

OBRAS HIDRÁULICAS I

CUARTO SEMESTRE

UNIDAD I

Diseño de Canales No revestidos

Docente: Jessica Brito Noboa

Período académico: 2023-2S



01

Ecuaciones del movimiento uniforme

02

Problemas de cálculo de flujo uniforme

03

Secciones de máxima eficiencia hidráulica

04

Conductos circulares libres parcialmente llenos

04

Diseño de canales no revestidos

Diseño de Canales No Revestidos

Diseño de Canales No revestidos

La mayor parte de los canales artificiales revestidos y construidos pueden resistir la erosión de manera satisfactoria y, por consiguiente, se consideran no erosionables.

El diseñador simplemente calcula las dimensiones del canal artificial mediante una ecuación de flujo uniforme y luego decide acerca de las dimensiones finales con base en la eficiencia hidráulica o reglas empíricas de sección óptima, aspectos prácticos constructivos y economía.

Diseño de Canales No revestidos

Los factores que se consideran en el diseño son:

- La clase del material que conforma el cuerpo del canal, la cual determina el coeficiente de rugosidad
- La velocidad mínima permisible, para evitar la deposición si el agua mueve limos o basuras
- La pendiente del fondo del canal y las pendientes laterales
- El borde libre
- La sección más eficiente, ya sea determinada hidráulica o empíricamente.

Diseño de Canales No revestidos

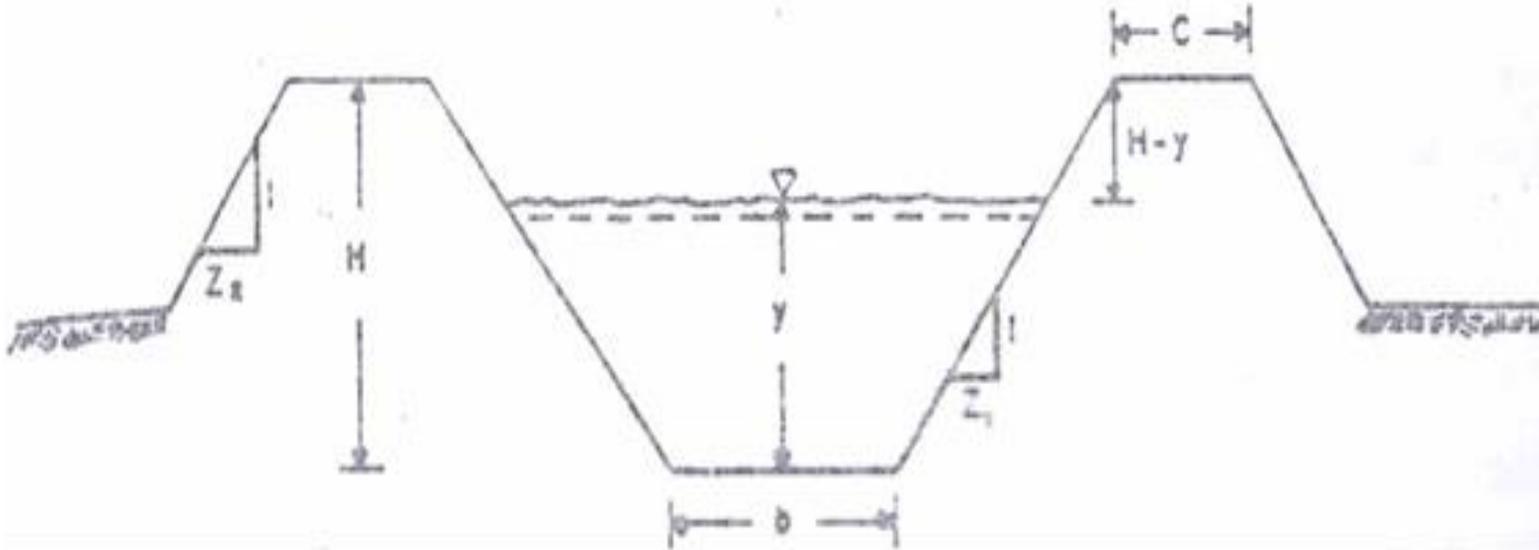
Los materiales no erosionables utilizados para formar el revestimiento de un canal incluyen: hormigón, mampostería, acero, hierro fundido, madera, vidrio, plástico, etc. La selección de material depende sobre todo de la disponibilidad y el costo de éste, el método de construcción y el propósito para el cual se utilizará el canal.



- La mayoría de los canales con recubrimiento pueden soportar la erosión y se pueden considerar como no erosionables.
- Los canales sin recubrimiento, por el contrario son erosionables; a excepción de aquellos que se excavan en fundación firme tal como la roca. Por lo tanto el diseño de canales debe hacerse considerando si el canal va a estar revestido o no revestido.
- Si el canal se va a revestir lo más aconsejable es diseñar el canal empleando el criterio de sección hidráulica eficiente (óptima); utilizando las fórmulas del flujo uniforme.

- Si el canal no se recubre, las fórmulas de flujo uniforme que son aptas para canales no erosionables (revestidos) proveen una condición insuficiente para el diseño de canales erosionables. Esto se debe a que la estabilidad de los canales erosionables depende principalmente de las propiedades del material que forma los contornos del canal antes que de las condiciones hidráulicas del flujo. Sólo después de que se obtenga una sección estable del canal erosionable se pueden aplicar las ecuaciones del flujo uniforme para el cálculo de la velocidad y del caudal.

Diseño de Canales No revestidos



El diseño de un canal implica darle valor numérico a las siguientes especificaciones técnicas:

- Caudal (Q)
- Velocidad media del agua (v)
- Pendiente longitudinal (S) en m/m ó %
- Coeficiente de rugosidad (n).
- Talud (z)
- Ancho de solera (b).
- Tirante o calado (y).
- Borde libre (BL).
- Profundidad total desde la corona al fondo del canal (H).
- Ancho de corona (C).

Para el diseño de un canal, el caudal tiene que ser un dato de partida.

- Riego \rightarrow l/s/ha (Dotación) \rightarrow (Tipo de suelo)
- A.P. \rightarrow l/hab/d (Dotación) \rightarrow Población, Clima
- G.H. \rightarrow l/s (Caida) \rightarrow KW, MW

- Se distinguen dos métodos para el cálculo de la sección estable:
 1. MÉTODO DE LA VELOCIDAD PERMISIBLE.
 2. MÉTODO DE LA FUERZA TRACTIVA



Diseño de Canales No revestidos

Método de Velocidad Permisible

- Consiste en limitar la velocidad media a un valor que no cause erosión en las paredes del canal. ***La máxima velocidad permisible o la velocidad no erosionable es la mayor velocidad que no causará sería erosión en los contornos del canal.***
- Esta velocidad es muy incierta y variable, depende principalmente del tamaño, clase de material de las paredes y del tirante del flujo, y solo puede estimarse con base a la experiencia y criterio.
- La velocidad mínima permisible se determina teniendo presente el material sólido transportado por el agua; se define como la velocidad por debajo de la cual el material sólido contenido en el agua decanta, produciendo depósito en el lecho del canal. La velocidad mínima para evitar el azolvamiento en los canales de tierra se recomienda sea de 0.40 m/s.

Diseño de Canales No revestidos

Las velocidades en los canales varían en un ámbito cuyos límites son: la velocidad mínima que no produzca depósitos de materiales sólidos en suspensión (sedimentación) y la máxima que no produzca erosión en las paredes y fondo del canal.

La velocidad mínima permisible o velocidad no sedimentante es la menor velocidad que no permite el inicio de la sedimentación y no induce el crecimiento de plantas acuáticas y de musgo.

En general puede adoptarse una velocidad media de 0.61 a 0.91 m/s.

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS	VELOCIDADES MAXIMAS (m)
Canales en tierra franca	0.60
Canales en tierra arcillosa	0.90
Canales revestidos con piedras y mezcla simple	1.00
Canales con mampostería de piedra y hormigón	2.00
Canales revestidos con hormigón	3.00
Canales en roca: pizarra	1.25
Canales en roca: areniscas consolidadas	1.50
Canales en roca: rocas duras, granito, etc.	3.00 – 5.00

RESISTENCIA (kg/cm ²)	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE (m)				
	0.50	1.00	3.00	5.00	10.00
50	9.60	10.60	12.30	13.00	14.10
75	11.20	12.40	14.30	15.20	16.40
100	12.70	13.80	16.00	17.00	18.30
150	14.00	15.60	18.00	19.10	20.60
200	15.60	17.30	20.00	21.20	22.90

Esta tabla da valores de velocidades admisibles altos, sin embargo la U.S. BUREAU OF RECLAMATION, recomienda que para el caso de revestimiento de canales de hormigón no armado, las velocidades no deben exceder de **2.5 m/seg**. Para evitar la posibilidad de que el revestimiento se levante.

Diseño de Canales No revestidos

- **Pendientes límites.**
- La velocidad se encuentra en función de la pendiente; a consecuencia de los límites establecidos para la velocidad, resultan límites para la pendiente, los valores que se presentan a continuación son solo indicativos:

TIPO DE CANAL	PENDIENTE LIMITE
Canales de navegación	Hasta 0.00025
Canales industriales	0.0004 a 0.0005
Canales para riego pequeños	0.0006 a 0.0008
Canales para riego grandes	0.0002 a 0.0005
Acueductos de agua potable	0.00015 a 0.001

Fuente: HIDRAULICA II, Pedro Rodríguez Ruiz

La pendiente máxima admisible para canales de tierra varía según la textura del suelo. En el cuadro siguiente se muestran las pendientes máximas recomendadas en función del tipo de suelo.

Tipo de suelo	Pendiente (S) (‰)
Suelos sueltos	0.5 – 1.0
Suelos francos	1.5 – 2.0
Suelos arcillosos	3.0 – 4.5

Diseño de Canales No revestidos

Procedimiento para resolución

- Usando la velocidad máxima permisible como criterio, el procedimiento de diseño para un canal con sección trapezoidal es el siguiente:

1.- Según el tipo de material en que está construido el canal, determinar el coeficiente de rugosidad “n” la inclinación del talud y la velocidad máxima permisible.

2.- Con los datos anteriores, con la pendiente “S” y con la ecuación de Manning, determinar el radio hidráulico.

$$v_{\max} = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

3.- Con la ecuación de continuidad y con los valores del gasto y la velocidad máxima Calcular el valor del Área hidráulica.

$$A = \frac{Q}{v_{\max}}$$

4.- Con el área hidráulica y el radio hidráulico calculamos el Perímetro mojado.

$$P = \frac{A}{R}$$

5.- Con la expresión para calcular el área hidráulica y el perímetro mojado según la geometría de la sección resolver simultáneamente para “y” y “b”.

6.- Añadir un borde libre apropiado y modificar la sección con el fin de que sea funcional desde el punto de vista práctico.

Diseño de Canales No revestidos

Método de la Fuerza Tractiva

Cuando el agua fluye en un canal, el esfuerzo cortante τ_0 , ó tractivo, que se genera en los contornos del mismo tiende a producir arrastre del material que lo compone. Esta fuerza actúa sobre el lecho del canal en la dirección del flujo. Esta fuerza es simplemente el empuje del agua sobre el área mojada.

En el flujo uniforme la fuerza tractiva es igual a la componente efectiva de la fuerza gravitacional que actúa sobre el cuerpo de agua, paralela al fondo del canal e igual a:

$$\tau = w * A * L * S$$

w = Peso unitario del agua.

A = Área mojada

L = Longitud del tramo del canal

S = Pendiente

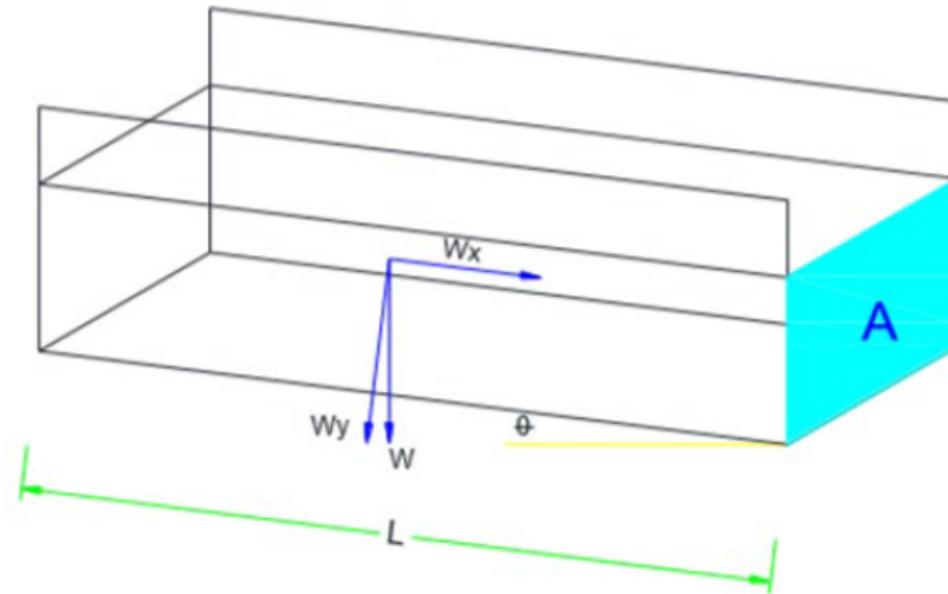
Luego el valor promedio de la fuerza tractiva por unidad de área mojada conocido como fuerza tractiva unitaria τ_o es igual a:

$$\tau_o = \frac{wALS}{PL}$$

P = Perímetro mojado

Si $R = \frac{A}{P}$; entonces

$$\tau_o = wRS$$



En un canal abierto ancho, el radio hidráulico es igual a la profundidad del flujo y ; por consiguiente:

$$\tau_o = wyS$$

La fuerza tractiva unitaria en canales abiertos no está distribuida uniformemente a lo largo del perímetro mojado (excepto en canales abiertos anchos)

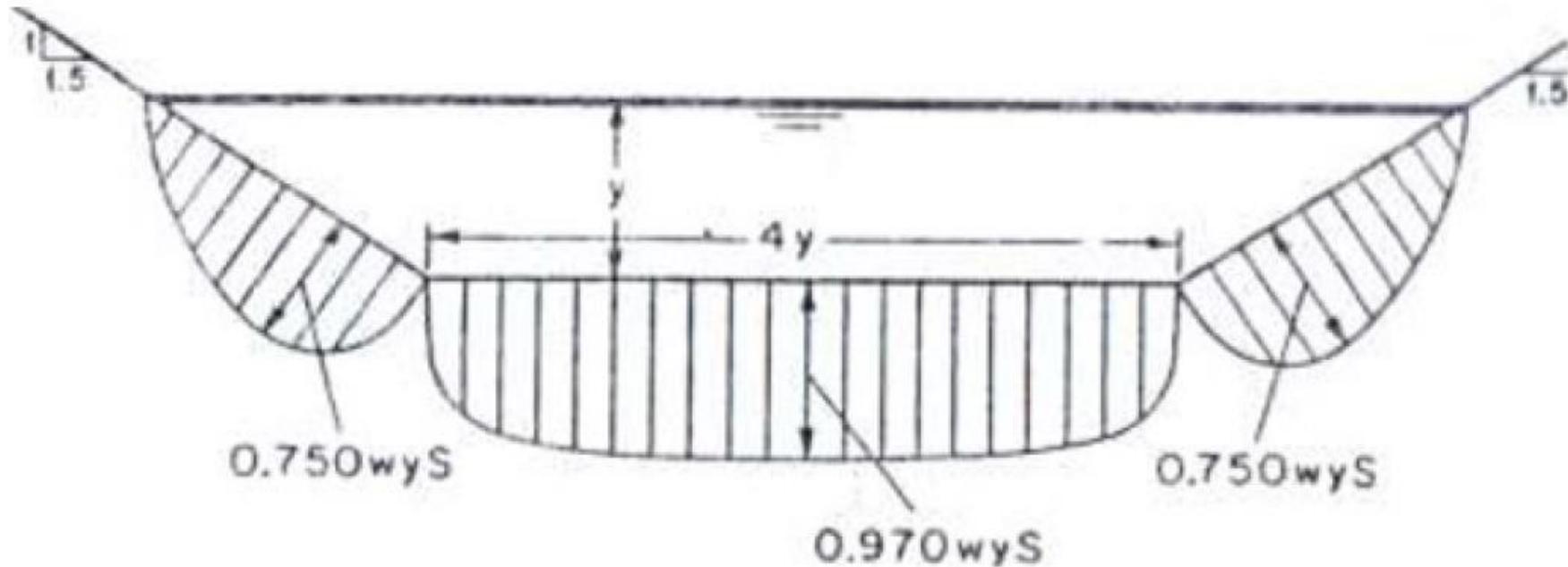
En general en los canales trapezoidales, la fuerza tractiva máxima en el fondo es $0.970wyS$ y en lo lados $0.75wyS$.

τ_o = Esfuerzo solicitante

τ_s = Esfuerzo en las paredes del canal

τ_r = Esfuerzo en el fondo del canal

En un canal abierto ancho, el radio hidráulico es igual a la profundidad del flujo y ; por consiguiente:



Sobre una partícula de suelo que descansa en la pendiente lateral de una sección del canal en la cual se encuentra fluyendo agua, actúan dos fuerzas: la fuerza tractiva $a * \tau_s$ y la componente de fuerza gravitacional $W_s \text{ Sen}\phi$ donde:

a = Área efectiva de la partícula.

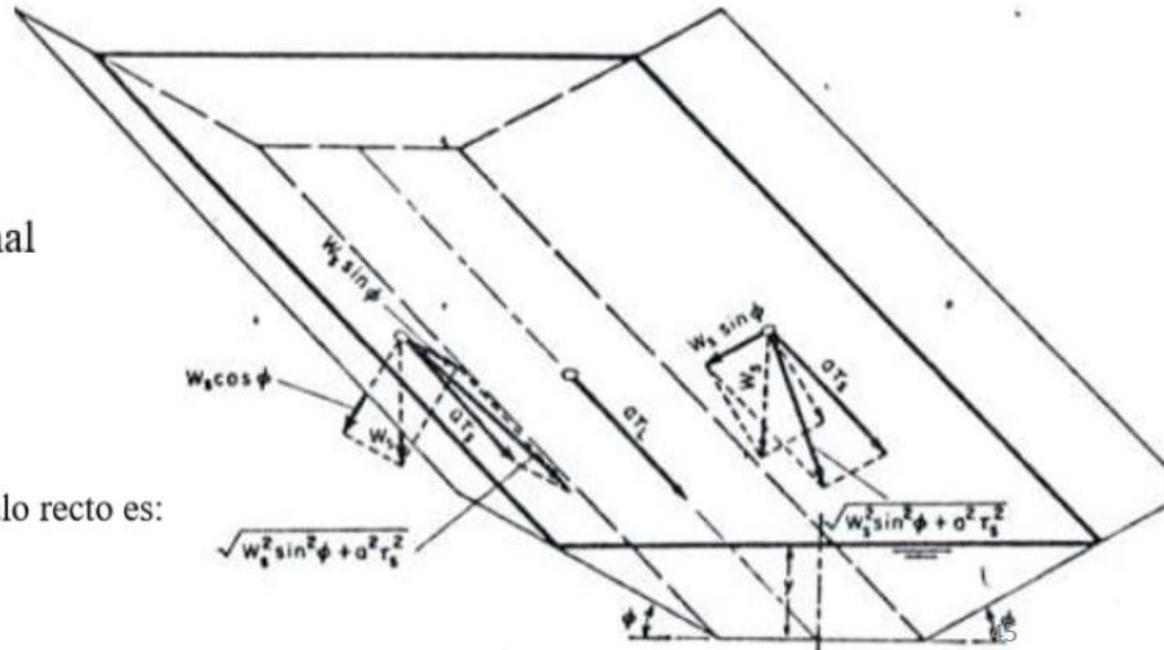
τ_s = Fuerza tractiva unitaria en la pendiente del canal

W_s = Peso sumergido de la partícula.

ϕ = Angulo de la pendiente lateral (talúd)

La resultante de estas dos fuerzas, las cuales forman un ángulo recto es:

$$R = \sqrt{W_s^2 \text{Sen}^2 \phi + a^2 \tau_s^2}$$



Diseño de Canales No revestidos

TALUD Z

La inclinación de las paredes laterales depende principalmente de la clase de terreno en donde están alojados. Mientras más inestable sea el material, menor será el ángulo de inclinación de los taludes.

MATERIAL	CANALES POCO PROFUNDOS	CANALES PROFUNDOS
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25 : 1
Arcillas compactas o conglomerados	0.5 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1.5 : 1
Limos arenosos	1.5 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1
Hormigón	1 : 1	1.5 : 1

Diseño de Canales No revestidos

Coeficiente de Rugosidad (n)

En forma práctica, los valores del coeficiente de rugosidad que se usan para el diseño de canales alojados en tierra están comprendidos entre 0.025 y 0.030, y para canales revestidos de hormigón se usan valores comprendidos entre 0.013 y 0.015.

MATERIAL DEL CAUCE	MIN.	MED.	MÁX.
Roca áspera		0.040	0.045
Roca igualada las asperezas	0.020	0.033	0.035
Canales grandes en buen estado	0.020	0.023	0.025
Canales grandes en estado regular	0.023	0.025	0.027
Canales grandes en mal estado	0.025	0.028	0.030
Canales malos semiderumbados	0.028	0.030	0.033
Canal irregular con vegetación	0.033	0.035	0.040
Madera cepillada	0.010	0.013	0.014
Madera sin cepillar	0.012	0.015	0.018
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0.013	0.014	0.015
Hormigón con huellas de tablas	0.015	0.016	0.018
Hormigón alisado	0.011	0.012	0.013
Mampostería de piedra	0.017	0.023	0.030
Gabiones	0.025	0.027	0.032
Ladrillo enlucido	0.012	0.015	0.017

Diseño de Canales No revestidos

Ancho de Solera

Una forma práctica de fijar el ancho de solera se basa en el caudal. Para canales pequeños, el ancho de la solera estará en función de la pala de la maquinaria disponible para la construcción.

CAUDAL Q (m ³ /s)	Solera b (m)
Menor de 0.10	0.30
Entre 0.10 y 0.20	0.50
Entre 0.20 y 0.40	0.75
Mayor de 0.40	1.00

Diseño de Canales No revestidos

Tirante de canal (y)

Una regla empírica establece el valor máximo del tirante para canales de tierra:

$$y = 0.5\sqrt{A} \quad (\text{EEUU});$$

$$y = \sqrt{A/3} \quad (\text{India})$$

$$y = b/3 \quad (\text{Otros autores})$$

Diseño de Canales No revestidos

Borde Libre (BL)

Una práctica corriente para canales en tierra, es dejar un borde libre o resguardo igual a un tercio del tirante, es decir: $B.L. = y/3$.

Mientras que para canales revestidos, el borde libre puede ser la quinta parte del tirante: $B.L. = y/5$

- En relación al caudal se tiene:

CAUDAL (m ³ /s)	BORDE LIBRE (m)
≤ 0.50	0.30
> 0.50	0.40

Diseño de Canales No revestidos

Borde Libre (BL)

- En relación al ancho de solera se tiene:

ANCHO DE SOLERA (m)	BORDE LIBRE (m)
≤ 0.80	0.30
0.81 – 1.50	0.50
1.51 – 3.00	0.60
3.01 – 20.00	1.00

- En función al caudal, se recomienda:

CAUDAL (m ³ /s)	BORDE LIBRE (m)	
	CANAL REVESTIDO	CANAL SIN REVESTIR
≤ 0.05	0.075	0.10
0.051 – 0.25	0.10	0.20
0.26 – 0.50	0.20	0.40
0.51 – 1.00	0.25	0.50
> 1.00	0.30	0.60

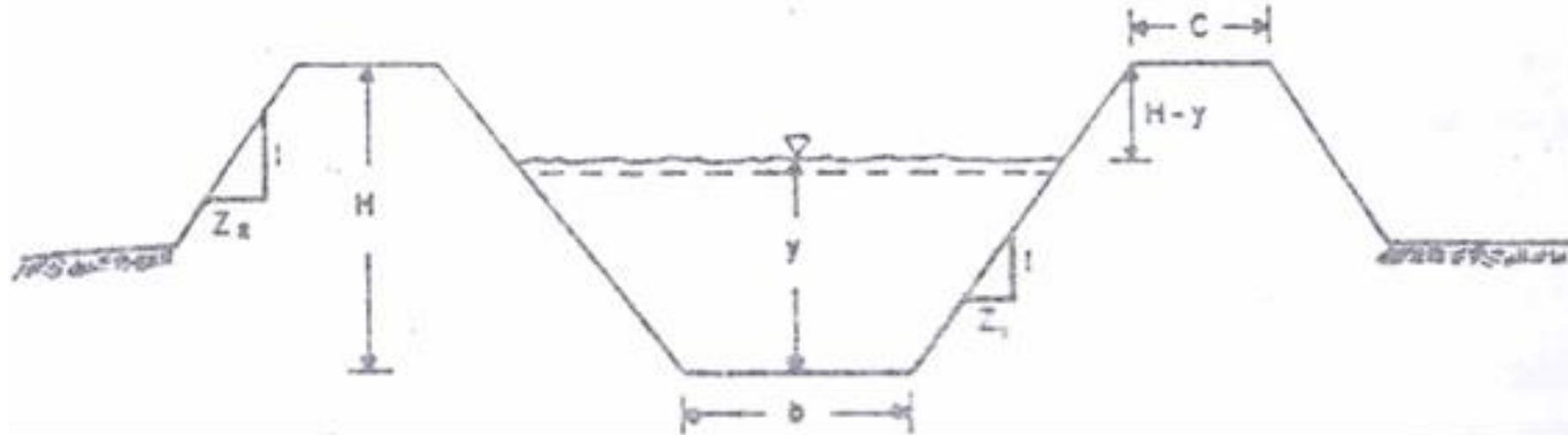
Diseño de Canales No revestidos

Profundidad total desde la corona al fondo del canal

La profundidad total del canal se encuentra una vez conocido el tirante de agua y el borde libre, es decir:

$$H = y + BL.$$

En forma práctica, para su construcción esta profundidad total se suele redondear, asumiendo su variación con el valor del borde libre.



Diseño de Canales No revestidos

Ancho de corona (c)

- El ancho de la corona de los bordes de los canales en su parte superior depende esencialmente del servicio que estos van a prestar. En canales grandes se hacen suficientemente anchos 6.50 m como mínimo para permitir el tránsito de vehículos y equipos de operación y mantenimiento a fin de facilitar los trabajos de inspección y distribución del agua.
- En canales más pequeños el ancho superior de la corona puede diseñarse aproximadamente igual al tirante del canal. En función del caudal se puede considerar un ancho de corona de 0.60 m para caudales menores de 0.50 m³/s y 1.00 m para caudales mayores.