

Manual de laboratorio de simulación computacional

Práctica N°2: Evaluación de la Energía Específica y el Régimen Crítico en una Sección Trapezoidal

Fuente del recurso: Ejemplo del libro Hidráulica de Canales (Villón, 1995), adaptado por Eliel David Malaver Nieto, estudiante UIS en el desarrollo de su trabajo de grado.

1. Objetivos de la simulación

- ✓ Comprender los conceptos de energía específica en canales abiertos mediante la implementación de una simulación en la herramienta H-Canales
- ✓ Ejercitar los conceptos adquiridos sobre energía específica mediante el desarrollo de un ejemplo orientador
- ✓ Analizar los conceptos de energía específica mediante la solución de preguntas orientadoras
- ✓ Fortalecer las capacidades de uso apropiado de herramientas tecnológicas aplicadas a la ingeniería civil, en particular la herramienta H-Canales fortaleciendo el conocimiento teórico-práctico de la evaluación de la energía específica y el régimen crítico en un canal prismático

2. Requerimientos para la simulación

- ✓ Sistema operativo Windows
- ✓ Seguir el manual de instrucciones para descargar e instalar el programa H-Canales
- ✓ Preferiblemente poseer la versión 3 del programa H-Canales

3. Introducción

El programa H-Canales permite a los usuarios realizar cálculos rápidos en el sistema internacional de unidades y las herramientas que utiliza concuerda con la teoría presente en este documento.

La energía específica en la sección de un canal se deriva de la ecuación de Bernoulli y se define como la energía por kilogramo de agua que fluye a través de la sección, medida con respecto al fondo del canal (Villón, 1995).

La curva de energía específica (E) se estudia debido a la importancia de mostrar la relación que hay entre las posibles profundidades del flujo en una sección específica de un canal y la energía específica para un caudal dado. Esto ocurre en todos los casos en los que fluya un gasto de agua por una sección transversal, y para todo el canal o para alguna sección transversal en específico, se puede cumplir condiciones de flujo subcrítico, supercrítico o crítico.

El flujo crítico hace referencia a un flujo que se encuentra entre un estado de transición del flujo subcrítico y supercrítico, existe un único valor de tirante asociado a la condición crítica y se caracteriza principalmente por un número de Froude igual a 1.

La condición del flujo subcrítico hace referencia a un flujo caracterizado por alturas del tirante hidráulico altas y velocidades bajas, el número de Froude es menor a la unidad y el valor de energía se compone principalmente por el valor de energía potencial y una pequeña parte de la energía cinética.

El flujo supercrítico por otra parte se refiere a flujos con bajas alturas de tirante hidráulico y altas velocidades; el número de Froude asociado a este es mayor a la unidad y la energía específica la compone principalmente el valor de energía cinética.

En la curva de energía específica (E), para un valor de energía, existen dos profundidades del flujo que pueden satisfacer esta condición, estas dos profundidades se denominan profundidades alternas. La profundidad alterna superior corresponde a condiciones del flujo subcrítico (área hidráulica mayor y baja velocidad) mientras que la profundidad alterna inferior corresponde a condiciones de flujo supercrítico (área hidráulica menor y alta velocidad).

La condición de flujo crítico no posee una profundidad alterna, y para definir la condición de flujo crítico, podemos decir que ocurre cuando:

- ✓ Posee la energía específica mínima para un caudal dado, o
- ✓ Posee el caudal máximo para una energía específica dada, o
- ✓ Posee la fuerza específica mínima para un caudal dado (Villón, 1995).

Es importante analizar el concepto de energía específica porque nos permite comprender las características hidráulicas del flujo en cada tramo del canal, y además de esto, este concepto fue introducido por Boris A. Bakhmeteff en 1912, para que mediante su adecuada consideración se pudieran resolver los más complejos problemas de transiciones cortas, en las que los efectos de fricción son despreciables (Villón, 1995).

4. Marco teórico

4.1 Energía específica

La energía específica es una derivación de la ecuación de Bernoulli en la cual se desprecia el término Z , que hace referencia a la cabeza de elevación o altura desde un nivel de referencia hasta el fondo del canal. Dado que en Hidráulica de canales el plano de referencia es el fondo del canal, este valor es igual a cero. Por lo tanto, la energía específica es igual a la suma de la cabeza de presión (profundidad del agua) más la cabeza de velocidad. Esto se demostrará de la siguiente manera, resultando en la ecuación número 5 que representa la energía específica en cualquier sección transversal.

La ecuación de Bernoulli, para una sección del canal es:

$$H = Z + y + \alpha \frac{\bar{U}^2}{2g} \quad (1)$$

Si hacemos $Z = 0$, tomando la definición de energía específica antes mencionada encontraremos que:

$$E = y + \alpha \frac{\bar{U}^2}{2g} \quad (2)$$

En cuanto al coeficiente de Coriolis (α), se puede asumir un valor de 1 para el caso de canales rectos, prismáticos donde hay flujo uniforme (FU) o flujo gradualmente variado (FGV). Acorde a esto obtenemos lo siguiente:

$$E = y + \frac{\bar{U}^2}{2g} \quad (3)$$

Sin embargo, de la ecuación de continuidad para canal con cualquier forma tenemos que:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Si sustituimos la ecuación 4 en la ecuación 3 encontraremos que:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (5)$$

La ecuación número 4 es válida para todas las unidades ya que son numéricas y generales. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se deben utilizar el mismo sistema de unidades para todas las variables.

Donde:

H: Es energía total [kg-m/kg]

E: Energía específica [kg-m/kg]

α : Coeficiente de Coriolis

\bar{U} : Velocidad promedio en la sección transversal [m/s]

y: Altura del tirante hidráulico en unidades de longitud [m]

Q: Caudal que fluye por el canal [m³/s]

A: Área mojada o hidráulica de la sección transversal [m²]

g: Valor de la gravedad [m/s²]

Es de esta forma, que se logra obtener una expresión para calcular la energía específica en cualquier sección transversal del canal a estudiar. Sin embargo, la energía específica para el canal no siempre puede mantenerse constante, ya que, si bien es cierto depende de la profundidad del flujo, si no se mantienen constantes términos como el caudal y la sección transversal, la gráfica que representa la energía específica (o también llamada curva de energía específica) puede variar de distintas formas.

4.2 Curva de energía específica

De la ecuación 5, puede verse que para una sección del canal y un caudal determinados, la energía específica en una sección del canal sólo es función de la profundidad del flujo. Cuando graficamos la profundidad del flujo contra la energía específica para una sección de canal y caudal determinados, se obtiene una curva de energía específica como se muestra en la *Figura 1*.

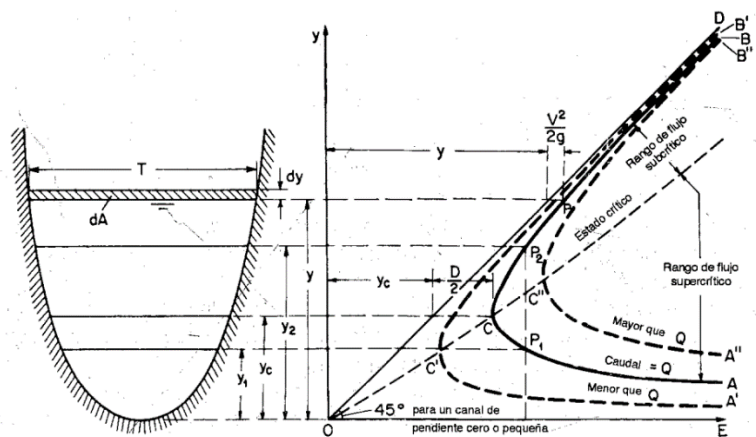


Figura 1 Curva de energía específica (Chow, 1994)

Para comprender los componentes de la *Figura 1*, se recurre a la siguiente explicación:

Esta curva tiene dos ramas, AC y BC. La rama AC se aproxima asintóticamente al eje horizontal hacia la derecha. La rama BC se aproxima a la línea OD a medida que se extiende hacia arriba y hacia la derecha. La línea OD es una línea que pasa a través del origen y tiene un ángulo de inclinación igual a 45° . Para un canal de pendiente alta, el ángulo de inclinación de la línea OD será diferente de 45° . En cualquier punto P de esta curva, la ordenada representa la profundidad y la abscisa representa la energía específica, que es igual a la suma de la altura de presión (Y) y la altura de velocidad ($\bar{U}^2/2g$).

La curva muestra que, para una energía específica determinada, existen dos posibles profundidades, la profundidad baja (Y_1) y la profundidad alta (Y_2). La profundidad baja es la profundidad alterna de la profundidad alta, y viceversa. En el punto C, la energía específica es mínima. Más adelante se probará que esta condición de energía específica mínima corresponde al estado crítico de flujo. Por consiguiente, en el estado crítico es claro que las dos profundidades alternas se convierten en una, la cual es conocida como profundidad crítica (Y_c). Cuando la profundidad de flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad de flujo es menor que la velocidad crítica para un caudal determinado y, por consiguiente, el flujo es subcrítico. Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, el flujo es supercrítico. Por tanto, (Y_1) es la profundidad de un flujo supercrítico y (Y_2) es la profundidad de un flujo subcrítico.

Si el caudal cambia, existiría un cambio correspondiente en la energía específica. Las dos curvas A'B' y A''B'' (*Figura 1*) representan posiciones de la curva de energía específica cuando el caudal es menor y mayor, respectivamente, que el caudal utilizado para la construcción de la curva AB (Chow, 1994).

4.3 Regímenes del flujo

Para comprender la curva de energía específica, es necesario introducir tres conceptos, los cuales son, régimen subcrítico, régimen crítico y régimen supercrítico. Primero recordemos que el concepto del número de Froude hace referencia a la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales, la ecuación característica del número de Froude es la siguiente:

$$F = \frac{\bar{U}}{\sqrt{gL}} \quad (6)$$

Donde:

F : Es el número de Froude [adimensional]

\bar{U} : Velocidad del flujo [m/s]

g : Valor de la gravedad en [m/s²]

L : Es la longitud característica que para el caso de la hidráulica es la profundidad hidráulica (D_m) [m]

La profundidad hidráulica es la relación entre el área mojada de la sección y el ancho superficial ($D_m = A/T$). Las expresiones tanto para el área mojada y para el ancho superficial, varían dependiendo de la sección transversal a utilizar.

4.3.1 Régimen crítico

El régimen crítico representado por el punto C en la *Figura 1*, se caracteriza por que solo tiene un valor de profundidad del fujo asociado a este régimen, y el número de Froude es igual a la unidad. Tiene algunas otras características como la de poseer el mínimo valor de energía específica, es decir la energía mínima que se puede encontrar en el flujo bajo las condiciones hidráulicas en las que se encuentra esa sección (Chow, 1994).

4.3.2 Régimen subcrítico

El régimen subcrítico está asociado a flujos con velocidades bajas, pero con profundidades de flujo altas. Se caracteriza por que los valores del número de Froude en su flujo no superan la unidad y las alturas del agua se ubican en la rama BC (Villón, 1995).

4.3.3 Régimen supercrítico

El régimen supercrítico hace referencia a condiciones de flujo con velocidades muy altas, representadas por valores en el número de Froude mayores a 1 y las alturas del agua se ubican en la rama AC (Villón, 1995).

4.4 Profundidades alternas

Las profundidades alternas hacen referencia a las dos alturas posibles para las cuales se puede tener el mismo valor de energía; es decir, existe una profundidad en el régimen subcrítico la cual posee igual magnitud de energía específica que una profundidad en el régimen supercrítico.

Usando el caso del canal rectangular, es posible generar la ecuación del polinomio cúbico que permite obtener las profundidades alternas. Si se toma la ecuación número 5 y sabiendo que $A = by$, donde b es el valor del ancho del canal y y es el valor de la altura del tirante hidráulico en la sección, entonces se tiene:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (7)$$

Despejando el valor del área para una sección rectangular se tiene:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gb^2y^2} \quad (8)$$

Si se multiplica toda la expresión por $2gy^2$ se obtiene:

$$2gy^2E = 2gy^3 + \frac{Q^2}{b^2} \quad (9)$$

Es usual que el valor de Q/b se reemplace por un término denominado caudal por unidad de ancho, el cual tiene el siguiente símbolo:

$$q = \frac{Q}{b} \quad (10)$$

Si se reemplaza la ecuación 10 en la ecuación 9, se tiene:

$$2gy^2E = 2gy^3 + q^2 \quad (11)$$

Reescribiendo la ecuación 11 se tiene:

$$2gy^3 - 2gy^2E + q^2 = 0 \quad (12)$$

Si se conoce el valor de la energía en un instante, el caudal asociado al flujo y el ancho del canal (realizando la suposición para canales rectangulares), se encuentra una expresión (polinomio cúbico) que tiene tres soluciones posibles. Sin embargo, como uno de esos valores es negativo (una altura de agua negativa es imposible), es posible calcular los dos valores de profundidades hidráulicas que hacen referencia a las profundidades alternas.

4.5 Régimen crítico

El estado crítico se define como la condición para el cual el número de Froude es igual a la unidad. Una definición más común es aquella que dice que es el estado del flujo para el cual la energía específica toma un valor mínimo, para un caudal y sección transversal dados (Marbello, 2005). Se determina matemáticamente haciendo de la ecuación 5, una derivación respecto a la altura del flujo (dE/dY), como se muestra a continuación:

A partir de esto, y suponiendo un canal prismático con una pendiente pequeña, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dE}{dy} = 0 \quad (13)$$

Reemplazando en la ecuación de energía presentada en la ecuación 5, se encuentra que:

$$\frac{dE}{dy} = \frac{d}{dy} \left(y + \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad (14)$$

Teniendo en cuenta que el valor del caudal es constante, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{dE}{dy} = 1 + \frac{Q^2}{2g} * \frac{d}{dy} \left(\frac{1}{A^2} \right) \quad (15)$$

Continuando con la derivación:

$$\frac{dE}{dy} = 1 + \frac{Q^2}{2g} * \left[\frac{(0)(A^2) - (1)(2A) \left(\frac{dA}{dy} \right)}{A^4} \right] \quad (16)$$

Si realizamos las respectivas simplificaciones, obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \left(\frac{dA}{dy} \right) \quad (17)$$

De la *Figura 1*, se encuentra la relación entre el diferencial de área y el diferencial de altura del tirante hidráulico (para secciones rectangulares), esta relación está dada por el ancho superficial (T), encontrando que:

$$\frac{dA}{dy} = T \quad (18)$$

Y a partir de esto se tiene:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2 T}{gA^3} \quad (19)$$

Siguiendo con la definición de flujo crítico, la cual expresa que la variación de la energía específica con respecto a la altura del tirante hidráulico es igual a cero, como se presenta en la ecuación 13, se obtiene:

$$1 - \frac{Q^2 T}{g A^3} = 0 \quad (20)$$

Realizando el despeje adecuado, se obtiene:

$$\frac{Q^2 T}{g A^3} = 1 \quad (21)$$

Si reescribimos la ecuación de la siguiente manera, obtiene lo siguiente:

$$\frac{\frac{Q^2}{A^2} * T}{g \left(\frac{A}{T} \right)} = 1 \quad (22)$$

Y realizando los respectivos reemplazos se encuentra que:

$$\frac{V^2}{g D} = 1 \quad (23)$$

Y sabemos que por definición Froude es igual a lo siguiente:

$$F^2 = \frac{V^2}{g D} \quad (24)$$

Reemplazando la relación obtenida en la ecuación 24, en la ecuación 23, obteniendo lo que sigue:

$$F^2 = 1 \quad (25)$$

De esta manera, se corrobora la deducción presentada en la ecuación 13 la cual presenta que el flujo crítico se presenta cuando la variación de energía específica respecto a la variación del tirante hidráulico es igual a cero.

4.5.1 Términos del régimen crítico

- ✓ **Tirante crítico:** El tirante crítico es el valor asociado al régimen crítico en el cual, la curva de energía específica se divide entre régimen subcrítico y régimen supercrítico. Este valor se

encuentra cuando el valor del número de Froude es igual a la unidad, por lo tanto, partiendo de la ecuación 6:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (26)$$

Realizando el cambio entre la longitud característica y la profundidad hidráulica promedio se tiene:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad (27)$$

Recuerde que la profundidad hidráulica promedio se define como lo siguiente:

$$D = \frac{A}{T} \quad (28)$$

Para canales rectangulares el área es igual al ancho del canal multiplicado por la altura del tirante y el ancho superficial es igual al ancho del canal, siendo esto:

$$D = \frac{by}{b} \quad (29)$$

Resultando en:

$$D = y \quad (30)$$

Si se reemplaza el valor de la profundidad hidráulica promedio en la ecuación 27 se tiene:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gy}} \quad (31)$$

Como se está refiriendo a la condición del régimen crítico, el valor del número de Froude es igual a la unidad, por lo tanto, la altura del tirante hidráulico es la crítica y la velocidad también hará referencia a la velocidad crítica, siendo esto:

$$\sqrt{gy_c} = v_c \quad (32)$$

Recuerde de la ecuación de continuidad que $v = Q/A$, para este caso se estará hablando de un área crítica, que es función del tirante hidráulico crítico, encontrando así que:

$$\sqrt{gy_c} = \frac{Q}{A_c} \quad (33)$$

Realizando las respectivas deducciones y simplificaciones, se llega a una expresión para encontrar el valor del tirante hidráulico en secciones rectangulares, siendo esta:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (34)$$

- ✓ **Velocidad crítica:** Hace referencia a la velocidad asociada al régimen crítico, la cual es función del tirante crítico y se halla de la siguiente manera:

$$v_c = \frac{Q}{A_c} \quad (35)$$

El área crítica depende de la sección transversal, para secciones rectangulares se tiene:

$$A_c = b * y_c \quad (36)$$

Resultando en que la velocidad crítica para secciones rectangulares es igual a:

$$v_c = \frac{Q}{by_c} \quad (37)$$

- ✓ **Energía mínima:** La energía mínima está asociada al menor valor de energía presente en la sección transversal, es decir es el valor de energía asociado al régimen crítico en la sección, para encontrarla se usa la ecuación de energía específica de la siguiente manera:

$$E = y + \frac{v^2}{2g} \quad (38)$$

Y teniendo en consideración que hace referencia al régimen crítico, se tiene lo siguiente:

$$E_{min} = y_c + \frac{v_c^2}{2g} \quad (39)$$

- ✓ **Pendiente crítica:** Es el valor particular de la pendiente del fondo del canal, para la cual éste conduce un caudal Q en régimen uniforme y con energía específica mínima, o sea, que en todas sus secciones se tiene el tirante crítico, formándose el flujo crítico uniforme (Villón, 1995). La pendiente crítica se puede encontrar a partir de la ecuación de Manning de la siguiente manera:

$$S_c = \left(\frac{v_c * n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (40)$$

Donde:

S_c : Es la pendiente crítica [m/m]

v_c : Es la velocidad crítica en la sección [m/s]

n : Es el coeficiente de rugosidad de Manning que depende de la sección transversal [$s/m^{\frac{1}{3}}$]

R : Es el radio hidráulico de la sección transversal que es igual a la relación entre el área y el perímetro mojados $\left(R = \frac{A}{P} \right)$ [m]

4.6 Relación entre el caudal y el tirante hidráulico

También existe una ecuación en la que podemos relacionar el caudal y la altura del tirante hidráulico, para esto se parte de la ecuación de energía específica, siendo esta la expresada en la ecuación 5:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (41)$$

Si se mantiene constante el valor de la energía y se despeja el caudal, se llega a la siguiente expresión:

$$Q = \sqrt{2gA(E - y)^{\frac{1}{2}}} \quad (42)$$

Donde:

Q : Es el caudal [m³/s]

g : El valor de la gravedad [m/s²]

A : Área de la sección transversal [m²]

E : Valor de la energía [kg-m/kg]

y : Altura del tirante hidráulico [m]

La expresión general presentada en la ecuación 41, presenta la siguiente figura que relaciona el caudal con la altura del tirante hidráulico (Figura 2)

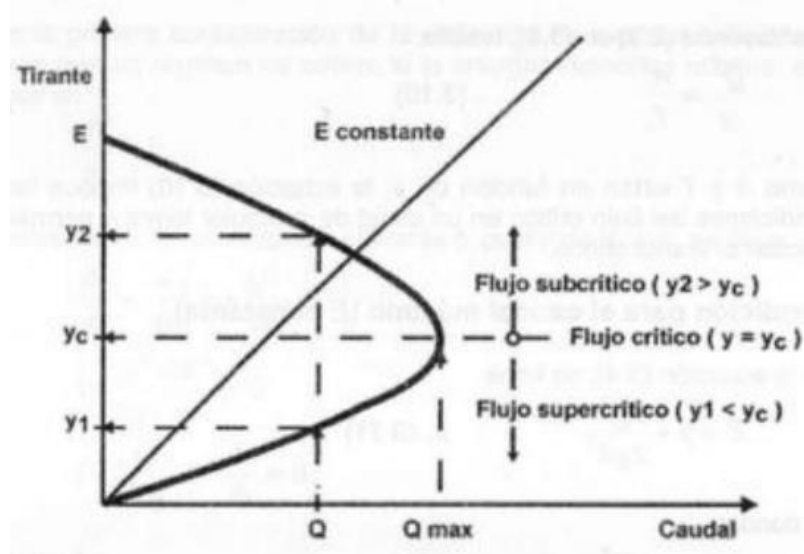


Figura 2 Relación entre el caudal y el tirante hidráulico

En la Figura 2 se puede ver, que también hay una distinción entre el régimen subcrítico y el régimen supercrítico, como también, se presenta el punto de inflexión en el cual se presenta el régimen crítico. Además de esto, también se puede evidenciar que para un mismo valor de caudal existen dos profundidades alternas y, finalmente, se observa que el valor para el caudal máximo se da cuando el valor del tirante hidráulico es el crítico.

Esto se puede confirmar, a partir de la consideración, de que el régimen crítico también se da cuando posee el caudal máximo para una energía específica dada (Villón, 1995), a partir de esto se tiene:

$$\frac{dQ}{dy} = 0 \quad (43)$$

Por lo tanto:

$$\frac{dQ}{dy} = \frac{d}{dy} \left(Q = \sqrt{2gA(E - y)^{\frac{1}{2}}} \right) = 0 \quad (44)$$

Realizando las respectivas deducciones y simplificaciones se llega a que:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{T_c} \quad (45)$$

Donde:

Q : Valor del caudal en la sección transversal [m³/s]

g : El valor de la gravedad [m/s²]

A_c : Valor del área crítica [m²]

T_c : Ancho superficial [m]

Lo cual indica que, al tener los valores del área y ancho superficial en función de la altura del tirante hidráulico, la ecuación 45 impone las condiciones del flujo crítico en un canal de cualquier forma y permite calcular el tirante crítico (Villón, 1995), demostrando así, la condición crítica.

4.7 Referencias adicionales

Como referencias adicionales se le sugiere al estudiante que consulte la guía del laboratorio de la UNAL que hace referencia a la transición en flujo subcrítico (Marbello, 2005), que se presentará a continuación:

- ✓ Guía de laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia: [3. ENERGIA ESPECIFICA \(unal.edu.co\)](http://3.ENERGIA_ESPECIFICA(unal.edu.co))
- ✓ Hidráulica de Canales Abiertos (Chow, 1994): 99+ Ven Te Chow - HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS | David Abarca Gutiérrez - Academia.edu
- ✓ Video tutorial para encontrar el libro Hidráulica de Canales (Villón, 1995): <https://www.youtube.com/watch?v=7mxytmrSUXk>

5. Implementación de la simulación

5.1 Descripción del problema

Se quiere desarrollar un problema en el programa computacional H-Canales, para esto a usted como ingeniero residente se le solicita llevar a cabo el siguiente procedimiento para estar capacitado en la resolución de problemas similares. Un canal trapezoidal tiene un ancho de solera $b = 1$ [m], un talud de relación 1:1 y debe conducir un caudal de 4 [m³/s]. Calcular el tirante crítico (Y_c) y la energía específica mínima.

Para esto, se presenta la sección transversal del problema de tal manera que usted como ingeniero residente pueda evidenciar mejor el problema planteado (*Figura 3*).

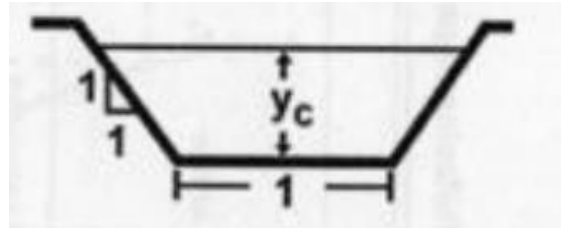


Figura 3 Sección transversal del problema planteado (Villón, 1995)

5.2 Proceso de simulación

5.2.1 Apertura del programa H-Canales

- ✓ Para abrir el programa H-Canales, debe seguir la guía 2 que hace referencia a la descarga e instalación de este programa, que se encuentra incluido en este material de laboratorio.
- ✓ Debe recordar, que la guía antes mencionada debe estar desarrollada en su totalidad de tal manera que el estudiante no tenga problemas al momento de desarrollar esta simulación.
- ✓ Para abrir el programa H-Canales, tiene diferentes opciones, una de estas es, si permitió que el programa creara un acceso directo en el escritorio, puede abrirlo directamente desde allí, el símbolo del programa es el que se muestra en la *Figura 4*.

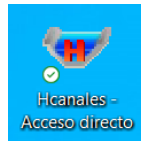


Figura 4 Icono del programa H-Canales en el escritorio

- ✓ Si no permitió que el programa instalara un acceso directo, el programa se encontrará en la ubicación preestablecida, y para ello seguirá los siguientes pasos.
- ✓ Abra el disco local C, mediante la carpeta *Este equipo* (*Figura 5*).

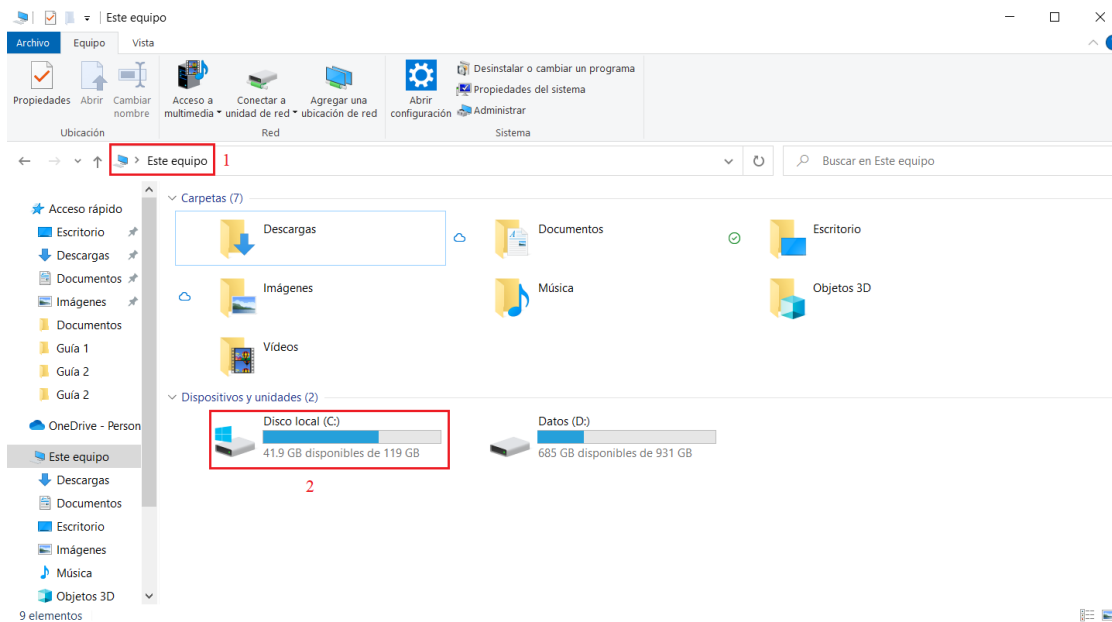


Figura 5 Ventana de la carpeta "Este equipo"

- ✓ Al abrir la carpeta *Disco local (C:)*, abra la carpeta que se llama *Archivos de programa (x86)* como se muestra en la *Figura 6*.

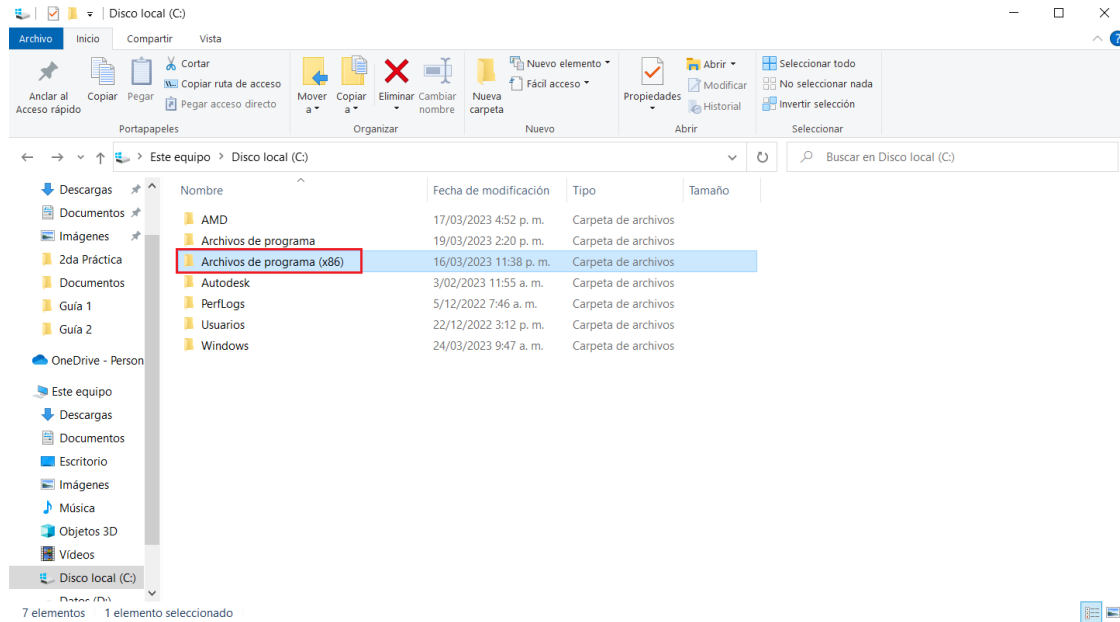


Figura 6 Carpeta de "Archivos de programa (x86)"

- ✓ Dentro de la carpeta *Archivos de programa (x86)*, encontrará una carpeta llamada *Hcanales*, y seguido a esto procederá a abrirla (*Figura 7*).

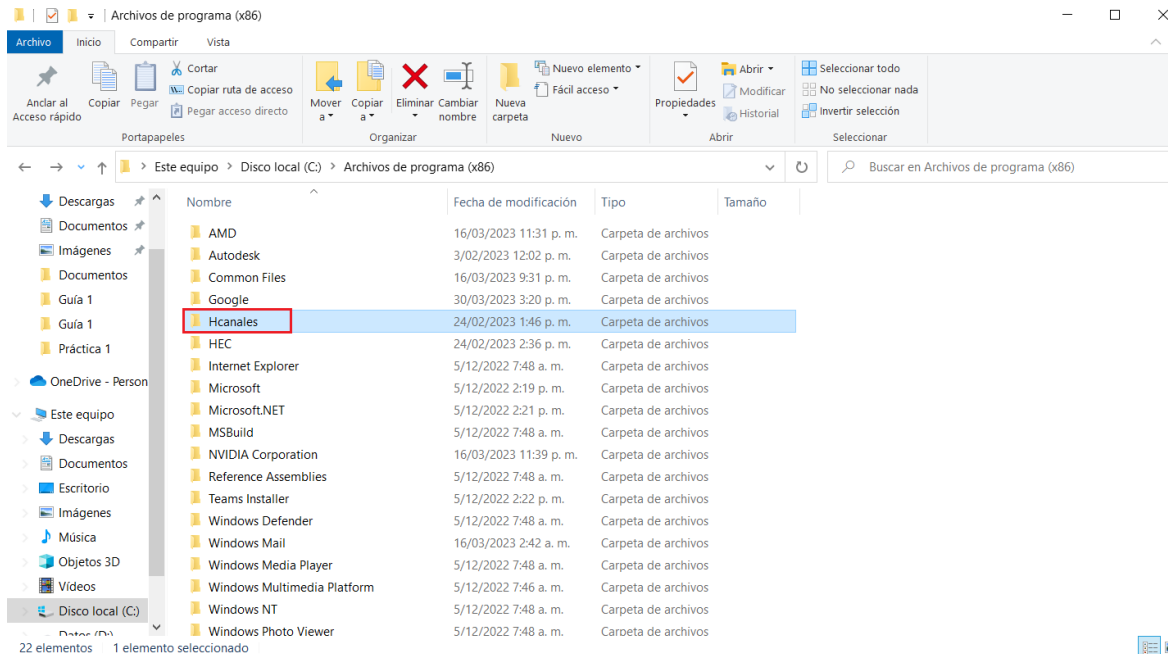


Figura 7 Ubicación de la carpeta Hcanales

- ✓ Seguido a esto encontrará los archivos que se muestran en la *Figura 8* y abrirá el archivo que dice *H-Canales*.

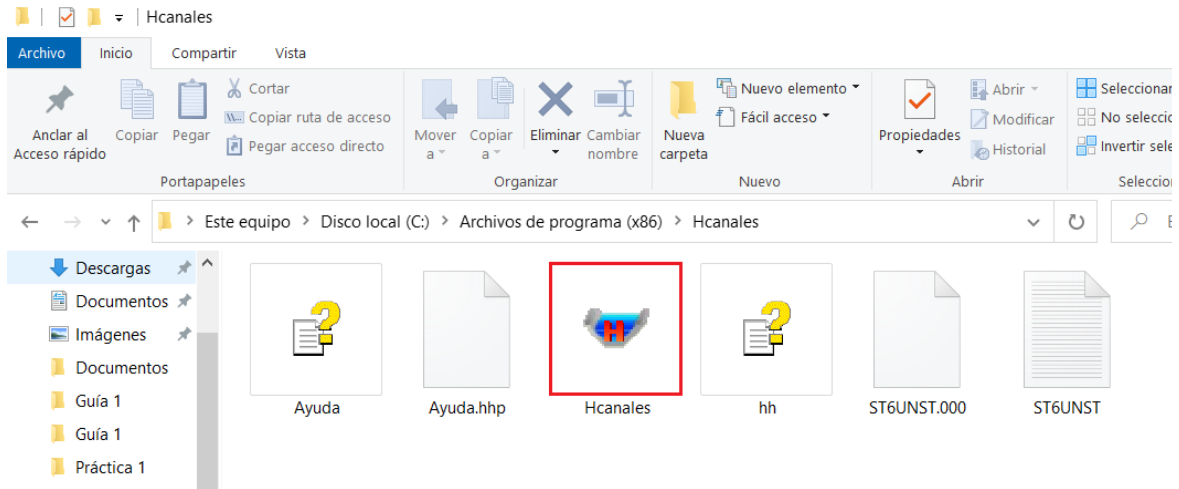


Figura 8 Ubicación final del programa H-canales

- ✓ De esta manera se abrirá el programa que posee presentación que se muestra en la *Figura 9*.



Figura 9 Presentación del programa

5.2.2 Desarrollo del ejemplo propuesto

- ✓ Seguido a esto, de clic en la sección llamada *Tirante-Crítico* y luego en *Sección trapezoidal* en la parte superior del programa, como se muestra en la *Figura 10*.



Figura 10 Ventana del programa para hallar un tirante crítico

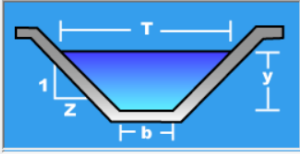
- ✓ Encontrará la siguiente ventana, la cual le ayudará a ingresar los datos en el programa para poder resolver el ejercicio. Esto lo puede evidenciar en la *Figura 11*.

Calculo del Tirante Crítico sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):



Resultados:

Tirante crítico (y): m Perímetro (p): m
Área hidráulica (A): m² Radio hidráulico (R): m
Espejo de agua (T): m Velocidad (v): m/s
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Realiza la impresión de la pantalla 3:56 p. m. 30/03/2023

Figura 11 Ventana para el cálculo del tirante crítico

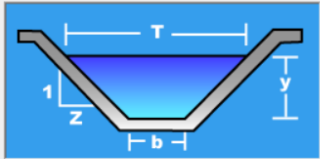
- ✓ En esta ventana ingresará los datos y obtendrá los resultados asociados a estos, como se muestra en la *Figura 12*. Para obtener los resultados en la sección de la ventana que dice *Calcular*.

📄 Cálculo del Tirante Crítico sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):



Resultados:

Tirante crítico (y): <input type="text" value="0.8786"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="3.4851"/> m
Área hidráulica (A): <input type="text" value="1.6506"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.4736"/> m
Espejo de agua (T): <input type="text" value="2.7572"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="2.4234"/> m/s
Número de Froude (F): <input type="text" value="1.0000"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="1.1779"/> m-Kg/Kg

Ejecuta las operaciones 4:35 p. m. 30/03/2023

Figura 12 Resultados del problema propuesto

✓ De esta manera se encuentran los siguientes resultados:

- Tirante crítico: 0.8786 [m]
- Área hidráulica: 1.6506 [m²]
- Espejo de agua: 2.7572 [m]
- Número de Froude: 1
- Perímetro: 3.4851 [m]
- Radio hidráulico: 0.4736 [m]
- Velocidad: 2.4234 [m/s]
- Energía específica: 1.1779 [m-kg/kg]

5.3 Video de la simulación

A continuación, se presentará el enlace del video que hace referencia a la simulación número dos presentada en este documento. Este video hace parte de una serie de tutoriales que ayudan al usuario en el manejo del programa computacional abordado en cada una de las simulaciones.

✓ Enlace del video: [S2 Energía Específica y Régimen Crítico - YouTube](#)

6. Descripción del entregable

6.1 Entregables de la simulación inicial

Debe entregar un documento en formato PDF donde se realice una captura de toda la pantalla (no solo una sección del programa computacional sino **TODA LA PANTALLA DEL ESCRITORIO**) de los siguientes pasos durante el proceso:

- ✓ La ubicación del programa H-Canales en su ordenador en alguna de las dos ubicaciones, bien sea en la ubicación enunciada en la parte inmediatamente superior de la *Figura 4* o mediante el enunciado planteado en la parte inmediatamente superior de la *Figura 8*
- ✓ La presentación de la ventana para el cálculo del tirante hidráulico presentada en la *Figura 11*
- ✓ La ventana con los resultados presentados en la *Figura 12*

6.2 Preguntas de análisis

1. Utilizando el marco teórico presente en este documento, bosqueje la curva de energía específica para el problema planteado, detallando sus partes y explicando cada una de ellas. (Realice un paso a paso del proceso y presente conclusiones del desarrollo de este primer punto y sus resultados).
2. Ahora suponga que la sección transversal es rectangular, ¿cómo lograría realizar la simulación con los mismos datos de caudal y ancho de solera, teniendo en cuenta que el talud es el único valor que puede variar?; además de esto, encuentre el valor del tirante crítico, energía mínima y velocidad crítica, utilizando las ecuaciones propuestas en este documento y compárelos con los resultados que obtenga de esta simulación, para finalmente presentar conclusiones de lo observado.
3. En sus propias palabras realice un resumen de los conceptos en energía específica y régimen crítico, teniendo en cuenta el marco teórico presente en este documento, de tal manera que se logre evidenciar la comprensión de los conocimientos, ya que estos conceptos son fundamentales para la comprensión de los temas posteriores a estos.

7. Referencias Bibliográficas

- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*.
https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTOS
- Marbello, R. (2005). 3. *Energía específica y flujo crítico*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%207.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Rojas, P. (2013, julio 25). Descargar Hcanales v3. *Ingeciv*. <https://ingeciv.com/descargar-hcanales-v3/>
- Villón, B. (1995). *Hidráulica de canales*. <https://uis-odilotk-es.bibliotecavirtual.uis.edu.co/.https://pdfb9c6919cf9985b759bfeca2ebb3e1fa1.odilo.us/#/e81c25ea3bb04acc86cfe4f557ac2fae/18955710ff93c4e1ea3445e0c6c773fc3fa6b9587e23c2b8572103ae049747ae>