

## CAPÍTULO 6

---

### Carga de presión

---

En canales es importante analizar el efecto que produce el agua sobre el fondo y las paredes que la conducen. La dirección de la velocidad de una partícula es la misma que la del flujo y paralelo a las paredes que lo conducen. En un canal de sección rectangular el flujo produce una distribución hidrostática de la presión sobre las paredes, y la velocidad de una partícula cerca a la pared tiene la dirección de su velocidad paralela a la pared, por lo que la velocidad no afecta la pared, solamente el peso de la columna de agua por encima; por lo que la distribución de la presión tendría la forma como la que se muestra en la figura 6.1.

No obstante si la pared se encuentra en un tramo de una curva horizontal la distribución de la presión ya no sería lineal y la tangente de la velocidad tendría un efecto importante sobre la pared; esa misma observación es aplicable para el fondo de un canal en una curva horizontal. Por lo que en estos casos se requiere un análisis particular del flujo del agua el cual debe de incluir la geometría del canal y las características de la curva; el análisis para el caso posterior será explicado más adelante en éste capítulo.

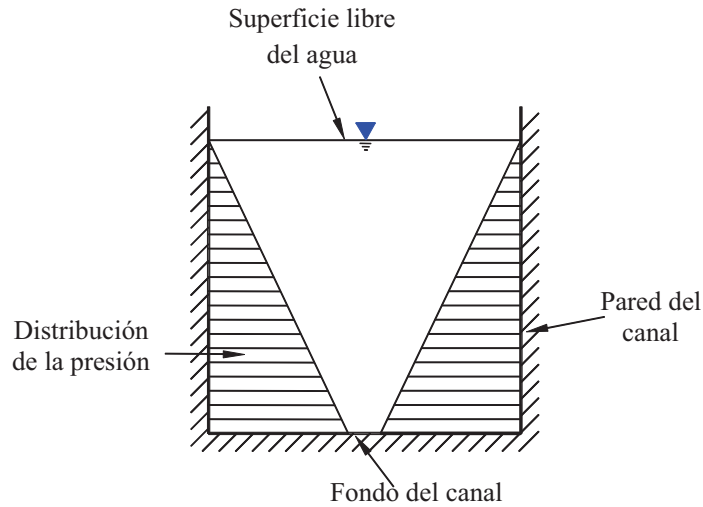


Figura 6.1: Distribución de la presión sobre las paredes del cimacio

Actualmente la presión que se obtiene sobre un cimacio de cresta libre es por medio de la figura 6.2, elaborada por el cuerpo de ingenieros WES, cabe destacar que la misma figura se puede utilizar para el perfil USBR.

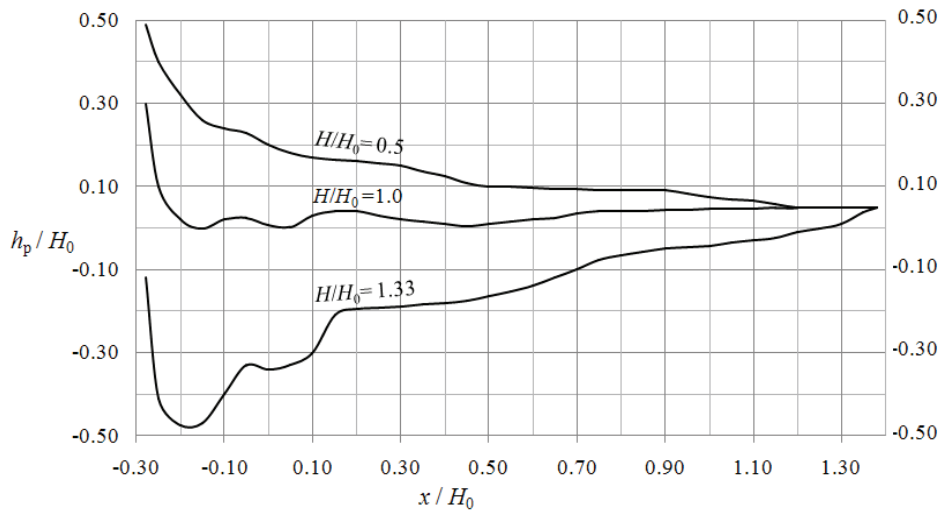


Figura 6.2: Presión sobre un cimacio de cresta libre, criterio WES

En dicha figura adimensional, muestran tres condiciones de operación, cada una para una carga total de operación distinta: Para la carga total de diseño  $\left(\frac{H}{H_0} = 1,00\right)$  y

para dos condiciones distintas a la de diseño  $\left(0,5 \leq \frac{H}{H_0} \leq 1,33\right)$  el límite recomendado por los cuerpos de ingenieros. Claramente se ve que cualquier valor intermedio queda al criterio del ingeniero y su habilidad para interpolar.

Sección 6.1

## Condiciones de operación de un cimacio

El perfil de un cimacio se diseña con una única carga de operación llamada carga total de diseño,  $H_0$ . La carga total de diseño se selecciona a partir de estudios: topográficos, meteorológicos, de la demanda etc. Como se mencionó en el capítulo tres, el perfil de un cimacio corresponde a la carga total de diseño que es la carga de operación óptima y eficiente con la que funciona, se supone que cuando la carga total de diseño está en operación se evitarán cargas de presión, tanto negativas, como positivas, sobre el cimacio. Por consiguiente, la distribución de presión tendría teóricamente la misma forma del perfil del cimacio, figura 6.3.

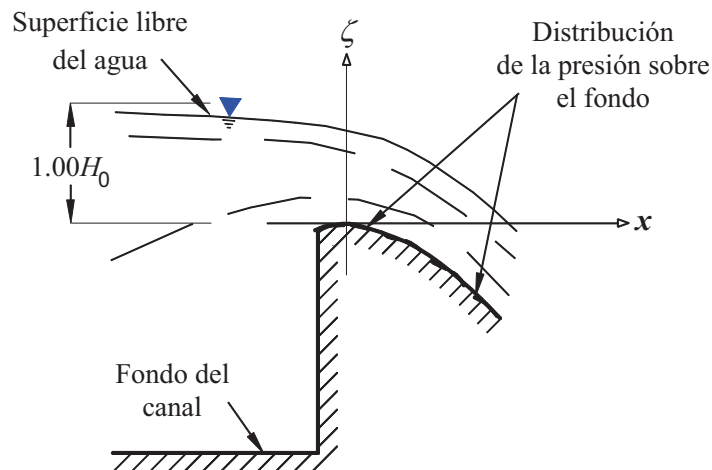


Figura 6.3: Características del flujo y la presión para una carga total de operación de  $1,00H_0$

Una vez construido el cimacio, raras ocasiones opera con la carga de diseño. Eso hace indispensable que esté construido de tal manera que pueda soportar cargas de operaciones mayores y menores que la de diseño. Una carga de operación menor que la de diseño figura 6.4 produciría presiones positivas, en dirección hacia el cimacio, provocando su compresión.

Nota: las presiones positivas se representan con la línea abajo del cimacio.

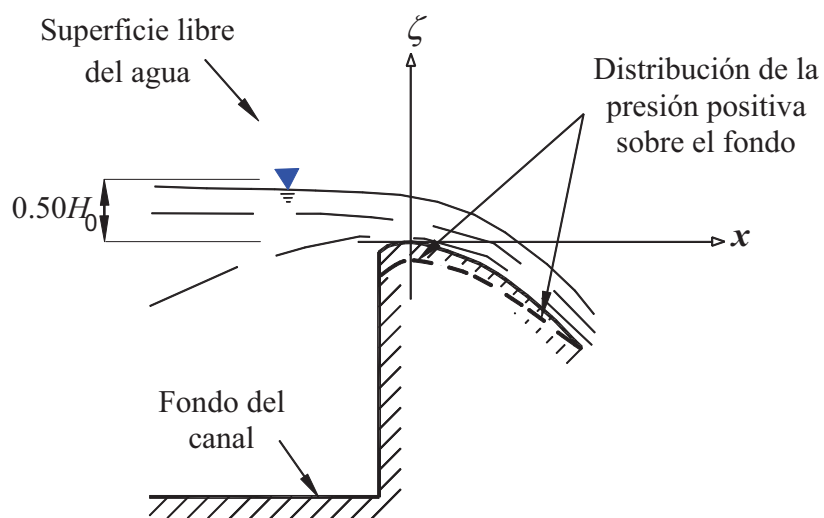


Figura 6.4: Características del flujo y la presión para una carga total de operación de  $0,50H_0$

Para una carga de operación mayor que la de diseño; el perfil del agua desarrollado sobre el cimacio de cresta libre está por encima al de diseño, figura 6.5. Para esa condición, la lámina inferior tiende a separarse del cimacio desarrollando presiones negativas, es decir, existe una presión que expone al perfil del cimacio a la tensión, pudiendo provocar el desprendimiento de algunas partes cuando se presentan cargas mayores a  $1,33H_0$ .

Nota: las presiones negativas se representan con la línea por encima del cimacio.

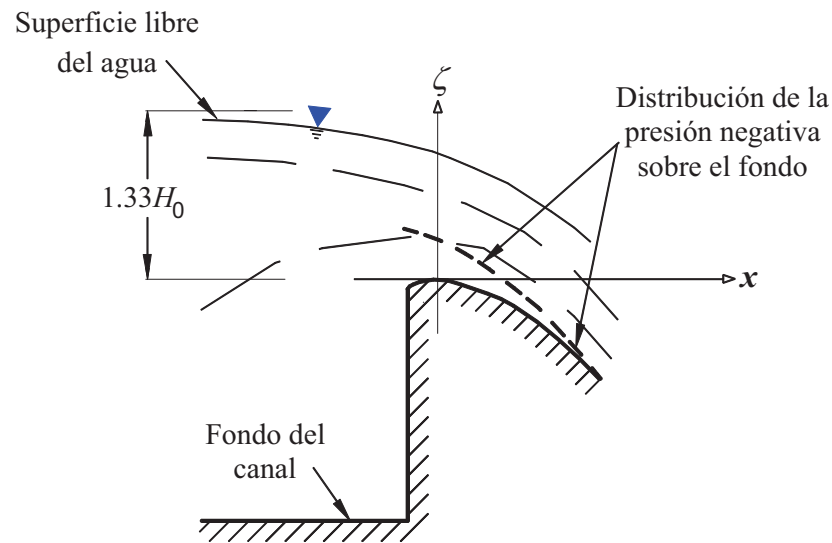


Figura 6.5: Características del flujo y la presión para una carga total de operación de  $1,33H_0$

En cimacios de concreto, es conveniente y más eficiente que la carga de diseño sea lo suficiente grande para evitar que el cimacio aguante las presiones negativas, ya que, el concreto tiene mayor resistencia a la compresión que a la tensión. Por esta razón los mismos criterios de diseño USBR y WES, recomiendan que la carga de operación este entre  $0,5H_0$  y  $1,33H_0$ . Es decir, con ese rango recomendado, se aconsejan que el cimacio esté trabajado un 50 por ciento con la presión positiva comparada con un 33 por ciento para la presión negativa y evita la cavitación en el flujo.

Sección 6.2

## Ecuación para la carga de presión

Al sustituir  $u_0$  de la ecuación 3.21b en la ecuación 3.19c es válido también

$$H = \zeta + d \cos \theta + \frac{1}{I_Q^2 (1 - \kappa d)^2} \frac{Q^2}{2g} \quad (6.1)$$

Por lado, de la ecuación 3.19a

$$\frac{p}{g\rho} = H - \zeta - n \cos \theta - \frac{1}{(1 - \kappa n)^2} \frac{u_o^2}{2g} \quad (6.2)$$

O bien, al igualar las ecuaciones 3.19a y 3.19b resulta la expresión

$$\frac{p}{g\rho} = (d - n) \cos \theta + \left[ \frac{1}{(1 - \kappa d)^2} - \frac{1}{(1 - \kappa n)^2} \right] \frac{u_o^2}{2g} \quad (6.3)$$

que define la distribución de la presión en la sección ortogonal al fondo en términos de la parte hidrostática y la debida al efecto centrífugo, está dado por el último término.

La carga de presión en el fondo del canal se obtiene para  $n = 0$  y resulta

$$\frac{p_0}{g\rho} = d \cos \theta + \left[ \frac{1}{(1 - \kappa d)^2} - 1 \right] \frac{u_o^2}{2g} \quad (6.4)$$

Con el mismo proceso, la carga de presión adimensional en el fondo ( $n = 0$ ) resulta de las ecuaciones 3.21b y 6.4

$$\frac{p_0}{g\rho H_0} = \frac{\cos \theta}{\kappa H_0} \chi + (F\kappa H_0)^2 \frac{(1 - \chi)^{-2} - 1}{[\ln(1 - \chi)]^2} \quad (6.5)$$

Donde se elimina el término  $\left(\frac{\cos \theta}{\kappa H_0}\right) \chi$  mediante la ecuación 3.23 y resulta:

$$\frac{p_0}{g\rho H_0} = \left[ \frac{H}{H_0} - \frac{\zeta}{H_0} \right] - \left[ \frac{F \kappa H_0}{\ln(1 - \chi)} \right]^2 \quad (6.6)$$

donde  $P_0$  es la presión en cualquier punto sobre el perfil sólido del cimacio (de ordenada  $x$  y abscisa  $\zeta$ ),  $F$  esta definido por la ecuación 3.6 y  $\chi$  es la misma de la ecuación del perfil de la superficie libre de la lámina vertiente (ecuación 3.23) y es:

$$\left[ \frac{H}{H_0} - \frac{\zeta}{H_0} \right] = \frac{\cos \theta}{\kappa H_0} \chi + \left[ \frac{F \kappa H_0}{(1 - \chi) \ln(1 - \chi)} \right]^2 \quad (6.7)$$

y se recuerda que la ecuación anterior tiene dos soluciones de  $\chi$  para cada valor de  $\frac{H}{H_0}$  y  $\frac{x}{H_0}$ : una en régimen subcrítico y la otra en supercrítico.

Sección 6.3

## Comentarios

La solución de las ecuaciones para obtener la carga de presión sobre un cimacio se realiza mediante un proceso iterativo de cálculo y seleccionando la solución que corresponde, una vez que se conoce la carga total de diseño. En el capítulo ocho se presenta el procedimiento de solución de la ecuación 6.6 para obtener la carga de presión sobre el perfil del cimacio.