

CAPÍTULO 1

Introducción

Sección 1.1

Objetivo

El perfil del agua y la presión sobre un cimacio de cresta libre han sido estudiados exhaustivamente por varios autores, por lo que hay una excelente base de datos de las características y del comportamiento esperado del agua sobre un cimacio de cresta libre. No obstante conviene también contar con procedimientos matemáticos basadas en desarrollos teóricas para llegar a los resultados necesarios, ya que la mayoría de los procedimientos son basados en métodos empíricos para la obtención de una respuesta.

Recientemente el Dr Gilberto Sotelo Ávila (en el año 2000) obtuvo un modelo matemático para obtener la superficie libre del agua y la carga de presión en flujos a superficie libre en fondos curvos, pero dicho modelo es muy largo y complicado para resolverlo, y se requiere un nivel avanzado de conocimientos en el tema. En dicho trabajo se presentaron las ecuaciones generales para cualquier sección de canal y fondo de pequeño o gran curvatura.

El presente trabajo, resuelve el modelo matemático y presenta algoritmos que facilitan obtener la superficie libre del agua y la distribución de la carga de presión en cimacios de cresta libre, así como un programa de cómputo que lo resuelve. También se presentan los criterios de diseños más utilizados para obtener el perfil de los mismos.

Sección 1.2

Antecedentes

Un canal es una conducción, con superficie libre expuesta a la presión atmosférica. El flujo en un canal está primordialmente afectado por la fuerza de gravedad, a la cual se debe.

De acuerdo con su origen, los canales pueden ser naturales o artificiales. Los naturales son conducciones hidráulicas que existen para el drenaje natural sobre la tierra, como arroyos, ríos, estuarios, etc. Los artificiales son los construidos por el hombre para conducir el agua con fines de riego, drenaje, generación de energía, navegación, etc. Los canales artificiales tienen, por lo general, secciones geométricas de forma y dimensiones constantes en tramos más o menos largos.

En el caso de canales con tramos con curvas verticales, la presión que actúa en el fondo puede ser una causa de inestabilidad en donde las paredes y el fondo del mismo pueden ser incapaz de soportar las acciones dinámicas de las partículas del agua; por lo que es necesario diseñar los tramos del canal considerando el tipo y grado de curvatura de los mismos.

1.2.1. Flujo en canales de fondo plano

En el análisis de canales se usan modelos convencionales, para canales con un flujo rectilíneo o pequeña curvatura se consideran varias hipótesis, como son:

- Líneas de corriente de escasa o nula curvatura (paralelas a un fondo plano)

- Distribución hidrostática de la presión en la sección ortogonal al fondo
- Velocidad con una sola componente paralela al fondo.

Igualmente se usan conceptos de energía específica, régimen crítico y pérdida por fricción, basados en la consideración de un flujo rectilíneo unidimensional.

La carga de presión en cualquier punto de la sección transversal de un flujo en un canal de pendiente pequeña, por ejemplo menor de diez grados, puede medirse por medio de la altura de la columna de agua, $\frac{p}{g\rho}$, con un piezómetro, figura 1.1.

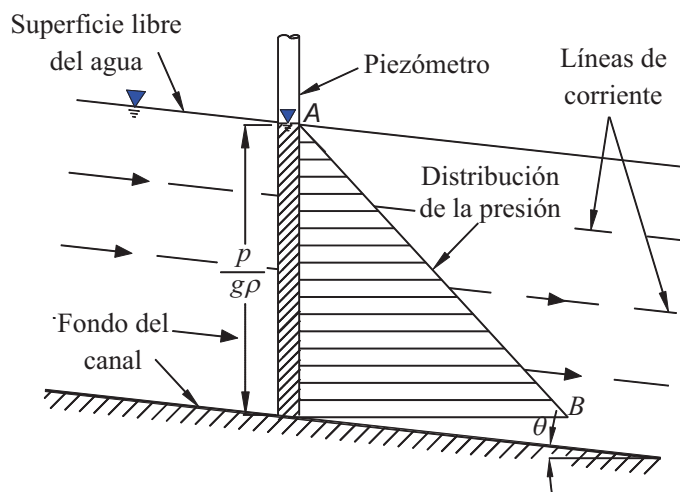


Figura 1.1: Distribución de la presión en un canal de fondo plano.

Al no considerar las pequeñas perturbaciones debidas a la turbulencia, es claro que el nivel del agua en el piezómetro debe subir desde el punto de medición hasta la superficie libre del agua. Por lo tanto, la carga de presión en cualquier punto de la sección es directamente proporcional a su profundidad por debajo de la superficie libre e igual a la distribución hidrostática correspondiente a esa profundidad; es decir, la distribución es lineal y puede representarse mediante la línea recta AB , figura 1.1, también conocida como *ley hidrostática de distribución de presiones*.

1.2.2. Flujo en canales de fondo curvo

El fondo curvo puede ser categorizado como fondo cóncavo o convexo, figuras 1.2 y 1.3. El flujo sobre un canal de fondo curvo es diferente, ya que la curvatura de las líneas de corriente es de consideración y se produce una componente importante de la aceleración normal a la dirección del flujo.

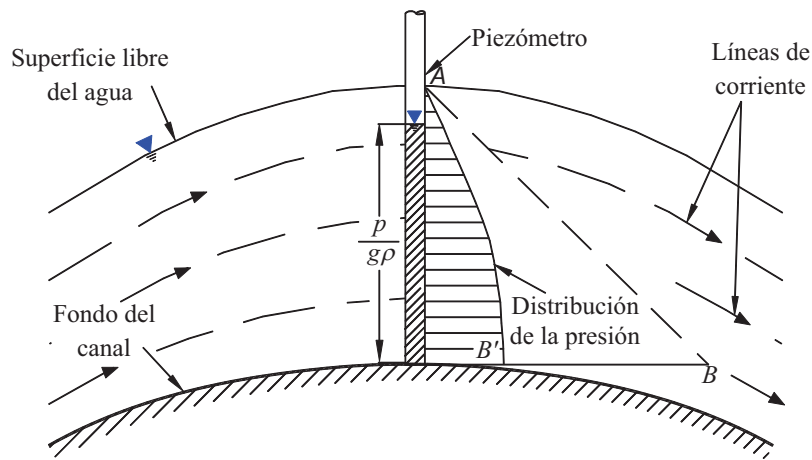


Figura 1.2: Distribución de la presión en fondo convexo

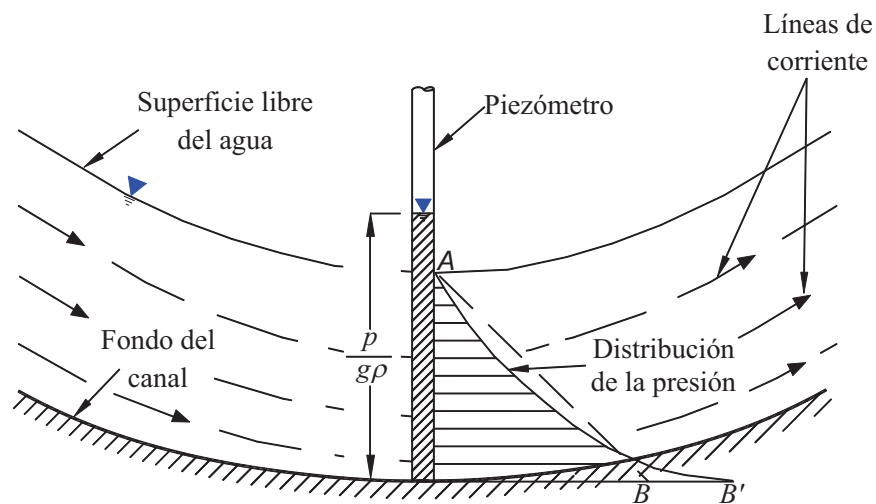


Figura 1.3: Distribución de la presión en fondo cóncavo

Las figuras 1.2 y 1.3 muestran la distribución de la presión a lo largo de una curva cóncava y convexa, en ambos casos, la distribución de la presión está representada por la línea AB' , en lugar de la recta AB del flujo rectilíneo en donde la fuerza centrífuga actúa hacia el exterior del centro de curvatura en ambos casos. La interpretación de esa línea de la distribución de la presión depende del tipo de curva a tratar, en efecto, para el caso de un flujo sobre un fondo convexo; la fuerza centrífuga está en contra de la fuerza gravitacional, mientras que para el flujo en un fondo cóncavo tiene la fuerza centrífuga y la fuerza gravitacional en la misma dirección, es decir la curvatura convexa presenta una carga de presión menor, y lo contrario sucede con la curvatura cóncava. El piezómetro de las dos curvas, muestra esa diferencia de la carga de presión, en donde la curva de fondo convexo tiene el nivel del agua por debajo de la superficie libre y la curva cóncava la tiene por encima de ella.

1.2.3. Flujo en cimacios de cresta libre

Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedor; éste puede presentar diferentes formas según las finalidades a que se destine. El vertedor cuyo perfil se diseña de modo que coincida con la forma del perfil inferior de la lámina vertiente sobre una pared delgada hipotética, se llama cimacio.

El cimacio tiene una enorme ventaja de que se puede utilizar para regular y gobernar las descargas de un vaso ya que, el cimacio se construye a una altura anteriormente establecida, para así lograr que el exceso de agua pase por encima del cimacio. Es decir, un cimacio de *control* limita o evita las descargas cuando el nivel en el vaso llega a niveles mayores a los considerados en su diseño. Un cimacio de cresta libre es aquel que no tiene ningún obstáculo sobre él. Para el cálculo hidráulico de un cimacio usualmente se revisan tres condiciones de flujo, figura 1.4:

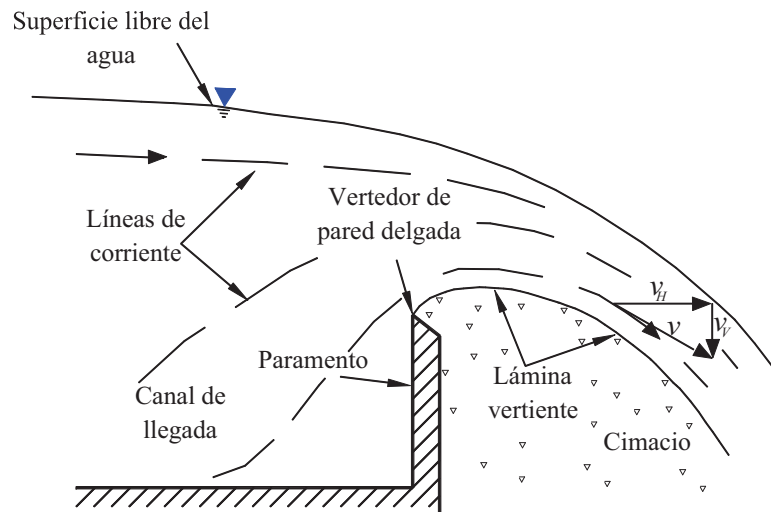


Figura 1.4: Vertedor de pared delgada

1. Flujo en régimen subcrítico en el canal de llegada antes de la cresta
2. Flujo en régimen crítico cuando el agua pasa por encima de la cresta
3. Flujo en régimen supercrítico en la rápida después de la cresta.

Para optimizar el diseño de un cimacio se debe considerar lo siguiente:

- Suficiente longitud de cresta para obtener el gasto de diseño
- Presiones aceptables y mínimas actuando sobre el perfil del cimacio
- Máxima carga de energía aceptable sobre la cresta del cimacio
- Velocidades y características del flujo aceptables en condiciones de operación.

La forma del cimacio es única, y depende del gasto de diseño Q_0 de la carga total de diseño H_0 y de la inclinación del paramento (que influye en la velocidad de llegada).

El gasto de diseño se ve afectado por el coeficiente de descarga de diseño C_0 y la longitud efectiva de cresta L_e . El coeficiente de descarga es básicamente experimental por lo que su valor se obtiene de gráficas que dependen principalmente de la carga total de diseño y de la profundidad del canal de llegada. Por otro lado, la longitud

efectiva de cresta es la longitud real o neta de la cresta vertedora reducida por efecto de las contracciones que experimenta un flujo, debidas a la presencia de estribos y pilas sobre el cimacio. La ecuación de el gasto de diseño es:

$$Q_0 = C_0 L_e H_0^{\frac{3}{2}} \quad (1.1)$$

El gasto de diseño o carga de diseño es el caudal de diseño o la altura del agua sobre la cresta del cimacio respectivamente, al que se desea que el cimacio opere con mayor frecuencia.

El flujo sobre el cimacio involucra líneas de corriente con una curvatura apreciable cuyo centro de curvatura variable queda por debajo del flujo (curvatura convexa); la componente de la gravedad del flujo, queda reducida por la fuerza centrífuga. Si la curvatura es suficientemente grande, la presión interna puede ser menor que la presión atmosférica, y llegar a tener valores de presión de vaporización para estructuras grandes, luego puede presentarse el fenómeno de cavitación con el daño correspondiente. Ese fenómeno causa el desprendimiento de partes del cimacio, justo por esa razón se debe cuidar en el diseño, y así lograr bajar la probabilidad de que ocurra o evitarlo completamente.

Si la curvatura de las líneas de corriente es apreciable, el flujo es conocido teóricamente como flujo curvilíneo. En un cimacio se toman las consideraciones para un flujo curvilíneo convexo, figura 1.2. Es decir, el efecto de la curvatura produce componentes de aceleración apreciables o fuerzas centrífugas perpendiculares a la dirección del flujo, por consiguiente, la distribución de presiones en el fondo de la sección transversal es distinta de la hidrostática. En la figura 1.2 la distribución de presiones es no lineal, representada por AB' en lugar de la distribución recta AB , que ocurriría si el flujo fuera rectilíneo. En el flujo sobre la espalda de un cimacio las fuerzas centrifugas actúan hacia arriba en contra de la acción de la gravedad; en consecuencia, la presión

resultante es menor que la presión hidrostática de un flujo rectilíneo.

Sección 1.3

Comentarios

El flujo en un fondo curvo como se mencionó, tiene ciertas particularidades diferentes a las de un flujo de fondo plano. El efecto de la curvatura aumenta o disminuye el componente de aceleración de un fondo cóncavo o convexo respectivamente. En resumen se pueden identificar las características siguientes:

Característica	Tipo de fondo		
	Horizontal o pequeña curvatura	Gran Curvatura	
		Cóncavo	Convexo
Líneas de corrientes	Horizontales	Cóncavas	Convexas
Componentes de la velocidad	Horizontales v_H	Horizontal v_H y vertical v_V	Horizontal v_H y vertical v_V
Presión	Atmosférica $P = 0$	Mayor a la atmosférica $P > 0$	Menor a la atmosférica $P < 0$
Fuerza Centrífuga	No hay	Mismo sentido a la fuerza gravitacional	Sentido contrario a la fuerza gravitacional
Distribución de presión	Lineal	No lineal	No lineal
Efecto de la presión centrífuga sobre el fondo	Ninguna	Compresión	Tensión

Cuadro 1.1: Comparación de las características hidráulicas entre canales de pequeña y gran curvatura