

Capítulo 13

Perfil transversal de una presa de hormigón a gravedad con vertido incorporado cimentada en suelo

13.1. Clasificación de las presas vertedero

El modelo bidimensional de análisis de presas que se estudia en pregrado es de amplia aplicación práctica, particularmente, en el caso de macizos de cimentación no rocosos con presas a gravedad. En este modelo se someten a dimensionamiento y análisis las secciones transversales características de la presa.

Como se estableció en el capítulo correspondiente a los sistemas con embalse de regulación, la sección transversal de una presa de hormigón a gravedad ciega se formula sobre la base de condiciones de estabilidad y resistencia de la presa y del macizo de cimentación o, mejor dicho, del sistema presa-macizo de cimentación.

Por su parte, la formulación de la sección transversal de una presa vertedero requiere además considerar sus condiciones específicas hidráulicas, de implantación y constructivas:

- *Hidráulicas*, referidas al vertido del agua sobre el perfil de la presa.
- *De implantación*, referidas a la instalación de compuertas sobre la cresta de la presa.

- *Constructivas*, referidas a la eventual inclusión de una cresta temporal para evacuar los caudales de construcción y de compuertas como instalaciones de contención temporales, para proteger el área de construcción de la presa.

Está claro que para el diseño de las presas vertedero deben ser considerados también los criterios y condiciones de estabilidad y resistencia establecidos para la formulación de la sección transversal de las presas ciegas.

Se distinguen dos tipos de presas vertedero:

- *Suficientemente altas*. En este caso las referidas condiciones específicas de la presa vertedero no obligan a cambiar sustancialmente la configuración del perfil teórico triangular, determinado a partir únicamente de las condiciones de estabilidad y resistencia de la presa y del macizo de cimentación.
- *De pequeña altura*. Cuando gran parte de la presión hidrostática del agua desde aguas arriba se transmite directamente a las compuertas metálicas y, a continuación, a través estas, a las pilas o a la cresta de la presa. En este caso, la presa se diseña con un perfil ensanchado, condicionado a las características constructivas y dimensiones de las compuertas. No existe un límite claramente definido entre estos dos tipos de perfiles.

En el presente texto se incluye únicamente la consideración de las presas con perfil transversal suficientemente alto. La configuración de estas presas, en lo fundamental, es compatible con el referido perfil teórico triangular (estudiado en el apartado correspondiente a las presas ciegas a gravedad de hormigón).

Cabe distinguir dos tipos en las presas suficientemente altas.

- *Dependiendo de la presión hidrodinámica bajo la lámina de agua vertida sobre el perfil de la presa*: 1) perfil sin vacío, cuando bajo la lámina de agua, en la superficie de vertido de la presa se presenta presión cercana a la atmosférica (punto A

en la Figura 13.1); 2) perfil con vacío, cuando bajo la lámina de agua en el punto A de la superficie de vertido de la presa (Figura 13.1) se presenta vacío que permite el incremento del caudal sobre el vertedero.

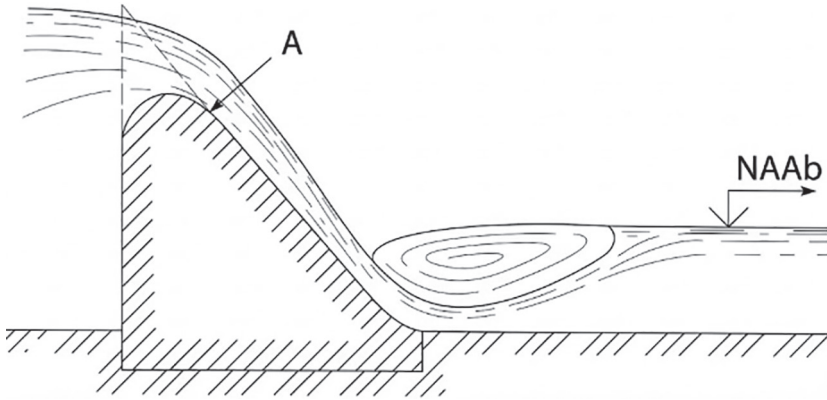


Figura 13.1. Sitio de medición de la presión bajo la lámina de agua sobre una presa vertedero con enlace de tramos suave.

A- superficie con presión absoluta cercana a la atmosférica.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

- *Dependiendo del tipo de enlace de la superficie de vertido de la presa con el fondo del cauce aguas abajo, se distinguen los siguientes tipos de enlaces: 1) suave o continuo (Figura 13.1); 2) con ayuda de un escalón de pequeña altura, cuya cresta se ubica bajo el nivel del agua aguas abajo (Figura 13.2); 3) perfil con escalón alto cuya cresta se ubica sobre el nivel del agua aguas abajo y se caracteriza porque la lámina de agua es lanzada en vuelo, a una distancia considerable de la presa, en forma de salto de esquí (Figura 13.3).*

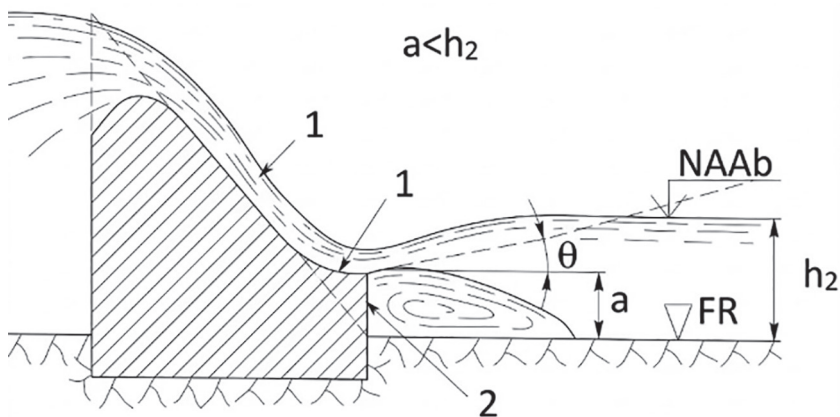


Figura I3.2. Enlace de tramos con escalón de pequeña altura.

1- plataforma de vuelo; 2- escalón bajo.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

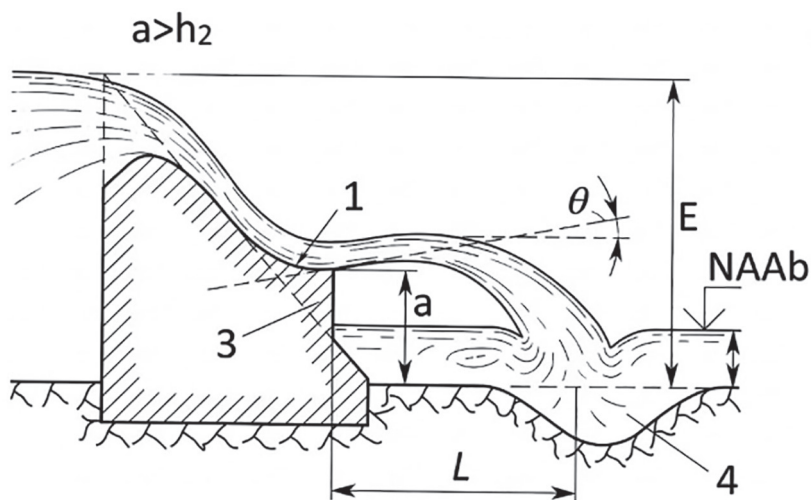


Figura I3.3. Enlace de tramos con escalón alto.

3- escalón alto.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

13.2. Formulación del perfil transversal de una presa vertedero

Para el análisis posterior es conveniente introducir los siguientes conceptos:

- *Perfil teórico triangular.* Este perfil ya conocido, es el perfil triangular obtenido por el procedimiento establecido para las presas ciegas a gravedad de hormigón, a partir de las condiciones de estabilidad al deslizamiento y resistencia para estado límite.
- *Perfil hidráulico.* Aplicable únicamente a la presas vertedero suficientemente altas y formulado a partir exclusivamente de las condiciones hidráulicas que permitan el paso sobre el perfil de la presa del caudal de diseño, igual al caudal máximo de la crecida de diseño que tiene la probabilidad de ocurrencia correspondiente al nivel de importancia de la presa.
- *Perfil preliminar.* Obtenido de la consideración simultánea del perfil teórico triangular y del perfil hidráulico. En este perfil preliminar prevalecen la configuración del paramento aguas abajo proveniente del perfil hidráulico y el ancho de la base del perfil teórico triangular, siempre y cuando el paramento aguas arriba del perfil preliminar no resulte inclinado hacia aguas arriba, en cuyo caso el ancho de la base debe incrementarse hasta la magnitud que permita que dicho paramento sea vertical.
- *Perfil constructivo.* Se obtiene a partir del perfil preliminar, añadiendo a este los elementos constructivos que posibiliten la operación confiable y segura de la presa, al satisfacer las condiciones de estabilidad, resistencia y ambientales, del sistema presa-macizo de cimentación, al menor costo.

13.2.1. Perfil teórico triangular

Como está indicado, el perfil teórico triangular de una presa vertedero cimentada en suelo se obtiene por el procedimiento ya establecido para las presas ciegas de hormigón cimentadas en roca. Esto significa que como información inicial se requiere el coeficiente de fricción en el contacto de la presa con el suelo de cimentación f , el factor permisible de

seguridad al deslizamiento FSD_{pers} , el nivel de importancia de la presa y la altura de esta, hasta el nivel normal, es decir, hasta la cresta del vertedero. Si bien es cierto que las presas vertedero cimentadas en suelo no incluyen en su perfil cortina de impermeabilización, en cambio incluyen elementos verticales de efecto similar (tablestacas). En consecuencia, para determinar el perfil teórico triangular se puede adoptar el coeficiente de reconformación del diagrama de subpresión $\alpha = 0,8$, que corresponde a una presa con cortina y drenaje vertical. Cabe advertir que para verificar el perfil constructivo respecto a estabilidad y resistencia se debe contar con los resultados del análisis de filtración bajo la presa y, en particular, con el diagrama de supresión.

Como se estableció en el capítulo correspondiente al diseño de las presas ciegas de hormigón cimentadas en roca, determinar el perfil teórico triangular (Figura 13.4) significa determinar el ancho b de la base horizontal del triángulo y la ubicación de su vértice superior a través del parámetro ξ . Estas dos incógnitas son determinadas con ayuda de las dos ecuaciones, también conocidas, una que corresponde al estado límite del perfil triangular para estabilidad y la otra al estado límite para resistencia.

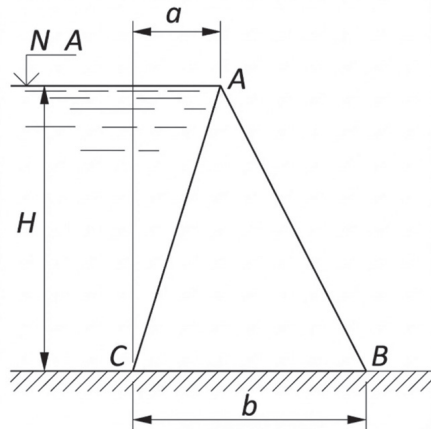


Figura 13.4. Perfil teórico triangular $\xi = \frac{a}{b}$

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

Las dos ecuaciones referidas, fueron deducidas en el capítulo correspondiente al diseño de las presas ciegas cimentadas en roca y con aceptable grado de aproximación pueden ser reemplazadas por otras ecuaciones, obtenidas de la práctica de diseño, que permiten determinar inicialmente el parámetro ξ y a continuación el ancho de la base b :

$$\xi = \frac{\sqrt{A(2A-1,5)}-(2-0,15A)}{A+1} \quad (12.1)$$

Donde:

$$A = \left[\frac{FSD_{PER}}{f} \right]^2 \quad (12.2)$$

Una vez obtenido el parámetro ξ con la ecuación (12.1), a continuación, se determina el ancho de la base con la siguiente ecuación:

$$b = \frac{1}{2+\xi} H \frac{FSD_{PER}}{f} \quad (12.3)$$

Donde:

FSD_{PER} : factor permisible de estabilidad al deslizamiento.

f : coeficiente de fricción en el contacto del hormigón de la presa con el suelo de cimentación.

H : altura de la presa desde el fondo del río hasta el nivel de operación normal (Figura 13.4).

13.2.2. Perfil hidráulico

La construcción del perfil hidráulico tipo Creager sin vacío (perfil Creager-Ofizerov), permite obtener la configuración de la superficie de vertido de la presa igual a la configuración del límite inferior de la lámina de agua que vierte a través de un vertedero de pared delgada que trabaja con la misma carga H_{DIS} . Por esta razón, en el contacto de la lámina de agua con el paramento aguas abajo de la presa vertedero tipo Creager,

la presión es igual a la atmosférica, es decir, la presión excedente es nula. A continuación, se consideran dos variantes del perfil Creager sin vacío, que se obtienen para suelos con diferentes indicadores de corte.

13.2.2.1. Perfil Creager sin vacío con paramento vertical aguas arriba

Este perfil (Figura 13.5) está formado por cinco elementos:

- Tramo vertical AB de alto a .
- Tramo recto BC inclinado respecto a la horizontal un ángulo α_{sup} .
- Tramo curvilíneo CD que se construye con coordenadas especiales y que propiamente constituye el perfil Creager.
- Tramo recto DE inclinado respecto a la horizontal un ángulo α_{inf} .
- Arco circular EF de radio R que enlaza el fondo del cauce al pie de la presa con el tramo DE .

Para formular el perfil hidráulico debe previamente conocer la profundidad del agua, aguas arriba y aguas abajo, la cota de la cresta de la presa; los valores del alto a del paramento vertical aguas arriba AB , del ángulo de inclinación $\alpha_{sup} = \alpha_1$ del tramo BC , respecto a la horizontal y el ángulo de inclinación $\alpha_{inf} = \alpha_2$ del tramo DE , respecto a la horizontal, se determinan en correspondencia con el perfil teórico triangular.

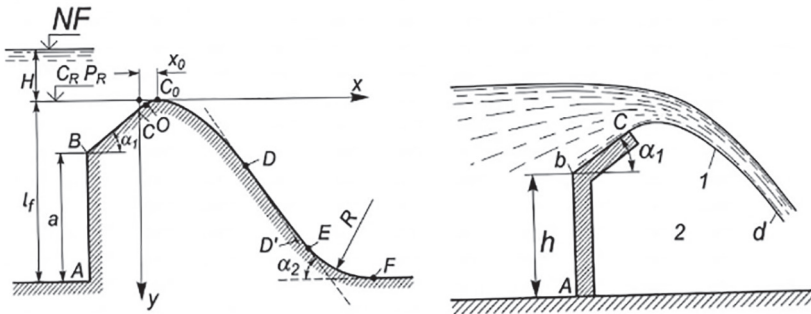


Figura 13.5. Perfil Creager sin vacío, con paramento aguas arriba vertical.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

El radio R de enlace del tramo DE con el fondo del cauce aguas abajo no influye en el coeficiente de caudal (descarga) de la presa, se lo adopta por consideraciones constructivas. En primera instancia, puede aplicarse el siguiente criterio, proveniente de la práctica de diseño: para presas pequeñas cimentadas en suelo, en caso de cargas grandes, $R = (0,5 - 1,0) (Z + H)$. En segundo lugar, para presas altas cimentadas en roca, para cargas menores a 5 m, $R = (0,25 - 0,5) (Z + H)$. Donde H es la carga de diseño y Z la máxima diferencia del nivel de agua entre aguas arriba y aguas abajo.

El principal elemento del perfil Creager es el tramo curvilíneo CD que debe ser adoptado de tal forma que sea suficientemente cercano a la curva cd del límite inferior de la lámina de agua que pasa a través del vertedero de pared delgada, que opera con la misma carga H , conforme ya se ha anotado.

El tramo CD se construye para la carga máxima, es decir la que corresponde al nivel forzado. La construcción de este elemento que, en realidad, es el perfil Creager se realiza de la siguiente manera:

- Se traza del sistema de coordenadas XY como se muestra en la Figura 13.5.
- Se construye la curva utilizando las coordenadas de la Tabla 12.1 que están referidas a la unidad de carga. Es decir que para obtener las coordenadas reales, cabe multiplicar las coordenadas de la tabla por la carga de diseño.

13.2.2.2. Perfil Creager sin vacío con paramento inclinado aguas arriba

Este perfil es un caso particular anterior cuando $a = 0$; se obtiene en caso de cimentaciones en suelo. El ensanchamiento del perfil es tanto mayor cuanto menor es el coeficiente de fricción entre la presa y el suelo, es decir cuanto menor es la resistencia al corte del suelo de cimentación (Figura 13.6).

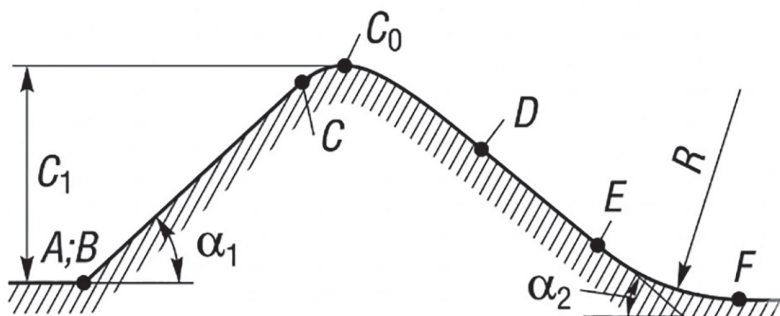


Figura 13.6. Perfil Creager con paramento aguas arriba inclinado.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

Tabla 12.1
Coordenadas unitarias del perfil Creager-Ofizyevov.

Nro. punto	$\frac{X}{H_{DIS}}$	$\frac{Y}{H_{DIS}}$	Nro. punto	$\frac{X}{H_{DIS}}$	$\frac{Y}{H_{DIS}}$
1	0	0,26	15	1,4	0,564
2	0,1	0,036	16	1,5	0,661
3	0,2	0,007	17	1,6	0,764
4	0,3	0,00	18	1,7	0,873
5	0,4	0,006	19	1,8	0,987
6	0,5	0,027	20	2,0	1,235
7	0,6	0,060	21	2,1	1,369
8	0,7	0,10	22	2,2	1,508
9	0,8	0,146	23	2,3	1,653
10	0,9	0,198	24	2,4	1,894
11	1,0	0,256	25	2,5	1,960
12	1,1	0,321	26	2,6	2,122
13	1,2	0,394	27	2,7	2,289
14	1,3	0,475	28	2,8	2,462

13.2.3. Perfil preliminar

La consideración conjunta del perfil teórico triangular y del perfil hidráulico, permite obtener el perfil preliminar de la presa. Como se ha advertido, del perfil hidráulico prevalece la configuración de su paramento aguas abajo, en tanto que del perfil teórico triangular prevalece el ancho de su base, salvo el caso que el paramento aguas arriba del perfil resulte inclinado hacia aguas arriba, lo que es inadmisibles, pues en ese caso es necesario incrementar el ancho de la base hasta que dicho paramento sea vertical.

Para obtener el perfil preliminar se procede de la siguiente manera:

- Se traza el sistema de coordenadas *OXY*, haciendo centro en el vértice superior del perfil teórico triangular.
- En el sistema de coordenadas trazado se implanta el perfil Creager para la carga de diseño obtenida.
- El paramento aguas arriba se implanta de tal manera que prevalezca el ancho de la base del perfil teórico triangular.

13.2.4. Perfil constructivo

El perfil preliminar requiere de los elementos constructivos que permitan la funcionalidad de la presa vertedero satisfaciendo las condiciones necesarias de estabilidad y resistencia del sistema presa-macizo de cimentación. La inclusión de dichos elementos al perfil preliminar permite obtener el perfil constructivo de la presa vertedero. Los elementos constructivos más importantes son:

- *Construcciones de disipación y protección* en el tramo aguas abajo que incluye el trayecto del resalto hidráulico donde se disipa gran parte de la energía cinética excedente y el trayecto postresalto donde se reconforma el diagrama de velocidades del flujo hasta llegar al diagrama propio del flujo uniforme.
- *Contorno subterráneo* de la presa que es la línea constructiva de contacto de la presa con el suelo de cimentación, tiene fundamental incidencia en la magnitud de la su subpresión y, por

consiguiente, en la estabilidad de la presa, en la distribución de los esfuerzos en la base de la presa y en la resistencia a la filtración del suelo de cimentación.

- *Galerías en el interior del cuerpo* de la presa que, entre otras funciones permiten la instalación de sistemas de monitoreo y del drenaje del cuerpo de la presa; juntas de deformación que dividen longitudinalmente a la presa en bloques a fin eliminar o mitigar la concentración de esfuerzos debidos a procesos térmicos y a eventuales asentamientos diferenciales del suelo de cimentación.

13.3. Construcciones en el tramo aguas abajo de la presa

En el tramo aguas abajo, cuando se evacúan caudales a través de la presa, surgen flujos caracterizados por las altas velocidades, por consiguiente, por la alta energía cinética excedente y, en consecuencia, por la alta capacidad erosiva. Por esta razón es necesario incluir en el tramo aguas abajo los elementos constructivos que mejoren las condiciones de disipación de la energía y protejan el fondo y las márgenes del cauce frente a la acción erosiva del flujo en el trayecto del resalto hidráulico y en el de reconformación del diagrama de velocidades.

13.3.1. Principales elementos del tramo aguas abajo

Para las presas vertedero cimentadas en suelo, a continuación, será considerado únicamente el esquema con enlace continuo o suave entre el paramento aguas abajo de la presa y el fondo del cauce en el tramo aguas abajo (Figura 13.1). En este caso, la intervención ingenieril en el cauce se refiere fundamentalmente a su protección o reforzamiento en tres partes:

- En el *trayecto del resalto* hidráulico, donde la losa de disipación juega un rol importante y tiene longitud igual a la del resalto no desplazado.
- El *cauce postresalto* donde la protección o refuerzo puede incluir losas de hormigón o piedra de las dimensiones requeridas.

- El *elemento vertical* al final del cauce postresalto para de evitar la socavación del fondo en el tramo de ingreso del agua al cauce natural.

En la siguiente figura se muestra el tramo aguas abajo que incluye los trayectos del resalto y postresalto:

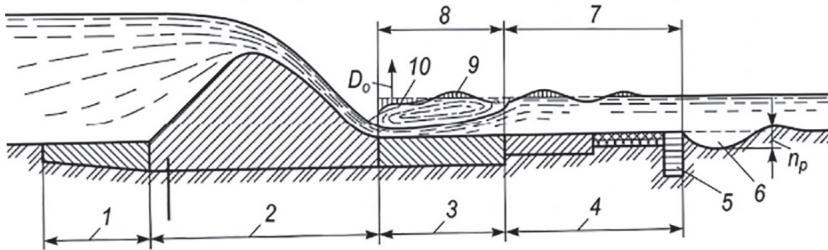


Figura 13.7. Esquema de la sección transversal de una presa vertedero cimentada en suelo.

1- carpeta; 2- presa; 3- losa de hormigón armado; 4- losas de hormigón armado y/o protección de enrocado o piedra; 5- elemento final de la sección postresalto; 6- pozo o cono de erosión; 7- trayecto postresalto; 8- trayecto del resalto; 9- diagrama de presión hidrodinámica; 10- diagrama de subpresión; D_o - déficit de presión; h_p - profundidad del pozo o cono de erosión.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

El problema relativo al reforzamiento o protección del cauce en el tramo aguas abajo se resuelve como resultado de un análisis técnico-económico. Para el efecto se consideran reforzamientos de diferente longitud L , tomando en cuenta que los reforzamientos cortos son menos costosos, pero, en cambio, requieren de elementos verticales más profundos y, por consiguiente, más costosos al final de la sección postresalto.

En consecuencia, el reforzamiento o protección del tramo aguas abajo debe ser considerado como una construcción que permite alejar de la presa el pozo o cono de erosión, al disminuir la profundidad de su cota de cimentación.

Como ya se ha anotado los trayectos del resalto y postresalto (Figura 13.7) se diferencian uno de otro desde el punto de vista constructivo. En ocasiones la protección se divide para cada uno de estos dos trayectos solo formalmente, por cuanto en algunos casos no existe constructivamente una diferencia especial entre ellas.

Los orificios de vertido (superficiales) en algunas ocasiones pueden ser de fondo (con su cresta ubicada en el fondo del cauce). En estos casos al cuerpo de la presa solo corresponde el bloque de cimentación que constructivamente forma con el tramo del resalto una sola losa denominada losa de dissipación (Figura 12.8).

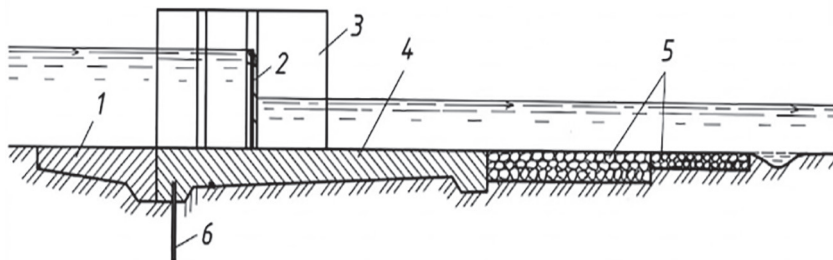


Figura 13.8. Esquema de una presa vertedero con cresta de fondo [losa de dissipación]. 1- carpeta; 2- compuerta; 3- pila; 4- trayecto del resalto; 5- trayecto postresalto.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGROPROMIZDAT.

Considerando la opción diseñada de acuerdo con el esquema de la Figura 13.7 se puede apreciar que a continuación del elemento final de la sección postresalto se produce una erosión local (cono o pozo de erosión) de profundidad $h_p = f(L)$; con la disminución de L el valor de h_p se incrementa (Figura 13.9). Teóricamente únicamente cuando $L = \infty$ se obtendría $h_p = 0$. Sin embargo, despreciando alguna magnitud pequeña h_p' se puede introducir el concepto de longitud límite de la protección L_{PR} . Por tanto, no tendría fundamento optar una protección de longitud $L > L_{PR}$. Al mismo tiempo, la práctica demuestra que la adopción de una longitud $L < L_{PR}$ permite con frecuencia lograr un

buen efecto económico. Cuando se adopta $L < L_{PR}$ será necesario implantar aguas abajo un elemento vertical con profundidad algo mayor a la profundidad del cono de erosión que corresponde a la longitud L adoptada.

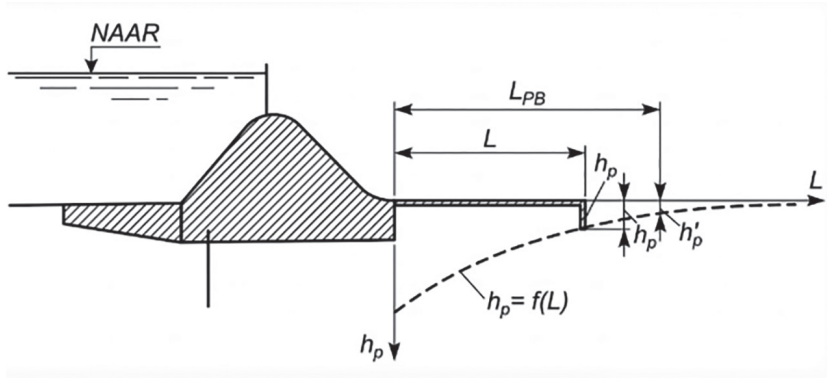


Figura 13.9. Variación de la profundidad del pozo o cono de erosión h_p en función de la longitud L de la protección en el tramo aguas abajo.

1- protección adoptada; 2- elemento final vertical para contrarrestar la socavación.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

13.4. Diseño de la protección del tramo aguas abajo

La construcción protectora del tramo aguas abajo se adopta con el fin de contrarrestar los riesgos de erosión y socavación del cauce. Al mismo tiempo, la protección de alguna manera puede intervenir en el flujo de agua modificando su estructura. A más del objetivo señalado, la protección prevista debe satisfacer las siguientes condiciones complementarias: no ser destruida por el flujo de agua, no ser destruida por los objetos flotantes y no alterar el régimen del flujo de agua en el tramo aguas abajo en tal magnitud que como consecuencia surjan dificultades operativas. La más importante de las tres es la primera. La segunda condición, con frecuencia, podría no ser considerada. Respecto a la tercera,

cabe anotar que el tema sobre el régimen del flujo en el tramo aguas abajo debe ser analizado tomando en cuenta no solo el rol de la protección sino principalmente considerando el efecto en el tránsito del agua de las condiciones de implantación de todo el conjunto de estructuras aguas abajo.

En el diseño de los elementos constructivos aguas abajo hay que distinguir dos tipos de problemas:

- *Hidráulico-determinación* de las formas geométricas de las principales dimensiones de la protección, así como también la determinación de las magnitudes de las fuerzas actuantes desde el flujo de agua en los elementos de la protección.
- *Constructivo-definición* de las características constructivas de la protección, tales que aseguren su estabilidad y resistencia.

Respecto a las características constructivas de los elementos en el tramo aguas abajo cabe, ante todo, identificar los diferentes tipos de disipadores de energía hidráulica que con más frecuencia son implantados dentro de los límites de la protección aguas abajo. Al respecto, en la mecánica de fluidos aplicada se distinguen:

- Los *disipadores simples de energía* que se prestan para cálculo hidráulico en forma de pozos y muros de disipación.
- Los *disipadores de energía especiales* que no se prestan al cálculo hidráulico convencional.

En el análisis del enlace de tramos se distinguen dos tipos de enlace del flujo descendente con el tramo aguas abajo: a través del resalto desplazado y a través del resalto no desplazado; en el segundo caso el resalto puede ser sumergido o con inicio en la sección de la profundidad contraída h_c .

En los casos del resalto no desplazado la protección del tramo aguas abajo resulta ser más económica. Por esta razón, aguas abajo de las presas vertedero cimentadas en suelo para el diseño se par-

te de la condición de obtener resalto sumergido. En consecuencia, a continuación, será considerado únicamente el caso de resalto no desplazado.

13.5. Disipadores de energía de tipo simple

Los pozos y muros de disipación son ubicados directamente a continuación de la presa con el fin de obtener resalto hidráulico sumergido en el enlace del flujo descendente con el tramo aguas abajo. Son construcciones de hormigón u hormigón armado en las que se deben evitar esquinas con ángulos agudos puesto que estas pueden ser fácilmente destruidas por el flujo. En caso de que el flujo de agua transporte piedras gruesas como sedimento de fondo, este material puede acumularse en el pozo formado por el muro de disipación o por el escalón ubicado al final del pozo, debido a lo que se alteraría el régimen hidráulico operativo del pozo.

13.5.1. Pozo de disipación

Puede tener diferentes soluciones constructivas. Con ayuda de un escalón inclinado ab (Figura 13.10) se incrementa en alguna magnitud la profundidad del agua d en el pozo; de esta forma disminuye el desgaste del hormigón. Sin embargo, la altura de la presa aguas abajo aumenta ($c'_2 > c_2$) y consecuentemente, por consideraciones de estabilidad de la presa resulta necesario incrementar el ancho de la base b de la presa. Como resultado, abaratando la protección aguas abajo gracias al pozo de disipación, simultáneamente se produce el encarecimiento de la misma presa.

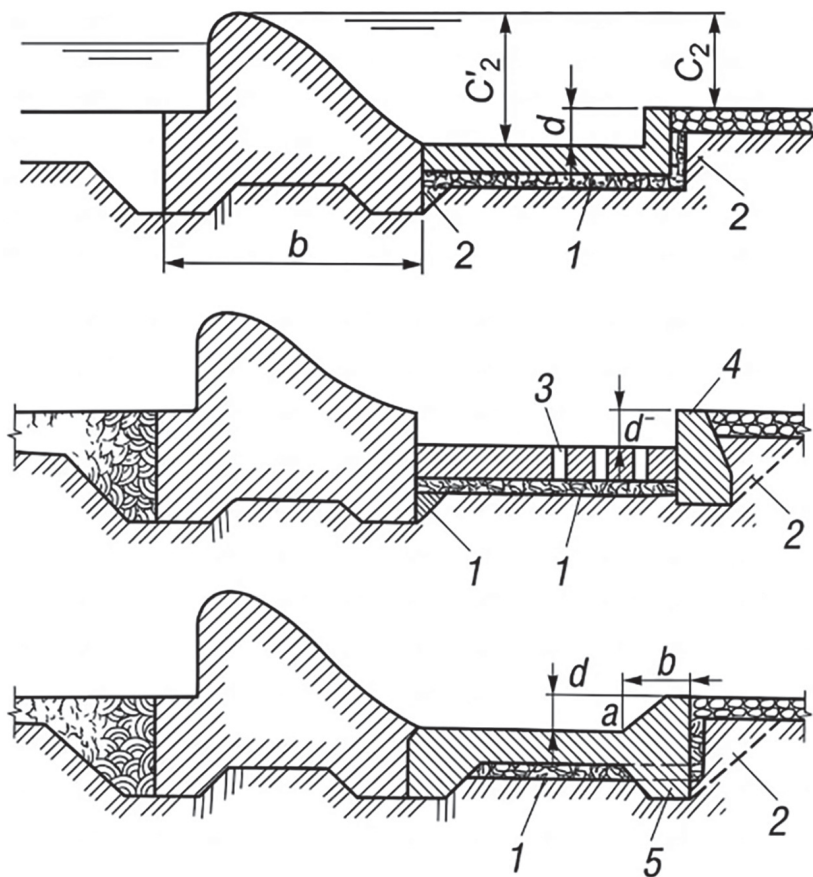


Figura 13.10. Variantes constructivas del pozo de disipación.

1- drenaje; 2- talud constructivo; 3- orificio de filtración; 4- muro de disipación; 5- evacuación del agua del drenaje; C_2 - altura de la presa aguas abajo sin pozo disipador; C'_2 - altura de la presa aguas abajo con pozo disipador.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

13.5.2. Muro de disipación

En este caso (Figura 13.11) la altura de la presa desde aguas abajo no se incrementa. Los efectos adversos del muro de disipación son:

- Aguas abajo del muro de disipación con frecuencia puede presentarse un resalto desplazado y por tanto surgir la necesidad de un segundo muro disipador (de menor altura) para formar un segundo pozo; en algunos casos puede surgir la necesidad de contar con un tercer muro de disipación, etc.
- La longitud de la protección aguas abajo del muro disipador debe ser algo mayor que en el caso de pozo disipador.
- El muro de disipación en algunos casos puede obstaculizar la solución del problema relativo a la evacuación del caudal de construcción, durante el periodo de ejecución de las obras en el cauce.

La configuración del muro de disipación en el corte transversal tiene varias opciones (Figura 13.12). En algunas ocasiones los muros disipadores se construyen con curvatura en planta, hecho que origina la difusión (ensanchamiento) del flujo en planta luego del muro disipador lo que mejora las condiciones del enlace de tramos.

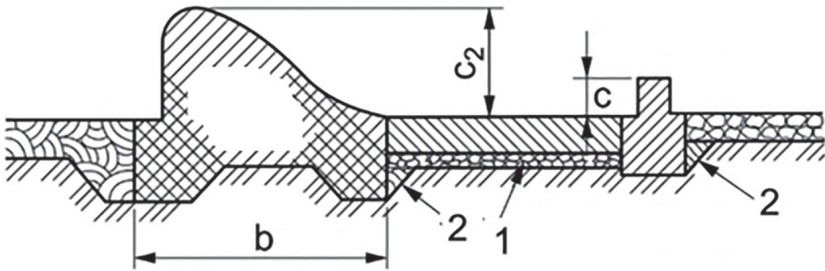


Figura 13.11. Características constructivas de un muro de disipación.

1- drenaje; 2- talud constructivo.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.



Figura 13.12. Formas del muro disipador.

1- orificio para evacuar el agua desde el pozo de disipación.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

13.5.2. Pozo de disipación combinado

La altura del muro disipador se adopta tal que aguas abajo se produzca la sumersión mínima permisible del resalto hidráulico. La profundidad d del pozo se asigna bajo la condición de que con la profundidad del agua en el pozo ($c + d$) inmediatamente aguas abajo de la presa se produzca la sumersión mínima permisible del resalto ubicado en el pozo. En este caso no hay necesidad de incluir un segundo muro disipador, así como tampoco se incrementa la altura de la presa. Existen otras combinaciones de pozos y muros de disipación, por ejemplo, primero se ubica el muro disipador y a continuación el pozo de disipación.

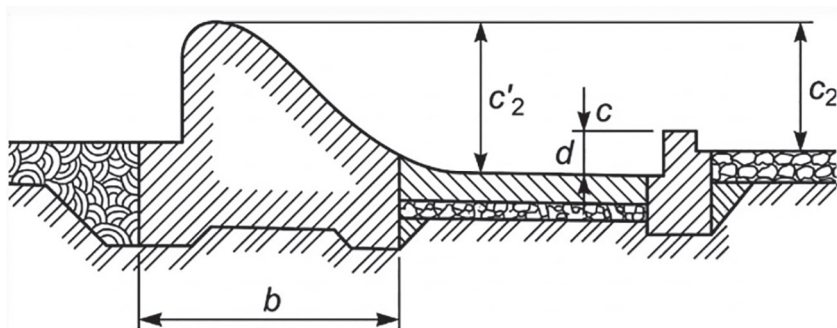


Figura 13.13. Pozo de disipación combinado.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

13.6. Estructura en el tramo del resalto (losa de disipación)

13.6.1. Característica constructiva

La estructura en el tramo del resalto es ejecutada en forma de una losa horizontal y en ocasiones inclinada (armada o sin armado). La longitud l_{TR} de la estructura es recomendable adoptar igual en caso de:

- Ausencia de disipadores de energía sobre ella $l_{TR} = (1,00 \text{ a } 1,25) l_{RS}$.
- Presencia de disipadores sobre la losa $l_{TR} = (0,75 \text{ a } 1,00) l_{RS}$, donde l_{RS} es la mayor posible longitud del resalto hidráulico sumergido.

Generalmente la losa horizontal de disipación se implanta en el mismo nivel que el tramo postresalto.

La losa de disipación se separa con una junta de deformación del cuerpo de la presa (Figura 13.14a, b, c) a fin de evitar el surgimiento de fisuras en ese sitio, pero también es cortada a lo largo del flujo por juntas térmicas verticales (Figura 13.14d).

Estas juntas son trazadas como continuación de los ejes de las pilas, observando que, en caso de que la losa de disipación sea sin armado, la distancia entre dichas juntas no sea mayor a 15 a 20 m. Todas las juntas mencionadas no son selladas y por tanto permanecen permeables. Bajo la losa de disipación se coloca drenaje horizontal protegido por un filtro invertido de dos o tres capas. A este drenaje ingresa el agua que fluye a través del suelo de cimentación desde el tramo aguas arriba. Este drenaje descarga la losa de disipación de la subpresión excedente.

La evacuación del agua desde el drenaje hacia el tramo aguas abajo puede realizarse a través de los drenes verticales de la losa de disipación o en dirección horizontal (hacia la zona del tramo postresalto permeable).

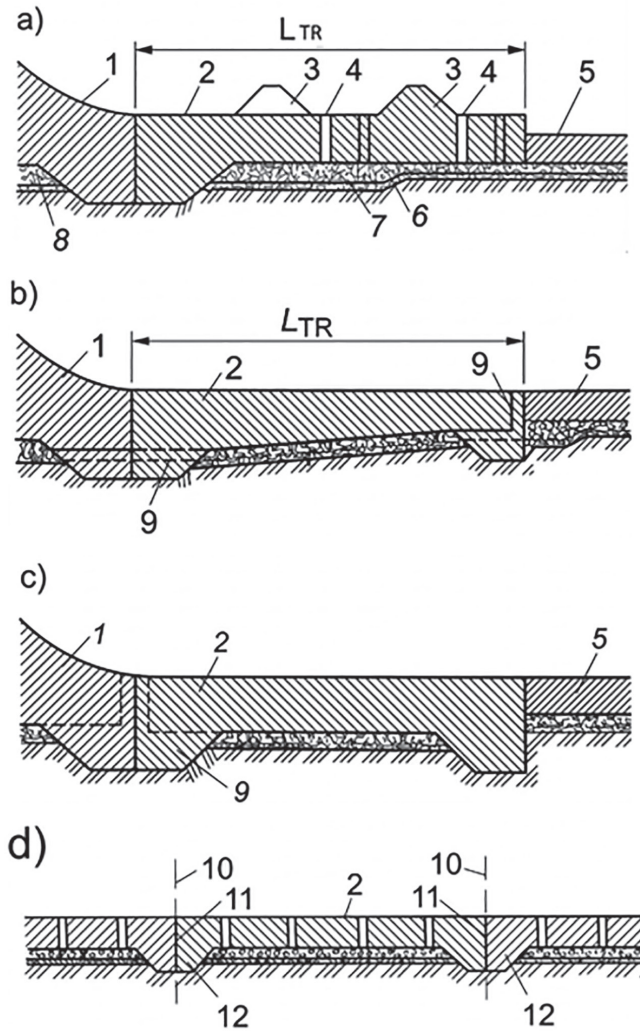


Figura 13.14. Esquemas constructivos de la losa de disipación.

1- presa; 2- losa de disipación; 3- dados; 4- drenes verticales; 5- tramo postresalto; 6- drenaje; 7- filtro invertido; 8- drenaje bajo la presa; 9- evacuación del agua desde el drenaje; 10- eje de la pila; 11- junta; 12- dentellón.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

El espesor d de la losa de disipación se determina por cálculo (ver Apéndice A): $d \geq \left(\frac{1}{10} a \frac{1}{12}\right) l_{TR}$. El espesor de la losa de disipación puede ser constante o variable, disminuyendo a lo largo del flujo (Figura 13.14a, b, c).

13.6.2. Condiciones de operación de la losa de disipación

Durante el periodo de operación de la presa vertedero cuando está totalmente abierto uno de sus orificios se presentan las siguientes condiciones:

- Dentro de los límites de la losa que corresponde al mencionado orificio abierto se ubica un resalto hidráulico sumergido y las profundidades de flujo en el inicio de esta losa de disipación son algo disminuidas (Figura 13.7). Simultáneamente, en el drenaje bajo la losa de disipación puede establecerse la presión que corresponde al nivel de agua en el tramo aguas abajo. La presión del agua aplicada a la losa desde abajo resulta ser en algo mayor que la presión aplicada desde arriba. Como resultado en el caso de evacuación del caudal de diseño a través del mencionado orificio la losa de disipación soporta desde abajo la presión D_o (ver en la Figura 13.7 el diagrama sombreado). Este déficit de presión debe ser contrarrestado por el peso de la losa de disipación; además, la fuerza D_o produce momentos flexores en las secciones transversales verticales de la losa, los mismos que originan esfuerzos de tracción en la superficie inferior de la losa (en dirección longitudinal).
- Debido a la intensa oscilación de la presión hidrodinámica sobre la superficie de la losa de disipación esta adicionalmente soporta carga de signo variable, al igual que las losas del tramo postresalto. Esta carga da lugar a momentos flexores, tanto en las secciones verticales transversales como longitudinales de la losa de disipación y origina esfuerzos de tracción alternados tanto en la superficie superior como en la inferior de la losa de disipación; la oscilación de la presión hidrodinámica aplicada a la losa de disipación algunas veces produce vibración del

suelo de cimentación de la dicha losa, la misma que puede ser transmitida a los elementos de la presa.

- Cuando sobre la losa se ubican disipadores especiales de energía (dados) dicha losa soportará también la acción de las fuerzas horizontales cortantes aplicadas a los dados; evidentemente que el peso de la losa debe ser suficiente para contrarrestar no solo la fuerza oscilante vertical D_o (ver primer punto), sino también para contrarrestar la fuerza cortante horizontal de la presión hidrodinámica.

Las aclaraciones hechas evidencian que el armado de la losa de disipación requiere doble malla: superior e inferior (Figura 13.15). La superficie requerida de la sección del armado puede ser determinada a partir de los valores de los momentos flexores anteriormente mencionados.

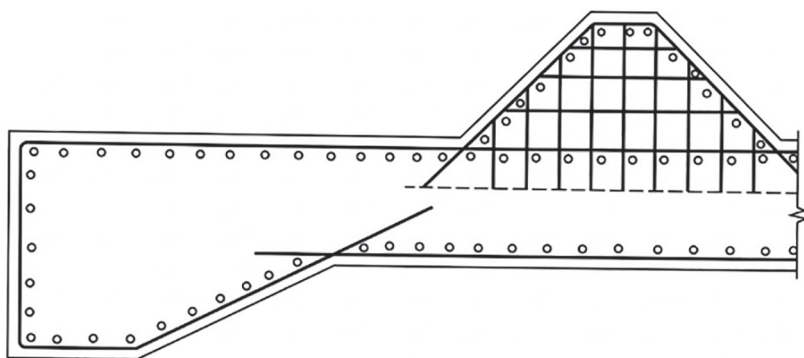


Figura 13.15. Esquema de armado de la losa de disipación con dados.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGROPROMIZDAT.

13.1. Tramo postresalto

13.1.1. Característica constructiva

A lo largo de este tramo la capacidad erosiva del flujo debe disminuir gradualmente como resultado de la disipación de la energía ci-

nética excedente del flujo y la disminución de las velocidades de fondo; por tanto, constructivamente la estructura debe aligerarse. La superficie de este tramo generalmente se adopta lisa o con rugosidad pequeña. En primera aproximación la longitud del tramo postresalto se asume $l_{TPR} = (1,0 \text{ a } 2,0)l_{TR}$. Durante el proceso de operación la parte final del tramo postresalto experimenta algunas deformaciones debido a la socavación del suelo de cimentación ubicado bajo la estructura protectora. Tomando en cuenta este hecho la parte final de dicha estructura en el tramo postresalto, con frecuencia es diseñada flexible a fin de que pueda deformarse siguiendo la deformación de la superficie del fondo del tramo aguas abajo, pero sin alterar su rol protector.

El tramo postresalto está constituido de tres partes diferentes: rígida, flexible y el elemento final. La parte rígida del tramo postresalto se construye con losas de hormigón, la parte flexible de piedra, enrocado.

Las losas de hormigón simple y hormigón armado del tramo postresalto se adoptan generalmente de espesor $d = 1,0$ a $1,5$ m en los sectores iniciales del tramo y $d = 0,5$ a $0,8$ m en el sector final. Se adoptan cuadradas o rectangulares en planta con longitud de 2 a 20 m. Tomando en cuenta el posible trabajo de las losas como vigas en dos apoyos (en el caso de socavación por el flujo) se considera que el espesor de las losas debe satisfacer la condición: en el caso de losas no armadas $d \geq \left(\frac{1}{6} \text{ a } \frac{1}{7}\right)l$; en el caso de losas armadas $d \geq \left(\frac{1}{8} \text{ a } \frac{1}{10}\right)l$.

Las losas del tramo postresalto con frecuencia se funden *in situ*. De esta manera la superficie del fondo resulta cubierta por una capa de dichas losas con juntas entre ellas no selladas. Si las losas en planta son rectangulares, entonces deben implantarse de tal manera que el lado largo esté en dirección del flujo. Bajo las losas se coloca filtro invertido de dos o tres capas y espesor 0,4 a 0,6 m. Sobre la superficie del filtro invertido en caso de fundición *in situ* se coloca una capa de una mezcla rígida de hormigón de espesor de 0,10 a 0,15 m. En las losas con frecuencia se hacen orificios de filtración (drenes) de diámetro 0,15 a 0,25 m., con distancia en planta entre ellos de 5 m.