



Universidad Nacional de Misiones

CÁTEDRA DE OBRAS HIDRÁULICAS (CI457)

Ing. José A. Serra

Obras Hidráulicas – Obras de Desagüe
Ing. José A. Serra

OBRAS DE DESAGÜE EN PRESAS

Introducción:



Por lo general, las obras de desagüe de presas consisten en **vertederos y desagües o descargadores de fondo.**

OBRAS DE DESAGÜE

Los **vertederos** son básicamente estructuras de una presa que garantizan el **paso seguro de las crecientes** desde el embalse al tramo del río aguas bajo.

El **diseño del vertedero** depende principalmente de la crecienta de diseño, el tipo y la localización de la presa, y el tamaño y operación del embalse.

El **diseño de obras de desagüe de fondo** dependen, en esencia, del propósito del embalse y de la afluencia y depósito de los sedimentos en el embalse.

OBRAS DE DESAGÜE

Los vertederos pueden clasificarse de varias maneras:

- 1)- **de acuerdo con su función** como vertedero de servicio (principal), de emergencia y auxiliar;
- 2)- **de acuerdo con el modo de control** como libre (incontrolado) o de compuerta (controlado);
- 3)- **según el criterio hidráulico**, es decir, el tipo, de caída libre, de canal lateral, rápida, de pozo, de sifón y túnel.

OBRAS DE DESAGÜE

Los **principales factores, exceptuando los económicos**, que rigen la escogencia de un vertedero para un determinado proyecto son la confiabilidad y precisión en la **predicción de las crecientes, la duración y cantidad del vertido, la sismicidad del sitio del proyecto, la topografía y geología, y el tipo de presa.**

En el caso de los vertederos de compuertas, éstas pueden operarse de forma manual, por control remoto o automáticamente dependiendo del nivel del agua en el embalse.

Se requieren regulaciones de **control estricto para la operación no automática** a fin de prevenir una creciente artificial mayor aguas abajo y/o no perder agua valiosa del embalse.

OBRAS DE DESAGÜE

Cuando se controla el derrame del embalse mediante las compuertas del vertedero antes o durante la creciente, se tienen que desarrollar métodos confiables de pronósticos de crecientes.

Las compuertas pierden capacidad para disminuir el nivel del embalse a medida que la altura de la presa aumenta, a menos que sean sumergidas, por ejemplo, en vertederos de túnel.

Si las condiciones locales (por ejemplo, actividad sísmica, falta de confianza en las habilidades de mantenimiento y operación, o dificultades de acceso) producen dudas acerca de qué tanto se puede depender de las compuertas, sería mejor optar por un vertedero sin compuertas.

Sin importar qué tan confiable pueda ser la operación de las compuertas, a menudo se estipula que el vertedero debe ser adecuado para prevenir el desbordamiento de la presa si una o más de las compuertas fallan al abrir.

CRECIENTE DE DISEÑO

La **selección del hidrograma de la creciente de diseño** (afluente del embalse), es una de las tareas más importantes en el diseño de presas; depende de la **localización** y el **tipo de presa** y el procedimiento para su determinación está supeditado a la **disponibilidad de registros pasados**.

CRECIENTE MÁXIMA PROBABLE (CMP)

La creciente máxima probable, es derivada de la precipitación máxima probable (**PMP**) o por un procedimiento de hidrograma unitario.

Empezando con la creciente máxima observada y siguiendo con métodos empíricos que contienen curvas envolventes de diseño para eventos de creciente máxima observada.

CRECIENTE DE DISEÑO

CRECIENTE MÁXIMA PROBABLE (CMP)

También la **CMP** puede determinarse de forma aproximada como un múltiplo de la creciente para cierto período de retomo [**por ejemplo, 150 años, Q_{150} (m³/s)**].

Se proporciona la siguiente ecuación que correlaciona la creciente con:

- el área de la cuenca [**A (km²)**]
- el índice de permeabilidad de la cuenca (**P**)
- la frecuencia de las corrientes (número de uniones en un mapa a escala 1:25.000 dividido por el área de la cuenca, (**F**)
- la lluvia neta de un día con cierto periodo de retomo [por ejemplo, 5 años, **R (mm)**]
- una constante regional (**α**).

CRECIENTE DE DISEÑO

CRECIENTE MÁXIMA PROBABLE (CMP)

$$Q_{150} = \alpha \cdot A^{0,87} \cdot F^{0,31} \cdot P^{1,23} \cdot R^{1,17} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

La CMP es entonces cerca de 5 veces el valor de Q_{150} .

La definición de CMP implica que no es un valor fijo, y su determinación (además de su localización) depende de la confiabilidad de la información, el avance del conocimiento técnico, y la precisión del análisis; entonces puede —y debería— **revisarse con periodicidad**.

Su probabilidad no puede determinarse, ya que representa eventos tan raros que no existen datos observados disponibles para establecerla.

Un estudio completo sobre los métodos corrientes para la selección de la crecienete de diseño también puede encontrarse en ISO 17 (1992)

Tabla 4.1 Creciente y oleajes estándares para embalses por categoría de presas (ICE, 1978)

Categoría	Condición inicial del embalse	Afluente de diseño de la presa			Velocidad del viento concurrente y sobrepores mínimos por oleaje
		Estándar general	Estándares mínimos si se toleran desbordamientos inusuales	Estándar alternativo si se garantiza un estudio económico	
(a) Embalses donde una ruptura pondría en peligro vidas en una comunidad.	Vertimiento del afluente diario promedio de largo plazo.	Creciente máxima probable (CMP)	0.5 CMP o creciento de 10 000 años (tomar el mayor).	No es aplicable.	Invierno: viento máximo horario una vez en 10 años. Verano: viento máximo horario anual promedio.
(b) Embalses donde una ruptura:	Lleno (no vertimientos).	0.5 CMP o creciento de 10 000 años (tomar el mayor).	0.3 CMP o creciento de 1000 años (tomar el mayor).	Creciente con probabilidad que minimiza costos de daños y vertedero; las afluencias no serán menores que los estándares mínimos pero pueden exceder los estándares generales.	Sobrepore por oleaje no menor de 0.6 m.
(i) no pondrá en peligro vidas en una comunidad.					
(ii) generará un daño excesivo.					
(c) Embalses donde una ruptura implicará riesgo mínimo a seres vivos y causará daño limitado.	Lleno (no vertimientos).	0.3 CMP o creciento de 1000 años (tomar el mayor).	0.2 CMP o creciento de 150 años (tomar el mayor).		Viento máximo horario anual promedio; sobrepore por oleaje no menor de 0.4 m.
(d) Casos especiales donde no se vaticina pérdida de vidas como resultado de una ruptura y se causará daño muy limitado debido a inundación adicional.	Vertimientos del afluente diario promedio de largo plazo.	0.2 CMP o creciento de 150 años.	No es aplicable.	No es aplicable.	Viento máximo horario anual promedio. Sobrepore por oleaje no menor de 0.3 m.

Cuando el procedimiento de control del embalse lo requiera y las capacidades de caudal lo permitan, se pueden adoptar operaciones a/o por debajo de los niveles especificados definidos para el año, siempre y cuando se especifiquen en los certificados o reportes de la presa. Cuando una proporción de la CMP se especifica, es necesario calcular el hidrograma de la CMP y multiplicar todas las ordenadas por 0.5, 0.3 ó 0.2, como se indica.

BORDE LIBRE

La presa debe tener una altura superior al nivel máximo que puedan alcanzar las aguas.

Este nivel que no se ocupa con agua, se llama borde libre, evita que por efecto de olas o movimientos en la superficie libre del embalse el agua derrame por encima de la presa.

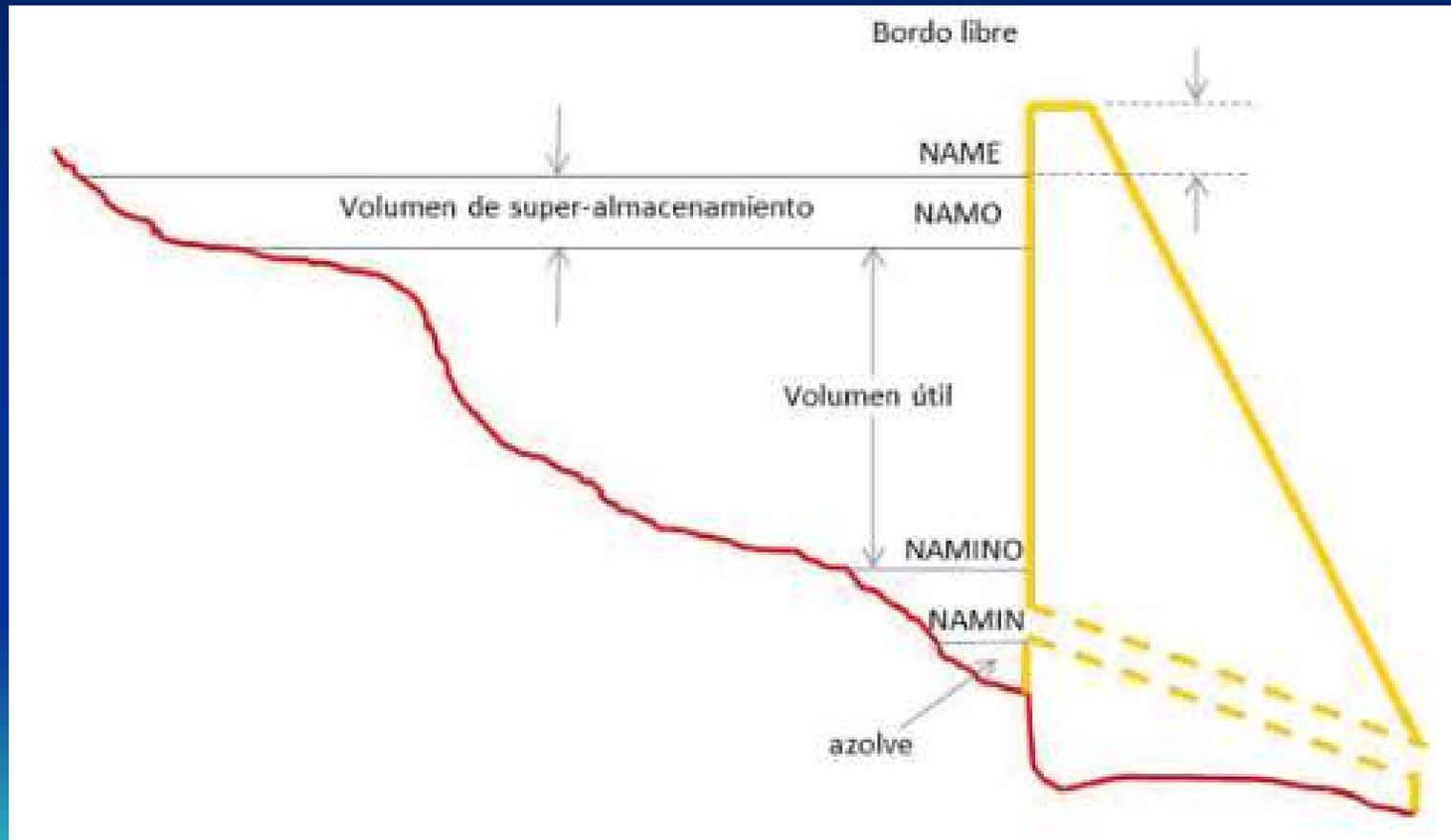
Esta situación sería altamente indeseable principalmente en presas de tierra y material mixto.

En el cálculo del borde libre (BL) intervienen: el efecto del viento, la inclinación de la superficie del embalse, el choque de las olas en la presa, el asentamiento de la presa.

Existen otros factores particulares como una sobreelevación por mal funcionamiento de las compuertas de vertedero, efectos de derrumbe sobre el embalse, efectos por sismos, etc.

BORDE LIBRE

$$BL = H1 + H2 + H3 + H4 + H5 + Hn$$



BORDE LIBRE

EFEECTO DEL VIENTO

La altura de las olas varía con la magnitud de la velocidad del viento y su persistencia, es decir, el tiempo que el viento se mantiene en una misma dirección a una determinada velocidad.

Frecuentemente, el efecto mayor para la formación de olas, se manifiesta si la duración del viento para una determinada dirección, supera los 60 minutos.

Los efectos producidos por el viento son más significativos si la dirección del mismo coincide con el fetch del embalse.

Se denomina “fetch”, a la mayor distancia rectilínea directa desde algún punto de la presa hasta el borde opuesto del embalse.

BORDE LIBRE

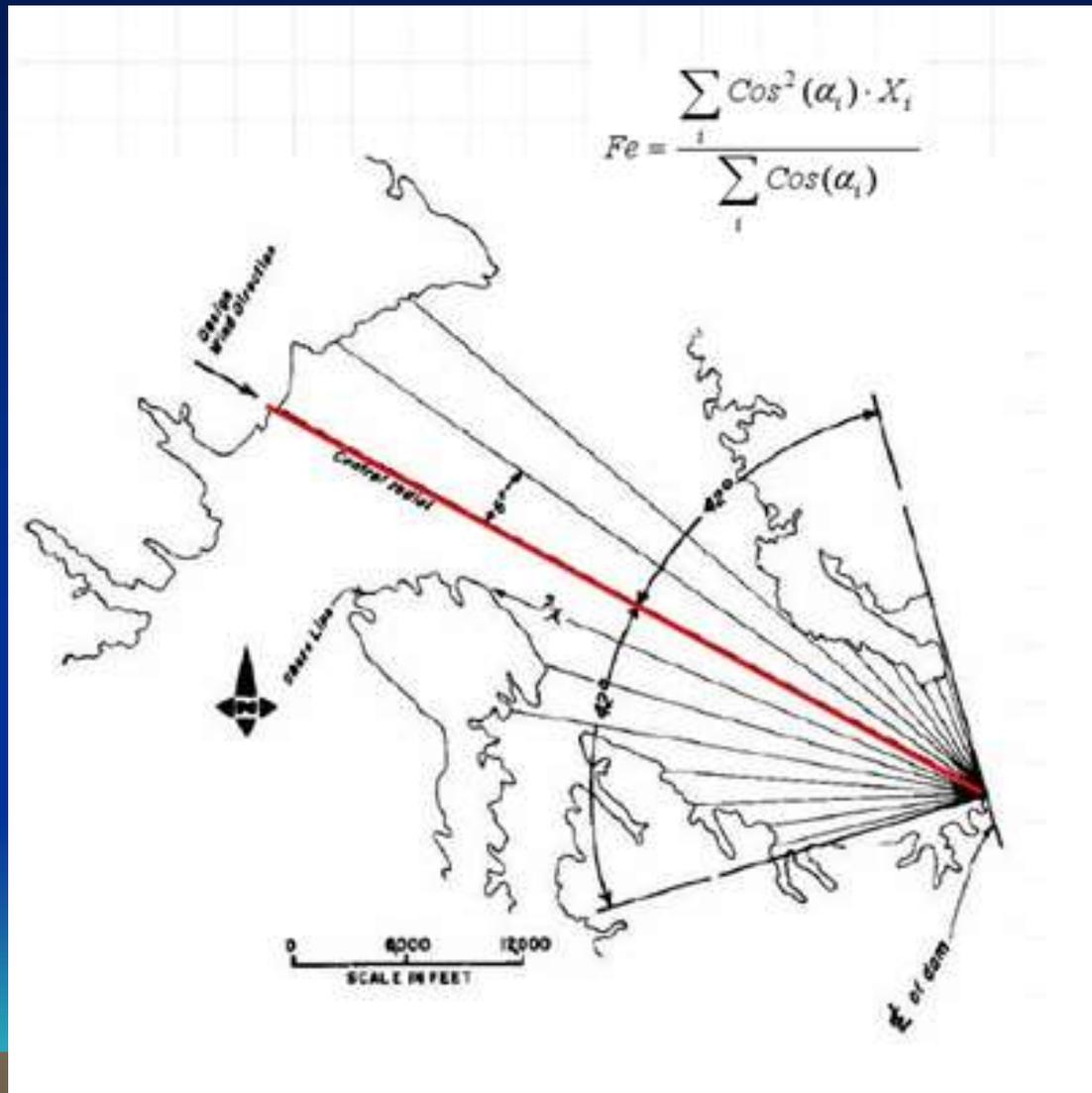
EFEECTO DEL VIENTO

Con frecuencia ocurre que la dirección del viento predominante no coincide con el fetch, en tal caso, se puede tomar como “**fetch efectivo**” la distancia que corresponda tomada en la dirección del viento predominante.

Algunos autores consideran como “fetch efectivo” al que resulta del siguiente cómputo:

- Se trazan dos ángulos de 45° , uno a cada lado del fetch máximo y se dividen aproximadamente 15 segmentos iguales;
- Multiplicando la longitud del fetch correspondiente a cada segmento por el coseno del ángulo de desviación desde el fetch máximo y dividiendo la suma de esos productos por la suma de los cosenos se tiene “fetch efectivo”.

BORDE LIBRE



BORDE LIBRE

H1 – ALTURA DE LA OLA

Es un factor importante a tener en cuenta en la altura total del borde libre, en lo referente a la altura que debe dejarse para asegurar el impacto de la ola al llegar a la presa. Se puede calcular mediante la expresión de Stevenson:

$$H1 = 0,03227 \cdot (V \cdot F)^{0,5} + 0,76 - 0,24 \cdot (F)^{0,25}$$

Donde:

H1 es la altura de la ola (m)

V es la velocidad del viento (km/h)

F es el fetch (km)

(para valores grandes de la línea de agua ($F > 20$ km) los dos últimos términos pueden ignorarse)

BORDE LIBRE

H2 – SOBREELEVACIÓN DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL EMBALSE “SETUP”.

Bajo la acción de vientos continuados en una misma dirección se produce un efecto de “marea” o ascenso de la superficie libre del agua sobre la costa del embalse, orientada de frente a la dirección del viento. Si ese efecto se produce sobre la presa, este ascenso se manifiesta con una elevación de la superficie del agua sobre la misma. Este efecto se considera mediante la siguiente expresión USBR:

$$H2 = \frac{V^2 \cdot F}{62.000 \cdot h_m} \quad h_m = \frac{Vol. Embalse}{Área}$$

Donde:

H2 es la altura de ascenso del agua (m)

h_m es la profundidad media del embalse (m)

BORDE LIBRE

H3 – CHOQUE DE LAS OLAS EN LA PRESA “RUNUP”

Al llegar las olas a la presa, se produce un choque que genera otra sobreelevación. El cálculo de este efecto, depende de la altura y la longitud de las olas formadas, así como de la pendiente del talud de aguas arriba de la presa. Se puede evaluar mediante la expresión:

$$H3 = 0,6 \cdot H1$$

H4 – ASENTAMIENTO

En los diques de tierra también se debe considerar su asentamiento.

Hn – OTROS FACTORES

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

La escorrentía de sedimento en muchos ríos se incrementa de continuo principalmente como resultado de la influencia humana. La concentración de sedimentos en los ríos fluctúa mucho y es **función del suministro de sedimentos y el caudal.**

La pérdida en el almacenamiento es sólo uno de los **efectos nocivos** de la sedimentación en embalses; otros son el incremento de los niveles de inundación aguas arriba del embalse, el retroceso del lecho del río y de los niveles de agua aguas abajo de la presa, la eliminación de los nutrientes conducidos por los sedimentos finos, el efecto de la sedimentación en la calidad del agua del embalse, etc.

En muchos embalses indios las pérdidas anuales en el almacenamiento debido a la sedimentación están entre 0,5% y 1,5 %.

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

La **densidad relativa** del sedimento depositado varía mucho a medida que ocurre la consolidación a través de los años y puede alcanzar valores **hasta de 2.0** (por lo general está entre 1.2-1.6).

El cálculo detallado de la magnitud de sedimento que se deposita en un embalse requiere no sólo del conocimiento de la cantidad y la composición del sedimento entrante, sino también de la operación del embalse y secciones transversales a lo largo de él.

La razón entre la carga de sedimento, **W** , que está en suspensión en el final de un tramo de longitud L , profundidad del flujo y , y velocidad V con respecto a la carga inicial **W_0** puede expresarse como:

k (ctte. En función de la velocidad de caída de la partícula)

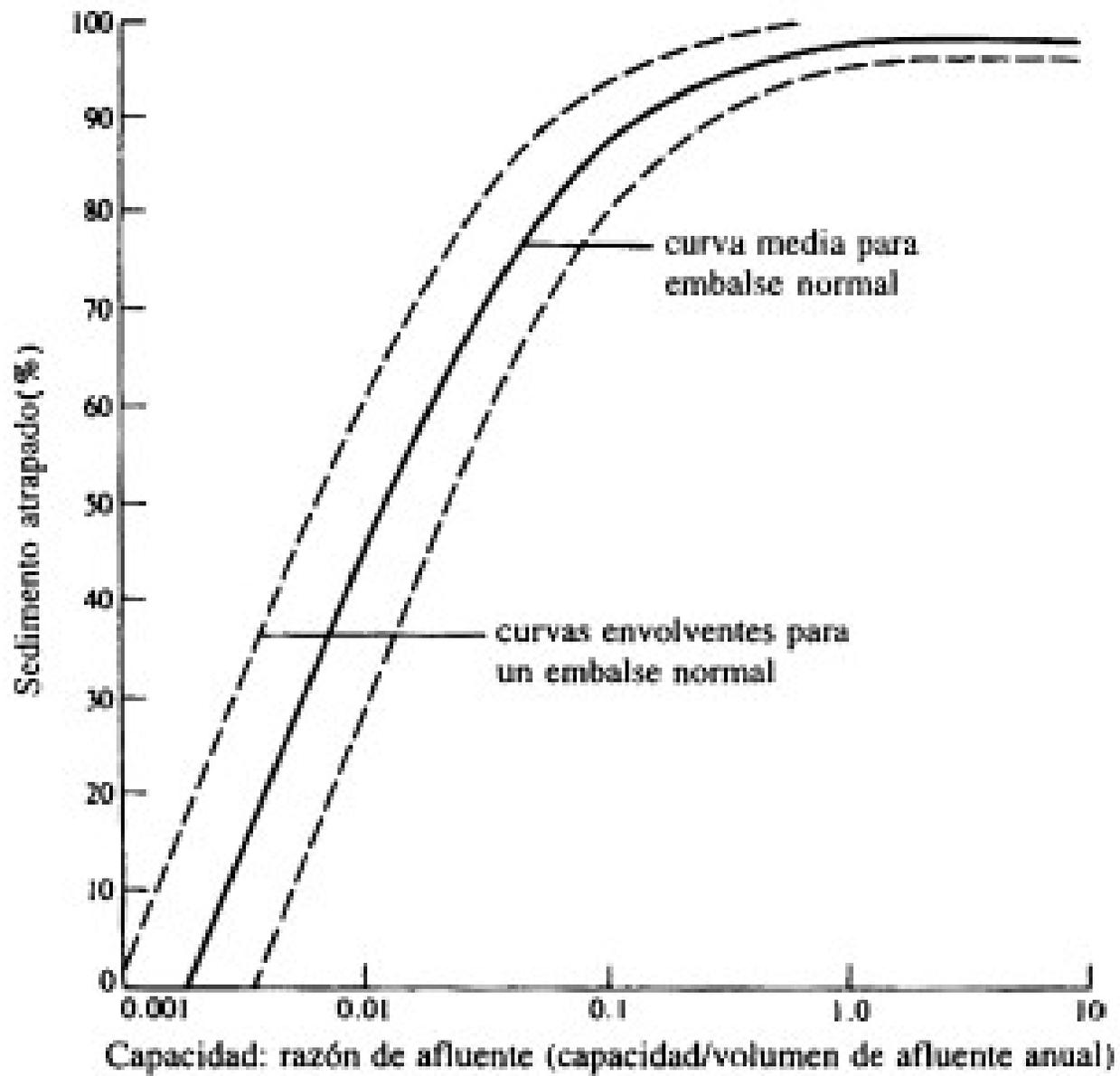
$$\frac{W}{W_0} = e^{-k \cdot L / y \cdot v}$$

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

Para estudios preliminares, el uso de curvas de eficiencia de trampa es suficiente.

La versión utilizada con más frecuencia es la gráfica construida por Brune (1953) o la gráfica de Churchill, ambas precisan el porcentaje del sedimento atrapado en función de la razón entre la capacidad del embalse (m³) y el afluente anual (m³).

La gráfica debe utilizarse en intervalos de tiempo (1-10 años según la precisión que se requiera), ya que al finalizar cada período el volumen del embalse disminuirá en la cantidad sedimentada, de modo que se reducirá la eficiencia de la trampa en el siguiente período



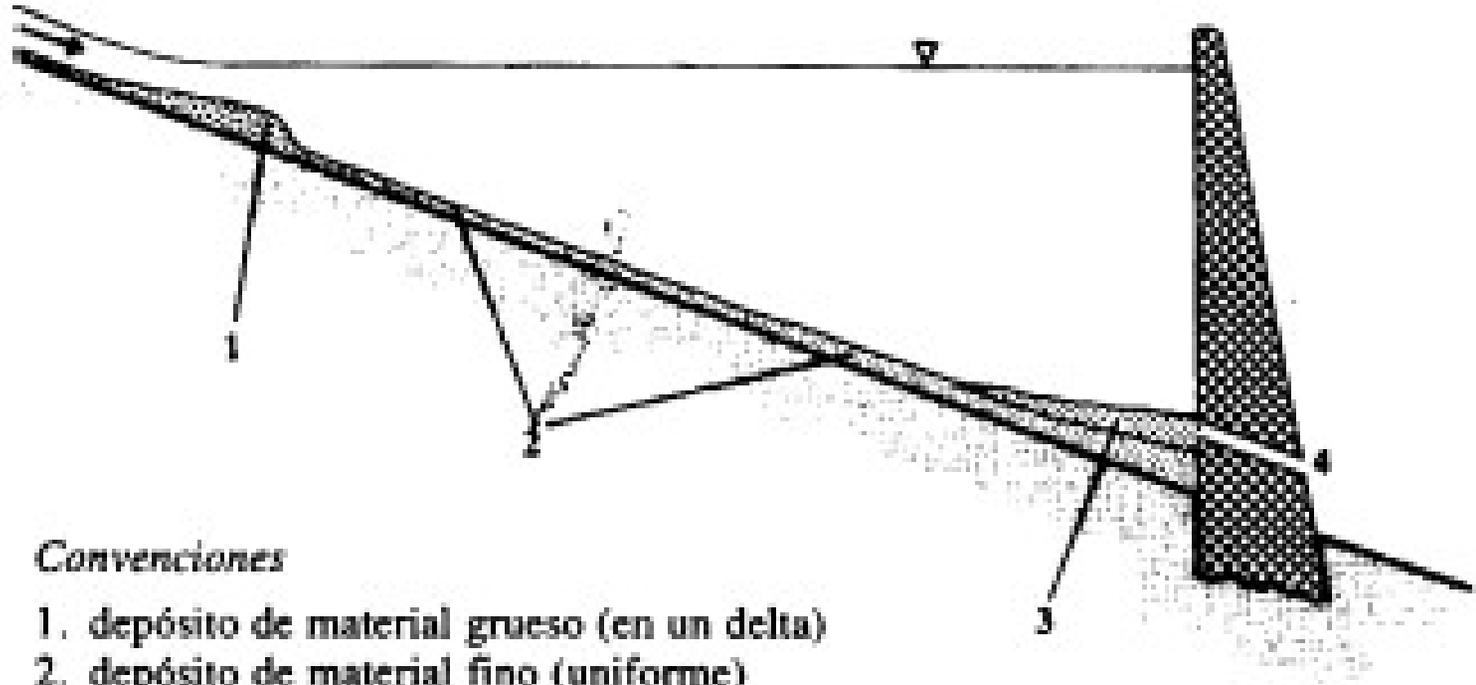
SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

La capacidad y el volumen del afluente anual deben estar en las mismas unidades de medida.

La curva envolvente superior se debe utilizar cuando el sedimento de entrada esté altamente floculado o grueso. La curva envolvente inferior se usará cuando el sedimento de entrada sea coloidal o fino.

Los **resultados** que se obtienen de la aplicación de la curva de eficiencia de trampa **deben tomarse con precaución**, ya que difieren bastante de los resultados de modelaciones matemáticas más detalladas que, en general, dan resultados menos favorables.

ETAPAS DE DEPÓSITO



Convenciones

1. depósito de material grueso (en un delta)
2. depósito de material fino (uniforme)
3. depósito debido a corrientes de densidad
4. desahue de fondo

La capacidad del embalse puede preservarse (a) minimizando la entrada de sedimentos, (b) maximizando el paso del sedimento, o (c) recuperando el almacenamiento.

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

La minimización de la entrada del sedimento es de lejos la medida más efectiva y puede lograrse, por selección óptima, la localización del embalse, al prevenirse la erosión de la cuenca por métodos de conservación de suelos (reforestación, construcción de terrazas, recubrimiento vegetal, etc.), al atraparse el sedimento con trampas o con pantallas de vegetación en los tributarios aguas arriba del embalse, o al desviarse los flujos cargados fuertemente de sedimentos durante las crecientes, mediante una estructura de desviación, desde aguas arriba hasta aguas abajo de la presa.

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

La maximización del paso del sedimento requiere regular el flujo durante las crecientes y/o el lavado durante un desembalse. En ciertas condiciones, el afluente cargado de sedimentos no se mezcla con el agua del embalse sino que se mueve a lo largo del lecho antiguo del río como una corriente de densidad hacia la presa, donde puede extraerse mediante desagües localizados y operados de manera adecuada. En principio, el desarrollo de las corrientes de densidad requiere una diferencia significativa entre la densidad del afluente y el agua en el embalse, un embalse con gran profundidad y condiciones morfológicas favorables (un lecho de río antiguo, profundo y recto).

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

La recuperación del almacenamiento puede lograrse lavando el sedimento depositado, técnica que es efectiva sólo cuando se combina con un desembalse sustancial, mediante sifonamiento o dragado, en este último caso ya sea con métodos convencionales, en particular puede usarse una draga de succión con una rueda de cangilones, o técnicas especiales (bombas neumáticas o de chorro).

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

ALGUNOS DATOS:

LAS PARTICULAS DE LIMO Y ARCILLAS SON FACILMENTE MANTENIDAS EN SUSPENSIÓN POR LA TURBULENCIA DEL AGUA, QUE CON SUS REMOLINOS CONTRARRESTA LA VELOCIDAD DE CAIDA DE LAS MISMAS. AL CONTRARIO DE LO QUE SUCEDE CON EL TRANSPORTE POR ARRASTRE, **LOS RÍOS POSEEN UNA CAPACIDAD ILIMITADA PARA TRANSPORTAR SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN** Y ADEMAS TODO LO QUE LOS SUELOS DE LA CUENCA LES APORTEN A TRAVÉS DE LA EROSIÓN.

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

ALGUNOS DATOS:

EL **RÍO PARANÁ** CON UNA CUENCA DE 2.600.000Km² TRANSPORTA ANUALMENTE AL MAR **200 MILLONES DE TONELADAS DE MATERIAL EN SUSPENSIÓN.**

EL **RÍO PILCOMAYO**, CON UN CAUDAL Y UNA CUENCA MUCHO MAS MODESTA, DERRAMA **70 MILLONES DE TONELADAS DE LIMO** POR AÑO EN FORMOSA Y EL CHACO PARAGUAYO.

LA RAZÓN.....SU CUENCA SUFRE UNA VIOLENTA EROSIÓN EN LAS MONTAÑAS BOLIVIANAS!!!!

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

ALGUNOS DATOS:

LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN SE MIDE EN PARTES POR MILLÓN (ppm), OSCILANDO LOS **VALORES NORMALES ENTRE 50 Y 100ppm**, DE ACUERDO A LA CUENCA Y A LA ÉPOCA DEL AÑO.

EN EL RÍO PARANÁ LOS VALORES ESTAN ENTRE 80 Y 150ppm.

EN EL RÍO PILCOMAYO SE HAN REGISTRADO VALORES DE HASTA 46.000ppm

SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

ALGUNOS DATOS:

AL LLEGAR AL MAR, LA **ALTA CONCENTRACIÓN DE SALES** DISUELTAS **PROVOCA LA FLOCULACIÓN** DE LAS PARTICULAS SUSPENDIDAS.

ESTE FENÓMENO CONSISTE EN LA AGRUPACIÓN DE LAS PARTICULAS DE ARCILLA EN GRANDES RACIMOS LLAMADOS **FLÓCULOS**, DONDE CADA LAMINA SE ADHIERE A LAS OTRAS POR SUS BORDES, DEBIDO A DÉBILES FUERZAS ELÉCTRICAS.

LA POROSIDAD DE ESTOS FLÓCULOS ES MUY ALTA, MAYOR AL 95%, Y SON FACILMENTE DESTRUIDOS POR LA TURBULENCIA, SIN EMBARGO CONSIGUEN SEDIMENTAR MASIVAMENTE DEBIDO A SU TAMAÑO Y POR CONSIGUIENTE SU VELOCIDAD DE CAIDA ES ALTA.

GRACIAS!!!!

Cátedra de Obras Hidráulicas (CI457)

BIBLIOGRAFÍA

[1] RAFAEL DAL-RÉ TENREIRO (2003) Pequeños Embalses de Uso Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Hidráulicas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. CEILP.

[2] BUREAU OF RECLAMATION (1983) Diseño de Presas Pequeñas. USA.

[3] MARTÍN H. IRIONDO (2007) Introducción a la Geología. Editorial Brujas. Córdoba.