Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL

OBRAS HIDRÁULICAS I

CUARTO SEMESTRE

UNIDAD III

Flujo No Uniforme en Canales

Docente: Jessica Brito Noboa

Período académico: 2023-2S

Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL

01 Flujo Rápidamente variado en canales

02 Resalto Hidráulico

03 Disipadores de Energía

04 Flujo Gradualmente variado en canales

05 Curvas de remanso

06 Métodos para el cálculo del flujo gradualmente variado

jessica.brito@unach.edu.ec

Flujo Rápidamente Variado en Canales

Flujo Rápidamente Variado en Canales

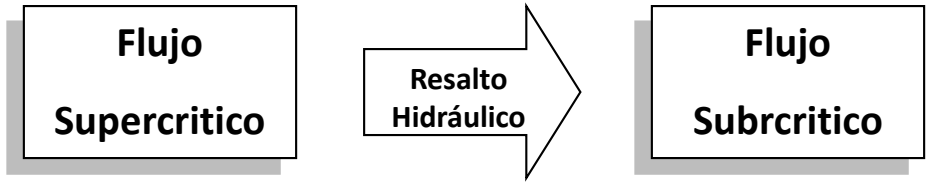
Cuando en un canal una corriente rápida se encuentra con una corriente lenta (usualmente ocasionado por algún elemento físico tal como un vertedero, una ampliación de la sección, etc.) se produce un resalto hidráulico que se manifiesta por un aumento brusco del tirante.

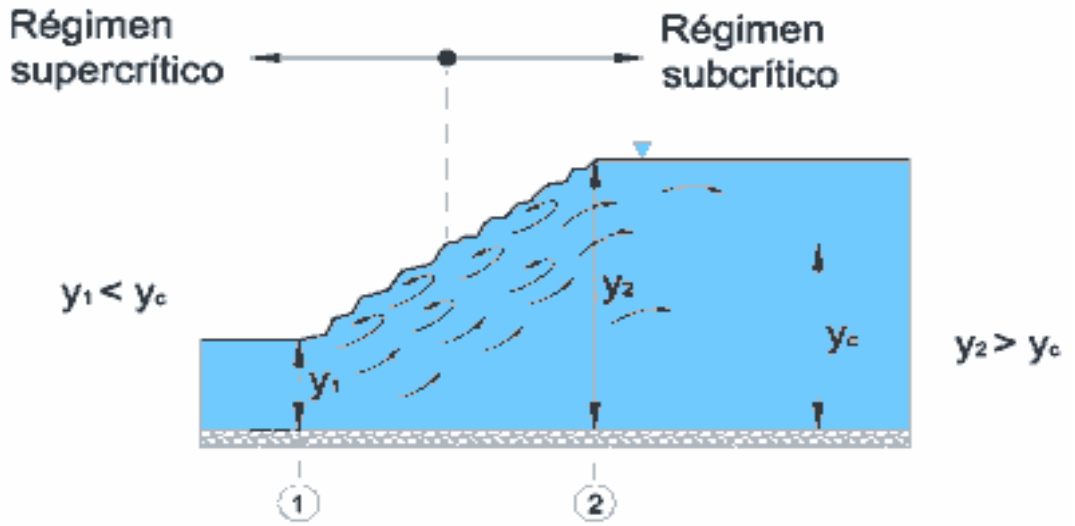
Es un **fenómeno local** que se presenta en el Flujo Rápidamente Variado (F.R.V.).

El resalto Hidráulico

El resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta en un canal abierto como consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad.

Este fenómeno presenta un estado de fuerzas en equilibrio, en el que tiene lugar un cambio violento del régimen de flujo, de supercrítico a subcrítico.

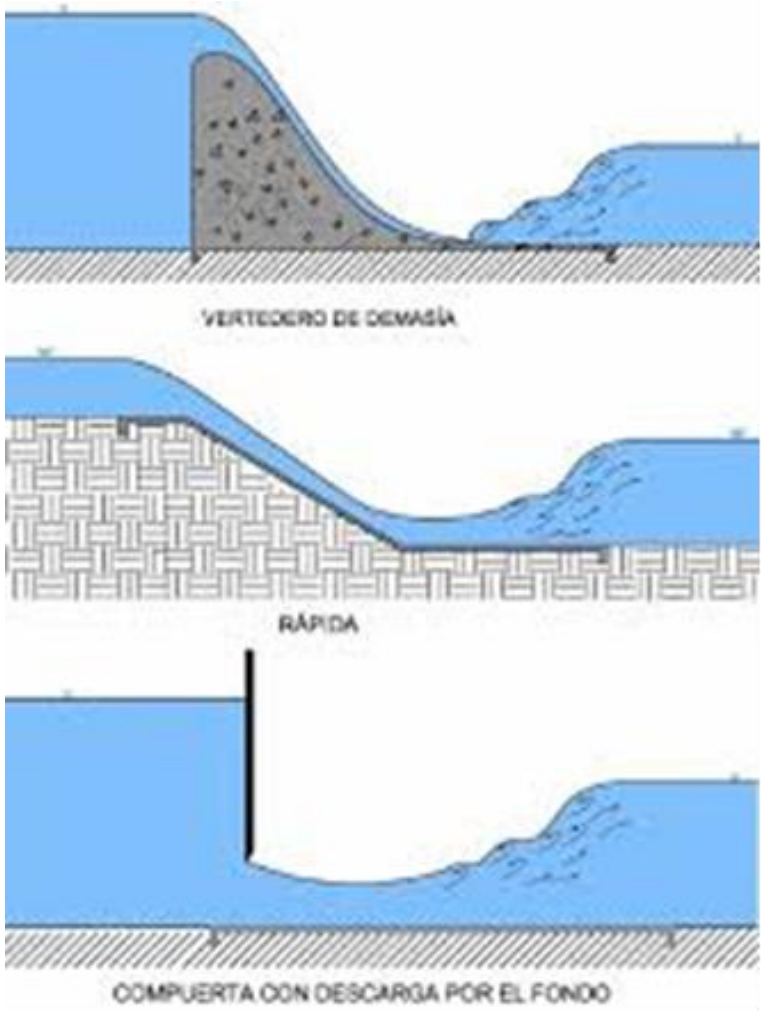




Este involucra una pérdida de energía relativamente grande mediante disipación en el cuerpo turbulento de agua dentro del resalto. En consecuencia, el contenido de energía en el flujo después del resalto es apreciablemente menor que el de antes del mismo.

El principio de Fuerza Específica se utiliza debido a que el resalto produce una alta cantidad de energía interna que no se pueden evaluar con la ecuación de energía.

Generalmente el resalto se forma cuando en una corriente rápida existe algún obstáculo o un cambio brusco de pendiente. Esto sucede al pie de estructuras hidráulicas tales como: vertederos, rápidas, salidas de compuertas con descarga por el fondo, etc.



Resalto Hidráulico

VERTEDERO

RÁPIDA

COMPUERTA

Usos del Resalto Hidráulico

1, La disipación de energía en flujos sobre diques, vertedores y otras estructuras hidráulicas.

2. El mantenimiento de altos niveles de agua en canales que se utilizan para el propósito de distribución de agua.

3. Incremento del gasto descargado por una compuerta deslizante al rechazar el retroceso del agua contra la compuerta, esto aumenta la carga efectiva y con ella la descarga.

4. La mezcla de sustancias químicas usadas para la purificación o el tratamiento de agua.

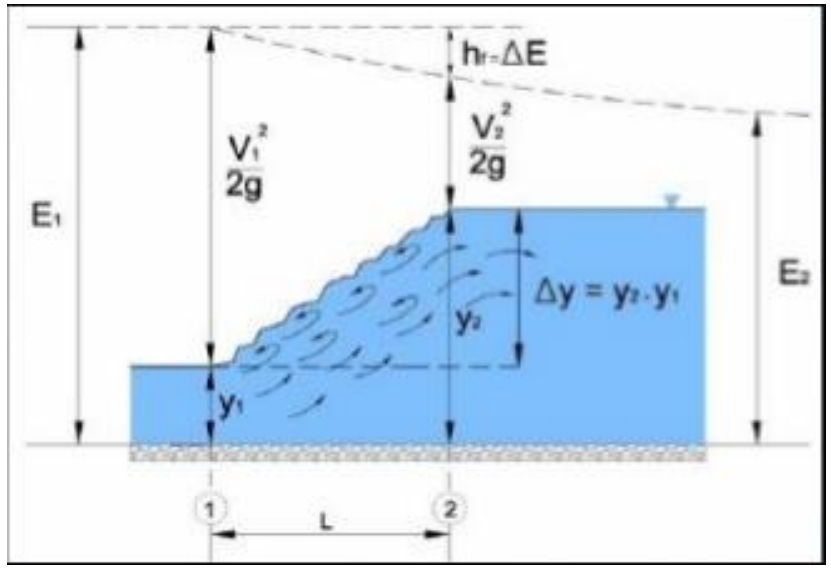
5. La aerificación de flujos y el desclorinado en el tratamiento de agua.

6. La remoción de bolsas de aire con flujos de canales abiertos en canales circulares.

Cracterísticas básicas del resalto

1.- Profundidad Secuente. (Calados conjugados)

Se denominan calados conjugados a las alturas del tirante aguas arriba y aguas abajo del resalto. La profundidad antes del resalto se conoce como PROFUNDIDAD INICIAL y1, y después del resalto se conoce como PROFUNDIDAD SECUENTE y2. Entonces, la energía específica E1 correspondiente a la profundidad inicial y1 es mayor que la energía específica E2 correspondiente a la profundidad secuente y2 en una cantidad igual a la pérdida de energía ΔE.



$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{8F_1^2+1}-1\right)$$ Canales rectangulares

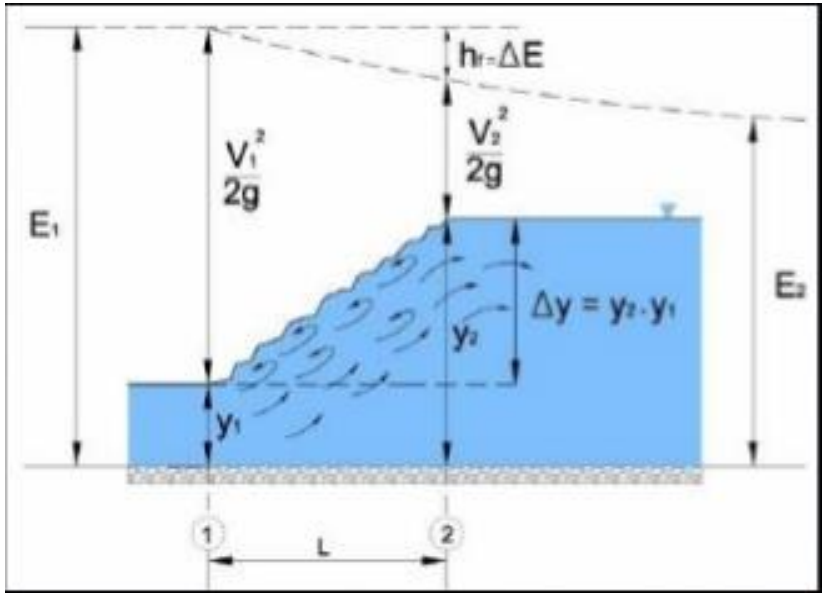
$$F = \frac{Q^2}{Ag} + A\bar{Z}$$ Otras secciones

2.- ALTURA DEL RESALTO.- Es la diferencia entre las profundidades antes y después del resalto

$$\Delta y = hr = y2 - y1$$

3.- PÉRDIDA DE ENERGÍA EN EL RESALTO HIDRÁULICO.- En el resalto hidráulico la pérdida de energía es igual a la diferencia de las energías específicas antes y después del resalto.

$$\Delta E = E1 - E2$$

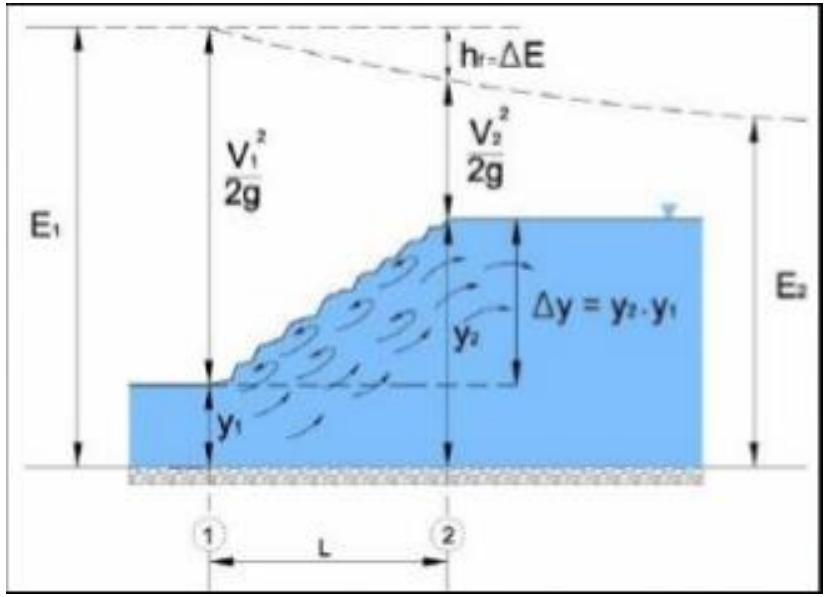


$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 * y_2}$$

4.- POTENCIA DISIPADA EN EL RESALTO HIDRÁULICO.- Es la energía disipada por unidad de tiempo.

P = γ*Q* ΔE (Watt); γ = 9800 N/m³

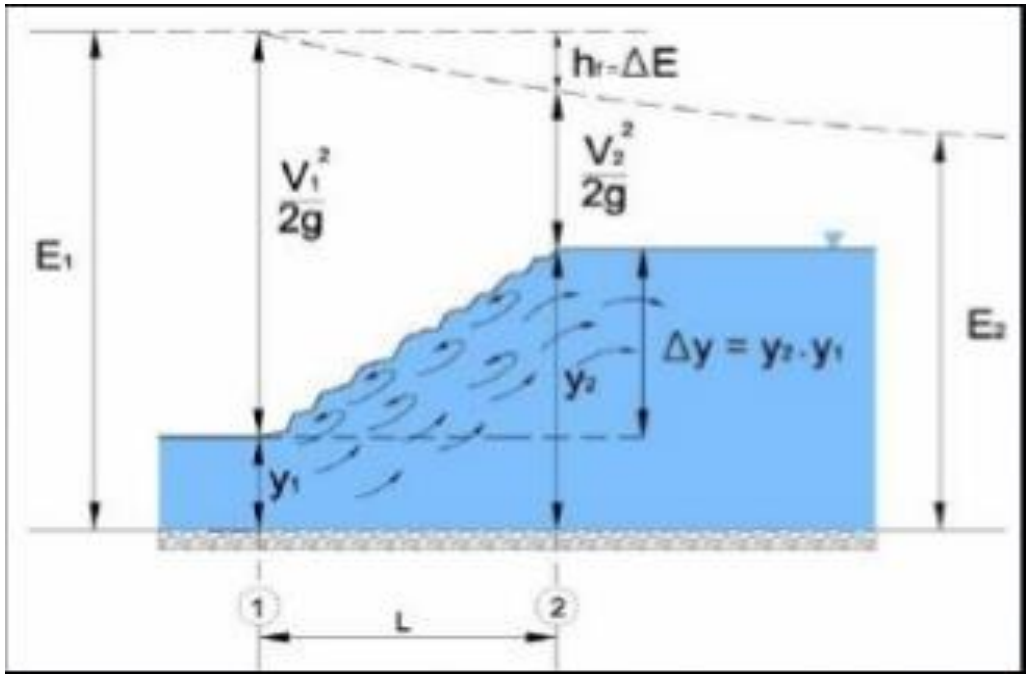
5.- EFICIENCIA.- Es la relación entre la energía específica antes y después del resalto, es una función adimensional y depende sólo del número de Froude del flujo de aproximación.



$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2+1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2+F_1^2)} \qquad \eta(\%) = \frac{\Delta E}{E1} \; *100$$

6.- LONGITUD DEL RESALTO HIDRÁULICO.- Un parámetro importante en el diseño de obras hidráulicas es la longitud del resalto, que definirá la necesidad de incorporar obras complementarias para reducir esta longitud y/o aplicar medidas de protección de la superficie para incrementar su resistencia a las tensiones de corte.

La longitud del resalto puede definirse como la distancia medida desde la cara frontal del resalto y1 hasta un punto en la superficie inmediatamente aguas abajo del remolino y2.



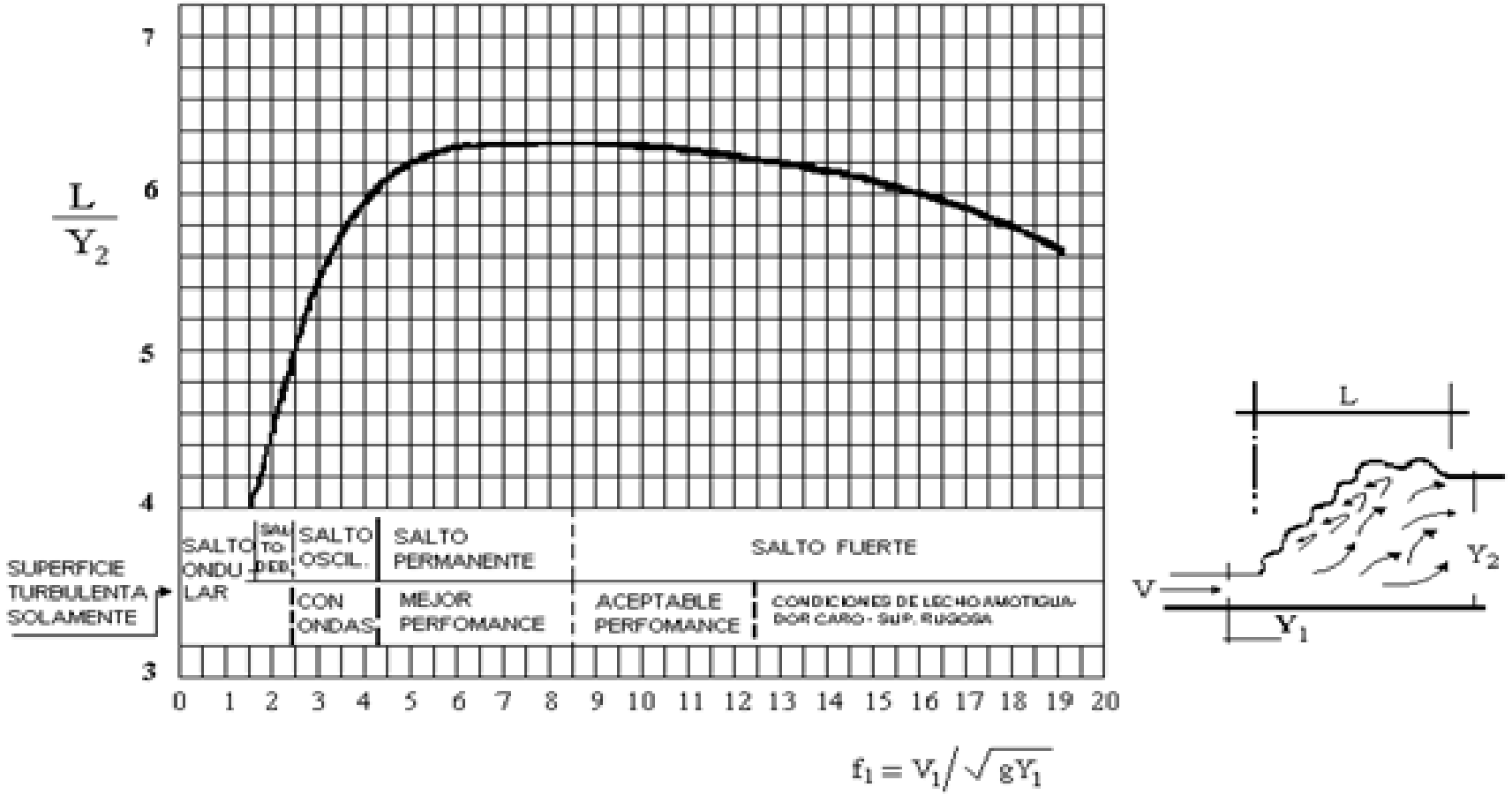


Figura: Relación adimensional para la longitud del resalto hidráulico (Bureau of reclamation)

AUTOR	EXPRESION
SAFRANETZ (1930)	$L = 4.5y_2$
PAVLOSKY (1937)	$L = 2.5(1.9y_2 - y_1)$
BAKHMETEV-MAZTKE (1936)	$L = 5(y_2 - y_1)$
DOUMA	$L = 3y_2$
BUREAU OF RECLAMATION	$L = K * 6.9(y_2 - y_1)$; K = 1.2 (Coeficiente de Seguridad.)

FORMULA PARA LONGITUD DEL RESALTO (HCANALES)

Según Sieñchin $L = A(y_2 - y_1)$

Donde A depende del talud z del canal según la siguiente tabla:

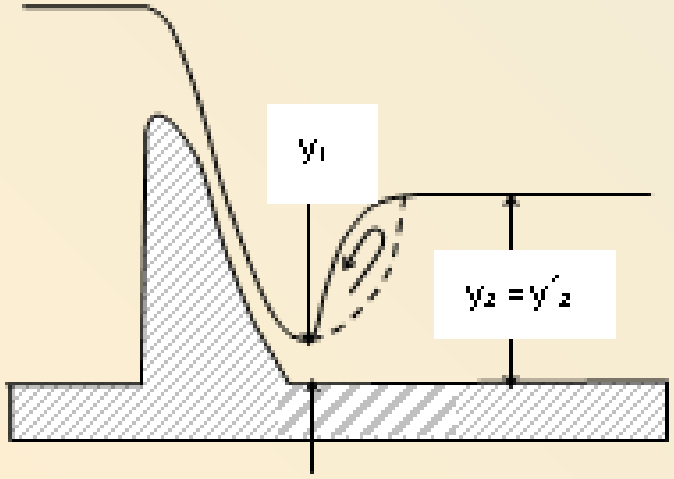
Talud z	0	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
A	5	7.9	9.20	10.6	12.6	15.0

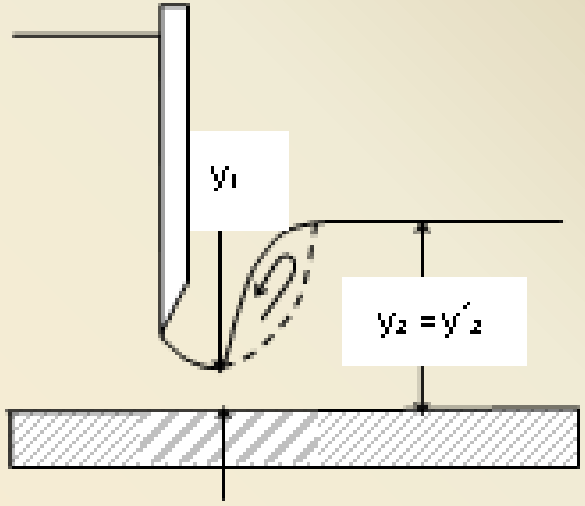
Posición del Resalto Hidráulico

Existen tres modelos alternativos que permiten que un resalto se forme aguas abajo de una fuente (vertedero de rebose, una rápida o una compuerta).

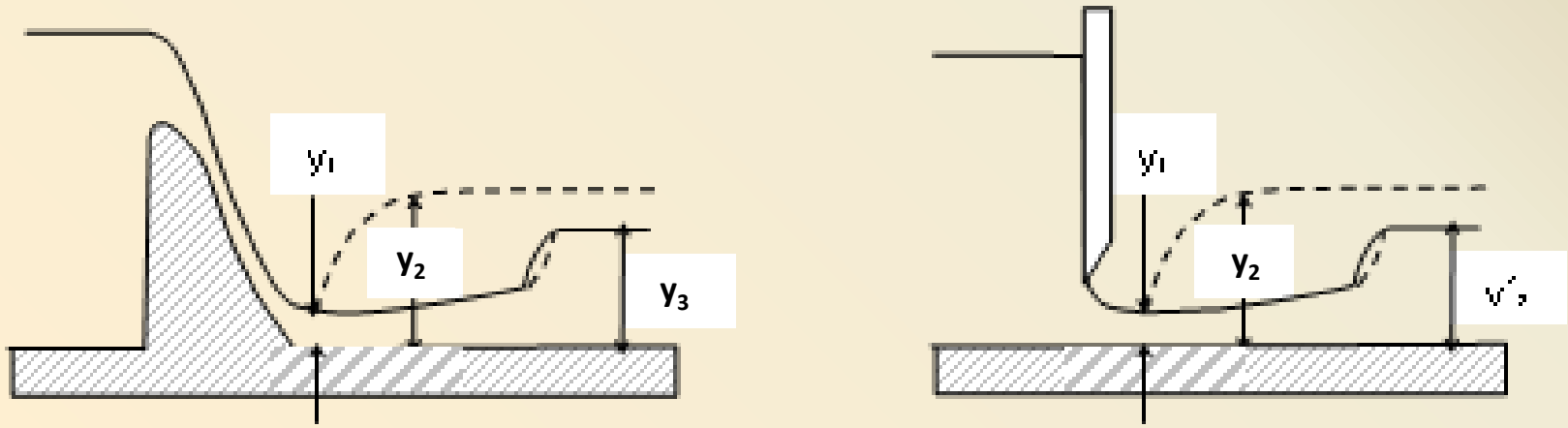
Caso 1:	**y3 = y2**	**(Resalto claro)**
Caso 2:	**y3 < y2**	**(Resalto barrido)**
Caso 3:	**y3 > y2.**	**(Resalto ahogado)**

Caso 1: y3 = y2. Este caso representa un modelo para el cual la profundidad de aguas abajo y3 es igual a la profundidad y2 secuente a y1. En este caso se satisface la ecuación y el resalto ocurrirá sobre un piso sólido inmediatamente delante de la profundidad y1. Es ideal para propósitos de protección contra la socavación.

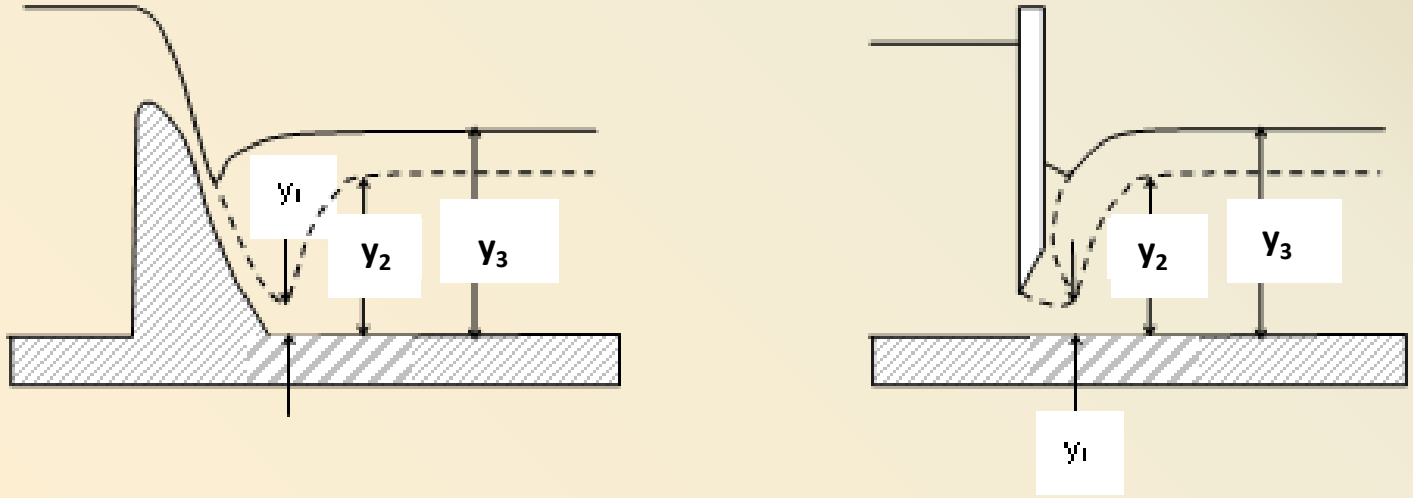




Caso 2: y3 < y2. Representa el patrón para el cual la profundidad de salida y3 es menor que y2. Esto significa que la profundidad de salida del caso 1 disminuye y el resalto se desplazará hacia aguas abajo hasta un punto donde se satisfaga la ecuación. Este caso debe evitarse en el diseño, debido a que el resalto rechazado fuera de la zona resistente a la socavación ocurriría en un lecho de cantos rodados sueltos o en un canal desprotegido ocasionando erosión severa. La solución para el diseño es utilizar cierto control en fondo del canal, el cual incrementaría la profundidad de agua y asegurará un resalto dentro de la zona protegida.



Caso 3: y3 > y2. Este caso representa un modelo en el cual la profundidad de salida y3 es mayor que y2. Esto significa que la profundidad de salida con respecto al caso 1 se incrementa. El resalto se verá forzado hacia aguas arriba, y finalmente puede ahogarse en la fuente y convertirse en un resalto sumergido. Éste es el caso más seguro para el diseño, debido a que la posición del resalto sumergido puede fijarse con rapidez, sin embargo el diseño no es eficiente, debido a que se disipará muy poca energía.



Tipos de Resalto Hidráulico

El Bureau of Reclamation investigó diferentes tipos de resalto hidráulico en canales horizontales, cuya base de clasificación es el número de Froude F1 del flujo entrante:

F1 = 1, el flujo es crítico, por lo que no se forma resalto.

F1 = 1 a 1.7, la superficie de agua muestra ondulaciones y se presenta el *resalto hidráulico ondulante*.

La disipación de energía es baja menor al 5%.

F1 = 1.7 a 2.5, el ondulamiento de la superficie en el tramo de mezcla es mayor, se presenta una serie de remolinos sobre la superficie del resalto, pero la superficie del agua hacia aguas abajo permanece uniforme. La velocidad a través de la sección es razonablemente uniforme y la pérdida de energía es baja. Se presenta el resalto hidráulico débil.

La disipación de energía va del 5 al 15%.

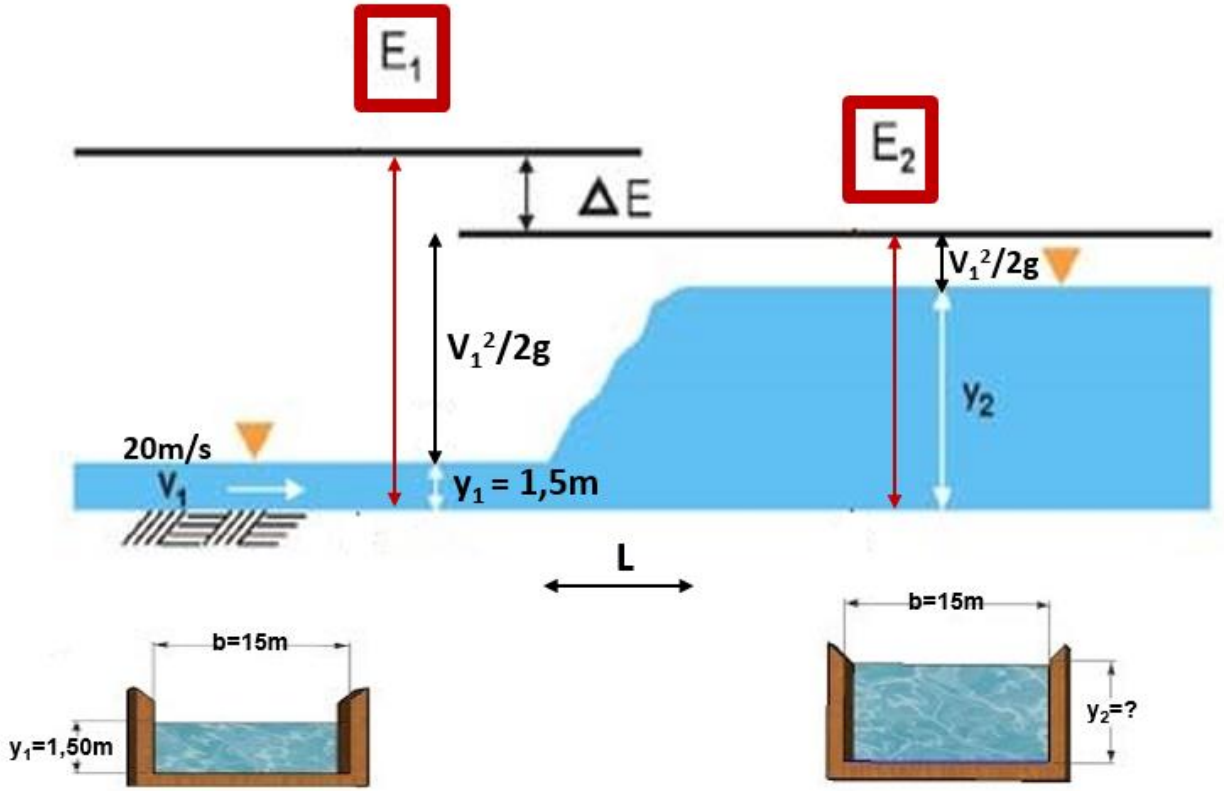
F1 = 4.5 a 9.0, la extremidad de aguas abajo del remolino superficial y el punto sobre el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurren en la misma sección vertical. La acción y la posición de este resalto son menos sensibles a la variación en la profundidad de aguas abajo. El resalto se encuentra bien balanceado, con mayor estabilidad y el rendimiento es mejor. La disipación de energía varía de 45 % a 70 %. Se presenta *resalto hidráulico permanente o estable*.

F1 > 9, el chorro de alta velocidad choca con paquetes de agua intermitentes que corren hacia abajo a lo largo de la cara frontal del resalto, generando ondas hacia agua abajo. Existe gran ondulación de la superficie con tendencia de traslado de la zona de régimen supercrítico hacia aguas abajo. La acción del resalto es brusca pero efectiva debido a que la disipación de energía puede alcanzar un 85%. Se produce el resalto hidráulico fuerte.

F1 = 1	→	No se produce resalto.
F1 = 1 a 1.7	→	Resalto Ondulante (Disipación < 5%)
F1 = 1.7 a 2.5	→	Resalto débil (Disipación entre 5– 15%)
F1 = 2.5 a 4.5	→	Resalto Oscilante (Disipación entre 15 – 45%)
F1 = 4.5 a 9.0	→	Resalto Permanente o estable (45% a 70% de disipación de energía)
F1 > 9	→	Resalto Fuerte (85% de disipación de energía)

En la práctica se recomienda mantener el resalto hidráulico en la condición de **resalto oscilante**, por cuanto se trata de un resalto bien formado y accesible en las condiciones de flujo reales, si bien la disipación que se logra no alcanza los mejores niveles. En los casos de resaltos permanente y fuerte, las condiciones hidráulicas aguas abajo son muy exigentes y difíciles de cumplir en la práctica.

EJERCICIO 1: Aguas abajo de un canal rectangular de ancho b = 15 m se produce un resalto hidráulico. El tirante aguas arriba del mismo es de y_1 = 1,5 m y la velocidad de 20 m/s. Calcular: a) El número de Froude de ingreso y salida del resalto. b) El tirante y velocidad aguas abajo del resalto. c) Potencia disipada en kW. d) Longitud del resalto. e) Eficiencia Porcentual.



a.- Cálculo de los números de Froude

- **F_1 (Ingreso)**

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gD_1}}$$

$D_1 = y_1$ (Canales rectangulares)

$$F_1 = \frac{20}{\sqrt{9{,}8*1{,}5}}$$

$F_1 = 5{,}216$

- **F_2 (Salida del resalto)**

$$F_2 = \frac{\sqrt{8}*F_1}{(\sqrt{1+8{F_1}^2}-1)^{3/2}}$$

$$F_2 = \frac{\sqrt{8}*5{,}216}{(\sqrt{1+8*5{,}216^2}-1)^{3/2}}$$

$F_2 = 0{,}289$

b.- Tirante y velocidad aguas abajo.

- **y_2 (Tirante aguas abajo)**

$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{8{F_1}^2+1}-1\right)$$

$$y_2 = \frac{1{,}50}{2}\left(\sqrt{8*5{,}216^2+1}-1\right)$$

$y_2 = 10{,}34$ m

- **v_2 (Velocidad aguas abajo)**

$$Q = A_1 * v_1 = 15{,}00 * 1{,}50 * 20$$

$Q = 450\ m^3/s$

$$A_2 = b * y_2 = 15 * 10{,}34 = 155{,}10\ m^2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{450}{155{,}10}; \qquad D = y$$

$v_2 = 2{,}90$ m/s

c.- Cálculo de potencia disipada.

$$P = \gamma * Q * \Delta E\ (Watt)$$

$$\gamma = 9800\ N/m^3$$

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$E_1 = y_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} = 1{,}50 + \frac{20^2}{2*9{,}8}$$

$E_1 = 21{,}91\ m$

$$E_2 = y_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$E_2 = y_2 + \frac{{v_2}^2}{2g} = 10{,}34 + \frac{(2{,}90)^2}{2*9{,}8}$$

$E_2 = 10{,}77\ m$

$$\Delta E = 21{,}91 - 10{,}77$$

$$\boldsymbol{\Delta E = 11{,}14m}$$

(Otra forma de calcular ΔE)

$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 * y_2}$$

$$\Delta E = \frac{(10{,}34 - 1{,}50)^3}{4*10{,}34*1{,}50}$$

$$\boldsymbol{\Delta E = 11{,}14m}$$

Potencia

$$P = \gamma * Q * \Delta E\ (Watt)$$

$$P = 9800\frac{N}{m^3} * 450\frac{m^3}{s} * 11{,}14\ m$$

P = 49.127.400 N*m/s (J/s) [WATT]

P = 49,13 MW

d.- Longitud del Resalto

SIEÑCHIN $L = A(y_2 - y_1)$

Para $z = 0 \rightarrow A = 5$ *(Pág. 63)*

$L = 5(10{,}34 - 1{,}50)$

L = 44,20 m

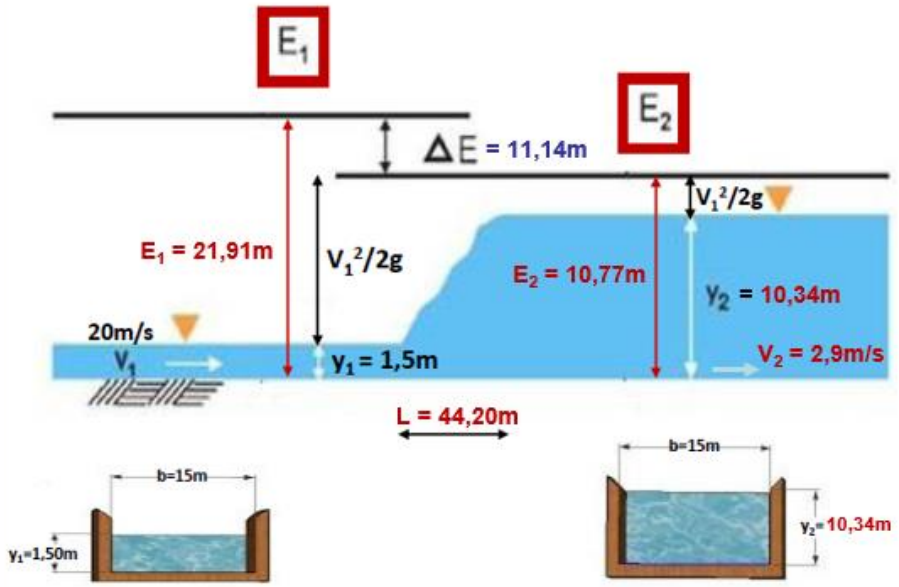
e.- Eficiencia porcentual del resalto.

$$n(\%) = \frac{\Delta E}{E_1} * 100$$

$$n(\%) = \frac{11{,}14}{21{,}91} * 100$$

n = 50,84%

Talud z	0	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
A	5	7.9	9.20	10.6	12.6	15.0



HCANALES la forma más fácil de diseñar canales y estructuras hidráulicas
Tirante-Normal
Tirante-Crítico
Resalto-Hidráulico
Remanso
Caudales
Otros
Medición
Estructuras
Ayuda
Sección Rectangular
Sección Trapezoidal
Sección Parabólica
Sección Circular
INGENIERIA AGRICOLA
IA
I.T.C.R.
MaxSoft
HCANALES
LA FORMA MÁS FÁCIL DE DISEÑAR CANALES
Salir

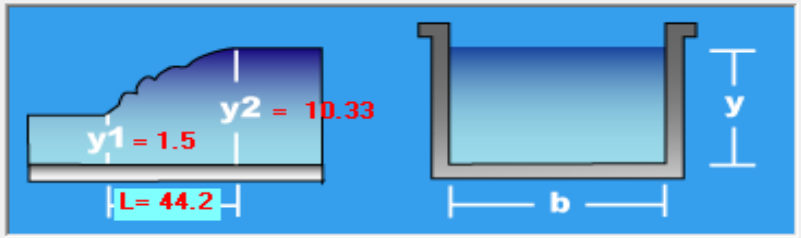
Cálculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular

Lugar:
Tramo:
Proyecto:

Datos:

Caudal (Q):	450	m3/s
Ancho de solera (b):	15	m
Tirante (y):	1.5	m

tirante supercrítico



Resultados:

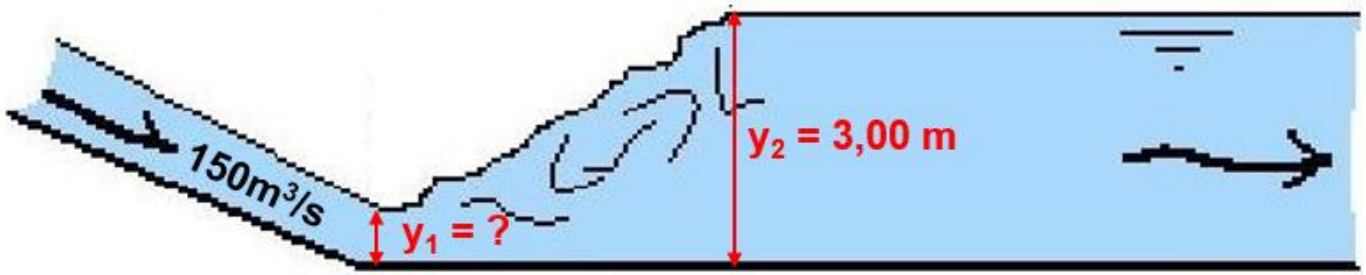
Tirante conjugado (y):	10,3354	m	Número de Froude conjugado (F):	0,2883	
Altura del resalto:	8,8354	m	Longitud del resalto (L):	44,18	m
Pérdida de energía en el resalto:	11,1225	m			

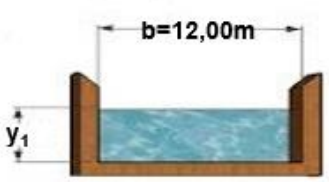
Calcular | Limpiar Pantalla | Imprimir | Menú Principal | Calculadora

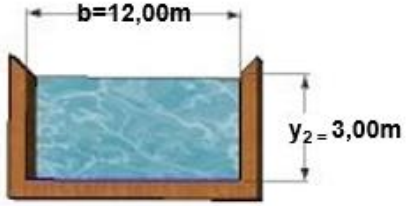
Ejecuta las operaciones | 15:55 | 25/07/2020

EJERCICIO 2.- En un canal rectangular pasa un caudal de 150 m^3/s el canal tiene un ancho de solera de 12 m, en el extremo del canal, sobre el delantal de protección de concreto, el resalto tiene un valor de 3.0m.

a) Determine el calado conjugado menor "y1". b) Indique el tipo de resalto hidráulico de acuerdo a la clasificación del Bureau of Reclamation.







a.- Cálculo del calado conjugado menor "y1".

$$y_1 = \frac{y_2}{2}\left(\sqrt{8F_2{}^2 + 1} - 1\right)$$

$$F_2 = \frac{v_2}{\sqrt{g * y_2}}$$

$$A_2 = b * y_2 = 12{,}00 * 3{,}00 = 36\ m^2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{150}{36}$$

$$\underline{v_2 = 4{,}167\ m/s}$$

$$D_2 = y_2 = 3{,}00\ m$$

$$F_2 = \frac{4{,}167}{\sqrt{9{,}8 * 3{,}00}}$$

$$\underline{F_2 = 0{,}769}$$ **(Flujo Subcrítico)**

$$y_1 = \frac{3{,}00}{2}\left(\sqrt{8 * 0{,}769^2 + 1} - 1\right)$$

$$\boxed{y_1 = 2{,}09\ m}$$

b.- Tipo de resalto.

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gD_1}}$$

$$A_1 = b * y_1 = 12{,}00 * 2{,}09 = 25{,}08\ m^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{150}{25{,}08}$$

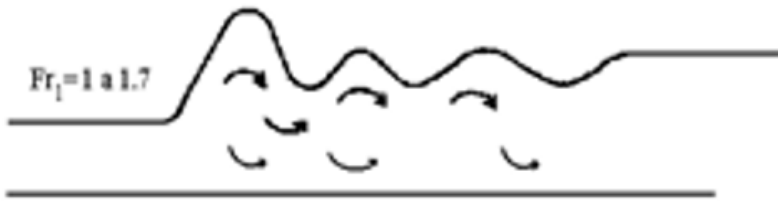
$$\underline{v_1 = 5{,}98\ m/s}$$

$$D_1 = y_1 = 2{,}09\ m$$

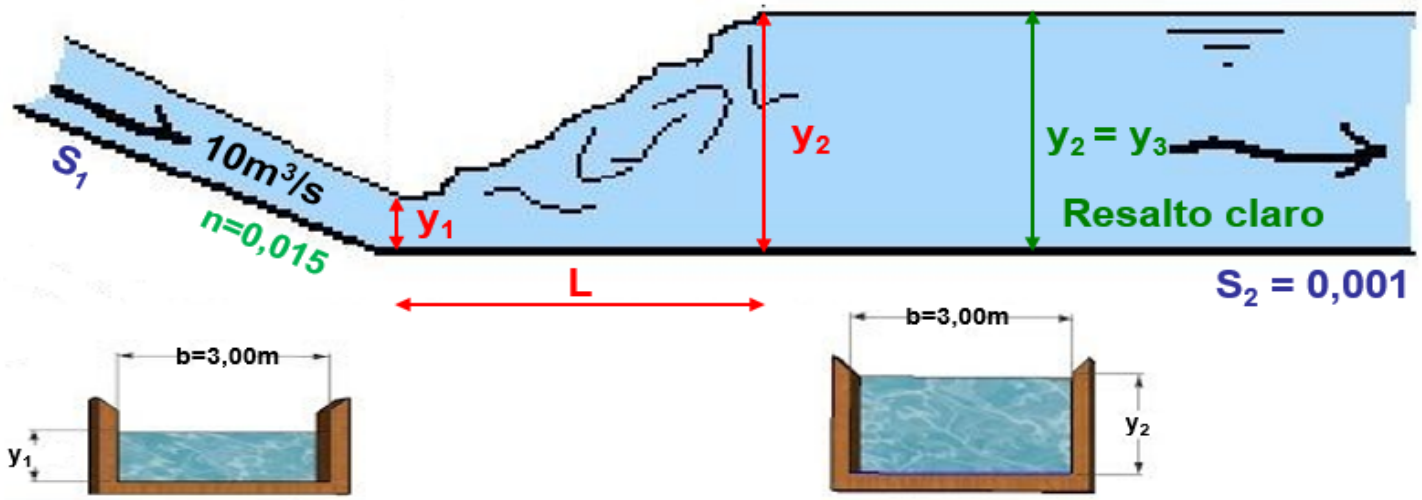
$$F_1 = \frac{5{,}98}{\sqrt{9{,}8 * 2{,}09}}$$

$\mathbf{F_1 = 1{,}32}$

Resalto hidráulico ondulante



EJERCICIO 3.- Se tiene un canal rectangular de hormigón con ancho b = 3 m, por el que circula un caudal Q = 10 m^3/s y tiene una rugosidad de Manning n = 0,015. Este canal tiene un tramo con pendiente fuerte S_1 y otro con pendiente suave S_2. Determinar: a) la profundidad normal en el segundo tramo (S_2 = 0,001), suponiendo que se desarrolla escurrimiento uniforme, b) la pendiente del primer tramo (S_1) sabiendo que justo en la transición de los dos tramos se inicia un resalto hidráulico, c) la pérdida de energía y d) la longitud del resalto.



a.- Cálculo de la profundidad normal y_2.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$10 = \frac{1}{0{,}015}(3y_2)\left(\frac{3y_2}{3+2y_2}\right)^{2/3}(0{,}001)^{1/2}$$

y₂ = 1,806 m

b.- Cálculo de la pendiente aguas arriba.

$$v_1 = \frac{1}{n} * {R_1}^{2/3} * {S_1}^{1/2}$$

$$S_1 = \left[\frac{v_1 * n}{{R_1}^{2/3}}\right]^2$$

- Profundidad antes del resalto y_1.

$$y_1 = \frac{y_2}{2}\left(\sqrt{8{F_2}^2 + 1} - 1\right)$$

$$F_2 = \frac{v_2}{\sqrt{g y_2}}$$

$$A_2 = b * y_2 = 3{,}00 * 1{,}806 = 5{,}418 m^2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{10}{5{,}418} = 1{,}846 m/s;$$

$$D_2 = y_2$$

$$F_2 = \frac{1{,}846}{\sqrt{9{,}8 * 1{,}806}}$$

$F_2 = 0.439$ **(Flujo Subcrítico)**

$$y_1 = \frac{1{,}806}{2}\left(\sqrt{8 * 0{,}439^2 + 1} - 1\right)$$

y₁ = 0,536 m

- Velocidad antes del resalto v_1.

$$A_1 = b * y_1 = 3{,}00 * 0{,}536$$

$$A_1 = 1{,}608\ m^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{10}{1{,}608}$$

$$v_1 = 6{,}219\ m/s$$

- Pendiente aguas arriba.

$$S_1 = \left[\frac{v_1 * n}{{R_1}^{2/3}}\right]^2$$

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{1{,}608}{3+2*0{,}536}$$

$$R_1 = 0{,}395\ m/s$$

$$S_1 = \left[\frac{6{,}219*0{,}015}{0{,}395^{2/3}}\right]^2$$

$$\boldsymbol{S_1 = 0{,}03}$$

c.- Cálculo de la pérdida de Energía.

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$E_1 = y_1 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

$$E_1 = 0{,}536 + \frac{6{,}219^2}{2*9{,}8}$$

$$E_1 = 2{,}509\ m$$

$$E_2 = y_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$E_2 = 1{,}806 + \frac{1{,}846^2}{2*9{,}8}$$

$$E_2 = 1980\ m$$

$$\Delta E = 2{,}509 - 1{,}980$$

$$\boldsymbol{\Delta E = 0{,}529\ m}$$

d.- Longitud del Resalto

SIEÑCHIN

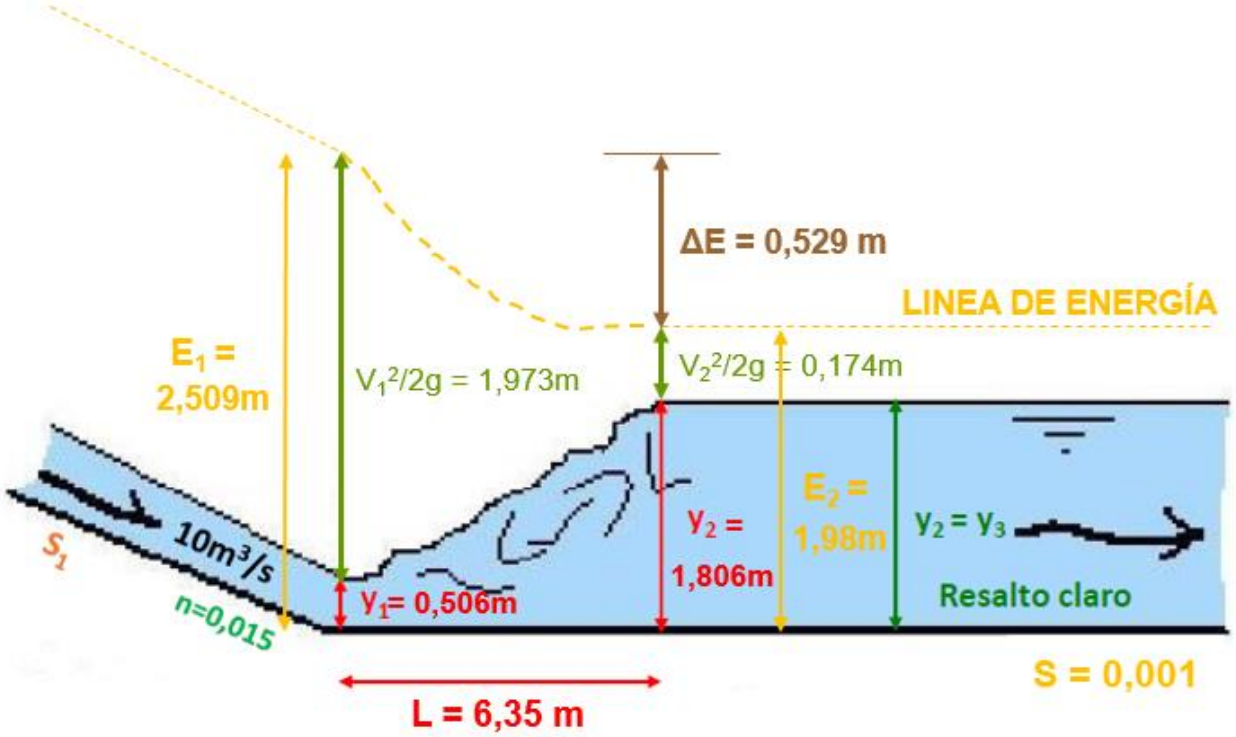
$L = A(y_2 - y_1)$

A = 5, para Z = 0 (Pág. 63)

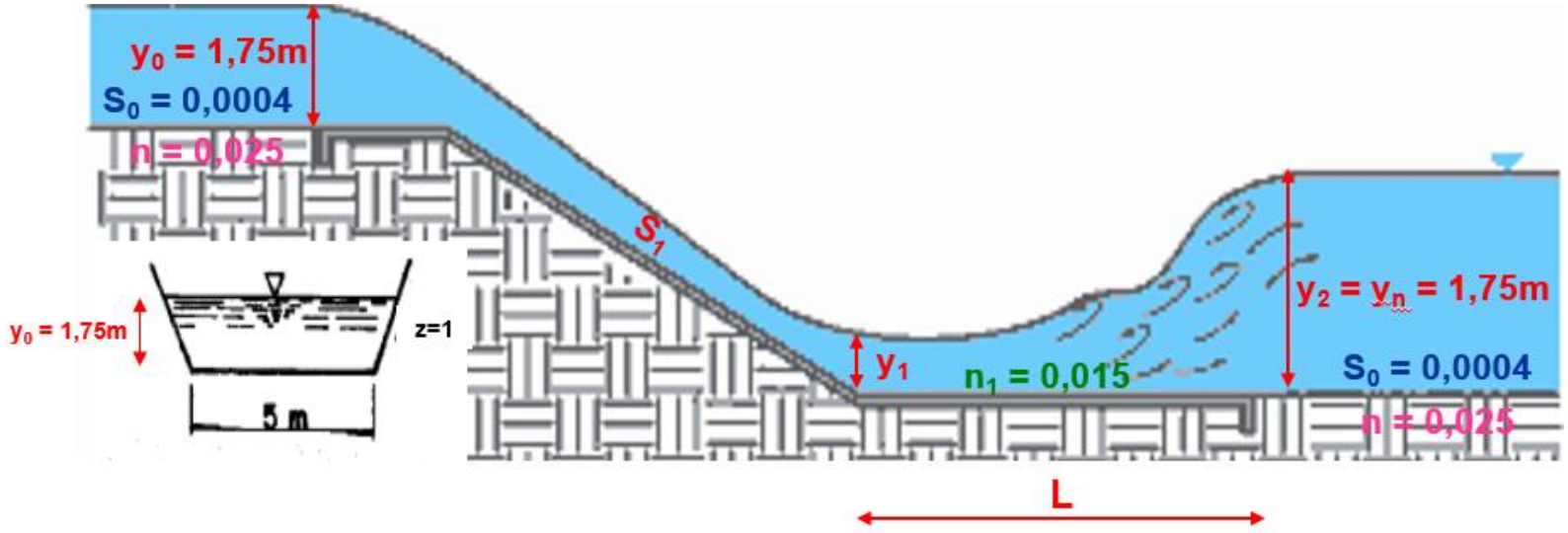
$L = 5(y_2 - y_1)$

$L = 5(1{,}806 - 0{,}536)$

$\underline{\boldsymbol{L = 6{,}35\ m}}$



EJERCICIO 4.- Un canal trapezoidal tiene un ancho de solera de 5 m, con taludes 1:1 para una pendiente de 0.4‰ adopta un calado normal de 1.75 m y tiene un flujo uniforme para n = 0.025; debido a razones topográficas existe un tramo intermedio en el canal con suficiente longitud y pendiente para que se establezca también flujo uniforme pero supercrítico. a) Calcular la pendiente del tramo intermedio de manera que se produzca un resalto hidráulico inmediatamente después de que se termine dicho tramo, el cual deberá revestirse de hormigón (n = 0.015) debido al aumento de velocidad. b) Calcular la longitud del resalto.



a.- Cálculo de la pendiente en el tramo intermedio (S_1)

- Cálculo del Caudal.

$$Q = A_0 * v_0$$

$$A_0 = by_0 + zy_0{}^2$$

$$A_0 = 5{,}00 * 1{,}75 + 1 * 1{,}75^2$$

$$\underline{A_0 = 11{,}813\ m^2}$$

$$P_0 = b + 2y_0\sqrt{1 + z^2}$$

$$P_0 = 5{,}00 + 2 * 1{,}75 * \sqrt{1 + 1}$$

$$\underline{P_0 = 9{,}95\ m}$$

$$R_0 = \frac{A_0}{P_0}$$

$$R_0 = \frac{11{,}813}{9{,}95}$$

$$\underline{R_0 = 1{,}187\ m}$$

$$v_0 = \frac{1}{n} R_0{}^{2/3} * S_0{}^{1/2}$$

$$v_0 = \frac{1}{0{,}025} * 1{,}187^{2/3} * 0{,}0004^{1/2}$$

$$\underline{\boldsymbol{v_0 = 0{,}897\ m/s}}$$

$$Q = A_0 * v_0$$

$$Q = 11{,}813 * 0{,}897$$

$$\boldsymbol{Q = 10{,}596\ m^3/s}$$

- Cálculo de y_1

$$F_e = \frac{Q^2}{Ag} + A\bar{Z}$$

$$\bar{Z} = \frac{\frac{Zy^3}{3} + \frac{by^2}{2}}{A}$$

$$\bar{Z} = \frac{\frac{1*1,75^3}{3} + \frac{5,00*1,75^2}{2}}{11,813}$$

$$\underline{\bar{Z} = 0,799\ m}$$

$$Fe = \frac{10,596^2}{11,813*9,8} + 11,813 * 0,799$$

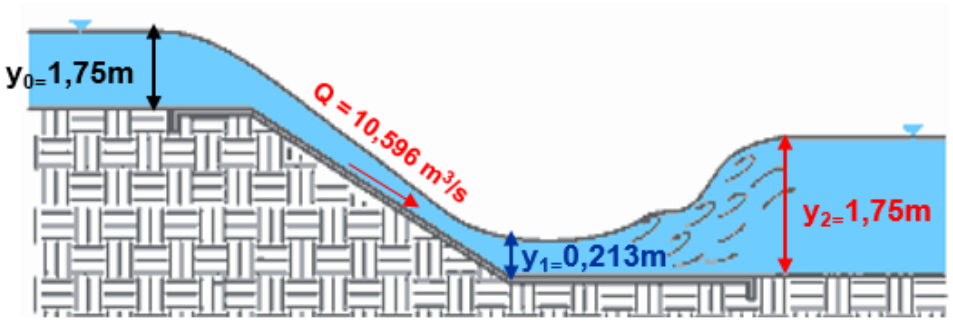
$$\boldsymbol{Fe = 10,408\ m^3}$$

$$F_e = \frac{Q^2}{Ag} + A\bar{Z}$$

$$10,408 = \frac{10,596^2}{(5y+y^2)*9,8} + \frac{y^3}{3} + 2,5y^2$$

$$10,408 = \frac{11,457}{5y+y^2} + \frac{y^3}{3} + 2,5y^2$$

y1 = 0,213 m
y2 = 1,75m



- Cálculo de la pendiente S_1

$$A_1 = by_1 + zy_1^2$$

$$A_1 = 5{,}00 * 0{,}213 + 1 * 0{,}213^2$$

$$A_1 = 1{,}11 m^2$$

$$P_1 = b + 2y_1\sqrt{1+z^2}$$

$$P_1 = 5{,}00 + 2 * 0{,}213 * \sqrt{1+1}$$

$$P_1 = 5{,}602\, m$$

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{1{,}11}{5{,}602} = 0{,}198\, m$$

$$R_1 = 0{,}198\, m$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

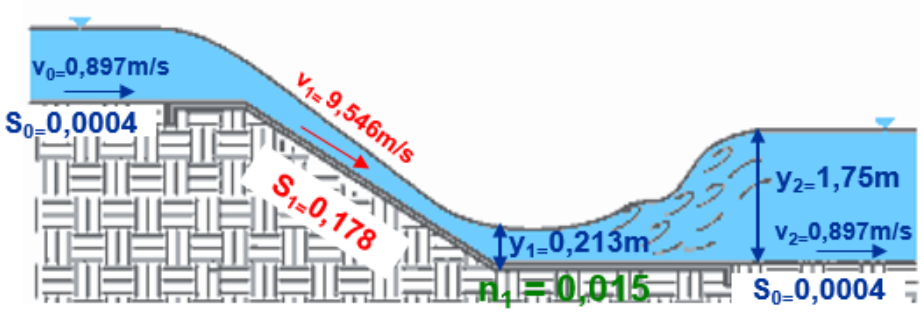
$$v_1 = \frac{10{,}596}{1{,}11}$$

$$v_1 = 9{,}546\, m/s$$

$$S_1 = \left[\frac{v_1 * n_1}{R_1^{2/3}}\right]^2$$

$$S_1 = \left[\frac{9{,}546 * 0{,}015}{0{,}198^{2/3}}\right]^2$$

$$\boldsymbol{S_1 = 0{,}178}$$



b.- Cálculo de la longitud del Resalto

SIEÑCHIN

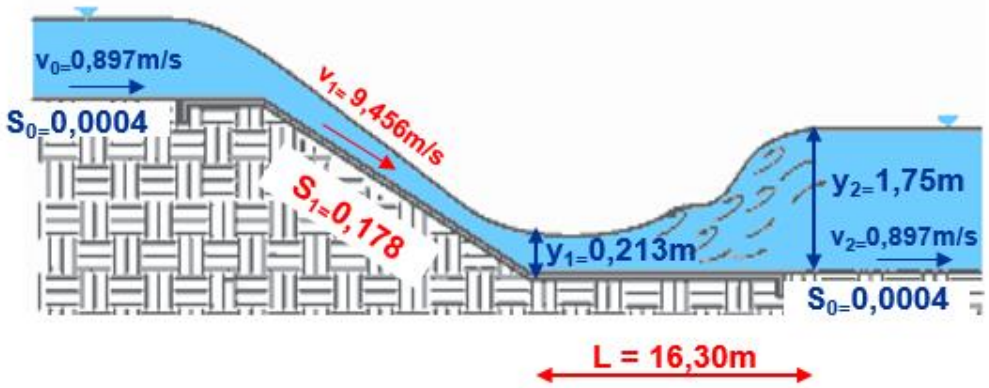
$L = A(y_2 - y_1)$

A = 10,6; para Z = 1

$L = 10{,}6(y_2 - y_1)$

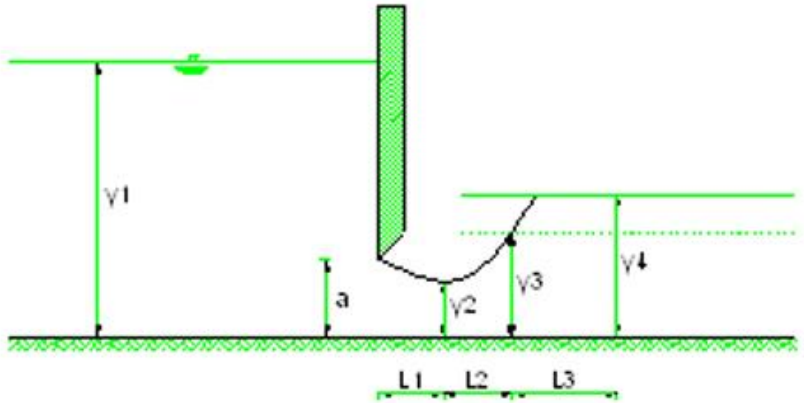
$L = 10{,}6 * (1{,}75 - 0{,}213)$

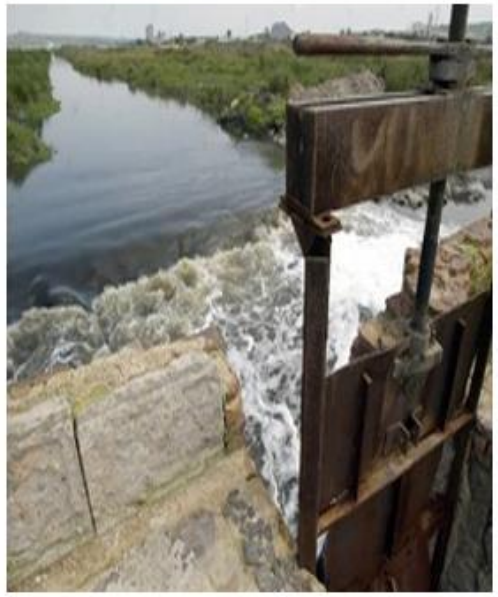
L = 16,30 m



Talud z	0	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
A	5	7.9	9.20	10.6	12.6	15.0

FORMA DEL RESALTO HIDRAULICO BAJO UNA COMPUERTA SUMERGIDA





y_1 = Calado aguas arriba de la compuerta.

y_2 = Calado conjugado menor que corresponde a la sección contraída.

y_3 = Calado conjugado mayor (secuente)

y_4 = Carga de agua. (Nivel aguas abajo)

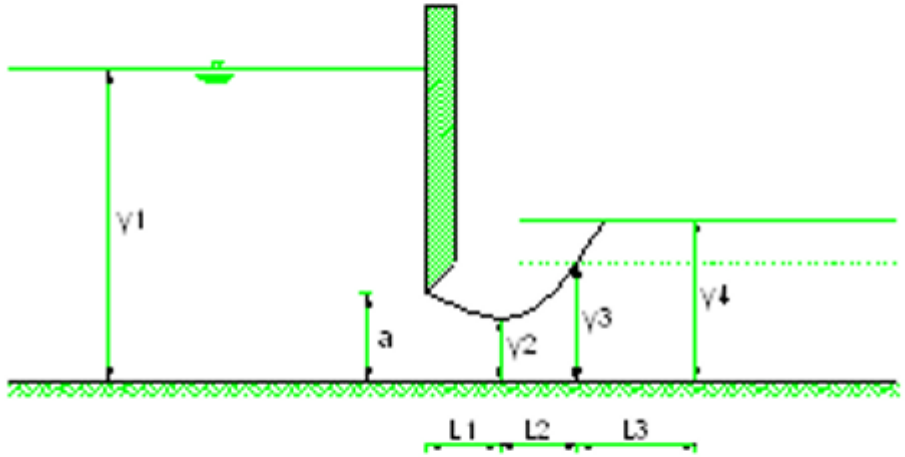
a = Apertura de la compuerta.

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * y_1}$$

Cd = Coeficiente de descarga.

A = Área de la compuerta (a * b)

COEFICIENTE DE DESCARGA



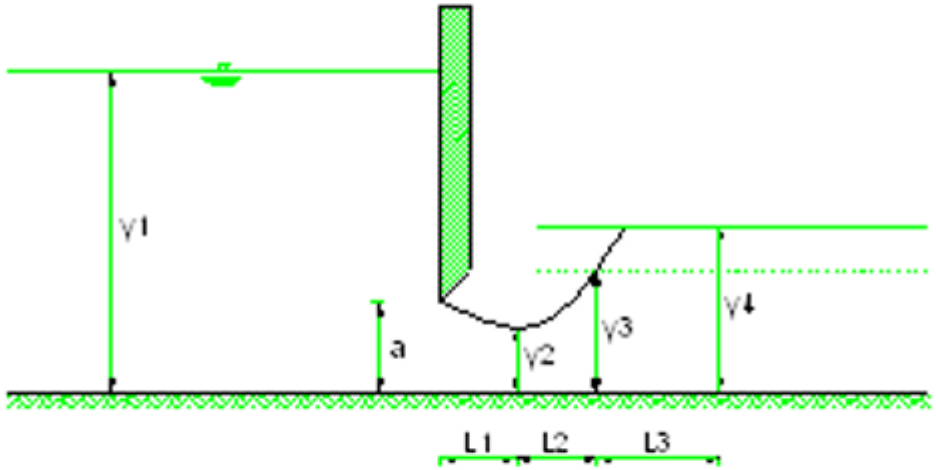
$$C_d = \frac{C_c * C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c * a}{y_1}}}$$

Cc = Coeficiente de contracción (0.62)

Cv = Coeficiente de velocidad

$$C_v = 0.96 + 0.079 \frac{a}{y_1}$$

LONGITUDES Y CALADOS



y_2 = Calado conjugado menor que corresponde a la sección contraída.

$$y_2 = C_c * a$$

y_3 = Calado conjugado mayor (secuente).

$$y_3 = \frac{y_2}{2}\left(\sqrt{8F^2+1}-1\right)$$

L_1 = Longitud sección contraida.

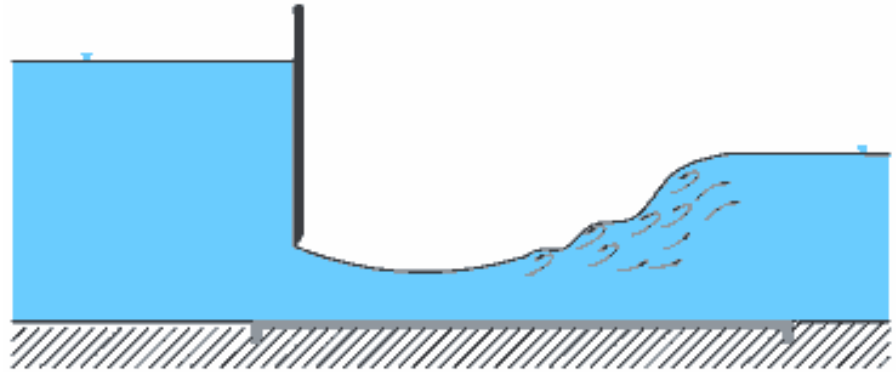
$$L_1 = \frac{a}{C_c}$$

L_R = Longitud del resalto. (L_2)

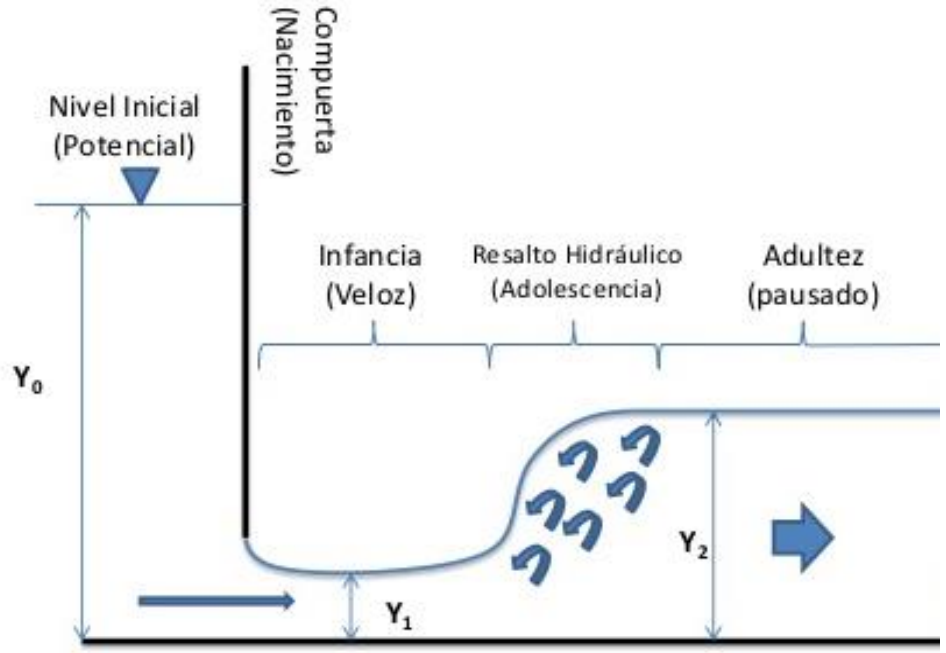
$$L_2 = 5(y_3 - y_2)$$

L_{TR} = Longitud Total

$$L_{TR} = L_1 + L_2$$

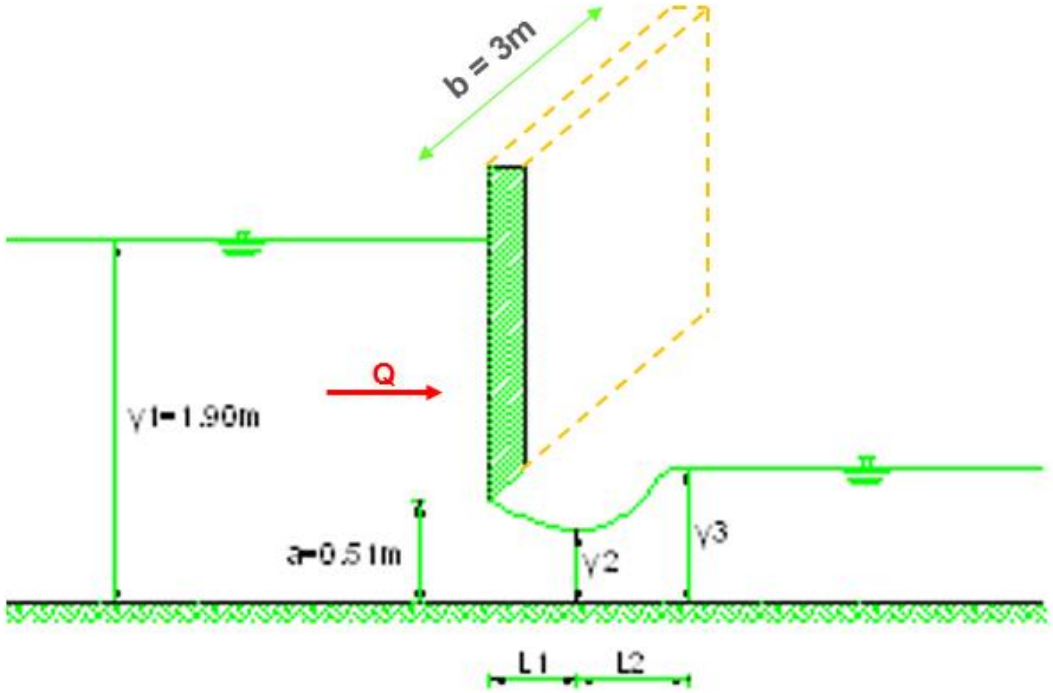


COMPUERTA CON DESCARGA POR EL FONDO



EJERCICIO 1

Una compuerta deslizante tiene un ancho de 3,00 m y una abertura de 0,51 m; el calado antes de la compuerta es de 1,90 m y dicha compuerta regula la descarga a un canal rectangular del mismo ancho el cual será revestido en hormigón (n=0,013). Calcular la pendiente necesaria en dicho canal de manera que se tenga un flujo uniforme subcrítico con una descarga libre de la compuerta, así como la longitud que deberá tener el revestimiento de hormigón para evitar la erosión de la solera.



a.- Cálculo de la pendiente del canal (S_3)

- Determinación del caudal

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * y_1}$$

$$A = b * y = 3{,}00 * 0{,}51 = 1{,}53\, m^2$$

$$A = 1{,}53\, m^2$$

$$C_d = \frac{C_c * C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c * a}{y_1}}}$$

$$C_v = 0{,}96 + 0{,}079 \frac{a}{y_1}$$

$$C_v = 0{,}96 + 0{,}079 \frac{0{,}51}{1{,}90}$$

$\underline{C_v = 0{,}981}$

$$C_d = \frac{0{,}62 * 0{,}981}{\sqrt{1 + \frac{0{,}62 * 0{,}51}{1{,}9}}}$$

$\underline{C_d = 0{,}563}$

$$Q = 0{,}563 * 1{,}53 * \sqrt{2 * 9{,}8 * 1{,}9}$$

$\underline{\boldsymbol{Q = 5{,}26\ m^3/s}}$

- Determinación de los tirantes Antes y después del resalto (y_2 ; y_3)

$$y_2 = C_c * a$$

$$y_2 = 0{,}62 * 0{,}51$$

$\boldsymbol{y_2 = 0{,}316\ m}$

$$y_3 = \frac{y_2}{2}\left(\sqrt{8F^2 + 1} - 1\right)$$

$$F_2 = \frac{v_2}{\sqrt{g D_2}}$$

$$A_2 = b * y_2 = 3{,}00 * 0{,}316 = 0{,}948\ m^2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{5{,}26}{0{,}948} = 5{,}549\ m/s;$$

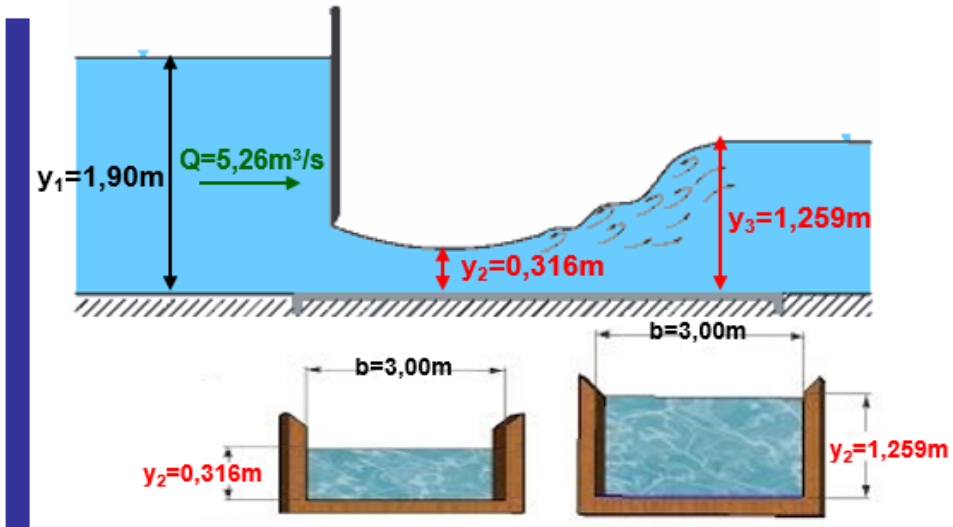
$$D_2 = y_2$$

$$F_2 = \frac{5{,}549}{\sqrt{9{,}8*0{,}316}}$$

$$F_2 = 3{,}15$$

$$y_3 = \frac{0{,}316}{2}\left(\sqrt{8(3{,}15)^2 + 1} - 1\right)$$

$$y_3 = 1{,}259\ m$$



- Determinación de la pendiente del canal.

$$v_3 = \frac{1}{n} * {R_3}^{2/3} * S^{1/2}$$

$$S_3 = \left[\frac{v_3 * n}{{R_3}^{2/3}}\right]^2$$

$$A_3 = b * y_3 = 3{,}00 * 1{,}259$$

$$A_3 = 3{,}777\ m^2$$

$$P_3 = b + 2y_3 = 3{,}00 + 2 * 1{,}259$$

$$P_3 = 5{,}518\ m^2$$

$$R_3 = \frac{A_3}{P_3} = \frac{3{,}777}{5{,}518} = 0{,}685\ m$$

$$v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{5{,}26}{3{,}777} = 1{,}392\ m/s$$

$$S3 = \left(\frac{1{,}392 * 0{,}013}{0{,}685^{\frac{2}{3}}}\right)^2$$

S3= 0,0005

b.- Determinación de L_1, L_2 y L_{TR}

$$L_1 = \frac{a}{C_c}$$

$$L_1 = \frac{0{,}51}{0{,}62}$$

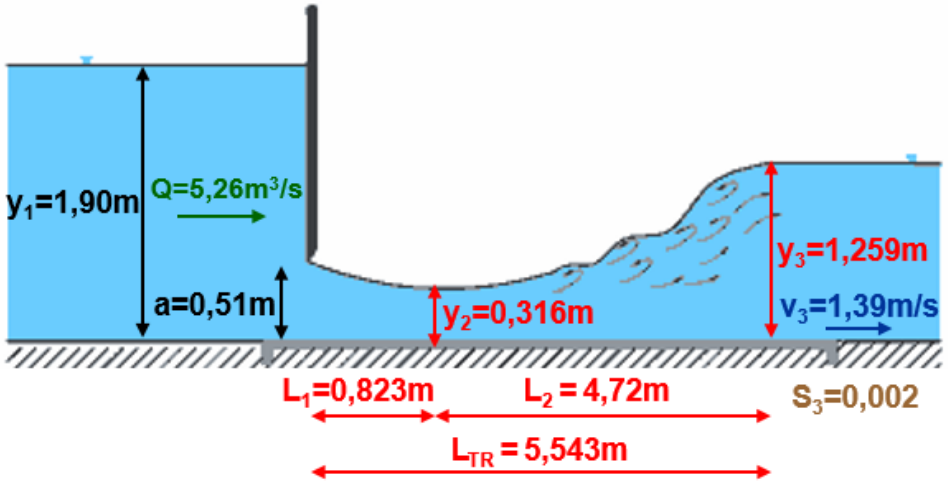
$L_1 = 0{,}823\ m$

$$L_2 = 5(y_3 - y_2)$$

$$L_2 = 5(1{,}259 - 0{,}316)$$

$L_2 = 4.72\ m$

$$L_{TR} = L_1 + L_2$$

$$L_{TR} = 0{,}823 + 4{,}72$$

$L_{TR} = 5{,}543\ m$