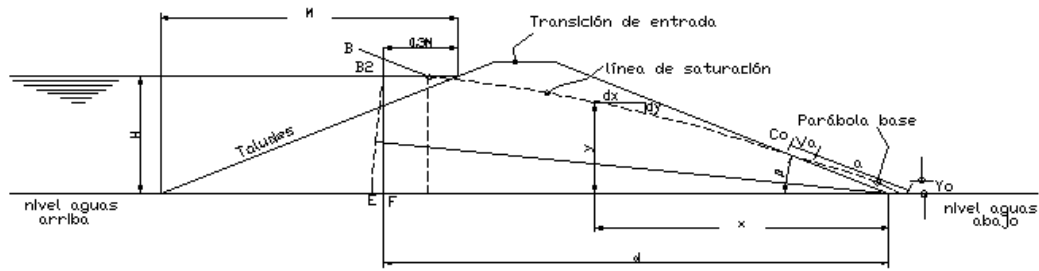


Fig No1 Trazo de línea de saturación en una presa de tierra.

B2 = es el punto donde la parábola base intersecta a la superficie del agua.

A = es el pie del talud agua abajo de la presa.

C = es la intersección de la línea de saturación con el talud aguas abajo de la presa.

d = es la distancia horizontal del punto B2 al punto A.

h = es la distancia vertical entre los mismos puntos B2 y a representa la carga que origina la filtración.

a = es la distancia del punto A al punto C y representa la porción mojada del paramento aguas abajo.

α = es el ángulo interno formado por la cara de descarga del paramento aguas abajo, y la base horizontal.

m = es la proyección horizontal de la parte mojada del talud aguas arriba.

k = es el coeficiente de permeabilidad del material que integra la presa.

Casagrande demostró que la línea de saturación calculada, para todos los valores del ángulo α , se adapta aproximadamente a la parábola base establecida por Kozeny, para el caso en que $\alpha = 180^\circ$.

$$q = k y \frac{d_y}{d_x} \quad (1)$$

Si en la ecuación de Darcy, el área de la sección transversal A , en cualquier punto a lo largo de la base de la presa, es representada por “ y ” y el gradiente hidráulico “ i ” en este punto es representado por la pendiente de la línea de saturación dy/dx , entonces el gasto de filtración a través de la presa se representa por la ecuación.

$$q = ky \frac{dy}{dx} \quad (2)$$

Kozeny probó que, para el caso en que $\alpha = 180^\circ$, la línea de saturación se representa por la ecuación:

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2} \quad (3)$$

Que es una parábola con un foco en A ; esta parábola intersecta a la perpendicular a la base levantada en el foco, a una distancia y_0 del origen.

La parábola continua teóricamente hasta insectar la superficie del agua en el punto B2, cuyas coordenadas son $y = h$, $x = d$, siendo “d” igual al ancho de la base de presa menos 0.7m. Si estos valores se sustituyen, el valor de y_0 resulta:

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d = R - d \quad (4)$$

El valor de y_0 puede ser determinado con facilidad gráficamente, dado que es la diferencia entre la distancia real AB2 y su proyección horizontal, $y_0 = R - d$.

El punto Co donde la parábola base intersecta la cara aguas abajo se encuentra fácilmente de la ecuación polar de una parábola, que es:

$$r = \frac{p}{1 - \cos \theta} \quad (5)$$

donde:

r = distancia radial del foco a cualquier punto de la parábola.

p = ordenada al origen de la parábola.

θ = ángulo del radio polar correspondiente al punto considerando, con el eje de la parábola.

Para el caso particular del punto Co, se tiene:

$$R = a + \nabla a = ACo$$

$$P = y_o$$

$$\theta = \alpha$$

por lo que,

$$a + \nabla a = \frac{y_o}{1 - \cos \alpha} \quad (6)$$

Casagrande demostró que la distancia ∇a varía con el ángulo α , llegando a ser cero cuando $\alpha = 180^\circ$. El extremo inferior de la línea de saturación se completa dibujando a ojo a la transición curva, del punto C a la parábola base. El extremo superior (aguas arriba) de la línea de saturación, también se dibuja a ojo, mediante una corta transición curva, para conectar el punto B con la parábola base. Esta curva debe empezar normal al talud aguas arriba en el punto de intersección de éste con la superficie libre del agua. Cuando el paramento de aguas arriba tiene una pendiente bastante fuerte, esta transición puede ser una curva inversa. De la ecuación de la parábola base:

$$y = \sqrt{2xy_o + y_o^2} \quad (7)$$

y:

$$\frac{dy}{Dx} = \frac{y_o}{\sqrt{2xy_o + y_o^2}} \quad (8)$$

CONCLUSIONES

- No se solucionará el problema del agua para riego en la Universidad, pero sí se tendrá mayor cantidad de la misma, disponible para riegos de auxilio, más frecuentes.
- La alternativa presentada es solo una opción para tratar de retener mayor cantidad de agua que en época de lluvias de cada año se presentan, en el arroyo del pueblo.
- Se pudiera ser más grande el vaso de almacenamiento de la presa pero los escurrimientos registrados no son suficientes.
- Se hizo uso de programas de computo para tratar de obtener resultados más confiables.
- No se realizó un análisis completo de estabilidad, por tratarse de una presa considerada como pequeña, es decir, de menos de 15 m de altura, sin embargo se diseñó de acuerdo a recomendaciones hechas por expertos constructores de este tipo de presas.
- La exactitud de este trabajo está en función del levantamiento topográfico realizado en campo, así como en la ubicación de puntos clave que nos proporcionen información significativa.
- Se trató de seguir una metodología, para el diseño, pero no fue posible, por lo tanto los cálculos se adaptaron al proyecto mismo. Debido a la falta de datos y circunstancias bien establecidas.

- No se diseñó un canal de descarga para el vertedor, para abrir paso a un nuevo trabajo que pudiera ser complemento de éste, como este es del trabajo realizado por Vásquez (2001).
- El cálculo de red de flujo y determinación del gasto de infiltración, no es lo más confiable por ser meramente gráfico.
- Los proyectos de obras hidráulicas son tal vez la forma más antigua de manejo de agua usada por el hombre, y la demanda del vital líquido cada día mayor exigen proyectos cada vez más eficientes.

RECOMENDACIONES.

- Dar seguimiento a este trabajo para lograr integrar un proyecto que cumpla con el uso adecuado de los volúmenes escurridos de agua, comprendida desde la captación, el almacenamiento y distribución eficiente hacia el área de cultivo.
- Comparar este proyecto integral con otros que pudieran contemplar el uso adecuado del agua de riego, para elegir el que presente mayores ventajas tanto económicas como de mejor funcionamiento (hidráulico y estructural).
- Realizar más proyectos de este tipo no solo en la Universidad, sino en donde sea factible realizarlos, para tratar de sanar un poco la problemática de la falta de agua para riego.
- Anexar al proyecto integral más obras con estructuras de desazolve, siendo este el principal factor de la vida corta de las obras hidráulicas de este tipo.
- Dar un mantenimiento adecuado y calendarizado a la presa de almacenamiento “El Bajío”.