

PRESAS

Las presas son estructuras hidráulicas de contención que permiten conseguir niveles de inundación previstos y el embalsamiento de las aguas.

Clasificación

1. Según la función

- 1.1 Presas de embalse
- 1.2 Presas de derivación

Estos dos tipos de presas sirven para elevar el nivel del agua y hacer posible su derivación. Las presas de embalse tienen principalmente el objeto de almacenar agua para regular el caudal de un río. Usualmente no están construidas para permitir el vertimiento de las aguas por encima sino que tienen aliviaderos laterales que sirven para descargar el agua excedente. Esta disposición separada de presa y vertedero se usa usualmente en el caso de que la presa esté construida por materiales sueltos. Las presas rígidas facilitan combinar en una sola estructura la sección sorda y la sección vertedora, lo cual resulta más económico. Las presas de derivación se disponen preferentemente para elevar el nivel del agua contribuyendo a incrementar la carga; el almacenamiento de agua es un objetivo secundario.

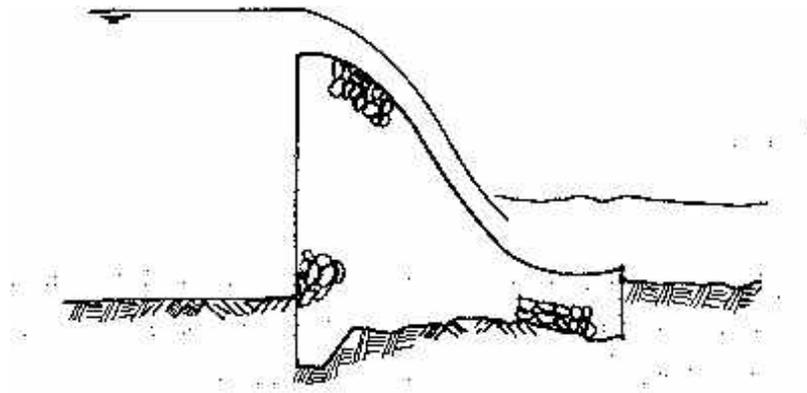


Figura 1. Presa baja derivadora. Vega R. O. Arreguín C., F. I. 1987.

2. Según como permitan el paso del agua

- 2.1 Presas de sección sorda
- 2.2 Presas de sección vertedora
- 2.3 Presas de sección mixta

Las presas con sección sorda no permiten el vertimiento de agua por encima de su estructura. En este caso, el agua se conduce al nivel inferior mediante estructuras de conducción o aliviaderos anexos a la presa.

Las presas vertedoras o hidroaliviadoras permiten el paso del agua a través de orificios superficiales alojados en su cuerpo. Las presas de concreto se construyen hidroaliviadoras y solo se deja una parte sorda en contacto con las orillas. Presas en concreto con sección sorda se hacen muy pocas

actualmente pues resultan más costosas que las presas de materiales sueltos. Las presas con sección mixta se construyen de forma que parte de la presa permite el vertimiento del agua y parte no.

Las presas vertedoras pueden ser móviles o fijas. En las presas vertedoras móviles la descarga de agua puede regularse con compuertas que guarden los orificios (superficiales o profundos). El nivel del agua puede mantenerse constante en este caso gracias a la operación de las compuertas. En estas presas el nivel normal del agua puede colocarse al nivel superior de la compuerta. Las presas vertedoras fijas (sin compuertas) no permiten la regulación de la lámina de agua. La cresta vertedora se coloca al NNE. Durante crecientes, el nivel del agua en el embalse varía desde el nivel forzado hasta el nivel normal. En épocas normales, varía entre el NNE y el NMOE y en casos extremos hasta el NME.

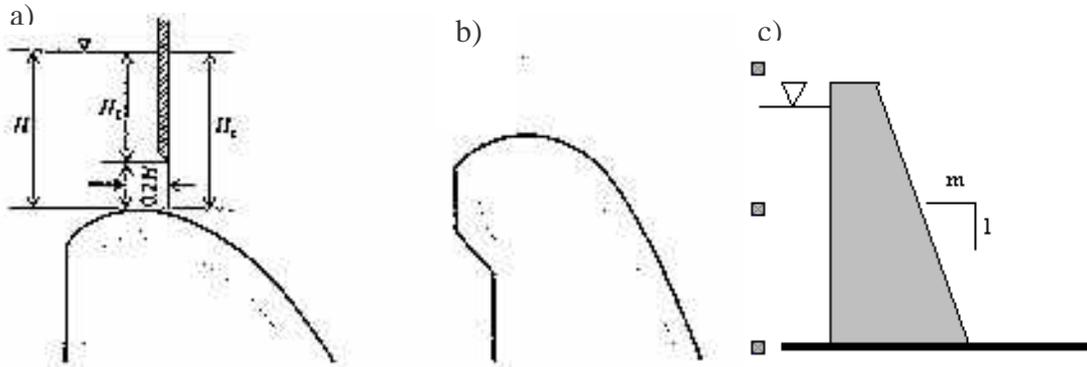


Figura 2. Esquema típicos de presas a) Vertedera móvil, b) vertedera fija y c) presa sorda.
Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

3. Según la relación de esbeltez β

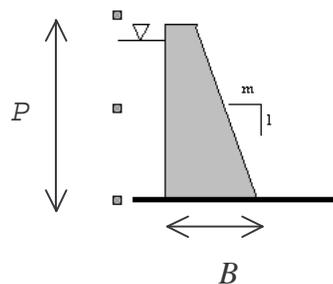


Figura 3. Relación de esbeltez.

$$\beta = B/P$$

B = ancho de la base de la presa

P = altura de la presa

Según la relación de esbeltez las presas pueden ser de cuatro tipos:

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| 3.1 Presas flexible | $\beta \geq 1.0$ |
| 3.2 Presas de concreto gravedad | $0.6 \leq \beta < 1.0$ |
| 3.3 Presas de arco gravedad | $0.3 \leq \beta < 0.6$ |
| 3.4 Presas de arco puro | $\beta < 0.3$ |

Tabla 1. Algunos ejemplos de relación de esbeltez para presas construidas en el mundo.

Presa	Localización	Tipo	Altura (m)	Ancho (m)	β
Golillas	Colombia	B	127	420	3.3
Guavio	Colombia	A	240	912	3.8
Tunjita	Colombia	D	23	2	0.1
Hoover	EUA	C	221	201	0.9
Emosson	Suiza	D	180	49	0.27

A: Suelos con núcleo impermeable

B: Enrocado con cara de concreto

C: Arco grueso

D: arco puro

4. Según la altura de presión creada por la presa

4.1 Presa altas

Las presas se pueden considerar altas si sobrepasan los 75 m de altura. La seguridad requerida por la presa adquiere más importancia a medida que aumenta su altura.

4.2 Presas intermedias

La presión actuante sobre las estructuras es media. Las presas tienen una altura comprendida entre 25 m y 75 m.

4.3 Presas bajas

Presas menores de 25 m pueden clasificarse como bajas. Una presa derivadora puede tener alrededor de tres metros de altura. El daño por la falla de una presa baja puede limitarse a la destrucción de la presa misma

Tabla 2. Presas mas altas del mundo según materiales de construcción Water Power and Dam Construction. 1990.

Presa	Pais	Tipo	Altura (m)
Rogún	Rusia	Mixta (Tierra y enrocado)	325
Nurek	Rusia	Tierra	300
Grande Dixence	Suiza	Concreto gravedad	285
Inguri	Suiza	Arco	272
New Melones	EUA	Enrocado	191
Miyagese	Japon	CCR	155
Roseland	Francia	Arco/contrafuertes	150
Zeya	Rusia	Contrafuertes	115

CCR: concreto compactado con rodillo

Tabla 3. Presas mas altas en Colombia. Water Power and Dam Construction. 1990.

Presa	Tipo	Altura (m)
Chivor	Mixta (Tierra y enrocado)	237
Guavio	Mixta (Tierra y enrocado)	246
Salvajina	Enrocado	160
San Carlos	Tierra	70

5. Según los materiales empleados en la construcción

Las presas pueden ser de concreto simple, concreto ciclópeo, concreto reforzado, materiales sueltos compactados, gaviones, madera, materiales plásticos para modelaje hidráulico.

6. Según la forma de trabajo estructural

6.1 Presas rígidas

Las presas rígidas son básicamente construidas en concreto. Pueden ser: a) masivas o actuando por gravedad, b) de contrafuertes o presas de gravedad aligeradas, c) de arco o que transmiten las fuerzas lateralmente al cañón rocoso.

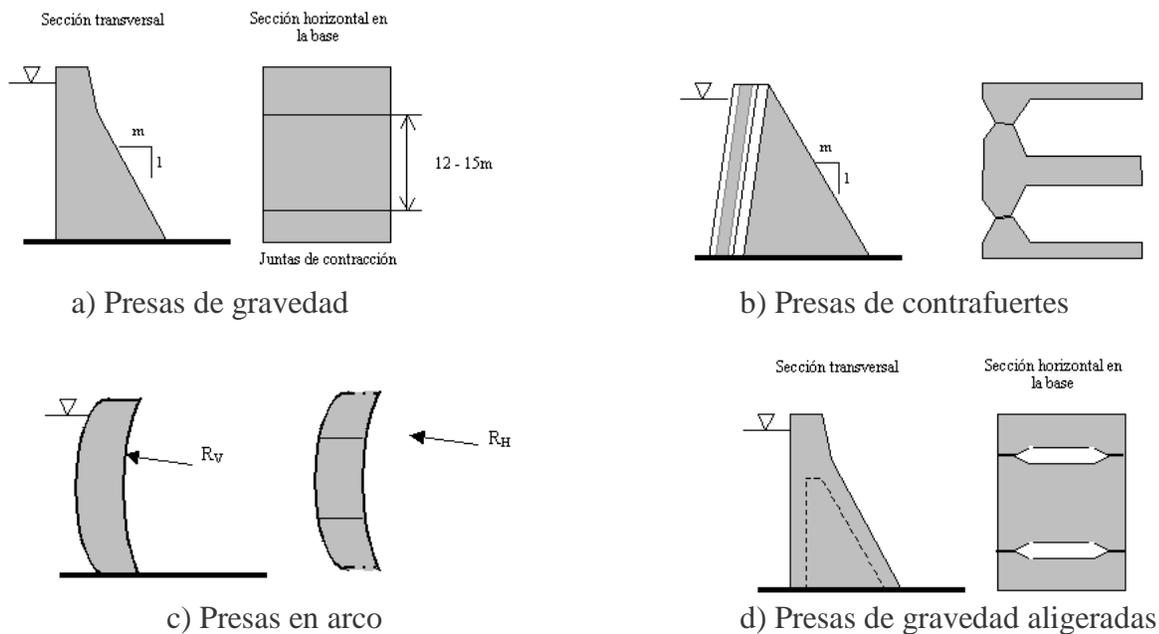


Figura 4. Ejemplos de presas rígidas. Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

6.2 Presas flexibles

Las presas flexibles son rellenos de suelos y/o enrocado. Su sección transversal es un trapecio con tendido de los taludes del terraplén de acuerdo a las condiciones de estabilidad del material que lo conforma.

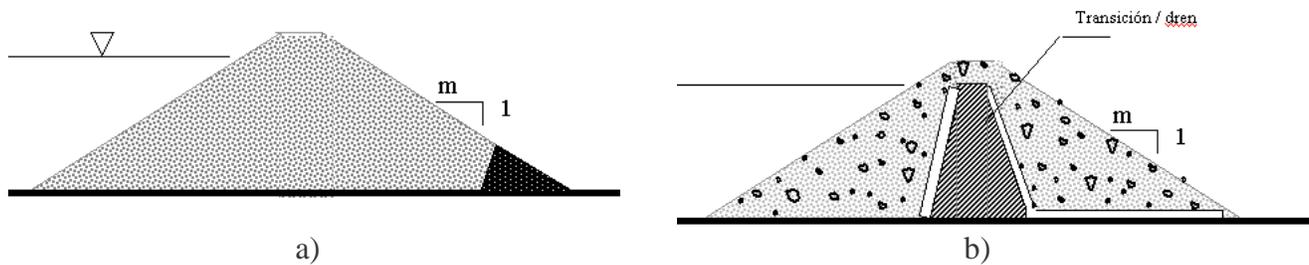


Figura 5. Esquemas de presas flexibles. a) Presa homogénea con dren de pata. b) Presa de enrocado con núcleo impermeable. Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

7. Según el tipo de fundación

7.1 Presas sobre fundación rocosa

Las fundaciones rocosas permiten la construcción de presas con casi cualquier altura de presión.

7.2 Presas sobre fundación no rocosa

Las fundaciones no rocosas permiten construir solamente estructuras con altura de carga media y baja (< 30 m), con excepción de las presas de suelos cuya altura puede exceder los 100 m.

El tipo de fundación tiene una importancia excepcional para la seguridad de las estructuras hidráulicas.

8. Según la disposición en planta de la presa

El eje de la presa en planta puede ser recto, quebrado, o curvo. El alineamiento está definido por las condiciones geológicas que obligan a colocar la presa sobre las rocas o suelos que den apoyo mas seguro y por las condiciones topográficas.

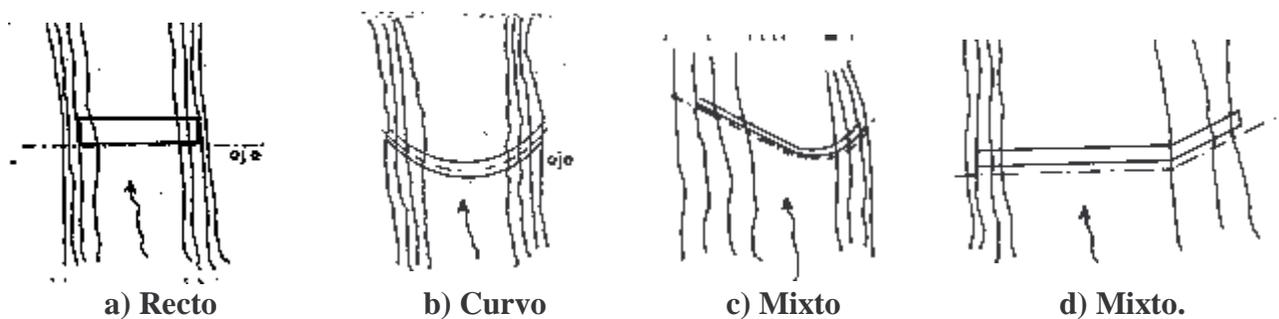


Figura 6. Posibles ejes de presas. Vega R. O. Arreguín C., F. I. 1987.

Elección del tipo de presa

La elección del tipo de presa depende de los siguientes factores:

- Características hidrológicas de la hoya (caudal de aportes, sedimentos).
- Topografía.
- Geología del sitio.
- Facilidad de obtención de materiales de construcción.
- Seguridad de la estructura.
- Tamaño y ubicación del vertedero de demasías. La capacidad del vertedero de demasías la dictan las características del escurrimiento independientemente del tipo y tamaño de la presa. El costo de la estructura de vertimiento es muy alto y puede determinar el tipo de presa que se seleccione. La solución más económica resulta combinando la presa y el vertedero en una sola estructura, lo que se conoce como presa hidroaliviadora.
- Disponibilidad de equipo y mano de obra calificada.
- Tiempo y época de construcción.
- Economía y presupuesto.

La figura y tablas siguientes ilustran ejemplos del perfil del valle con relación al tipo de presa.



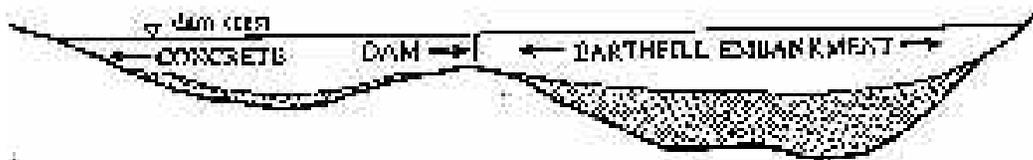
Valle amplio con depósitos aluviales profundos (5 a 10 m). Favorable para presas de tierra.



Valle con poco espesor de materiales Aluviales. Favorable para presas de suelos, Gravedad o contrafuertes.



Valles estrechos, taludes altos, poco espesor aluvial. Favorable para presas en arco o enrocado.



Valle con profundidad irregular de materiales aluviales. Una posible combinación se ilustra. La presa de concreto puede ser vertedora.

Figura 7. Ejemplos de perfiles del valle con relación al tipo de presa. Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

Tabla 4. Selección de la presa. Características típicas.
Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

Tipo de presa	Características
Terraplén	Adecuadas para cimentaciones en roca y suelos. Pueden aceptar asentamientos diferenciales limitados con núcleos relativamente amplios y de material plástico. Se requiere tabique hasta el material impermeable. Tienen pocos esfuerzos de contacto. Requieren varios materiales para núcleo, filtro, enrocado, etc.
Pedraplén o enrocado	Preferiblemente en fundación rocosa. Aceptan calidad variable y algo de intemperismo. Se requiere tabique hasta el material impermeable. Se facilita la colocación en cualquier clima. Requieren materiales para núcleo, filtros, etc.
Concreto gravedad	Adecuadas en valles amplios, desde que la excavación sea menor de 5 a 10 m. Se acepta desgaste limitado de la roca. Deben chequearse las discontinuidades de la roca con relación al deslizamiento. Tienen bajos esfuerzos de contacto. Requieren de materiales que a veces toca importar como el cemento.
Contrafuertes	Como presas de gravedad, pero mayores esfuerzos de contacto, requieren de roca sana. El ahorro de concreto con relación a las presas de gravedad es del 40 al 60%.
Arco	Adecuadas en gargantas estrechas con rocas sana de alta resistencia y poca deformabilidad en las zonas de fundación y estribos. Alta carga sobre los estribos. El ahorro de concreto con relación a las presas de gravedad es del 50 al 85%.

Consideraciones generales para la ubicación de la presa

· Consideraciones topográficas

La presa debe tener la menor longitud posible, lo cual se logra ubicándola en cañones estrechos. En este caso la presa resultante suele ser de mayor altura para lograr el embalsamiento necesario que si se ubica en valles amplios. Cañones estrechos también dificultan la desviación del cauce para la construcción de las obras resultando que las ataguías y conducciones son más costosas y difíciles de construir. Es conveniente ubicar la toma de agua en la parte externa de la curva del cauce en caso de que la presa se sitúe en un tramo curvilíneo. Un valle amplio permite la construcción de las obras en etapas. Si existe un rápido en el cauce, resulta mejor localizar la presa aguas arriba de él, en zonas de más bajas pendientes. En cauces navegables, la presa debe tener la longitud suficiente para ubicar el vertedero, las esclusas de navegación, y las escalas para peces.

· Consideraciones geológicas

La ubicación de la presa se fija por la necesidad de aprovechar una buena cimentación o estribación. Así mismo, se requiere estabilidad de las laderas del embalse creado.

· Consideraciones hidrológicas

La disposición rectilínea de la presa se usa cuando con ella se logra suficiente longitud del vertedero pues da menor longitud y menores costos. En caso contrario se puede pensar en alineamientos curvos, tipo abanico, que permiten tener longitudes del frente vertedero mayores y así poder disminuir la carga de agua sobre la estructura y disminuir altura total de presa.

Es conveniente usar la disposición rectilínea en el caso de presas bajas localizadas en ríos de aguas limpias en que no se tema por sedimentos que produzcan islotes de forma que en épocas de estiaje no se logre la derivación del agua.

· Consideraciones hidráulicas

El sitio escogido debe facilitar la desviación del cauce durante la construcción de las obras y la derivación del río durante la operación del proyecto. Si el cauce es navegable, la presa debe tener la longitud suficiente de forma que se pueda ubicar el vertedero y las esclusas.

· Consideraciones estructurales

La disposición curva de la presa aumenta la distribución de los esfuerzos hacia los estribos pero resulta más difícil constructivamente.

· Consideraciones generales

Se busca ubicar la presa próxima al sitio de suministro. Esto no siempre es conveniente. Por ejemplo: la altura de carga sobre las turbinas puede mermar a medida que se acerca la presa a la casa de máquinas. Para compensar esto, tocaría aumentar la altura de la presa. Cuando la solución no es obvia, se requiere hacer la comparación técnica y económica considerando aspectos tales como la altura de la presa, la longitud, tipo y dimensiones de la conducción, pérdidas de carga y altura de presión disponible.

Necesidad de presa

La construcción de una presa se requiere para garantizar el necesario almacenamiento de agua y crear un nivel de agua constante con el fin de regular los aportes del río y suplir las demandas durante épocas de sequía. Varios casos pueden justificar la construcción de una presa:

- El calado suministrado por el río no es suficiente para la derivación de las aguas.
- En ríos de mucha anchura con relación a su caudal, el flujo se divide en estiaje en varios brazos, siendo imposible recoger toda o la mayor parte del agua sin la construcción de una presa.
- E. Razvan (1,989) sugiere que la construcción de una presa se requiere cuando el caudal a ser desviado es mayor que la cuarta parte del caudal mínimo del río asociado a una frecuencia dada. En ríos caudalosos, de suficiente calado, de márgenes fijas y libres de deslizamientos, se puede derivar el agua sin la construcción de presas (Caudal mínimo del río mayor que cuatro veces la demanda según E. Razvan).

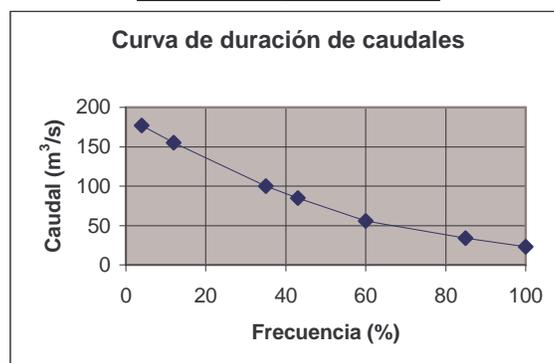
La siguiente tabla resume recomendaciones dadas por E. Razvan con relación a la frecuencia del caudal mínimo del río según diferentes usos.

Tabla 5. Frecuencia del caudal mínimo del río según diferentes usos. Razvan E. 1989.

Uso del agua	Frecuencia del caudal mínimo en el río %
Suministro de agua a grandes ciudades	97
Suministro de agua a ciudades intermedias	95
Suministro de agua a pequeñas ciudades	80
Proyectos de irrigación	80
Enfriamiento de plantas térmicas	99
Enfriamiento de plantas nucleares	99.99

La siguiente figura presenta un ejemplo de curva de duración de caudales que permite la estimación de una caudal asociado a una determinada frecuencia.

Q	Frecuencia
m ³ /s	%
177	4
155	12
100	35
85	43
56	60
34	85
23	100



Altura total de la presa

La altura de la presa está condicionada por los siguientes factores:

- Las exigencias del proyecto a construir y requerimientos de agua.
- Altura de los terrenos que se pueden inundar y su costo. Usos del suelo aguas arriba.
- La altura posible del remanso, de forma que no se obstaculice la descarga de alcantarillas y desagües. El remanso es mayor en cuanto menor sea la pendiente del cauce y mayor la altura de la presa vertedora.
- Las dimensiones de la estructura vertedora. Es conveniente que la longitud del frente vertedero sea grande pues la lámina de agua será menor y la sección sorda de la presa podrá tener mayor altura permitiendo así el almacenamiento de mas agua.
- La naturaleza del terreno de cimentación y apoyo de los estribos. Una presa puede apoyarse teóricamente en cualquier material desde arena o roca sólida con tal que se de suficiente ancho a la base y se tomen las medidas adecuadas.
- Posibilidad de situar la casa de máquinas al pie de la presa, lo que puede requerir una altura de presa mayor.
- Obras de navegación requeridas limitan la altura de la presa

La altura total de la presa esta determinada por el Nivel Muerto del Embalse, Nivel Mínimo de Operación del Embalse, Nivel Normal del Embalse, Nivel Forzado del Embalse, y el borde libre.

P = Altura total de la presa

$$P = \nabla_{\text{corona}} - \nabla_{\text{fondo}}$$

P' = Altura de la sección vertedora

$$P' = NNE - \nabla_{\text{fondo}} \text{ (sin compuertas).}$$

$$P = P' + H + BL$$

H = carga de agua sobre el vertedero

BL = borde libre

Borde libre (BL)

El borde libre o resguardo, es la distancia vertical entre el nivel máximo del agua y la corona de la presa. Sirve para evitar que se presente rebosamiento por oleaje, prever cualquier contingencia como asentamientos no previstos, aportes de la hoya superiores a los estimados, obstrucciones en el aliviadero que reduzcan su capacidad. Su valor para presas pequeñas va de 0.5 m a 3.0 m.

El borde libre debe tener en cuenta los siguientes aspectos de acuerdo con V. I. Ziparro y H. Hazen (1993):

- Altura de la ola generada por el viento
- Altura de trepada de la ola sobre la superficie de la presa
- Margen adicional de seguridad considerado necesario para tener en cuenta especialmente asentamientos de la presa, y subdimensionamiento del vertedero de rebose.

La acción de las olas se considera significativa para embalses muy grandes, e.g mayores de 200 km².

Si se tiene información sobre la altura de la ola, el borde libre se puede estimar en la siguiente forma:

$$BL = \frac{4}{3} F_s h_o$$

BL = borde libre

$4/3$ = factor que considera la altura de trepada de la ola sobre el paramento de la presa

F_s = factor de seguridad. Puede tomarse igual a 1.5

h_o = altura de la ola

Tabla 6. Borde libre para presas pequeñas. Bureau de Reclamación de los Estados Unidos.1,987.

Fetch (km)	Borde libre	
	Normal (m)	Mínimo (m)
< 1.6	1.2	0.9
1.6	1.5	1.2
4.0	1.8	1.5
8.0	2.4	1.8
16.0	3.0	2.1

Impacto ambiental de presas

El impacto ambiental de las presas está ligado al impacto generado por la creación de un embalse. Vale la pena, sin embargo, enfatizar sobre los siguientes aspectos:

- Disminución de las fluctuaciones del nivel del agua.
- Regulación de los aportes del río para suplir la demanda en épocas de sequía.
- Aminorar la velocidad de las aguas y por tanto la erosión en la proximidad de las obras.
- Promueven la depositación de sedimentos que van rellenoando el embalse.
- Elevación del nivel freático aguas arriba de la presa, lo que facilita la captación del agua pero puede ocasionar perjuicios al surgir a las superficies aledañas.
- El agua que se filtra por el fondo y las márgenes de la presa puede ocasionar el arrastre de partículas y producir erosión y socavación.
- El agua que se vierte sobre la estructura vertedora llega al pie aguas abajo con la velocidad correspondiente a la altura de caída ocasionando socavación del fondo.
- Erosión aguas abajo de descargas de agua.
- La presa es un obstáculo para la navegación, flotación y crianza de peces. (Soluciones: esclusas, canalillos de flotación, escalas de peces).

Cambios morfológicos debido a la construcción de una presa

Los siguientes casos pueden ser considerados:

- 1) Estado inicial: $t = 0$.
- 2) Estado intermedio: $t =$ varios meses
- 3) Estado final: $t = \alpha$

t = tiempo

Las siguientes tabla y figura resumen los cambios morfológicos en un cauce debidos a la construcción de una presa.

Tabla 7. Cambios morfológicos en un cauce debidos a la construcción de una presa

Elemento	Efecto posible	Aguas arriba	Aguas abajo
$t = 0$			
Caudal	Disminuye		X
Velocidad	Disminuye Aumenta	X	X
Capacidad de transporte de sedimentos	Disminuye Aumenta	X	X
Capacidad de reareación	Disminuye	X	
Oxigeno disuelto	Disminuye	X	
Pendiente hidráulica	Disminuye	X	
Turbulencia	Aumenta		X
Erosión	Aumenta		X
Nivel del agua	Disminuye Aumenta	X	X
$t = \text{intermedio}$			
Pendiente hidráulica	Disminuye	X	
Pendiente del lecho	Disminuye	X	
Erosión	Aumenta		X
Nivel del agua	Disminuye Aumenta	X	X
$t = \alpha$			
Capacidad de transporte	Se restablece Disminuye	X	X
Pendiente hidráulica	Se restablece	X	
Pendiente del lecho	Se restablece	X	
Nivel del agua	Máximo Aumenta	X	X
Sedimentación	Aumenta	X	X
Nivel freatico	Aumenta Disminuye	X	X
Humedad del suelo	Aumenta Disminuye	X	X
Vegetación	Aumenta Disminuye	X X	X X

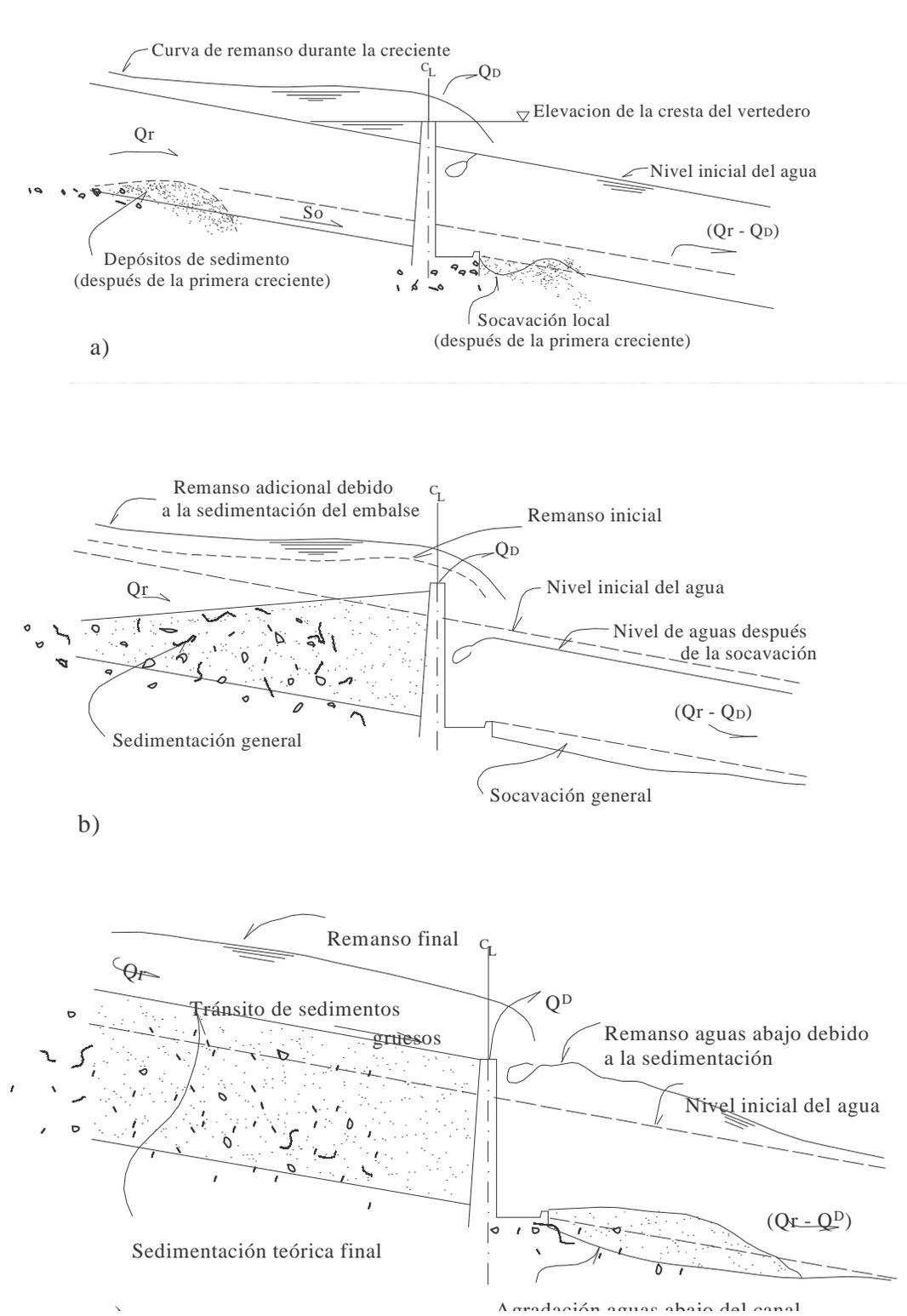


Figura 8. Cambios morfológicos en el río debido a la construcción de una presa
a) Primera etapa. b) Etapa intermedia. c) Etapa final. Adaptada de Razvan E. 1989.

REFERENCIAS

Chow, V. T. Applied Hydrology. McGraw-Hill, Inc. 1988.

IHE. Apuntes de clase.

Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. Hydraulic Structures. Unwin Hyman Ltda. London, UK. 1990.

Vega R. O. y Arreguín C., F. I. Presas de Almacenamiento y Derivación. UNAM. México. 1987.

Villamizar C., A. Diseño de Presas de Tierra para Pequeños Almacenamientos. HIMAT. 1989.