

## REFERENCIA HIDRÁULICA DEL MÓDULO 6

La presencia en los cauces naturales de elementos de retención, derivación y control de flujo como aliviaderos, vertederos, presas, tomas de captación, etc. son perfectamente integrables en un modelo en HEC-Ras. Además a estos elementos se le pueden incorporar compuertas.

### **ESTRUCTURAS EN LINEA. LOCALIZACIÓN DE SECCIONES**

Al igual que en viaductos y culverts, la incorporación en el modelo de estructuras en línea con vertederos, aliviaderos y compuertas requiere de la definición de 4 secciones en el ámbito de las mismas.

Una suficientemente aguas abajo para que la expansión de flujo se complete, dos a ambos lados de la estructura para representar las ubicaciones de Headwater y Tailwater, y una cuarta suficientemente aguas arriba para que represente el inicio de la contracción de flujo.

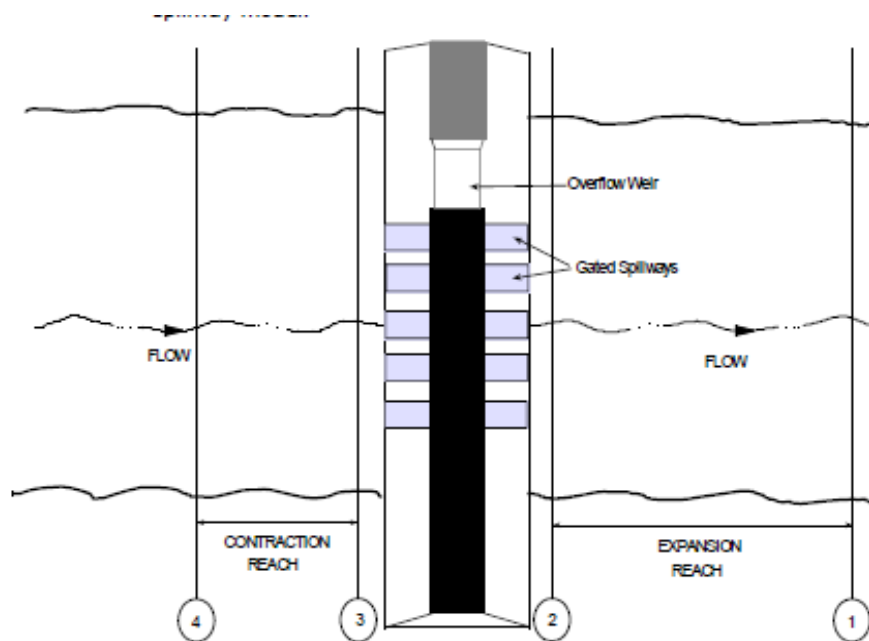
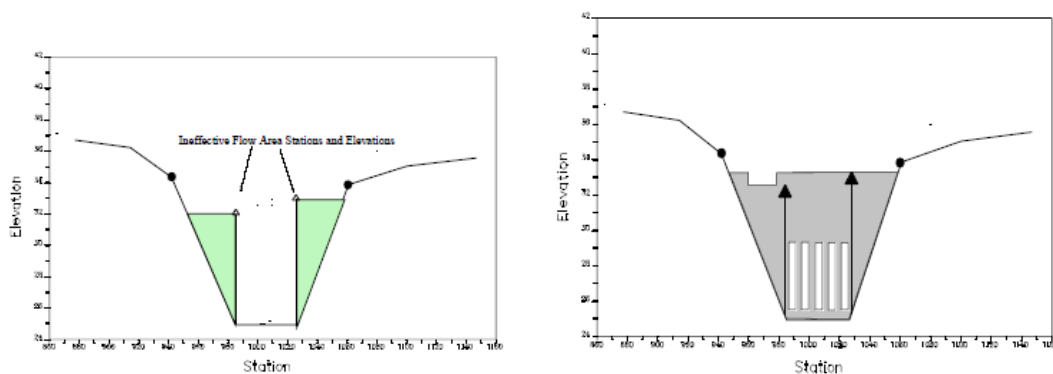


Figure 8-3 Cross Section Layout for Inline Gated Spillways and Weirs

Es en las secciones 2 y 3 donde se requerirá la inclusión de áreas inefectivas de flujo.



## CÁLCULO HIDRÁULICO DE ALIVIADEROS CON COMPUERTA

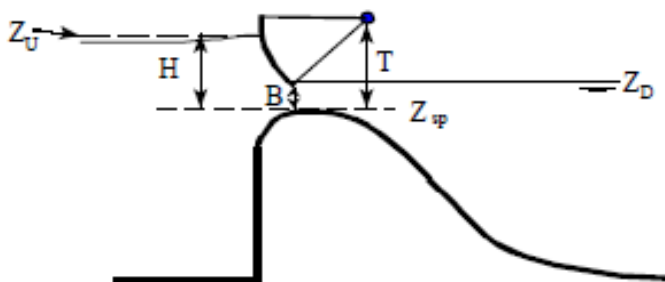
Cuando la abertura de las compuertas es superior a la cota de agua aguas arriba de las mismas, el cálculo se efectúa como flujo por vertedero.

Cuando la lámina de agua aguas arriba se sitúa por encima de una compuerta 1'25 veces la altura de la misma (con respecto a su clave), el programa calculo mediante ecuaciones de flujo bajo compuerta.

Cuando esa lámina de agua aguas arriba se sitúa en un intervalo entre la clave y 1'25 veces la altura de la compuerta, el programa realiza una media ponderada de ambos métodos de cálculo.

## Compuertas radiales o Taintor

Se trata de las típicas compuertas que se pueden encontrar en presas.



El flujo a través de esta compuerta se considera flujo libre si su Tailwater (ZD en el esquema) no es tan elevado como para cuasar una elevación aguas arriba de la compuerta. En este caso, la ecuación usada es:

$$Q = C \cdot \sqrt{2g} \cdot W \cdot T^{TE} \cdot B^{BE} \cdot H^{HE}$$

Con,

Q = caudal en m<sup>3</sup>/s

C = coeficiente de descarga (0.6 – 0.8)

W = ancho de la compuerta en m

T = Altura de eje de compuerta (m)

TE = Exponente para altura de eje compuerta (habitualmente 0.16, aunque por defecto tiene como valor 0)

B = altura de abertura de compuerta (m)

BE = Exponente para abertura de compuerta (habitualmente 0.72, aunque por defecto tiene como valor 1)

$H$  = Altura de energía aguas arriba desde la cresta del vertedero (m)

$HE$  = Exponente para la altura de energía (habitualmente 0.62, aunque por defecto toma como valor 0.5)

En el momento en que la cota de agua aguas abajo llega al límite en el que empieza a provocar elevación de la lámina aguas arriba, la ecuación que el programa usa para calcular el flujo es:

$$Q = C \sqrt{2g} W T^{TE} B^{BE} (3H)^{HE}$$

Con  $H = Z_U - Z_D$

Si la cota de agua aguas abajo sigue aumentando, y el ratio elevación de agua aguas abajo entre elevación de línea de energía aguas arriba es 0.67 o mayor, se considera que el flujo bajo compuerta es completamente sumergido, y la ecuación de cálculo es:

$$Q = CA \sqrt{2gH}$$

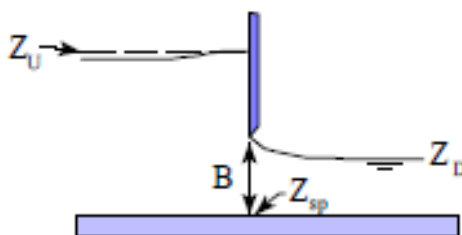
Con,

$A$  = Área de abertura de compuerta

$H = Z_U - Z_D$

$C$  = Coeficiente de descarga (habitualmente 0.8)

### Compuerta tipo tajadera



En flujo bajo compuerta la ecuación de cálculo es:

$$Q = CWB \sqrt{2gH}$$

Con,

$C$  = Coeficiente de descarga (habitualmente 0.5 – 0.7)

$H$  = Altura de energía aguas arriba de la compuerta ( $Z_U - Z_{SP}$ )

En el momento en que la cota de agua aguas abajo llega al límite en el que empieza a provocar elevación de la lámina aguas arriba, la ecuación que el programa usa para calcular el flujo es:

$$Q = CW B \sqrt{2g^3 H}$$

Con  $H = Z_U - Z_D$

Si la cota de agua aguas abajo sigue aumentando, y el ratio elevación de agua aguas abajo entre elevación de línea de energía aguas arriba es 0.67 o mayor, se considera que el flujo bajo compuerta es completamente sumergido, y la ecuación de cálculo es:

$$Q = CA \sqrt{2gH}$$

Con,

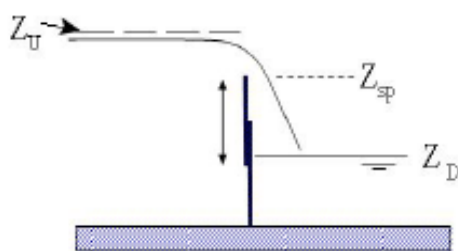
A = Área de abertura de compuerta

H =  $Z_U - Z_D$

C = Coeficiente de descarga (habitualmente 0.8)

### Compuertas ascendentes

Este tipo de compuertas, en las que la hoja de cierre surge del fondo del muro, pueden ser de clave abierta o cerrada.



Su cálculo se basa en la ecuación estándar de flujo sobre vertedero.

$$Q = CLH^{3/2}$$

Con,

C = coeficiente de flujo sobre vertedero, entre 1.4 y 2.2 en función de si se trata de cresta ancha, cresta delgada o perfil Creager) En cresta delgada suele ser 1.7 – 1.8

L = Longitud de compuerta o vertedero

H = altura de energía sobre compuerta ( $Z_U - Z_{SP}$ )

Esta ecuación es la que el programa usa también en situaciones de flujos bajos en las compuertas radiales y tajaderas, ya que realmente se comportan como un vertedero.

Del mismo modo se pueden incluir en las Inline Structures aliviaderos de emergencia cuando las láminas de agua en Headwater son muy elevadas. Estos aliviaderos funcionan también como flujo por vertedero, con los coeficientes de descarga siguientes:

Table 8-1 Typical Overflow Weir Coefficients

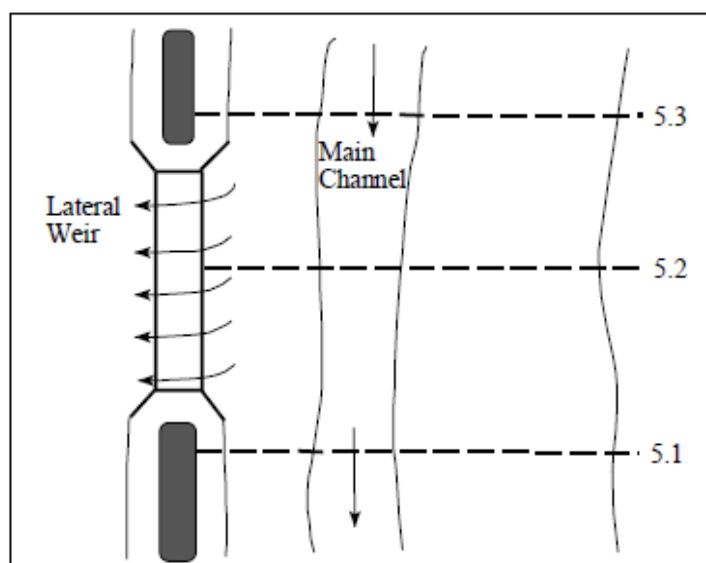
Weir Crest Shape	Typical Coefficient Range
Broad Crested	2.6 - 3.1
Ogee Crested	3.2 - 4.1
Sharp Crested	3.1 - 3.3

Tener en cuenta que los valores de la tabla corresponden a unidades anglosajonas, con lo que si se trabaja el modelo en Sistema Internacional de Unidades hay que multiplicar estos valores por 0'55.

### **ESTRUCTURAS LATERALES**

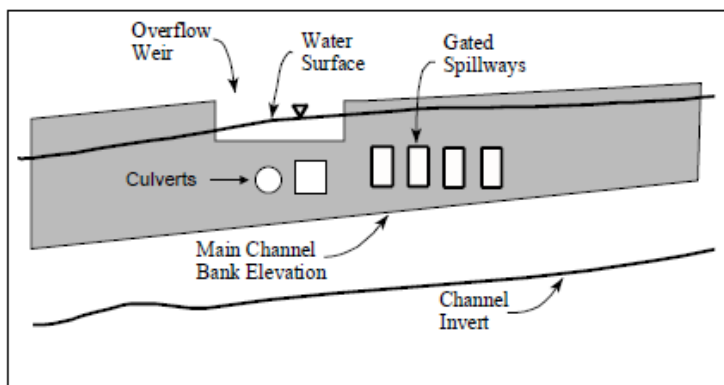
Con HEC-RAS es posible incluir en un modelo estructuras laterales paralelas al flujo de un cauce, para simular aliviaderos laterales, tomas de captación, etc. Las posibilidades de definición son varias, desde aliviaderos laterales simples hasta inclusión de compuertas en la estructura.

Cada estructura lateral debe desarrollarse en un ámbito comprendido entre dos secciones transversales, pudiendo haber entre éstas tantas secciones como se considere oportuno.

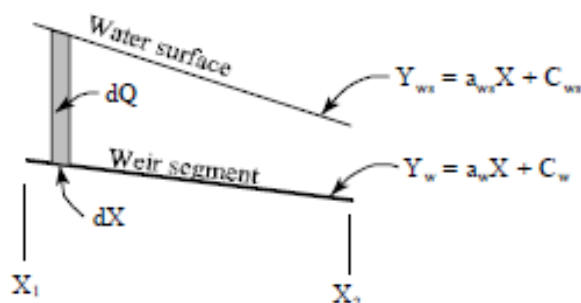


Las secciones extremas del ámbito de la estructura lateral pueden ubicarse justo en el inicio y final de la misma o a una corta distancia de ellas.

En el caso de incluir aberturas reguladas por compuertas, el cálculo hidráulico se realiza de igual modo que para las estructuras en línea. En este caso, la energía aguas arriba es individual en cada compuerta tomándose como referencia el eje central de la misma, y obteniéndose por interpolación de energías de las dos secciones entre las que se encuentren.



Como se observa en la anterior imagen, la lámina de agua se desarrolla a lo largo del aliviadero con una pendiente. Complementariamente, la rasante del aliviadero puede o no desarrollarse con una pendiente.



En este caso, al producirse variación de nivel a lo largo del vertedero, la ecuación general de flujo por vertedero debe ser derivada.

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{3/2} dx$$

La cual, a partir de las ecuaciones del gráfico y desarrollando la derivación, la ecuación estándar para el cálculo de estructuras laterales queda como:

$$Q_{x_1-x_2} = \frac{2C}{5a_1} ((a_1 x_2 + C_1)^{5/2} - (a_1 x_1 + C_1)^{5/2})$$

En caso de que lámina de agua y rasante de aliviadero fueran paralelas, el término  $a_1$  sería 0, con lo que la ecuación original de flujo por vertedero sería la aplicada.

HEC-RAS permite efectuar el cálculo a partir tanto de la línea de energía como de la lámina de agua, siendo esta última la activada por defecto, y la más apropiada cuando la estructura lateral se encuentra cerca del canal principal.

### Ecuación Hager

El programa permite optar entre cálculo de vertedero lateral mediante ecuación estándar o mediante ecuación de Hager. Ésta es similar a la estándar, pero con la particularidad que el coeficiente de descarga se calcula automáticamente a partir de criterios físicos e hidráulicos.

$$C = \frac{3}{5} C_0 \sqrt{g} \left[ \frac{1-W}{3-2y-W} \right]^{0.5} \left\{ 1 - (\beta + S_0) \left[ \frac{3(1-y)}{y-W} \right]^{0.5} \right\}$$

Donde,

$$W = \frac{h_w}{H_t + h_w} \quad y = \frac{H + h_w}{H_t + h_w}$$

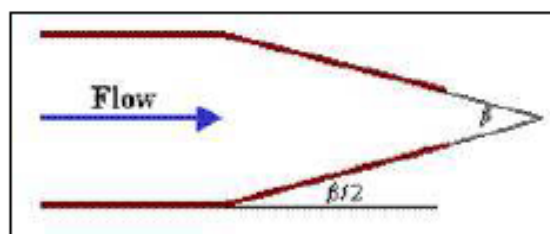
$H$  = altura de lámina de agua sobre labio de vertedero

$h_w$  = altura del labio de vertedero sobre el terreno

$H_t$  = Altura de línea de energía por encima del labio de vertedero

$S_0$  = pendiente media del canal

$\beta$  = contracción del canal debido al vertedero lateral (es 0 si es paralelo al eje del canal)



$C_0$  = Coeficiente de descarga inicial. 1 para cresta estrecha

Para cresta ancha

$$C_0 = 1 - \frac{2}{9 \left[ 1 + \left( \frac{H_t}{b} \right)^4 \right]}$$

Para perfil Creager

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[ 1 + \frac{\frac{22}{81} \left( \frac{H_t}{r} \right)^2}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{H_t}{r} \right)^2} \right]$$



***ANOTACIONES Y APUNTES***

