

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

“Influencia de la longitud de transición en la pérdida de carga en secciones de canal abierto con el software IBER”

Área de Investigación:

Hidráulica

Autor:

Br. Mogollón Nima Martín Arcadio

Jurado Evaluador:

Presidente: Ing. Sagastegui Plasencia Fidel

Secretario: Ing. Hurtado Zamora Oswaldo

Vocal: Ing. Vertiz Malabrigo Manuel

Asesor:

Ing. García Rivera Juan Pablo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

PIURA – PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/06/21

**“INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE TRANSICIÓN EN LA PÉRDIDA DE CARGA
EN SECCIONES DE CANAL ABIERTO CON EL SOFTWARE IBER”**

AUTOR (ES):

BACH. MARTÍN ARCADIO MOGOLLÓN NIMA

APROBADO POR:

ING. FIDEL SAGASTEGUI PLASENCIA
PRESIDENTE
CIP:32720

ING. OSWALDO HURTADO ZAMORA
SECRETARIO
CIP: 63712

ING. MANUEL VERTIZ MALABRIGO
VOCAL
CIP: 71188

ING. JUAN PABLO GARCÍA RIVERA
ASESOR
CIP: 68614

DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de disfrutar este momento, a mis padres por haberme guiado por el camino correcto y ser quien soy en la actualidad y ser mis más grandes ídolos, a mis hermanos por ser mi motivo a seguir siempre adelante, a mi amor de mi vida con mi hermoso bebé que viene en camino con la bendición de Dios.

MARTÍN ARCADIO MOGOLLÓN NIMA

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la vida que le da a mis padres y mi familia, por bendecirme cada día y darme la dicha que tener mi propia familia con quienes estoy compartiendo día a día y me brindan su infinito amor.

Gracias a mis padres por el apoyo brindado durante todos mis años de vida, gracias por confiar siempre en mí y darme animo en cada momento para seguir adelante con cada consejo, a pesar de todas las dificultades me brindan siempre su respaldo y amor.

Gracias a mis hermanos por estar conmigo en todo momento y a pesar que no soy perfecto, sé que soy su imagen a seguir y por el que siempre velarán para que esté siempre bien.

Gracias a todas las personas que creyeron en mí y estuvieron en los momentos más difíciles de mi vida brindándome su respaldo.

MARTÍN ARCADIO MOGOLLÓN NIMA

RESUMEN

Esta investigación está enfocada en analizar las pérdidas de carga que se generan en los canales por efecto de transiciones para el cambio gradual de sección. En muchos casos el diseño de estas transiciones se hace enfocada en el espacio que se cuenta o viéndolas desde el punto de vista económico.

Para este análisis se ha calculado las pérdidas de acuerdo a la metodología recomendada por el USBR (United State Bureau Reclamation) y se ha contrastado con los resultados obtenidos en el modelamiento numérico bidimensional.

De acuerdo a la metodología del USBR el fondo de las transiciones tiene que seguir adaptarse al perfil de flujo y en el modelamiento se utilizó el fondo con la pendiente de los canales observándose que se presentan ondulaciones en la salida de la transición, incrementándose en secciones que van de rectangulares a trapezoidales.

ABSTRACT

This research is focused on analyzing the head losses that are generated in the channels due to the effect of transitions for the gradual change of section. In many cases, the design of these transitions is done focused on the space that is counted or seeing them from the economic point of view.

For this analysis, the losses have been calculated according to the methodology recommended by the USBR (United State Bureau Reclamation) and have been contrasted with the results obtained in the two-dimensional numerical modeling.

According to the USBR methodology, the bottom of the transitions must continue to adapt to the flow profile and in the modeling the bottom with the slope of the channels was used, observing that undulations appear at the exit of the transition, increasing in sections that They range from rectangular to trapezoidal.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el reglamento interno de la Escuela profesional de Ing. Civil, ponemos a vuestra disposición el presente trabajo de suficiencia profesional titulado: INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE TRANSICIÓN EN LA PÉRDIDA DE CARGA EN SECCIONES DE CANAL ABIERTO CON EL SOFTWARE IBER.

Para obtener el título profesional de ingeniero civil, así como algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería.

Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra Universidad.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
PRESENTACIÓN	7
INDICE DE CONTENIDOS	8
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE FIGURAS	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. <i>Problema</i>	10
1.2. <i>Objetivo</i>	11
1.3. <i>Justificación del estudio</i>	11
II. MARCO DE REFERENCIA	11
2.1. <i>Antecedentes del Estudio</i>	11
2.2. <i>Marco Teórico</i>	13
2.3. <i>Marco Conceptual</i>	46
2.4. <i>Hipótesis</i>	47
2.5. <i>Variables</i>	47
2.6. <i>Operacionalización de Variables</i>	47
III. METODOLOGIA EMPLEADA	48
3.1. <i>Tipo y Nivel de Investigación</i>	48
3.2. <i>Población y Muestra de Estudio</i>	48
3.3. <i>Diseño de Investigación</i>	48
3.4. <i>Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos</i>	48
IV. RESULTADOS	49
4.1. <i>CALCULO DE PERDIDAS</i>	49
4.2. <i>MODELAMIENTO HIDRÁULICO</i>	62
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	75

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
---------------------------------------	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del canal.....	31
Tabla 2. Borde en función del caudal	33
Tabla 3. Borde Libre en función del ancho de solera.....	33
Tabla 4. Taludes apropiados para distintos tipos de material	34
Tabla 5. Secciones de canales	34
Tabla 7. Criterio de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n	39
Tabla 8. Operacionalización de Variables.....	47
Tabla 9. Escenarios de estudio.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Función de Distribución Normal.....	16
Figura 2. Proceso de selección de una distribución teórica	17
Figura 3. Diferentes tipos de flujos en canales abiertos.....	36
Figura 4. Tipos de flujos en canales abiertos.....	37
Figura 5. Tabla de Coeficiente de Rugosidad de Manning	38
Figura 6. Vista isométrica de una transición en un canal	40
Figura 7. Vista en planta de una transición.	41
Figura 8. Transiciones bruscas en el ancho (expansión)	41
Figura 9. Transiciones bruscas en el ancho (contracción).	42
Figura 10. Transiciones graduales (expansión)	42
Figura 11. Transiciones graduales (Contracción)	43
Figura 12. Pérdidas en transiciones bruscas en escalón	43
Figura 13. Pérdidas en transiciones bruscas en el ancho	44
Figura 14. Coeficiente k_i	44
Figura 15. Coeficiente C_i	45
Figura 16. Coeficiente C_i	46

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática

La transición es una estructura que se usa para ir modificando en forma gradual la sección transversal de un canal cuando se tiene que unir dos tramos con diferentes formas de sección transversal, pendiente o dirección. (Villon Bejar, 2008)

En la realidad es difícil que un canal abierto mantenga su misma sección geométrica, pendiente o dirección debido al relieve del lugar que deben seguir, por lo tanto, se debe recurrir a las transiciones originando una perturbación del flujo y con ello una pérdida de carga reduciendo la eficiencia en el transporte del flujo.

Un cambio repentino en la sección, sea convergente o divergente, pueden provocar ondas que originarían perturbaciones. A pesar de ello, las investigaciones sobre transiciones de canales abiertos han sido comparativamente menor en cantidad y la gran mayoría que podremos encontrar nos muestran resultados obtenidos en base a un análisis unidimensional.

Por ende, es necesario estudiar que tanto influye la longitud de las transiciones en las pérdidas de carga para diferentes escenarios de caudal, pendiente y características convergente/divergente dependiendo del ángulo de la transición para controlar la separación del flujo y poder diseñar lo mejor posible las estructuras hidráulicas.

Por lo expuesto, la presente tesis tiene como finalidad analizar en qué medida influye la longitud de la transición con las pérdidas de carga en secciones de canal abierto para ello se trabajará con 3 caudales $Q=1\text{m}^3/\text{s}$, $Q= 5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $10 \text{ m}^3/\text{s}$, cada caudal con 4 escenarios diferentes (12 escenarios en total), para el modelamiento de las transiciones en los diferentes escenarios se utilizará el software Iber 2.5.1.

1.1.2. Formulación del Problema

¿En qué medida influye la longitud de transición con las pérdidas de carga en secciones de canal abierto con el modelamiento en el software Iber?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo General

Analizar la influencia de la longitud de transición con las pérdidas de carga en secciones de canal abierto con el software Iber.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Recopilación de información existente sobre transiciones en canales abiertos.
- Generar la geometría tridimensional de los diferentes escenarios de estudio.
- Realizar los cálculos analíticos de pérdidas de carga para los diferentes escenarios.
- Realizar los modelos numéricos bidimensionales de los diferentes escenarios.

1.3. Justificación del estudio

El presente estudio se justifica académicamente porque permite aplicar los conocimientos estudiados en la rama de hidráulica en el diseño transiciones de canales abiertos.

Está orientado técnicamente a realizar el diseño de las transiciones en canales abiertos y así poder tener una idea clara de cómo se relacionan la longitud de la transición con la pérdida de carga basándonos en modelos numéricos.

Socialmente orientada como un estudio base para ser tomado como referencia para posibles estudios o diseños acerca del diseño de las transiciones en canales abiertos.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. A nivel Internacional

TÍTULO: “BASES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE TRANSICIONES EN FLUJO SUBCRÍTICO Y SUPERCRÍTICO”

AUTOR: JARRÍN CORAL MÓNICA FABIOL

UNIVERSIDAD: Universidad Central del Ecuador

AÑO: 2014

La presente investigación tuvo como finalidad ser un aporte para los estudiantes de Ingeniería Civil, en el diseño hidráulico de transiciones en flujo subcrítico y supercrítico, desarrollando una hoja de cálculo para la obtención rápida del dimensionamiento de esta estructura hidráulica. El estudio realizado de este proyecto nos dio como resultado la obtención de un conocimiento más profundo sobre las estructuras hidráulicas llamadas transiciones, viendo a fondo como trabajan los diferentes tipos de flujo que se puedan presentar. Se obtuvo buenos resultados al aplicar la hoja de cálculo creada para los ejercicios teóricos, comprobando así la realización correcta de la hoja de cálculo, y cumpliendo con los objetivos planteados.

TÍTULO: “DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA OBRA DE TRANSICIÓN CONVERGENTE-DIVERGENTE EN EL CANAL TRASVASE ALACRANES-PAVÓN”

AUTOR: RAINIER ALVAREZ ROJAS

UNIVERSIDAD: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

AÑO: 2015

La investigación llegó a la siguiente conclusión: En una sección rectangular variable conformada por 3 secciones, se dimensiona una transición convergente divergente, del cual el ancho vario escalonadamente desde los 3m a 2.32m donde al mismo tiempo la velocidad de circulación va acrecentándose hasta los 3 m/s. Dicho resultados parten sobre la base de la menor perturbación posible del perfil del flujo dando así resultados aceptables en el diseño de nuestro canal.

2.1.2. A nivel Nacional

TÍTULO: “ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN CANALES TRAPEZOIDALES ABIERTOS CON CAMBIOS DE AMPLIFICACIÓN Y CONTRACCIÓN BRUSCA DEL ANCHO”

AUTOR: PIERO ARENAS ALVARADO

UNIVERSIDAD: Universidad Privada del Norte

AÑO: 2019

La siguiente tesis tuvo como procedimiento modificar un canal de sección rectangular a trapezoidal, agregando los cambios bruscos de ancho del canal; seguidamente se usaron caudales diferentes a una sola pendiente en 3 porcentajes de sección, para obtener la pérdida de energía local de forma experimental, visualizando una disminución del tirante hidráulico cuando existe una contracción y ampliación. Finalizamos identificando que la ecuación más adecuada para una ampliación brusca, es la ecuación general, demostrando así un rango de valores para 10%, 25% y 40% de <0.20, 0.45>; <0.44,0.97>; <0.25,0.54> por el contrario, para una contracción grotesca, es la ecuación de Formica la más adecuada, con un rango de valores para los mismos porcentajes de <3.70, 13.51>; <3.06, 6.16>; < 1.27, 1.68 > para el coeficiente “K” respectivamente.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Hidrología

2.2.1.1. Parámetros Estadísticos

A) Media. - Es el valor esperado de la variable misma, muestra la tendencia central de la distribución. (Villón, 2007b)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Donde:

n : número de datos.

X_i : valor i de la muestra.

\bar{X} : media.

B) Varianza.- Mide la variabilidad de los datos.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Donde:

\bar{X} : media.

S^2 : varianza.

x_i : valor i de la muestra.

- El divisor $n-1$ en lugar de n es para asegurar que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir que no tenga tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero. (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2016)

C) Desviación Estándar. - La desviación estándar, se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza. (Villón, 2007b)

$$s = \sqrt{S^2}$$

D) Coeficiente de Variación.- Es una medida que relaciona la desviación estándar y la media.(Villón, 2007b)

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}}$$

Donde:

Cv : coeficiente de variación.

\bar{X} : media.

S : desviación estándar.

E) Coeficiente de Asimetría

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)(S^3)}$$

Donde:

n : número de datos.

S : desviación estándar.

X_i : valor i de la muestra.

\bar{X} : media.

2.2.1.2. Período de Retorno (T)

- Se define el período de retorno T, como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud x puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Así, si un evento igual o mayor a x, ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P, es igual a 1 en T casos. (Villón, 2007b)

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T}$$

Donde:

P(X ≥ x): Probabilidad de ocurrencia de un evento ≥ x.

X: Variable aleatoria.

x: Valor particular que toma la variable aleatoria.

T : Período de retorno.

- La probabilidad de que x no ocurra en cualquier año; es decir, la probabilidad de ocurrencia <x.

$$P(x < X) = 1 - P(X \geq x)$$

De donde:

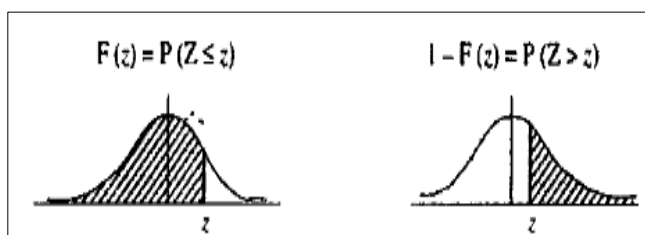
$$P(x < X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Entonces:

P(X > x): Probabilidad de excedencia.

P(X ≤ x): Probabilidad de no excedencia.

Figura 1. Función de Distribución Normal



Fuente: Villon,2007

$$Fz = P(Z \leq z) = z$$

$$Fz = 1 - P(Z > z) = z$$

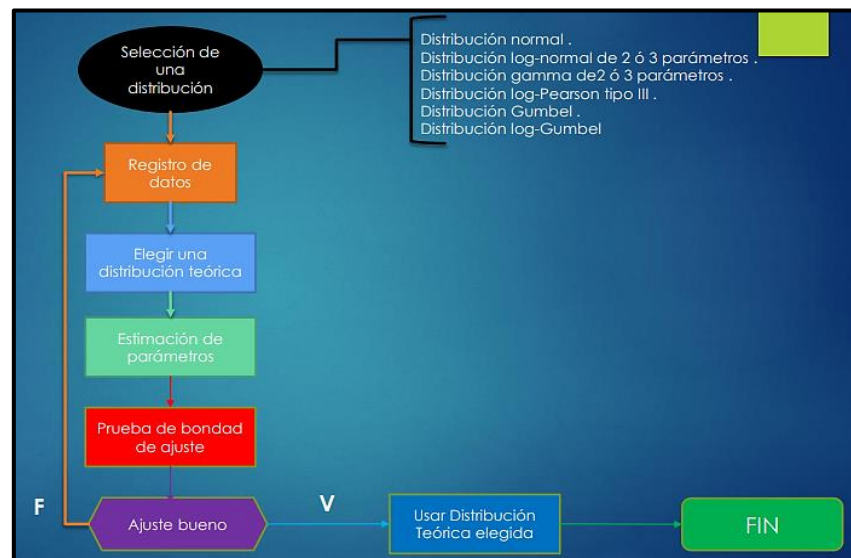
2.2.1.3. Modelos de Distribución

- En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:

- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal 2 parámetros.
- Distribución Log Normal 3 parámetros.
- Distribución Gamma 2 parámetros.
- Distribución Gamma 3 parámetros.
- Distribución Log Pearson tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel.

- Si existen datos de aforo en cantidad suficiente, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan los caudales para los períodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años) usando las distribuciones de probabilidad teórica.

Figura 2. Proceso de selección de una distribución teórica



Fuente: Villón, 2007

A) Distribución Normal

- Es una distribución simétrica en forma de campana, también conocida como Campana de Gauss. (Villón, 2007b)

a) Estimación de Parámetros

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

b) Cálculo del caudal de diseño

$$Q = X_t = \bar{X} + K * S$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética de x.

$K = z$: Factor de frecuencia

S = Desviación Estándar.

B) Distribución Log Normal II Parámetros

a) Estimación de Parámetros

$$\mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \mu_y)^2}{n-1}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_y^2}$$

b) Cálculo del caudal de diseño

$$\ln Q = \ln(X_t) = \mu_y + K * \sigma_y$$

Donde:

μ_y : Media de los logaritmos de la población.

σ_y : Desviación estándar de los logaritmos de la población.

x : Variable independiente. (Q máximo para cada año).

$K=z$ Factor de frecuencia

C) Distribución Log Normal III Parámetros

a) Estimación de Parámetros

$$\mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i - x_0)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\ln(x_i - x_0) - \mu_y)^2}{n-1}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_y^2}$$

$$X_0 = \frac{x_i x_n - x^2 \text{mediana}}{x_i + x_n - 2x \text{mediana}}$$

b) Cálculo del caudal de diseño

$$Q = X_t = x_0 + \text{Exp}[\mu_y + \sigma_y * K]$$

Donde:

μ_y : Media de los logaritmos de la población.

σ_y : Desviación estándar de los logaritmos de la población.

x_0 : Parámetro de posición

$K=z$: Factor de frecuencia

D) Distribución Gamma II Parámetros

a) Estimación de Parámetros

$$0 \leq Y \leq 0.5772$$

$$Y = \frac{(0.5000876 + 0.1648852Y - 0.0544274Y^2)}{Y}$$

$$0.5772 \leq Y \leq 17.0$$

De donde:

$$Y = \frac{(8.898919 + 9.05995Y + 0.9775373Y^2)}{Y(17.79728 + 11.968477 + Y^2)}$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$
$$\overline{\ln X} = \sum_{i=1}^n \ln x_i$$

$$Y = \ln \bar{X} - \overline{\ln X}$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética de x.

$\overline{\ln X}$: Media de los logaritmos.

Y : Diferencia de la media aritmética y la media de logaritmos

Υ = Parámetro de forma.

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\Upsilon}$$

Donde:

β : Parámetro de escala.

b) Cálculo del caudal de diseño

$$Q = X_t = \frac{\chi^2 \beta}{2}$$

Donde:

χ^2 : Chi cuadrado calculado en función de $\nu = 2\Upsilon$ y 1-F(Z).

β : Parámetro de escala.

E) Distribución Gamma III Parámetros

a) Estimación de Parámetros

$$\Upsilon = \frac{4}{C_s}$$

$$\beta = \frac{C_s * S}{2}$$

$$x_o = \bar{X} - \frac{2 * S}{C_s}$$

Donde:

Υ : Parámetro de escala

β : Parámetro de forma.

x_o : Parámetro de posición.

\bar{X} : Media aritmética de x.

b) Cálculo del caudal de diseño

$$Q = X_t = \bar{X} + K * S$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética de x.

S : Desviación estándar.

K: Factor de frecuencia cuyo valor está en función del Cx y la probabilidad de excedencia P(X>x).

Cs: Coeficiente de asimetría.

F) Distribución Log Pearson tipo III

a) Estimación de Parámetros

$$Y = \frac{4}{Cs \ln x^2}$$

$$\beta = \frac{Cs \ln x * S \ln x}{\bar{X} \ln x} \quad \alpha = \frac{2 * S \ln x}{Cs \ln x}$$

Donde:

Y : Parámetro de escala

β : Parámetro de forma.

α : Parámetro de posición.

$\bar{X} \ln x$: Media de los logaritmos.

S $\ln x$: Desviación estándar de los logaritmos.

Cs $\ln x$: Coeficiente de asimetría de los logaritmos.

b) Cálculo del caudal de diseño

$$\ln Q = \ln X_t = \bar{X} \ln x + K S \ln x$$

Donde:

$\bar{X} \ln x$: Media de los logaritmos.

S $\ln x$: Desviación estándar de los logaritmos.

K: Factor de frecuencia cuyo valor está en función del Cx y la probabilidad de excedencia $P(X>x)$.

G) Distribución Gumbel

a) Estimación de Parámetros

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$
$$\mu = \bar{X} - 0.45S$$

Donde:

μ : Parámetro de posición.

S : Desviación estándar.

α : Parámetro de escala.

b) Cálculo del caudal de diseño

$$Q = Xt = \mu + K * \alpha$$

$$Y = (-\ln(-\ln(F(z))))$$

Donde:

μ : Parámetro de posición.

α : Parámetro de escala.

$K= Y$: Factor de frecuencia.

H) Distribución Log Gumbel

a) Estimación de Parámetros

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S_{\ln x}$$
$$\mu = \bar{X}_{\ln x} - 0.45S_{\ln x}$$

Donde:

μ : Parámetro de posición.

$S_{\ln x}$: Desviación estándar de los logaritmos.

$\bar{X} \ln x$: Media de los logaritmos.

α : Parámetro de escala.

b) Cálculo del caudal de diseño

$$\ln Q = \ln X_t = \mu + K * \alpha$$

$$Y = (-\ln(-\ln(F(z))))$$

Donde:

μ : Parámetro de posición.

α : Parámetro de escala.

$K= Y$: Factor de frecuencia.

- Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q , ((MTC), 2015) , entre los métodos utilizados son:
 - Método de la envolvente de descargas máximas de Creager.
 - Método Racional.
 - Hidrograma Unitario.

A) Método de la envolvente de descargas máximas de Creager.

$$Q = (C_1 + C_2) * \log(T) * A^{mA^{-n}}$$

Donde:

A : Área de la cuenca aportante, en km^2 .

T : Periodo de retorno, en años.

C_1, C_2, m y n : son coeficientes que dependen de la zona en estudio.

B) Método Racional

$$Q = \frac{CiA}{3.6}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/s).

C : Coeficiente de escorrentía.

i : Intensidad de lluvia de diseño, en mm/hr.

A : Área de la cuenca, en km².

C) Método del Hidrograma Triangular del Soil Conservation Service

$$Q = 0.208 * \frac{A \cdot Pe}{Tp}$$

Donde:

Pe : precipitación efectiva, en mm.

A : Área aportante, en km²

Tp : tiempo para alcanzar el pico del hidrograma, en horas

Determinación del tiempo para alcanzar el pico (Tp):

El tiempo Tp se determina mediante la ecuación:

$$tp = \frac{de}{2} + tr$$

Donde:

tp : tiempo pico (hr).

tr : tiempo de retraso (hr).

de : duración en exceso (hr).

La duración en exceso, de, se estima con alguna de las siguientes relaciones:

a) para cuencas grandes: $2\sqrt{t}$

b) para cuencas pequeñas: $de = tc$

Donde:

de : duración en exceso (hr).

tc : tiempo de concentración (hr).

El tiempo de retraso, tr , puede estimarse mediante diversas aproximaciones, todas ellas en función del tiempo de concentración, tc . La más sencilla establece que:

$$tr = 0.6 tc$$

A su vez, el tiempo de concentración puede determinarse mediante las ecuaciones usuales que han sido señaladas anteriormente.

Cálculo de la lámina de precipitación efectiva (Pe):

Se determina en primer lugar la lámina de lluvia correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración, para lo cual se hace uso de la expresión de Dyck y Peschke (1978), la cual permite estimar la lámina (P) e intensidad de lluvia para cualquier duración D (en minutos) en función de la precipitación máxima en 24 hr.

$$P = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

Para el cálculo de la precipitación efectiva se hace uso del método del SCS. Este método considera que la precipitación efectiva (Pe) es siempre menor que la precipitación total (P). La reducción se efectúa considerando una abstracción inicial (S) y número

de curva (CN) que toma en cuenta la naturaleza del suelo de la cuenca.

Así, la precipitación efectiva se determina con la relación:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0.80 S} = \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S}$$

Donde: $I_a = 1000 - 10S$; $I_a = 0.20 S$

En las expresiones anteriores:

P_e: precipitación efectiva, en pulgadas

P : precipitación de diseño, en pulgadas

CN : número hidrológico o número de curva (CN = 80 en el presente estudio)

S : abstracción inicial, en pulgadas

2.2.1.3.1. Pruebas de Bondad de Ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales. (Villón, 2007b)

A) Chi Cuadrado

- La prueba Chi-cuadrado se basa en el cálculo de frecuencias, tanto de valores observados, como valores esperados, para un número determinado de intervalos. (Villón, 2007b)

a) Expresión General

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$\sum_{i=1}^k \theta_i = \sum_{i=1}^k e_i = N$$

Donde:

χ^2 : Valor calculado de Chi-cuadrado, a partir de los datos.

θ_i : Número de valores observados en el intervalo de clase i.

e_i : Número de valores esperados en el intervalo de clase i.

k: Número de intervalos de clase.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - NP_i)^2}{NP_i}$$

Donde:

N_i: Número de observaciones que caen dentro de los límites de clases ajustadas del intervalo i.

N: Tamaño muestral.

P_i : Probabilidad igual para todos los intervalos de clases.

$$P_i = \frac{1}{k} \quad \text{o} \quad e_i = P_i N$$

Se obtiene la siguiente formulando simplificando:

$$\chi^2 = \frac{K}{N} \sum_{i=1}^K N_i^2 - N$$

- El valor de χ^2 se compara con el χ^2 de la tabla N°, cuyo valor se denomina con:

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$ ó $\alpha = 0.01$

Grado de libertad: $g.l = k - 1 - h$

Donde:

h : es el número de parámetros a estimarse, así:

h : 2, para la distribución normal

h: 3, para la distribución log-normal de 3 parámetros.

b) Criterio de decisión

- El cálculo de decisión se fundamenta en la comparación del valor calculado de Chi cuadrado con el valor tabulado encontrado, es decir:

$$\chi_c^2 \leq \chi_t^2 \quad \text{Ajuste Bueno}$$

$$\chi_c^2 \geq \chi_t^2 \quad \text{Ajuste Malo}$$

c) Consideraciones

- Es aplicable sólo para ajustes a la distribución normal, puesto que ha sido desarrollado con base en los datos normales e independientes. (Villón, 2007b)
- En la práctica se usa para cualquier modelo de ajuste, pero estrictamente es válido sólo para la normal. (Villón, 2007b)

B) Smirnov- Kolmogorov

- Consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo.

a) Expresión General

$$\Delta = \text{máx } |F(x) - P(x)|$$

Donde:

Δ : Estadístico de Smirnov- Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

F(x): Probabilidad de la distribución teórica.

P(x): Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada.

- El delta teórico Δ tiene su función de distribución de probabilidades.
- Sí Δ_0 (tabular) es valor crítico para un nivel de significación α , se tiene que:

$$P[\text{máx}|F(x) - P(x)| \geq \Delta_0] = \alpha$$

$$o P(\Delta \geq \Delta_0) = 1 - \alpha$$

También:

$$P = (\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha$$

- El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov- Kolmogorov, es el siguiente:

- Calcular la probabilidad empírica o experimental (P_x) de los datos, para esto usar la fórmula de Weibull.

$$P(x) = \frac{M}{N + 1}$$

Donde:

P(x) : Probabilidad empírica o experimental.

M: Muestra de orden

N: Número de datos

- Calcular la probabilidad teórica $F(x)$.
- Calcular las diferencias $P(x)-F(x)$, para todos los valores de x .
- Seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)|$$

- Calcular el valor crítico estadístico Δ , es decir Δ_0 (valor tabular), para $\alpha=0.05$ y N igual al número de datos. Los valores de Δ_0 .

b) Criterio de decisión

$\Delta < \Delta_0$ **Ajuste bueno**

$\Delta \geq \Delta_0$ **Ajuste malo**

c) Consideraciones

- Es aplicable a distribuciones de datos no agrupados, es decir no se requiere hacer intervalos de clase. (Villón, 2007b)
- Es aplicable a cualquier distribución.(Villón, 2007b).

2.2.2. Canales

2.2.2.1. Elementos Geométricos de un canal

A) Tirante.- Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre.(Chow, 1994)

$$y = \left(\frac{Q}{(K_s \cdot B \cdot S^{1/2})} \right)^{3/5}$$

Donde:

y: Tirante (m)

Ks: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho del canal

Q: Caudal de diseño (m^3/s).

B: Ancho estable. (m)

S: Pendiente.

Tabla 1. Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del canal

Tipos de Cauces Naturales	Ks
Cauces con fondo sólido sin irregularidades.	40
Cauces de ríos con acarreo irregular.	33
Cauces de ríos con vegetación.	35
Cauces naturales con derrubio e irregularidades.	30
Cauces de ríos con fuerte transporte de acarreo.	28
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza.	25
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil.	20

Fuente: Nuovo Colombo, Manuale dell'Ingegnere (1990)

B) Área Hidráulica.- Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.(Chow, 1994)

$$A=(B+Zy)y$$

Donde:

A: Área Hidráulica (m²).

B: Ancho Estable (m).

Z:Talud.

y:Tirante (m).

C) Perímetro Mojado.- Es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo. (Chow, 1994)

$$P=B+2y*(1+Z^2)^{1/2}$$

Donde:

P: Perímetro mojado (m).

B: Ancho estable (m).

Z: Talud.

y: Tirante (m).

D) Radio Hidráulico.- Es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado. (Chow, 1994)

$$R = A/P$$

Donde:

R: Radio Hidráulico (m)

A: Área Hidráulica (m²).

P: Perímetro mojado (m).

E) Velocidad Media

$$V = (R^{2/3} * S^{1/2})/n$$

Donde:

V: Velocidad media (m/s)

R: Radio Hidráulico (m)

S: Pendiente.

n: Rugosidad de Manning.

F) Profundidad Hidráulica Media.- Es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie.(Chow, 1994)

$$Y_m = A/B$$

Donde:

Y_m: Profundidad hidráulica media (m).

A: Área hidráulica (m²).

B: Ancho estable (m).

H) Borde Libre.- Es la distancia de la superficie del agua a la parte más alta de las paredes del canal. Se diseña de tal manera que el agua no desborde por efecto de ondas o fluctuaciones del nivel de la superficie libre. (MAZA ALVAREZ, 1998)

Una práctica corriente para canales en tierra, es dejar un borde libre o resguardo o igual a un tercio del tirante, es decir:

$$BL = \frac{y}{3}$$

Mientras que para canales revestidos, el borde libre puede ser la quinta parte del tirante, es decir:

$$BL = \frac{y}{5}$$

Existen también otros criterios prácticos para designar el valor del borde libre.

En relación con el caudal se tiene:

Tabla 2. Borde en función del caudal

Caudal Q (m ³ /s)	Bordo libre (m)
Menores que 0,5	0,30
Mayores que 0,5	0,40

Fuente: Hidráulica de canales, Villon (2007)

En relación con el ancho de solera se tiene:

Tabla 3. Borde Libre en función del ancho de solera

Ancho de solera (m)	Bordo libre (m)
Hasta 0,80	0,40
de 0,80 a 1,50	0,50
de 1,50 a 3,00	0,60
de 3,00 a 20,00	1,00

Fuente: Hidráulica de canales, Villon (2007)

G) Número de Froude

$$F = V/(g \cdot Ym)^{1/2}$$

Donde:

F: Número de Froude.

V: Velocidad media (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

Ym: Profundidad hidráulica media (m).

F > 1 —————> Flujo Supercrítico

F = 1 —————> Flujo Crítico

F < 1 —————> Flujo Subcrítico

H) Taludes en canales

El U.S.B.R. (1978), recomienda un talud único de 1.5:1 (Horizontal: Vertical) para los canales usuales en sus diseños.

Tabla 4. Taludes apropiados para distintos tipos de material


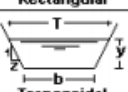
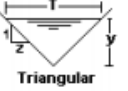
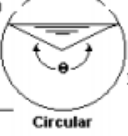

Material	Talud (Horizontal: Vertical)
Roca	Prácticamente vertical
Suelo de turba y detritos	0.25:1
Arcilla Compacta o tierra	
Con recubrimiento de concreto	0.5: hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1.5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcilla porosa	3:1

Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

2.2.3. Secciones de los canales

En los canales abiertos las secciones más usadas para el diseño se presentan en la Tabla N°5

Tabla 5. Secciones de canales

Sección	Area Hidraulica A	Perimetro mojado P	radio hidraulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+Z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+Z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+Z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+Z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$\frac{(1 - \text{sen}\theta) D}{\theta 4}$	$(\text{sen}\theta)D$ 2
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$\frac{T+8y^2}{3T}$	$\frac{2YT^2}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Hidráulica de canales, Villon (2007)

2.2.4. Tipos de Flujos en canales

2.2.4.1. Criterio tiempo

A.- Flujo Permanente

- Si la profundidad de flujo, el área mojada, la velocidad y el caudal no cambian o pueden suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. En la mayor parte de los problemas de flujo permanente, el caudal es constante. (Chow, 1994)

B.- Flujo No Permanente

- Si la profundidad del flujo, el área mojada, la velocidad, y el caudal cambian con el tiempo. (Chow, 1994)

2.2.4.2. Criterio comportamiento en el espacio

A.- Flujo Uniforme

- Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo, el área mojada, la velocidad y caudal no varían en cada sección del canal. (Chow, 1994)

B.- Flujo Variado

- Si la profundidad de flujo, el área mojada, la velocidad y el caudal varían en cada sección del canal. (Chow, 1994)
- Este flujo se divide a su vez en:

Flujo Rápidamente Variado

- El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua, el área mojada, la velocidad y el caudal cambian de manera abrupta en distancias comparativamente cortas. (Chow, 1994)

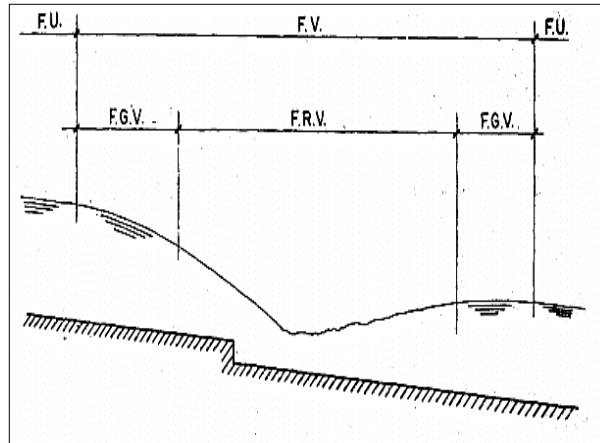
Flujo Gradualmente Variado

- El flujo es gradualmente variado si la profundidad del agua, el área mojada, la velocidad y el caudal no cambian de

manera abrupta en distancias comparativamente cortas.
(Chow, 1994)

Figura N° 1:

Figura 3. Diferentes tipos de flujos en canales abiertos



Fuente: Hidráulica de canales abiertos, Ven te Chow (1994)

2.2.4.3. Criterio de Viscosidad

A.- Flujo Laminar

- Si las fuerzas viscosas predominan sobre las de inercia, se dice que el flujo es laminar, en este caso las partículas del líquido avanzan en trayectorias más o menos paralelas sin mezclarse o entrelazarse entre sí, esto ocurre a velocidades bajas o para líquidos muy viscosos. (MAZA ALVAREZ, 1998)

B.- Flujo Turbulento

- Si las fuerzas inerciales predominan sobre las fuerzas viscosas. Se caracteriza porque las trayectorias de las partículas fluidas se mezclan entre sí. (MAZA ALVAREZ, 1998)

2.2.4.4. Criterio de N° Froude (Fr)

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

$$D(\text{Profundidad hidráulica}) = \frac{\text{Área mojada}}{\text{ancho superficial}}$$

a.- Flujo Subcrítico

- El valor de $Fr < 1$.

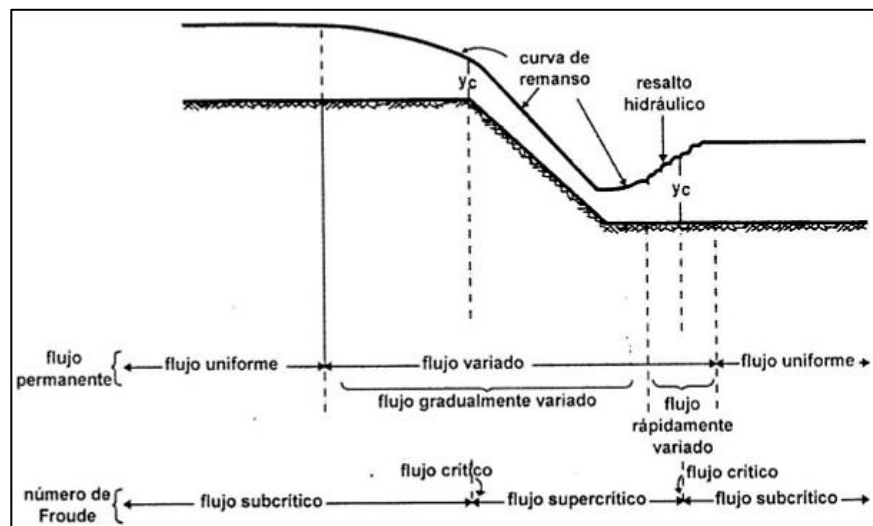
b.- Flujo Crítico

- El valor de $Fr = 1$.

c.- Flujo Supercrítico

- El valor de $Fr > 1$.

Figura 4. Tipos de flujos en canales abiertos



Fuente: Hidráulica de canales, Villón, (2007)

2.2.4.5. Criterio movimiento en el espacio

A.- Flujo Unidimensional

- Si las características del flujo (velocidad, presión o tirante, etc) varían como en función de una sola coordenada en espacio. (MAZA ALVAREZ, 1998)

B.- Flujo Bidimensional

- Cuando las características del flujo dependen de dos coordenadas espaciales. (MAZA ALVAREZ, 1998)

C.- Flujo Tridimensional

- Cuando las características del flujo dependen de tres coordenadas espaciales. (MAZA ALVAREZ, 1998)

2.2.5. Rugosidad

2.2.5.1. Selección del Coeficiente de Rugosidad de Manning

- Al aplicar la ecuación de Manning la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad n , ya que no existe un método exacto para la selección del valor n . (Chow, 1994).

2.2.5.2. Tabla de Coeficiente de Rugosidad de Manning

- La tabla de coeficientes de rugosidad de Manning presenta una lista de valores de n para canales de diferentes clases.

Figura 5. Tabla de Coeficiente de Rugosidad de Manning

Tipo de cauce y descripción	Valor de n		
	Mínimo	Normal	Máximo
D. Cauces naturales menores (ancho superior a nivel de crecida menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Fondo: canto rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie crecida			
1) Pastos, sin arbustos			
· Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
· Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
· Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
· Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
· Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
· Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
· Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
· Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
· Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
· Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
4) Árboles			
· Sauces densos, en verano, y rectos	0.110	0.150	0.200
· Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
· Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
· Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
· Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F) Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que las bancas ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

Fuente: Vent te Chow (1959)

2.2.5.3. Factores que Afectan el Coeficiente de Rugosidad de Manning

- A partir de varios factores que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan desarrollo un procedimiento para estimar el valor de n. Mediante este procedimiento, el valor de n puede calcularse:

$$n=(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m_5$$

Donde:

n0 :Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

n1 :Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

n2 :Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

n3:Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

n4 : Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.

m5 : Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

Tabla 6. Criterio de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES	
MATERIAL INVOLUCRADO	Tierra	no	0.020
	Corte en Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severo		0.020
VARIACIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente Alternante		0.005
	Frecuentemente Alternante		0.010-0.015
EFFECTO RELATIVO DE	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015

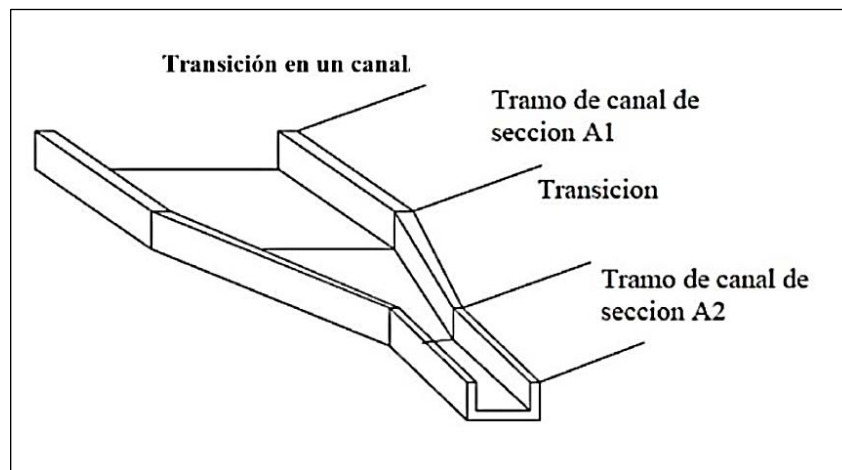
LAS OBSTRUCCIONES	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
VEGETACIÓN	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
GRADO DE LOS EFECTIVOS POR MEANDRO	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Vent te Chow (1959)

2.2.6. Transiciones en canales

Es una estructura que se usa para ir modificando en forma gradual la sección transversal de un canal, cuando se tiene que unir dos tramos con diferentes formas de sección transversal, pendiente o dirección. (Villon Bejar, 2008)

Figura 6. Vista isométrica de una transición en un canal

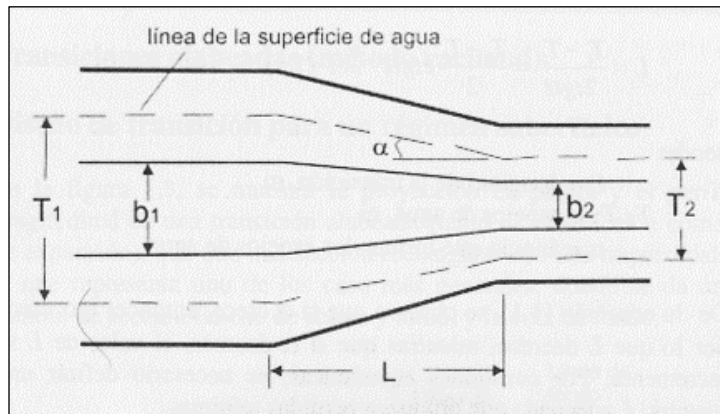


Fuente: Estructuras Hidráulicas, Villon (2003)

2.2.6.1. Flujo en transiciones

El flujo de un canal no siempre es conducido de un punto a otro con la misma sección, a menudo es necesario hacer cambios en la geometría de la sección del canal. En la longitud del cauce de un río, ya sea principal o secundario su geometría en la sección varía en tramos muy cortos, por lo tanto, la geometría de la transición definirá la magnitud de la pérdida de energía local.

Figura 7. Vista en planta de una transición.



Fuente: Estructuras Hidráulicas, Villon (2003)

$$L = \frac{T1 - T2}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

Donde:

L : Longitud de la transición. (m).

T1, T2: Espejos de agua (m).

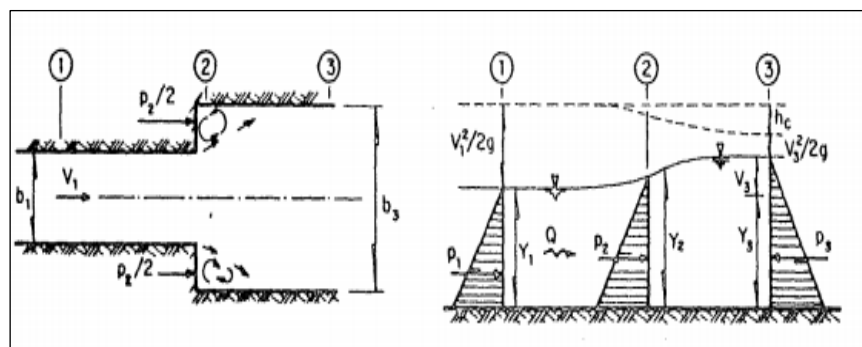
α: Angulo que forman los espejos de agua.

2.2.6.2. Tipos de Transiciones

A.- Transiciones bruscas

a.- Transiciones bruscas en el ancho (expansión)

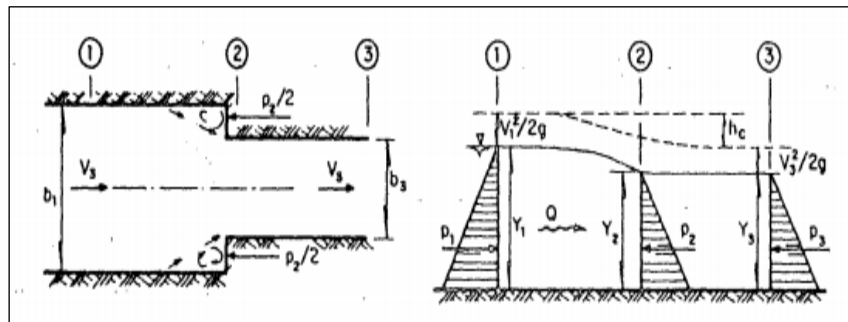
Figura 8. Transiciones bruscas en el ancho (expansión)



Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

b.- Transiciones bruscas en el ancho (contracción)

Figura 9. Transiciones bruscas en el ancho (contracción).



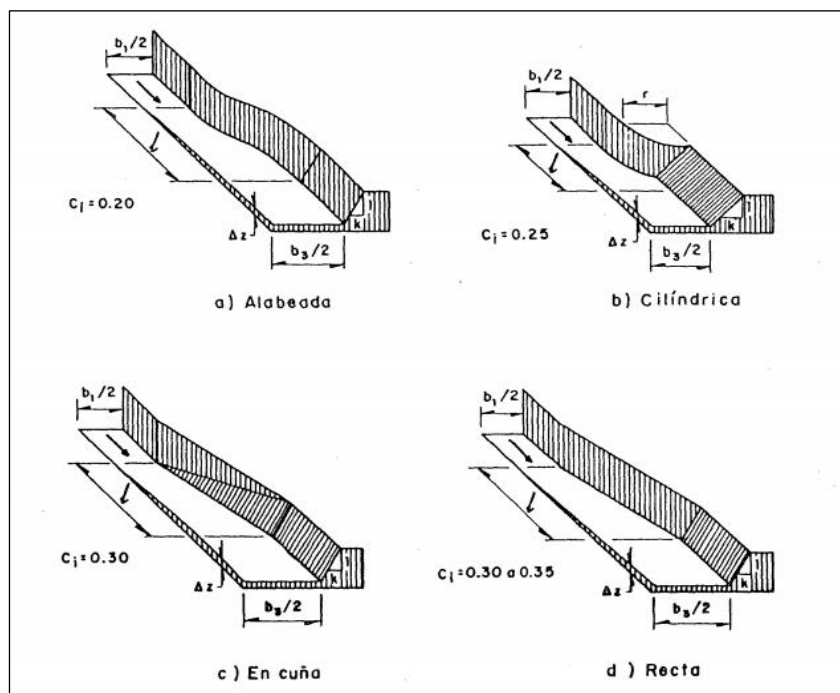
Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

B.- Transiciones graduales

a.- Transiciones graduales (expansión)

Figura N° 2:

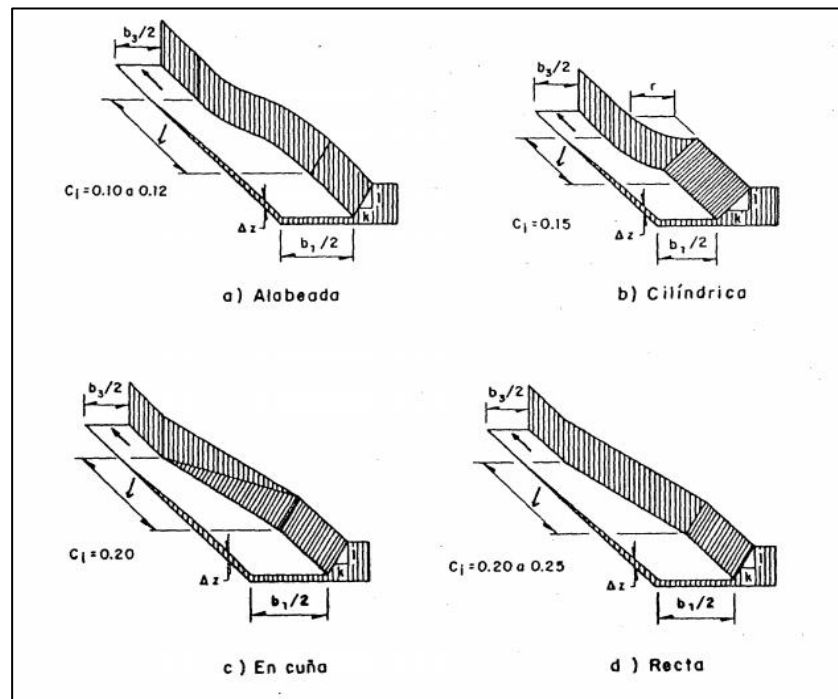
Figura 10. Transiciones graduales (expansión)



Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

B.- Transiciones graduales (contracción)

Figura 11. Transiciones graduales (Contracción)



Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

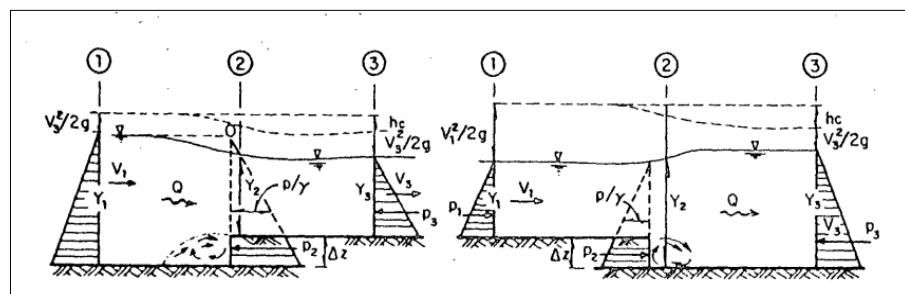
2.2.6.3. Pérdidas de Energía

A.- Contracciones y expansiones bruscas en escalón

$$hc = k \frac{v^3}{2g}$$

$$k = \left(\frac{Y_3}{Y_1}\right)^2 \left[1 + \frac{2}{Fr_1^2} \left(1 - \frac{Y_3}{Y_1} \pm \frac{\Delta z}{Y_1}\right)\right] - 1$$

Figura 12. Pérdidas en transiciones bruscas en escalón

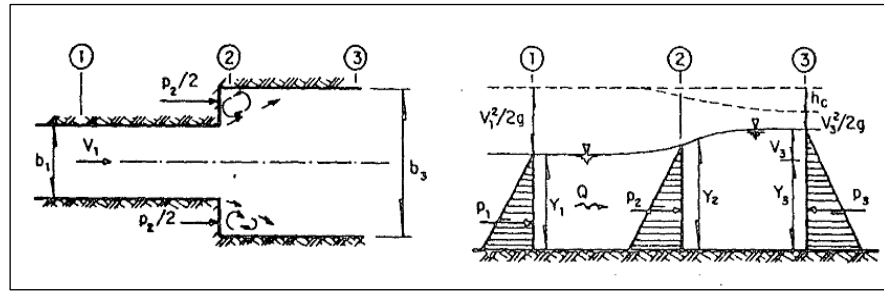


Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

B.- Expansión bruscas en el ancho

$$hc = \frac{V_1^2}{2g} \left[\left(1 - \frac{b_1}{b_3}\right)^2 + 2Fr_1^2 \left(\frac{b_1}{b_3}\right)^3 \left(1 - \frac{b_1}{b_3}\right) \right]$$

Figura 13. Pérdidas en transiciones bruscas en el ancho



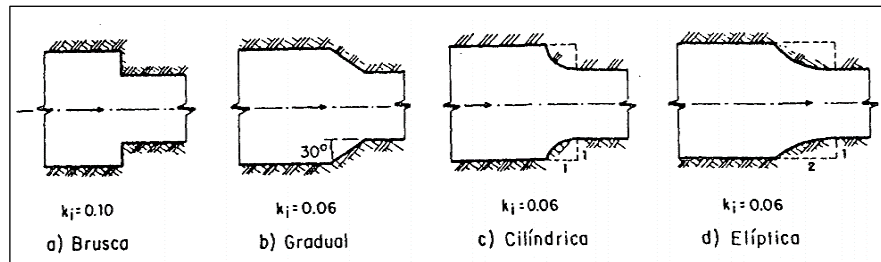
Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

C.- Contracción brusca en el ancho

$$h_c = C_i \left(\frac{V_3^2 - V_1^2}{2g} \right) = C_i \left[1 - \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 \right] \frac{V_3^2}{2g} = k_i \frac{V_3^2}{2g}$$

Ci y ki son coeficientes de pérdida de energía que dependen de la forma de la transición.

Figura 14. Coeficiente ki



Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

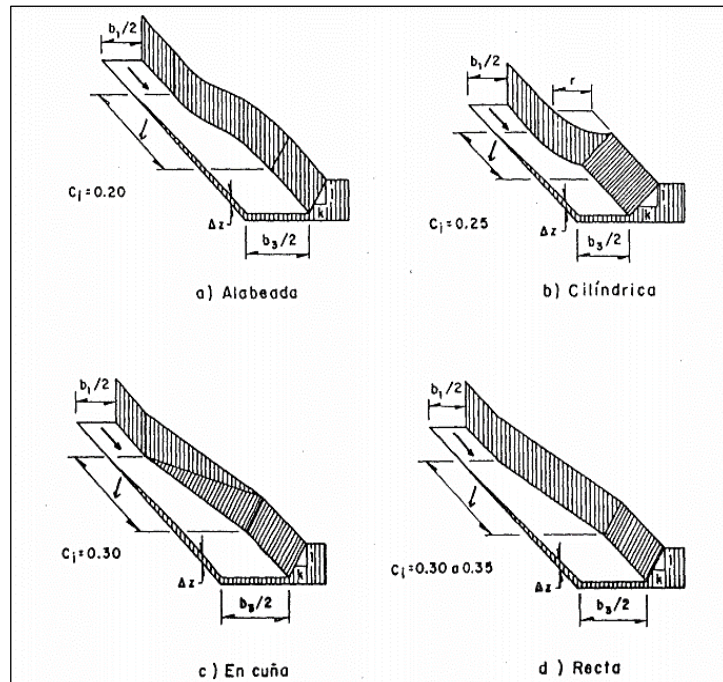
D.- Expansiones graduales en el ancho de canales rectangulares

$$h_c = C_i \frac{V_1^2 - V_3^2}{2g} = C_i \left[\left(\frac{A_3}{A_1} \right)^2 - 1 \right] \frac{V_3^2}{2g} = k_i \frac{V_3^2}{2g}$$

Donde A1 y A3 son las áreas de las secciones aguas arriba y aguas debajo de la expansión, respectivamente. El coeficiente Ci, según Mostkow varía entre 0.35 y 0.40, para

Chow su valor depende de la forma de expansión. (MAZA ALVAREZ, 1998)

Figura 15. Coeficiente Ci

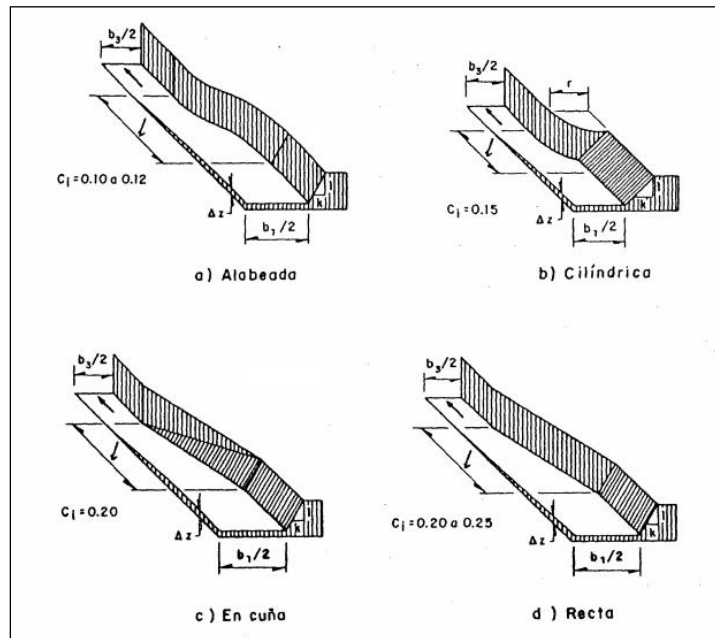


Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

E.- Contracciones graduales en el ancho de canales rectangulares

$$h_c = C_i \left(\frac{V_3^2 - V_1^2}{2g} \right) = C_i \left[1 - \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 \right] \frac{V_3^2}{2g} = k_i \frac{V_3^2}{2g}$$

Figura 16. Coeficiente C_i



Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1998)

Kisieliev indica que la pérdida en una contracción alabeada de canal trapezoidal a rectangular se utiliza el K_i entre 0.05 a 0.10. (MAZA ALVAREZ, 1998)

2.3. Marco Conceptual

Transición.- Es una estructura que se usa para ir modificando en forma gradual la sección transversal de una canal, cuando se tiene que unir dos tramos con diferentes formas de sección transversal, pendiente o dirección. (Villon Bejar, 2008)

Canal. - Son conductos en los que el agua circula debido a la acción de gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. (Villón, 2007)

Perdida de energía. - es la energía consumida que se da en un fluido a consecuencia del choque del fluido entre sí y con las paredes del conducto en el que se encuentra (Rocha Arturo, 2007).

Hidrología. - Es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas, y su relación con el medio ambiente (VILLÓN, 2002)

Tirante de agua. - Es la profundidad máxima del agua en el canal. (Villón, 2007)

Cauce: Continente de las aguas durante sus máximas crecientes, constituye un bien de dominio público hidráulico. (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2014)

Período de Retorno: Se denomina a el período promedio, en donde el valor del caudal pico de una avenida determinada es asemejado o sobrepasado una vez cada “T” años. (GUEVARA, 2016)

2.4. Hipótesis

2.4.1. General

Al determinar los modelos numéricos de los diferentes escenarios, podremos saber que tanto influye la longitud de la transición en las pérdidas de carga.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente

Longitud de la transición.

2.5.2. Variable dependiente

Pérdida de carga.

2.6. Operacionalización de Variables

Tabla 7. Operacionalización de Variables

	Variables	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumento de Investigación
Variable Dependiente	Pérdida de carga	Parámetros	Velocidad	m/s	Software Iber 2.5.1
Variable Independiente	Longitud de la transición	Parámetros	Longitud	m	Fórmulas empíricas

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

- Aplicada.

3.1.2. Nivel de Investigación

- Descriptivo.

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. Población

- Canal abierto.

3.2.2. Muestra

- Transición del canal.

3.3. Diseño de Investigación

- No experimental.

3.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

AutoCAD 2019: Se empleó para dibujar las transiciones (12 escenarios).

Se han estudiado los siguientes escenarios:

Tabla 8. Escenarios de estudio

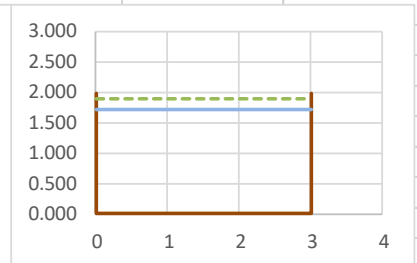
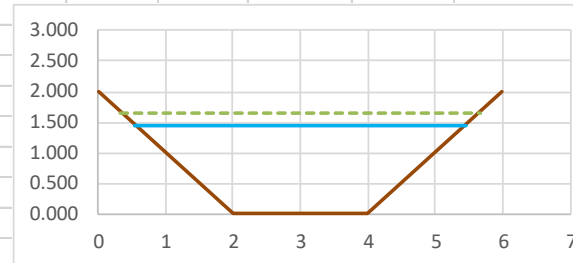
Escenario	Caudal	Pendiente	Tipo	b	Z
1	10	0.001	Convergente	2	1
2	10	0.005	Convergente	2	1
3	10	0.001	Divergente	3	0
4	10	0.005	Divergente	3	0
5	5	0.001	Convergente	1.5	1
6	5	0.005	Convergente	1.5	1
7	5	0.001	Divergente	2	0
8	5	0.005	Divergente	2	0
9	1	0.001	Convergente	0.8	1
10	1	0.005	Convergente	0.8	1
11	1	0.001	Divergente	1	0
12	1	0.005	Divergente	1	0

IV. RESULTADOS

4.1. CALCULO DE PERDIDAS

Escenario 1

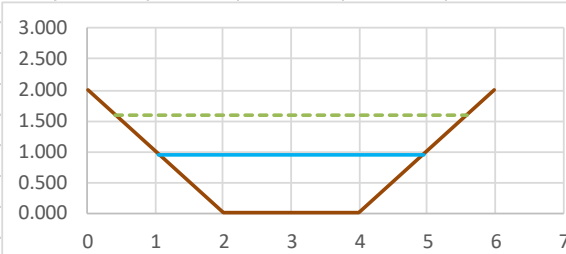
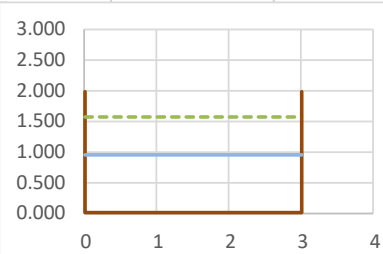
Datos	Trap.	Rect.											Canal 1		Canal 2			
Q (m3/s)	10.00	10.00																
b (m) =	2.00	3.00																
Y (m) =	1.458	1.71																
Z =	1	0																
S =	0.0010	0.0010																
n =	0.014	0.014																
A (m2) =	5.04	5.14																
P (m) =	6.12	6.43																
H canal (m) =	2.00	2.00																
B (m) =	4.92	3.00																
Qcalculado (m3/s)	10.00	10.00																
Error=	0.00	0.00																
V (m/s) =	1.984	1.946																
h _v (m) =	0.201	0.193																
Y _m =	1.025	1.713																
E =	1.658	1.906																
F =	0.626	0.475																
α =	12.5 °		Ci =	0.2														
Lt (m) =	4.320		Δh _v =	-0.008														
N secciones =	8.00		Δy =	-0.009														
Cota fondo ingreso=	100 msnm		S trans =	0.0010														
			Calcular canal															
			Calcular transición															
Sección	ΔX	x(m)	Δy _i (m)	Δh _{vi} (m)	h _{vi} (m)	V _i (m/s)	A _i (m2)	b _i (m)	Ang.Θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)			
0		0.000	0.000	0.000	0.201	1.984	5.040	2.000	45.000	1.000	1.458	5.040	0.000	100.000	101.458			
1	0.540	0.540	0.000	0.000	0.200	1.983	5.043	2.125	39.375	0.875	1.476	5.043	0.000	99.982	101.458			
2	0.540	1.080	-0.001	-0.001	0.200	1.979	5.052	2.250	33.750	0.750	1.498	5.053	-0.001	99.961	101.459			
3	0.540	1.620	-0.003	-0.002	0.199	1.973	5.067	2.375	28.125	0.625	1.523	5.067	0.000	99.937	101.460			
4	0.540	2.160	-0.005	-0.004	0.197	1.965	5.089	2.500	22.500	0.500	1.553	5.089	0.000	99.909	101.462			
5	0.540	2.700	-0.007	-0.005	0.195	1.957	5.110	2.625	16.875	0.375	1.587	5.110	0.000	99.877	101.464			
6	0.540	3.240	-0.008	-0.007	0.194	1.951	5.126	2.750	11.250	0.250	1.624	5.126	0.000	99.842	101.466			
7	0.540	3.780	-0.009	-0.007	0.193	1.947	5.135	2.875	5.625	0.125	1.666	5.135	0.000	99.801	101.466			
8	0.540	4.320	-0.009	-0.008	0.193	1.946	5.138	3.000	0.000	0.000	1.713	5.138	0.000	99.754	101.467			



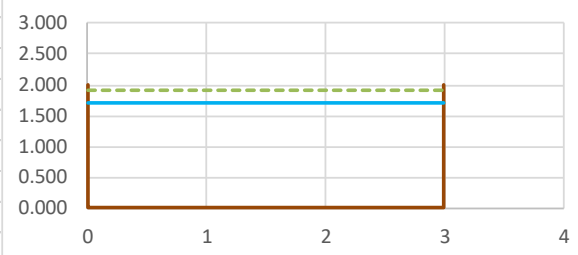
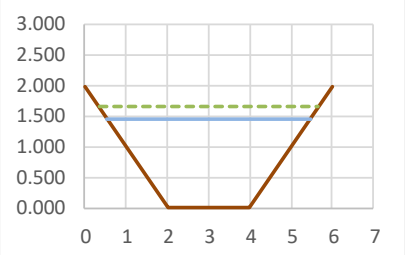
	0.342	1.658		
	5.658	1.658		
	0.000	1.906		
	3.000	1.906		

Calcular transición

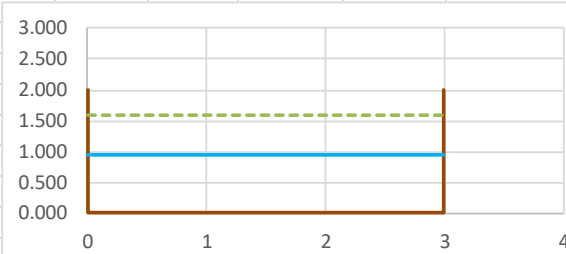
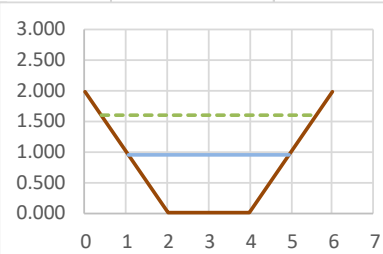
Escenario 2

Datos	Trap.	Rect.													
Q (m3/s)	10.00	10.00													
b (m) =	2.00	3.00													
Y (m) =	0.948	0.95													
Z =	1	0													
S =	0.0050	0.0050													
n =	0.014	0.014													
A (m2) =	2.79	2.84													
P (m) =	4.68	4.90													
H canal (m) =	2.00	2.00													
B (m) =	3.90	3.00													
Qcalculado (m3/s)	10.00	10.00													
Error=	0.00	0.00													
V (m/s) =	3.580	3.516													
h _v (m) =	0.653	0.630													
Y _m =	0.717	0.948													
E =	1.601	1.578													
F =	1.350	1.153													
α =	12.5 °	Ci =	0.2												
Lt (m) =	2.019	Δh _v =	-0.023												
N secciones =	8.00	Δy =	-0.028												
Cota fondo ingreso=	100 msnm	S trans =	0.0050												
			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Calcular canal</div> <div style="text-align: center;">  <p>Canal 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Canal 2</p> </div> </div>												
			0.399		1.601		0.000		1.578						
			5.601		1.601		3.000		1.578						
				<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Calcular transición</div>											
Sección	ΔX	x(m)	Δy _i (m)	Δh _{vi} (m)	h _{vi} (m)	V _i (m/s)	A _i (m ²)	b _i (m)	Ang.Θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m ²)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)
0		0.000	0.000	0.000	0.653	3.580	2.793	2.000	45.000	1.000	0.948	2.793	0.000	100.000	100.948
1	0.252	0.252	-0.001	-0.001	0.653	3.578	2.795	2.125	39.375	0.875	0.946	2.795	0.000	100.002	100.948
2	0.252	0.505	-0.003	-0.003	0.650	3.572	2.799	2.250	33.750	0.750	0.946	2.800	0.000	100.005	100.951
3	0.252	0.757	-0.008	-0.007	0.647	3.562	2.807	2.375	28.125	0.625	0.946	2.808	0.000	100.009	100.955
4	0.252	1.009	-0.014	-0.012	0.642	3.548	2.818	2.500	22.500	0.500	0.948	2.819	0.000	100.014	100.961
5	0.252	1.262	-0.020	-0.017	0.637	3.534	2.829	2.625	16.875	0.375	0.949	2.830	0.000	100.018	100.968
6	0.252	1.514	-0.024	-0.020	0.633	3.524	2.837	2.750	11.250	0.250	0.950	2.838	0.000	100.022	100.972
7	0.252	1.767	-0.027	-0.022	0.631	3.518	2.842	2.875	5.625	0.125	0.949	2.842	0.000	100.025	100.974
8	0.252	2.019	-0.028	-0.023	0.630	3.516	2.844	3.000	0.000	0.000	0.948	2.844	0.000	100.027	100.975

Escenario 3

Datos	Rect.	Trap.													
Q (m3/s)	10.00	10.00													
b (m) =	3.00	2.00													
Y (m) =	1.713	1.46													
Z =	0	1													
S =	0.0010	0.0010													
n =	0.014	0.014													
A (m2) =	5.14	5.04													
P (m) =	6.43	6.12													
H canal (m) =	2.00	2.00													
B (m) =	3.00	4.92													
Qcalculado (m3/s)	10.00	10.00													
Error=	0.00	0.00													
V (m/s) =	1.946	1.984													
h _v (m) =	0.193	0.201													
Y _m =	1.713	1.025													
E =	1.906	1.658													
F =	0.475	0.626													
α =	12.5 °		Ci =	0.2											
Lt (m) =	4.320		Δh _v =	0.008											
N secciones =	8.00		Δy =	0.009											
Cota fondo ingreso=	100 msnm		S trans =	0.0010											
			Calcular canal												
					Canal 1					Canal 2					
															
					0.000	1.906				0.342	1.658				
					3.000	1.906				5.658	1.658				
					cotas fondo										
					Piso	100.000	99.990	99.986			99.976				
					Muros	102.00	101.990	101.986			101.976				
			Calcular transición												
Sección	ΔX	x(m)	Δy _i (m)	Δh _v (m)	h _v i (m)	V _i (m/s)	A _i (m ²)	b _i (m)	Ang.θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m ²)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)
0		0.000	0.000	0.000	0.193	1.946	5.139	3.000	45.000	0.000	1.713	5.139	0.000	100.000	101.713
1	0.540	0.540	0.000	0.000	0.193	1.947	5.135	2.875	39.375	0.125	1.666	5.135	0.000	100.047	101.713
2	0.540	1.080	0.001	0.001	0.194	1.951	5.126	2.750	33.750	0.250	1.624	5.127	-0.001	100.087	101.712
3	0.540	1.620	0.003	0.002	0.195	1.957	5.110	2.625	28.125	0.375	1.587	5.110	0.000	100.123	101.710
4	0.540	2.160	0.005	0.004	0.197	1.965	5.089	2.500	22.500	0.500	1.553	5.089	0.000	100.155	101.708
5	0.540	2.700	0.007	0.005	0.198	1.973	5.067	2.375	16.875	0.625	1.523	5.067	0.000	100.183	101.706
6	0.540	3.240	0.008	0.007	0.200	1.979	5.052	2.250	11.250	0.750	1.498	5.052	0.000	100.207	101.705
7	0.540	3.780	0.009	0.007	0.200	1.983	5.043	2.125	5.625	0.875	1.476	5.043	0.000	100.228	101.704
8	0.540	4.320	0.009	0.008	0.201	1.984	5.040	2.000	0.000	1.000	1.458	5.040	0.000	100.246	101.704

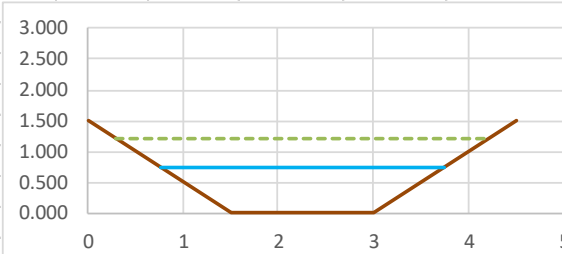
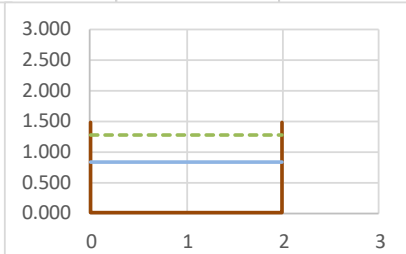
Escenario 4

Datos	Rect.	Trap.									Canal 1		Canal 2																				
Q (m3/s)	10.00	10.00																															
b (m) =	3.00	2.00																															
Y (m) =	0.948	0.95																															
Z =	0	1																															
S =	0.0050	0.0050																															
n =	0.014	0.014																															
A (m2) =	2.84	2.79																															
P (m) =	4.90	4.68																															
H canal (m) =	2.00	2.00																															
B (m) =	3.00	3.90																															
Qcalculado (m3/s)	10.00	10.00																															
Error=	0.00	0.00																															
V (m/s) =	3.516	3.580																															
h _v (m) =	0.630	0.653																															
Y _m =	0.948	0.717																															
E =	1.578	1.601																															
F =	1.153	1.350																															
α =	12.5 °		Ci =	0.2																													
Lt (m) =	2.019		Δh _v =	0.023																													
N secciones =	8.00		Δy =	0.028																													
Cota fondo ingreso=	100 msnm		S trans =	0.0050																													
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #d9d9d9;">Calcular canal</div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4" style="text-align: center;">cotas fondo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Piso</td> <td></td> <td style="text-align: center;">100.000</td> <td style="text-align: center;">99.950</td> <td style="text-align: center;">99.940</td> <td style="text-align: center;">99.890</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Muros</td> <td></td> <td style="text-align: center;">102.00</td> <td style="text-align: center;">101.950</td> <td style="text-align: center;">101.940</td> <td style="text-align: center;">101.890</td> </tr> </tbody> </table>																		cotas fondo				Piso		100.000	99.950	99.940	99.890	Muros		102.00	101.950	101.940	101.890
		cotas fondo																															
Piso		100.000	99.950	99.940	99.890																												
Muros		102.00	101.950	101.940	101.890																												
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #d9d9d9; margin-right: 20px;">Calcular transición</div> </div>																																	
Sección	ΔX	x(m)	Δy _i (m)	Δh _v _i (m)	h _v _i (m)	V _i (m/s)	A _i (m ²)	b _i (m)	Ang.Θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m ²)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)																		
0		0.000	0.000	0.000	0.630	3.516	2.844	3.000	45.000	0.000	0.948	2.844	0.000	100.000	100.948																		
1	0.252	0.252	0.001	0.001	0.631	3.518	2.842	2.875	39.375	0.125	0.949	2.842	0.000	99.998	100.947																		
2	0.252	0.505	0.003	0.003	0.633	3.524	2.837	2.750	33.750	0.250	0.950	2.838	0.000	99.995	100.945																		
3	0.252	0.757	0.008	0.007	0.637	3.534	2.829	2.625	28.125	0.375	0.949	2.830	0.000	99.991	100.940																		
4	0.252	1.009	0.014	0.012	0.642	3.548	2.818	2.500	22.500	0.500	0.948	2.819	0.000	99.986	100.934																		
5	0.252	1.262	0.020	0.017	0.647	3.562	2.807	2.375	16.875	0.625	0.946	2.808	0.000	99.982	100.928																		
6	0.252	1.514	0.024	0.020	0.650	3.572	2.799	2.250	11.250	0.750	0.946	2.800	0.000	99.978	100.924																		
7	0.252	1.767	0.027	0.022	0.653	3.578	2.795	2.125	5.625	0.875	0.946	2.795	0.000	99.975	100.921																		
8	0.252	2.019	0.028	0.023	0.653	3.580	2.793	2.000	0.000	1.000	0.948	2.793	0.000	99.973	100.920																		

Escenario 5

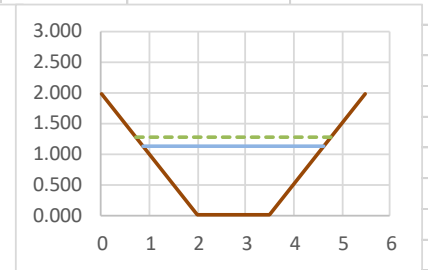
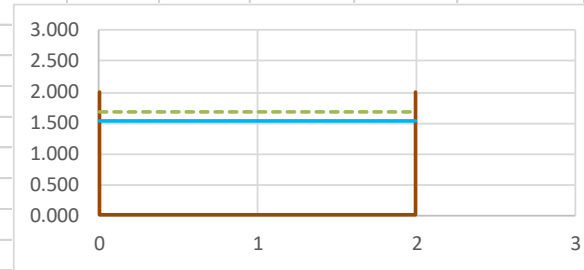
Datos	Trap.	Rect.														
Q (m3/s)	5.00	5.00														
b (m) =	1.50	2.00														
Y (m) =	1.136	1.54														
Z =	1	0														
S =	0.0010	0.0010														
n =	0.014	0.014														
A (m2) =	2.99	3.09														
P (m) =	4.71	5.09														
H canal (m) =	2.00	2.00														
B (m) =	3.77	2.00														
Qcalculado (m3/s)	5.00	5.00														
Error=	0.00	0.00														
V (m/s) =	1.669	1.619														
hv (m) =	0.142	0.134														
Ym =	0.794	1.544														
E =	1.278	1.678														
F =	0.598	0.416														
α =	12.5 °	Ci = 0.2														
Lt (m) =	3.997	$\Delta hv = -0.008$														
N secciones =	8.00	$\Delta y = -0.010$														
Cota fondo ingreso=	100 msnm	S trans = 0.0010														
			Calcular canal													
			Calcular transición													
			cotas fondo													
			Piso	100.000	99.990	99.986	99.976									
			Muros	102.00	101.990	101.986	101.976									
			Canal 1										Canal 2			
					0.722	1.278					0.000	1.678				
					4.778	1.278					2.000	1.678				
Sección	ΔX	x(m)	$\Delta yi(m)$	$\Delta hvi(m)$	hvi (m)	Vi (m/s)	Ai (m2)	bi (m)	Ang.θ	talud "Zi"	hi (m)	Acalc (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)	
0		0.000	0.000	0.000	0.142	1.669	2.995	1.500	45.000	1.000	1.136	2.995	0.000	100.000	101.136	
1	0.500	0.500	0.000	0.000	0.142	1.668	2.998	1.563	39.375	0.875	1.118	2.840	0.158	100.019	101.136	
2	0.500	0.999	-0.001	-0.001	0.141	1.663	3.006	1.625	33.750	0.750	1.100	2.696	0.310	100.037	101.137	
3	0.500	1.499	-0.003	-0.002	0.140	1.655	3.020	1.688	28.125	0.625	1.084	2.564	0.457	100.055	101.139	
4	0.500	1.999	-0.005	-0.004	0.138	1.645	3.040	1.750	22.500	0.500	1.069	2.441	0.599	100.073	101.141	
5	0.500	2.498	-0.007	-0.006	0.136	1.634	3.061	1.813	16.875	0.375	1.054	2.326	0.735	100.090	101.143	
6	0.500	2.998	-0.009	-0.007	0.135	1.626	3.076	1.875	11.250	0.250	1.038	2.216	0.860	100.107	101.145	
7	0.500	3.497	-0.010	-0.008	0.134	1.621	3.085	1.938	5.625	0.125	1.023	2.112	0.972	100.123	101.146	
8	0.500	3.997	-0.010	-0.008	0.134	1.619	3.088	2.000	0.000	0.000	1.007	2.014	1.073	100.139	101.146	

Escenario 6

Datos	Trap.	Rect.											Canal 1		Canal 2																		
Q (m3/s)	5.00	5.00																															
b (m) =	1.50	2.00																															
Y (m) =	0.740	0.84																															
Z =	1	0																															
S =	0.0050	0.0050																															
n =	0.014	0.014																															
A (m2) =	1.66	1.67																															
P (m) =	3.59	3.67																															
H canal (m) =	1.50	1.50																															
B (m) =	2.98	2.00																															
Q calculado (m3/s)	5.00	5.00																															
Error =	0.00	0.00																															
V (m/s) =	3.016	2.990																															
h _v (m) =	0.464	0.456																															
Y _m =	0.556	0.836																															
E =	1.204	1.292																															
F =	1.291	1.044																															
α =	12.5 °		Ci =	0.2																													
Lt (m) =	2.211		Δh _v =	-0.008																													
N secciones =	8.00		Δy =	-0.009																													
Cota fondo ingreso =	100 msnm		S trans =	0.0050																													
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #d9d9d9;">Calcular canal</div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4" style="text-align: center;">cotas fondo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Piso</td> <td style="text-align: center;">100.000</td> <td style="text-align: center;">99.950</td> <td style="text-align: center;">99.939</td> <td style="text-align: center;">99.889</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Muros</td> <td style="text-align: center;">101.50</td> <td style="text-align: center;">101.450</td> <td style="text-align: center;">101.439</td> <td style="text-align: center;">101.389</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																		cotas fondo				Piso	100.000	99.950	99.939	99.889		Muros	101.50	101.450	101.439	101.389	
		cotas fondo																															
Piso	100.000	99.950	99.939	99.889																													
Muros	101.50	101.450	101.439	101.389																													
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #d9d9d9;">Calcular transición</div> </div>																																	
Sección	ΔX	x(m)	Δyi(m)	Δhvi(m)	hvi (m)	Vi (m/s)	Ai (m2)	bi (m)	Ang.θ	talud "Zi"	hi (m)	Acalc (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)																		
0		0.000	0.000	0.000	0.464	3.016	1.658	1.500	45.000	1.000	0.740	1.658	0.000	100.000	100.740																		
1	0.276	0.276	0.000	0.000	0.463	3.015	1.658	1.563	39.375	0.875	0.748	1.659	0.000	99.992	100.740																		
2	0.276	0.553	-0.001	-0.001	0.463	3.013	1.660	1.625	33.750	0.750	0.757	1.660	0.000	99.984	100.741																		
3	0.276	0.829	-0.003	-0.002	0.461	3.009	1.662	1.688	28.125	0.625	0.767	1.662	0.000	99.976	100.743																		
4	0.276	1.105	-0.005	-0.004	0.460	3.003	1.665	1.750	22.500	0.500	0.779	1.666	-0.001	99.966	100.745																		
5	0.276	1.382	-0.007	-0.006	0.458	2.997	1.668	1.813	16.875	0.375	0.791	1.668	0.000	99.956	100.747																		
6	0.276	1.658	-0.008	-0.007	0.457	2.993	1.670	1.875	11.250	0.250	0.805	1.670	0.000	99.944	100.748																		
7	0.276	1.934	-0.009	-0.008	0.456	2.991	1.672	1.938	5.625	0.125	0.820	1.672	0.000	99.930	100.749																		
8	0.276	2.211	-0.009	-0.008	0.456	2.990	1.672	2.000	0.000	0.000	0.836	1.672	0.000	99.913	100.750																		

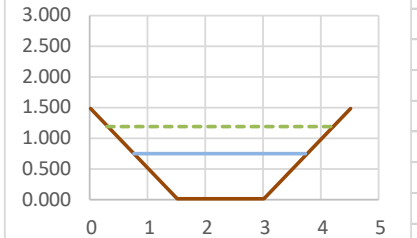
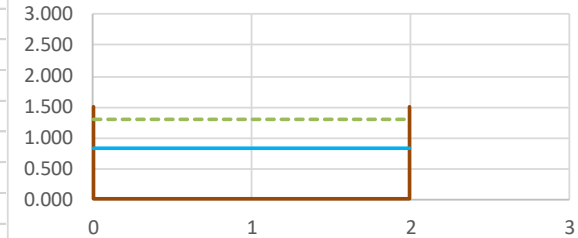
Escenario 7

Datos	Rect.	Trap.											Canal 1		Canal 2			
Q (m3/s)	5.00	5.00																
b (m) =	2.00	1.50																
Y (m) =	1.544	1.14																
Z =	0	1																
S =	0.0010	0.0010																
n =	0.014	0.014																
A (m2) =	3.09	2.99																
P (m) =	5.09	4.71																
H canal (m) =	2.00	2.00																
B (m) =	2.00	3.77																
Qcalculado (m3/s)	5.00	5.00																
Error=	0.00	0.00																
V (m/s) =	1.619	1.669																
h _v (m) =	0.134	0.142																
Y _m =	1.544	0.794																
E =	1.677	1.278																
F =	0.416	0.598																
α =	12.5 °		Ci =	0.2														
Lt (m) =	3.997		Δh _v =	0.008														
N secciones =	8.00		Δy =	0.010														
Cota fondo ingreso=	100 msnm		S trans =	0.0010														
			Calcular canal															
													cotas fondo					
													Piso	100.000	99.990	99.986	99.976	
													Muros	102.00	101.990	101.986	101.976	
														0.000	1.677		0.722	1.278
														2.000	1.677		4.778	1.278
			Calcular transición															
Sección	ΔX	x(m)	Δy _i (m)	Δh _v _i (m)	h _v _i (m)	V _i (m/s)	A _i (m2)	b _i (m)	Ang.Θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)			
0		0.000	0.000	0.000	0.134	1.619	3.088	2.000	45.000	0.000	1.544	3.088	0.000	100.000	101.544			
1	0.500	0.500	0.000	0.000	0.134	1.621	3.085	1.938	39.375	0.125	1.455	3.085	0.000	100.088	101.544			
2	0.500	0.999	0.001	0.001	0.135	1.626	3.076	1.875	33.750	0.250	1.385	3.076	-0.001	100.158	101.543			
3	0.500	1.499	0.003	0.002	0.136	1.634	3.061	1.813	28.125	0.375	1.325	3.061	0.000	100.216	101.541			
4	0.500	1.999	0.005	0.004	0.138	1.645	3.040	1.750	22.500	0.500	1.274	3.040	0.000	100.265	101.539			
5	0.500	2.498	0.007	0.006	0.140	1.656	3.020	1.688	16.875	0.625	1.230	3.020	0.000	100.307	101.537			
6	0.500	2.998	0.009	0.007	0.141	1.663	3.006	1.625	11.250	0.750	1.193	3.006	0.000	100.342	101.535			
7	0.500	3.497	0.010	0.008	0.142	1.668	2.998	1.563	5.625	0.875	1.162	2.998	-0.001	100.372	101.534			
8	0.500	3.997	0.010	0.008	0.142	1.669	2.995	1.500	0.000	1.000	1.136	2.995	0.000	100.398	101.534			



Escenario 8

Datos	Rect.	Trap.											Canal 1	Canal 2			
Q (m3/s)	5.00	5.00															
b (m) =	2.00	1.50															
Y (m) =	0.836	0.74															
Z =	0	1															
S =	0.0050	0.0050															
n =	0.014	0.014															
A (m2) =	1.67	1.66															
P (m) =	3.67	3.59															
H canal (m) =	1.50	1.50															
B (m) =	2.00	2.98															
Qcalculado (m3/s)	5.00	5.00															
Error=	0.00	0.00															
V (m/s) =	2.990	3.016															
hv (m) =	0.456	0.464															
Ym =	0.836	0.556															
E =	1.292	1.204															
F =	1.044	1.291															
$\alpha =$	12.5 °	Ci =	0.2														
Lt (m) =	2.211	$\Delta h_v =$	0.008														
N secciones =	8.00	$\Delta y =$	0.010														
Cota fondo ingreso=	100 msnm	S trans =	0.0050														
				Calcular canal													
														0.000	1.292		
														2.000	1.292	0.296	1.204
														4.204	1.204		
				cotas fondo													
				Piso	100.000	99.950	99.939	99.889									
				Muros	101.50	101.450	101.439	101.389									
				Calcular transición													
Sección	ΔX	x(m)	$\Delta y_i(m)$	$\Delta h_{vi}(m)$	hvi (m)	Vi (m/s)	Ai (m2)	bi (m)	Ang. Θ	talud "Zi"	hi (m)	Acalc (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)		
0		0.000	0.000	0.000	0.456	2.990	1.672	2.000	45.000	0.000	0.836	1.672	0.000	100.000	100.836		
1	0.276	0.276	0.000	0.000	0.456	2.990	1.672	1.938	39.375	0.125	0.828	1.691	-0.019	100.008	100.836		
2	0.276	0.553	0.001	0.001	0.457	2.993	1.671	1.875	33.750	0.250	0.839	1.750	-0.079	99.996	100.835		
3	0.276	0.829	0.003	0.002	0.458	2.997	1.668	1.813	28.125	0.375	0.871	1.862	-0.194	99.963	100.834		
4	0.276	1.105	0.005	0.004	0.460	3.003	1.665	1.750	22.500	0.500	0.932	2.065	-0.400	99.900	100.831		
5	0.276	1.382	0.007	0.006	0.461	3.008	1.662	1.688	16.875	0.625	1.014	2.352	-0.690	99.816	100.829		
6	0.276	1.658	0.008	0.007	0.463	3.013	1.660	1.625	11.250	0.750	1.087	2.652	-0.992	99.741	100.828		
7	0.276	1.934	0.009	0.008	0.463	3.015	1.658	1.563	5.625	0.875	1.134	2.898	-1.239	99.693	100.827		
8	0.276	2.211	0.010	0.008	0.464	3.016	1.658	1.500	0.000	1.000	1.136	2.995	-1.337	99.690	100.827		



Escenario 9

Datos	Trap.	Rect.										
Q (m3/s)	1.00	1.00										
b (m) =	0.80	1.20										
Y (m) =	0.627	0.76										
Z =	1	0										
S =	0.0010	0.0010										
n =	0.014	0.014										
A (m2) =	0.90	0.92										
P (m) =	2.57	2.73										
H canal (m) =	1.00	1.00										
B (m) =	2.05	1.20										
Qcalculado (m3/s)	1.00	1.00										
Error=	0.00	0.00										
V (m/s) =	1.117	1.092										
h _v (m) =	0.064	0.061										
Y _m =	0.436	0.763										
E =	0.691	0.824										
F =	0.540	0.399										
α =	12.5 °	Ci = 0.2										
Lt (m) =	1.927	Δh _v = -0.003										
N secciones =	8.00	Δy = -0.003										
Cota fondo ingreso=	100 msnm	S trans = 0.0010										

Calcular canal

Canal 1

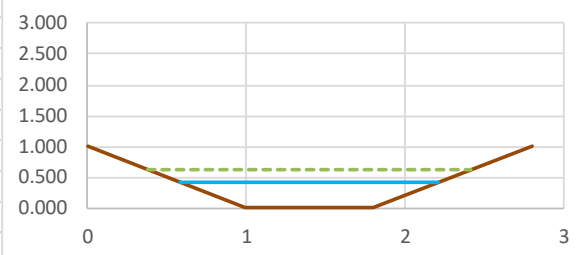
Canal 2

				cotas fondo				
				Piso				
				100.000	99.990	99.988	99.978	
				Muros	101.00	100.990	100.988	100.978

Calcular transición

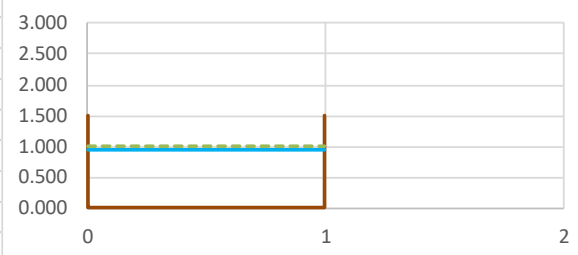
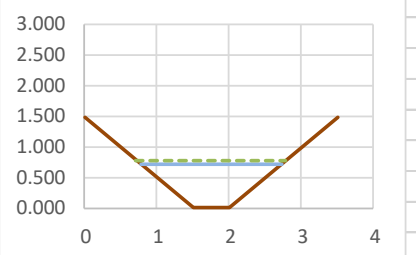
Sección	ΔX	x(m)	Δy _i (m)	Δh _v (m)	h _v i (m)	V _i (m/s)	A _i (m ²)	b _i (m)	Ang.θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m ²)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)
0		0.000	0.000	0.000	0.064	1.117	0.895	0.800	45.000	1.000	0.627	0.895	0.000	100.000	100.627
1	0.241	0.241	0.000	0.000	0.064	1.116	0.896	0.850	39.375	0.875	0.637	0.896	0.000	99.991	100.627
2	0.241	0.482	0.000	0.000	0.063	1.114	0.898	0.900	33.750	0.750	0.648	0.898	0.000	99.980	100.628
3	0.241	0.723	-0.001	-0.001	0.063	1.110	0.901	0.950	28.125	0.625	0.661	0.901	0.000	99.967	100.628
4	0.241	0.964	-0.002	-0.001	0.062	1.104	0.905	1.000	22.500	0.500	0.677	0.905	0.000	99.952	100.629
5	0.241	1.205	-0.002	-0.002	0.062	1.099	0.910	1.050	16.875	0.375	0.694	0.910	0.000	99.935	100.630
6	0.241	1.445	-0.003	-0.002	0.061	1.095	0.913	1.100	11.250	0.250	0.714	0.913	0.000	99.916	100.630
7	0.241	1.686	-0.003	-0.003	0.061	1.092	0.915	1.150	5.625	0.125	0.737	0.916	0.000	99.893	100.631
8	0.241	1.927	-0.003	-0.003	0.061	1.092	0.916	1.200	0.000	0.000	0.763	0.916	0.000	99.867	100.631

Escenario 10

Datos	Trap.	Rect.													
Q (m3/s)	1.00	1.00													
b (m) =	0.80	1.20													
Y (m) =	0.410	0.42													
Z =	1	0													
S =	0.0050	0.0050													
n =	0.014	0.014													
A (m2) =	0.50	0.50													
P (m) =	1.96	2.04													
H canal (m) =	1.00	1.00													
B (m) =	1.62	1.20													
Qcalculado (m3/s)	1.00	1.00													
Error=	0.00	0.00													
V (m/s) =	2.019	1.987													
hv (m) =	0.208	0.201													
Ym =	0.306	0.419													
E =	0.617	0.621													
F =	1.165	0.979													
α =	12.5 °	Ci = 0.2													
Lt (m) =	0.945	Δhv = -0.007													
N secciones =	8.00	Δy = -0.008													
Cota fondo ingreso=	100 msnm	S trans = 0.0050													
			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #d9d9d9;">Calcular canal</div>  <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #d9d9d9;">Calcular transición</div> </div>												
			Canal 1				Canal 2								
			0.383	0.617	0.000	0.621									
			2.417	0.617	1.200	0.621									
			cotas fondo												
			Piso	100.000	99.950	99.945	99.895								
			Muros	101.00	100.950	100.945	100.895								
Sección	ΔX	x(m)	Δyi(m)	Δhvi(m)	hvi (m)	Vi (m/s)	Ai (m2)	bi (m)	Ang.θ	talud "Zi"	hi (m)	Acalc (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)
0		0.000	0.000	0.000	0.208	2.019	0.495	0.800	45.000	1.000	0.410	0.495	0.000	100.000	100.410
1	0.118	0.118	0.000	0.000	0.208	2.018	0.496	0.850	39.375	0.875	0.413	0.501	-0.005	99.996	100.410
2	0.118	0.236	-0.001	-0.001	0.207	2.015	0.496	0.900	33.750	0.750	0.426	0.519	-0.022	99.985	100.411
3	0.118	0.354	-0.002	-0.002	0.206	2.010	0.498	0.950	28.125	0.625	0.450	0.553	-0.056	99.962	100.412
4	0.118	0.473	-0.004	-0.003	0.204	2.003	0.499	1.000	22.500	0.500	0.494	0.616	-0.117	99.919	100.413
5	0.118	0.591	-0.006	-0.005	0.203	1.996	0.501	1.050	16.875	0.375	0.561	0.707	-0.205	99.855	100.415
6	0.118	0.709	-0.007	-0.006	0.202	1.991	0.502	1.100	11.250	0.250	0.637	0.803	-0.300	99.779	100.416
7	0.118	0.827	-0.008	-0.006	0.201	1.988	0.503	1.150	5.625	0.125	0.713	0.883	-0.380	99.704	100.417
8	0.118	0.945	-0.008	-0.007	0.201	1.987	0.503	1.200	0.000	0.000	0.763	0.916	-0.413	99.654	100.417

Escenario 11

Datos	Rect.	Trap.			Canal 1	Canal 2
Q (m3/s)	1.00	1.00				
b (m) =	1.00	0.50				
Y (m) =	0.935	0.73				
Z =	0	1				
S =	0.0010	0.0010				
n =	0.014	0.014				
A (m2) =	0.93	0.89				
P (m) =	2.87	2.56	Calcular canal			
H canal (m) =	1.50	1.50				
B (m) =	1.00	1.95				
Qcalculado (m3/s)	1.00	1.00			0.000	0.993
Error=	0.00	0.00			1.000	0.993
V (m/s) =	1.070	1.120				
h _v (m) =	0.058	0.064				
Y _m =	0.935	0.457				
E =	0.993	0.791				
F =	0.353	0.529				
α =	12.5 °		Ci =	0.2		
Lt (m) =	2.153		Δh _v =	0.006		
N secciones =	8.00		Δy =	0.007		
Cota fondo ingreso=	100 msnm		S trans =	0.0010		
					cotas fondo	
				Piso	100.000	99.990
				Muros	101.50	101.490
						99.988
						101.478

Sección	ΔX	x(m)	Δyi(m)	Δh _{vi} (m)	h _{vi} (m)	V _i (m/s)	A _i (m ²)	b _i (m)	Ang.θ	talud "Zi"	h _i (m)	A _{calc} (m ²)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)
0		0.000	0.000	0.000	0.058	1.070	0.935	1.000	45.000	0.000	0.935	0.935	0.000	100.000	100.935
1	0.269	0.269	0.000	0.000	0.058	1.071	0.933	0.938	39.375	0.125	0.804	0.834	0.099	100.131	100.935
2	0.269	0.538	0.001	0.001	0.059	1.076	0.929	0.875	33.750	0.250	0.717	0.756	0.174	100.217	100.934
3	0.269	0.808	0.002	0.002	0.060	1.084	0.922	0.813	28.125	0.375	0.652	0.689	0.233	100.281	100.933
4	0.269	1.077	0.003	0.003	0.061	1.095	0.913	0.750	22.500	0.500	0.601	0.632	0.281	100.330	100.932
5	0.269	1.346	0.005	0.004	0.062	1.106	0.904	0.688	16.875	0.625	0.560	0.582	0.322	100.370	100.930
6	0.269	1.615	0.006	0.005	0.063	1.114	0.898	0.625	11.250	0.750	0.526	0.537	0.361	100.403	100.929
7	0.269	1.884	0.007	0.005	0.064	1.119	0.894	0.563	5.625	0.875	0.497	0.496	0.398	100.431	100.928
8	0.269	2.153	0.007	0.006	0.064	1.120	0.893	0.500	0.000	1.000	0.472	0.459	0.434	100.456	100.928

Calcular transición

Escenario 12

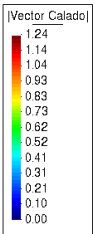
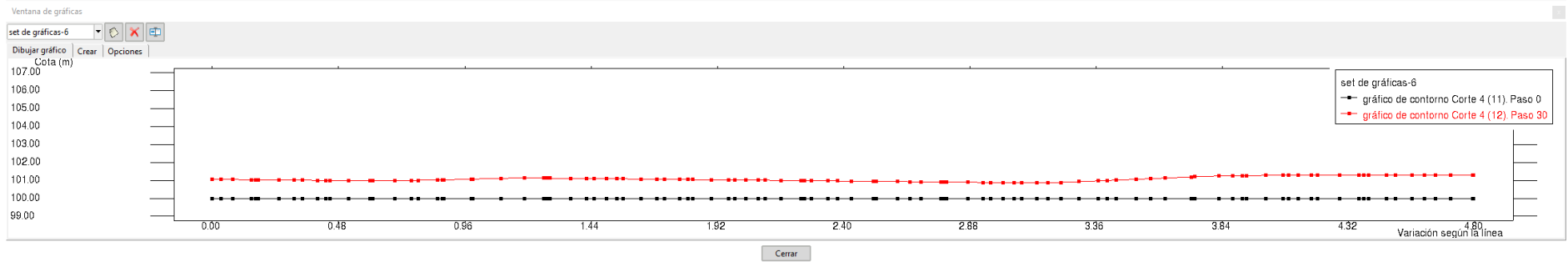
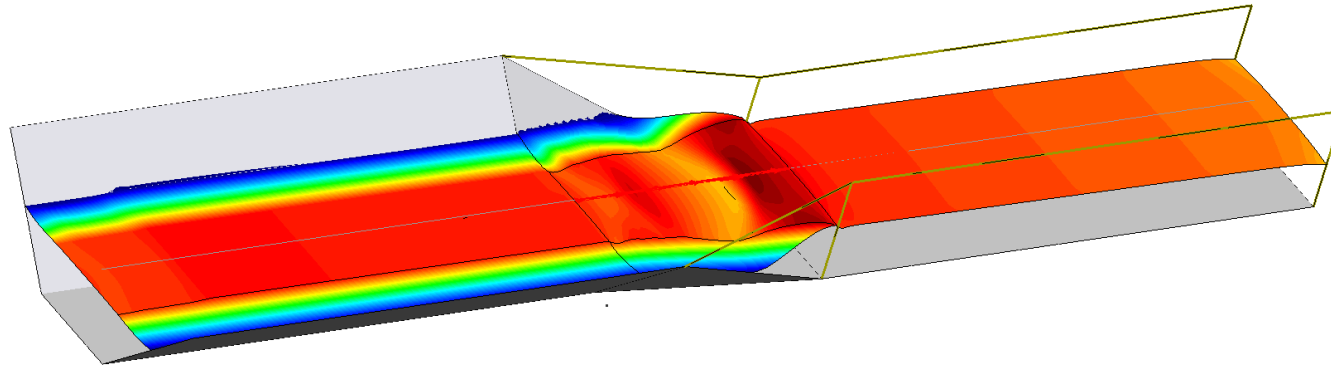
Datos	Rect.	Trap.											Canal 1		Canal 2		
Q (m3/s)	1.00	1.00															
b (m) =	1.00	0.50															
Y (m) =	0.499	0.49															
Z =	0	1															
S =	0.0050	0.0050															
n =	0.014	0.014															
A (m2) =	0.50	0.49															
P (m) =	2.00	1.89															
H canal (m) =	1.00	1.00															
B (m) =	1.00	1.48															
Qcalculado (m3/s)	1.00	1.00											0.000	0.704	0.294	0.706	
Error=	0.00	0.00											1.000	0.704	2.206	0.706	
V (m/s) =	2.003	2.048											cotas fondo				
hv (m) =	0.204	0.214											Piso	100.000	99.950	99.945	99.895
Ym =	0.499	0.329											Muros	101.00	100.950	100.945	100.895
E =	0.704	0.706															
F =	0.905	1.140															
α =	12.5 °	Ci = 0.2															
Lt (m) =	1.092	Δhv = 0.009											Calcular transición				
N secciones =	8.00	Δy = 0.011															
Cota fondo ingreso=	100 msnm	S trans = 0.0050															

Calcular canal

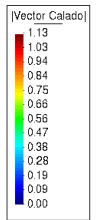
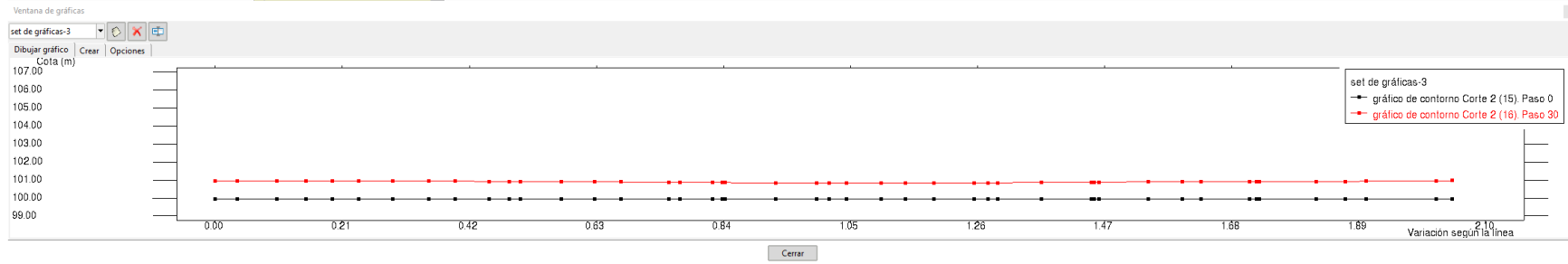
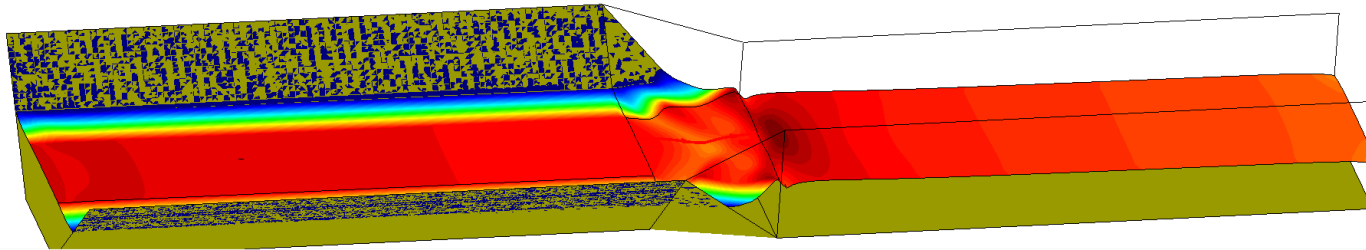
Sección	ΔX	x(m)	Δyi(m)	Δhvi(m)	hvi (m)	Vi (m/s)	Ai (m2)	bi (m)	Ang.θ	talud "Zi"	hi (m)	Acalc (m2)	Error	Cota fondo (m)	Cota SL (m)
0		0.000	0.000	0.000	0.204	2.003	0.499	1.000	45.000	0.000	0.499	0.499	0.000	100.000	100.499
1	0.137	0.137	0.000	0.000	0.205	2.004	0.499	0.938	39.375	0.125	0.451	0.449	0.050	100.048	100.499
2	0.137	0.273	0.001	0.001	0.206	2.008	0.498	0.875	33.750	0.250	0.425	0.417	0.081	100.073	100.498
3	0.137	0.410	0.003	0.003	0.207	2.015	0.496	0.813	28.125	0.375	0.416	0.403	0.094	100.081	100.496
4	0.137	0.546	0.006	0.005	0.209	2.025	0.494	0.750	22.500	0.500	0.426	0.410	0.084	100.068	100.494
5	0.137	0.683	0.008	0.007	0.211	2.035	0.491	0.688	16.875	0.625	0.449	0.435	0.057	100.042	100.491
6	0.137	0.819	0.010	0.008	0.213	2.042	0.490	0.625	11.250	0.750	0.471	0.461	0.029	100.019	100.490
7	0.137	0.956	0.011	0.009	0.213	2.046	0.489	0.563	5.625	0.875	0.482	0.475	0.014	100.006	100.489
8	0.137	1.092	0.011	0.009	0.214	2.048	0.488	0.500	0.000	1.000	0.472	0.459	0.030	100.016	100.488

4.2. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

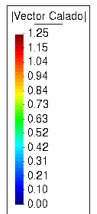
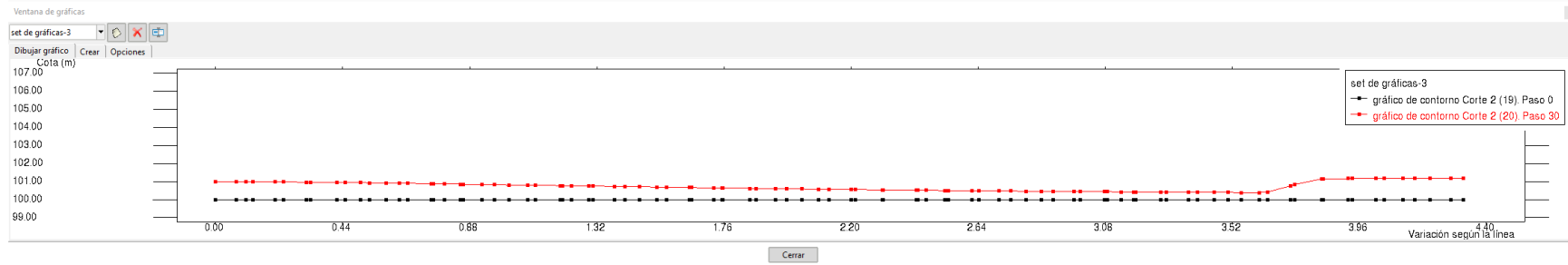
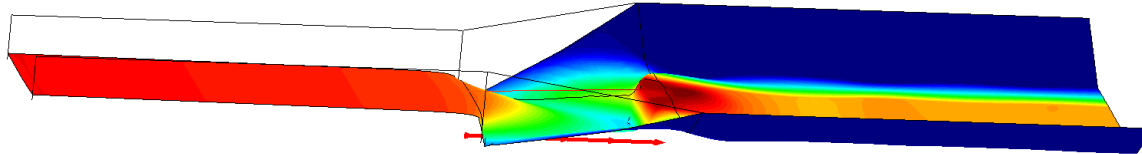
Escenario 1



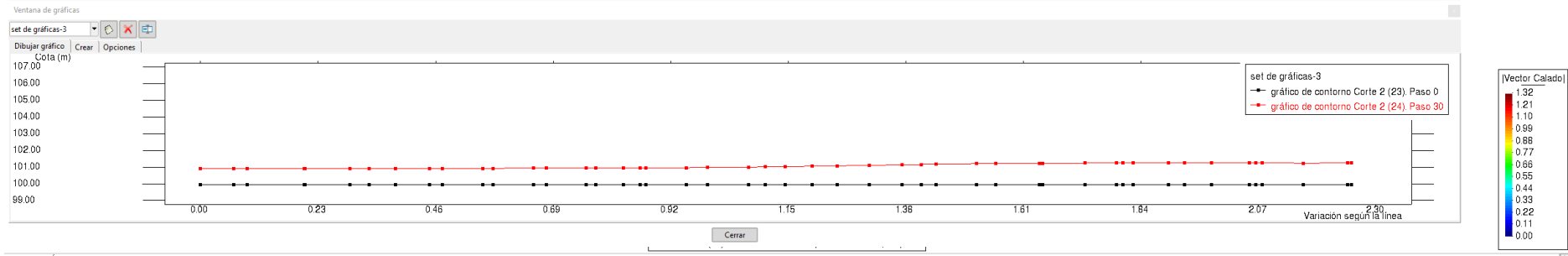
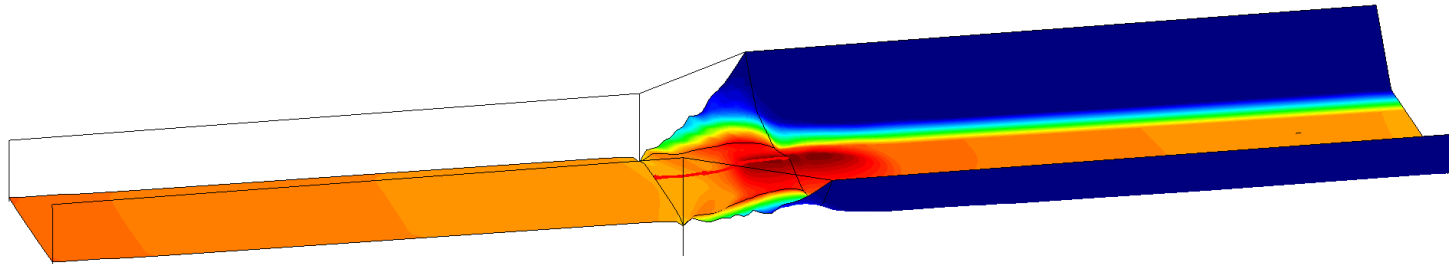
Escenario 2



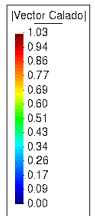
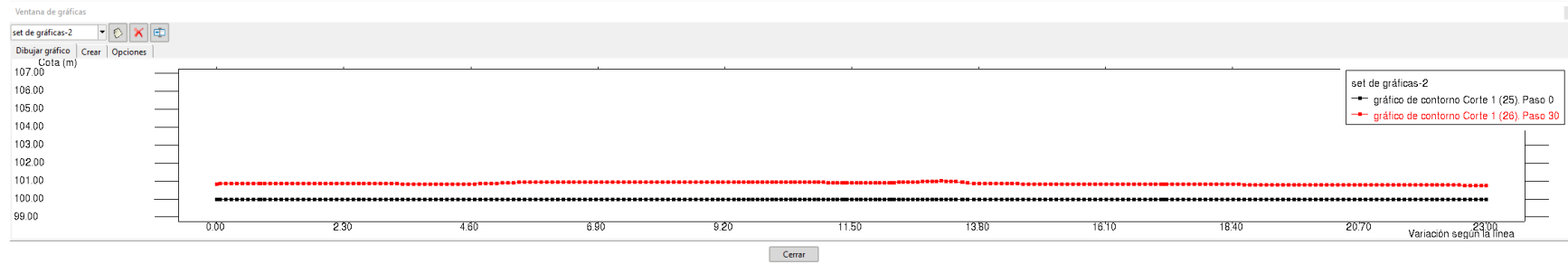
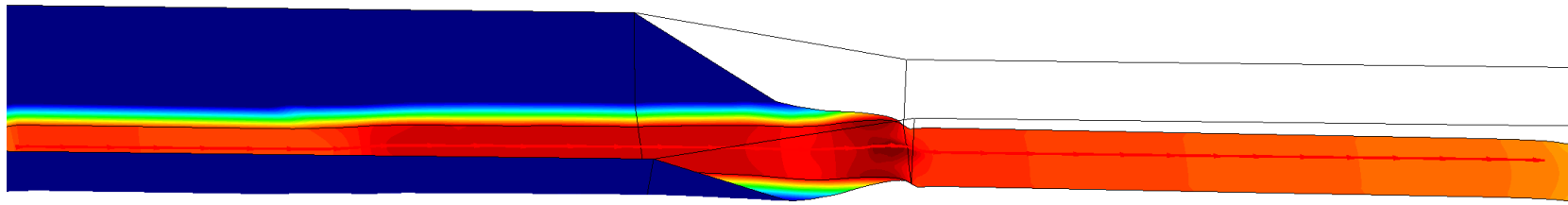
Escenario 3



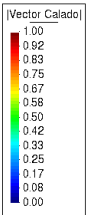
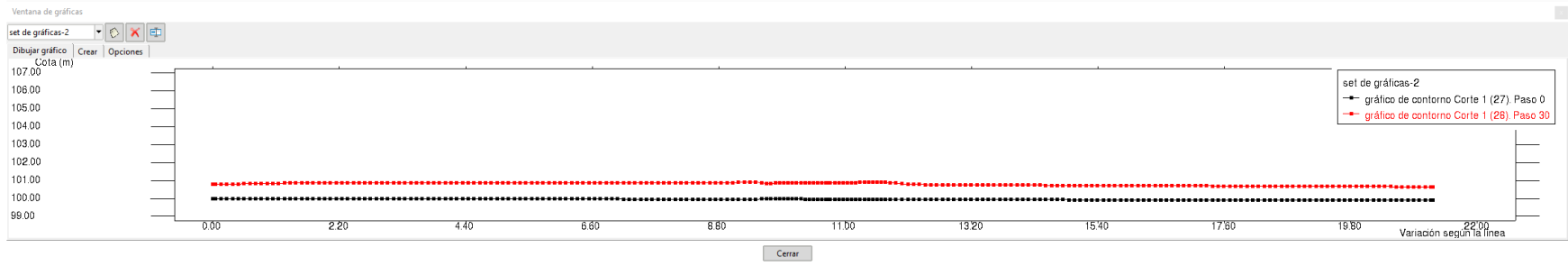
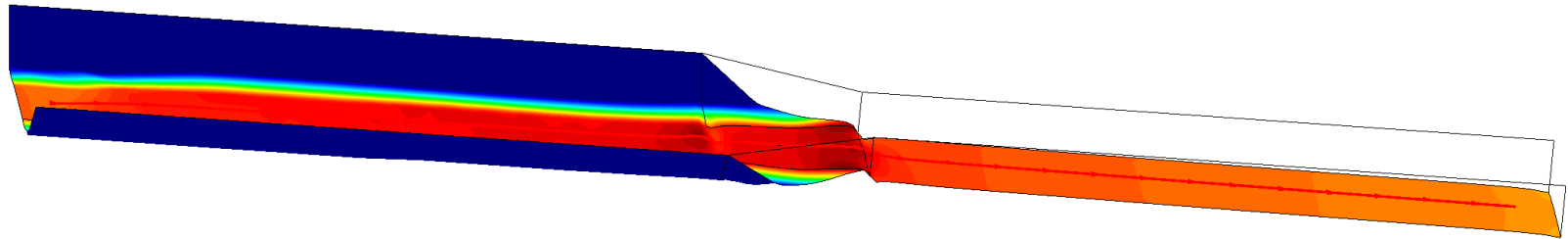
Escenario 4



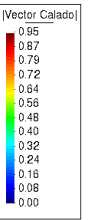
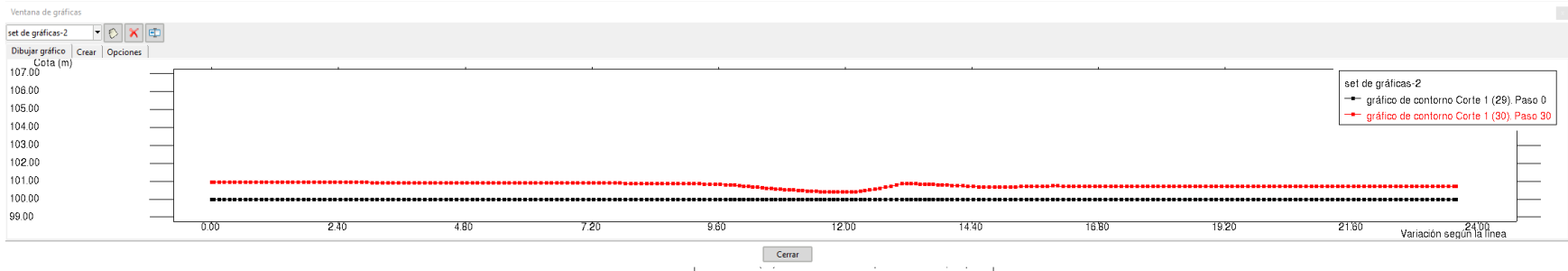
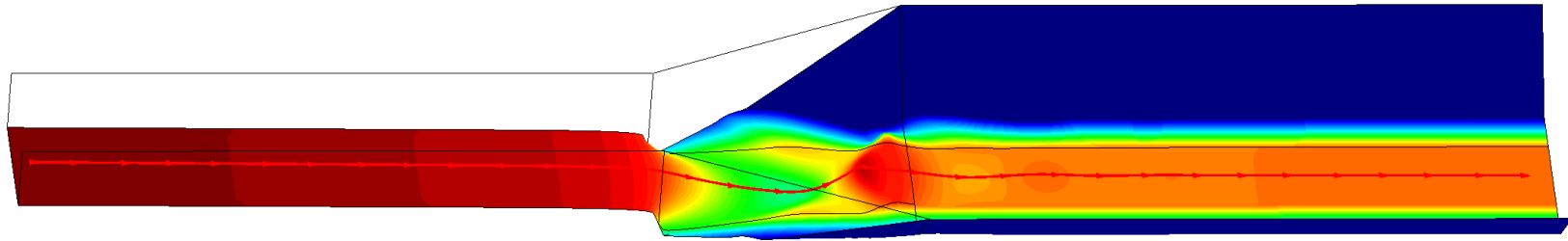
Escenario 5



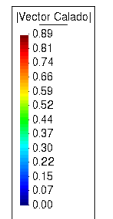
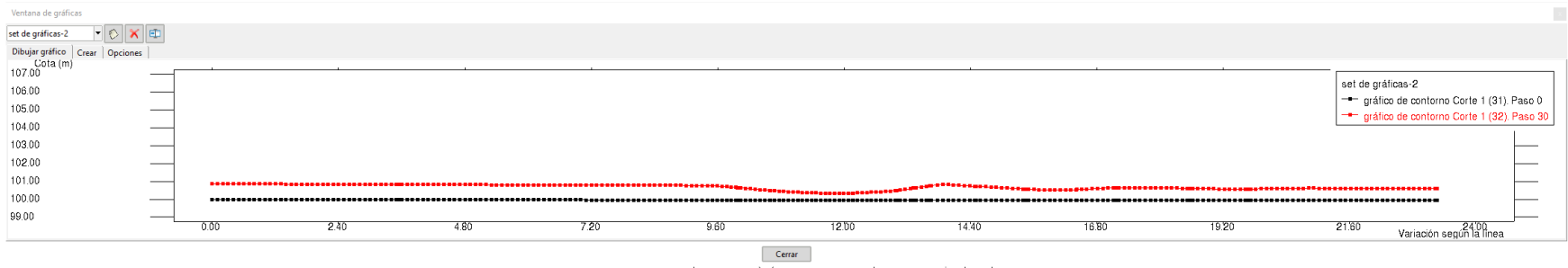
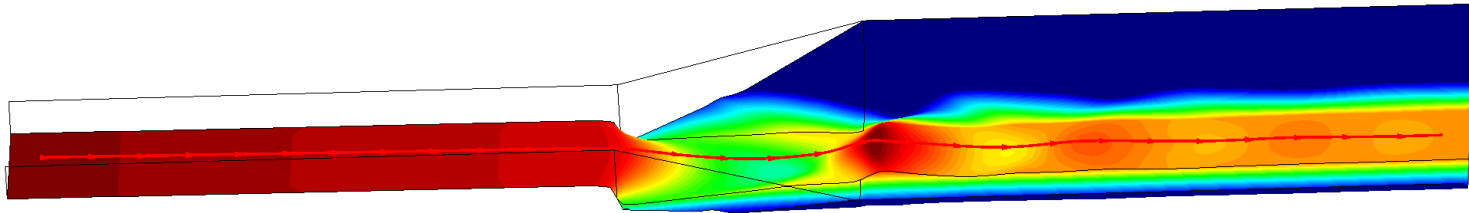
Escenario 6



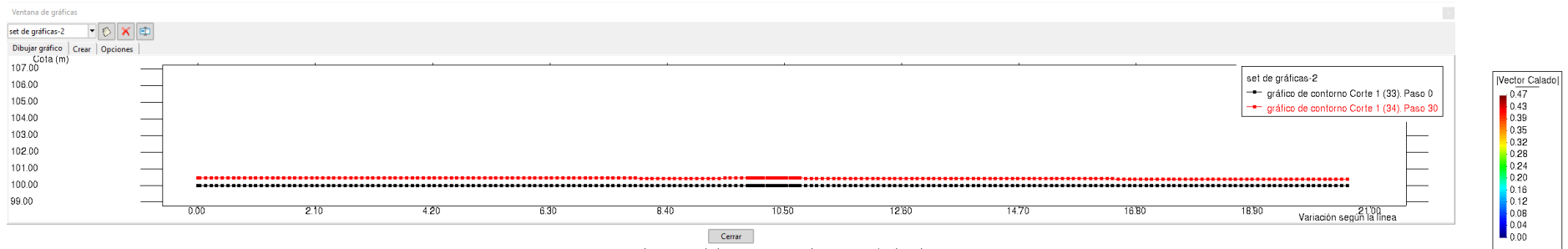
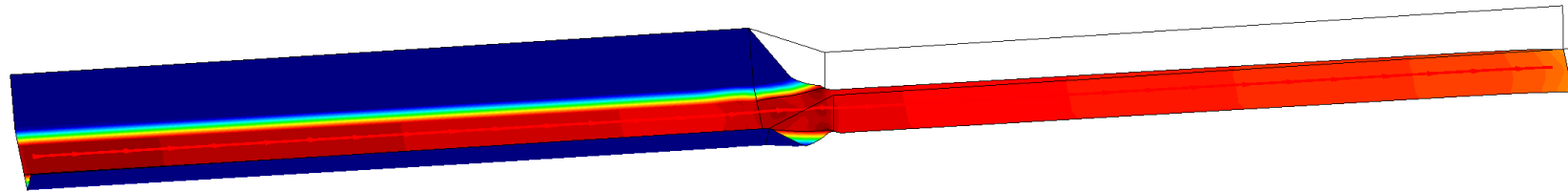
Escenario 7



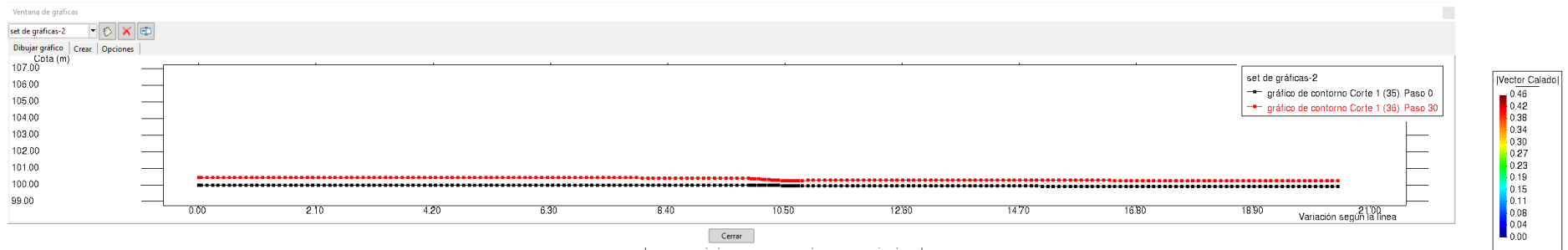
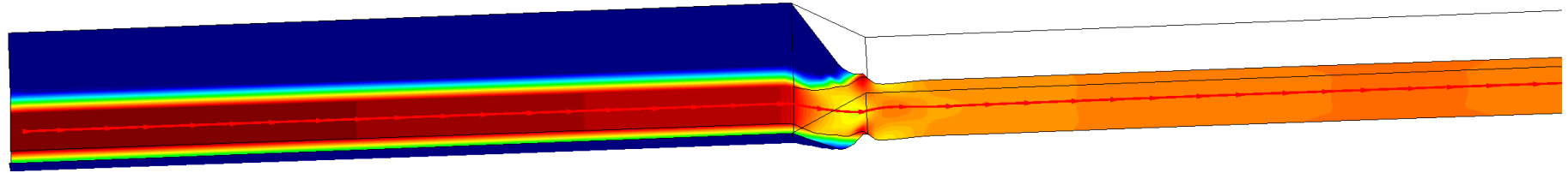
Escenario 8



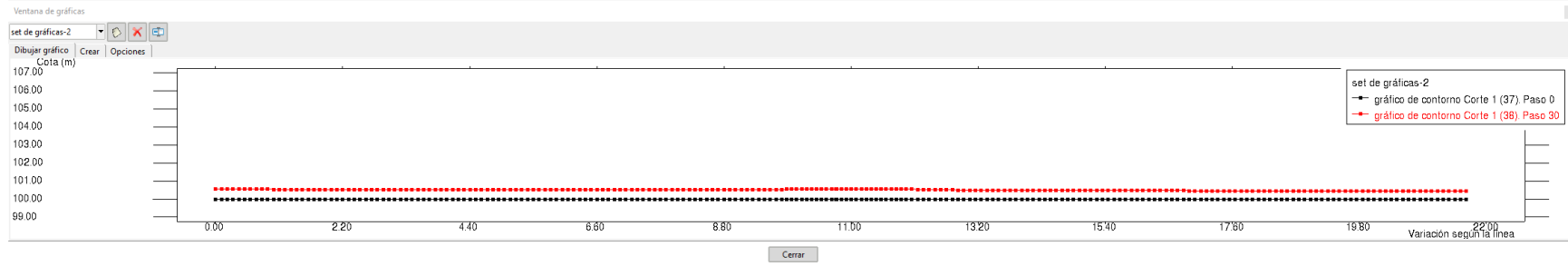
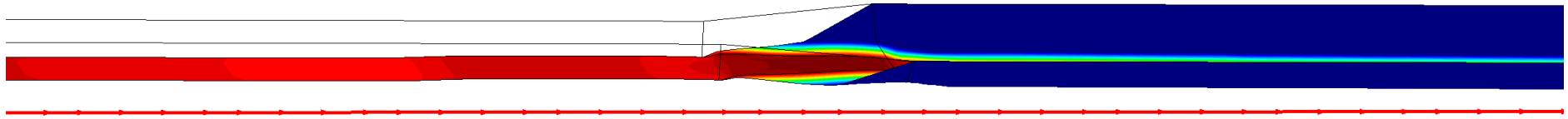
Escenario 9



Escenario 10

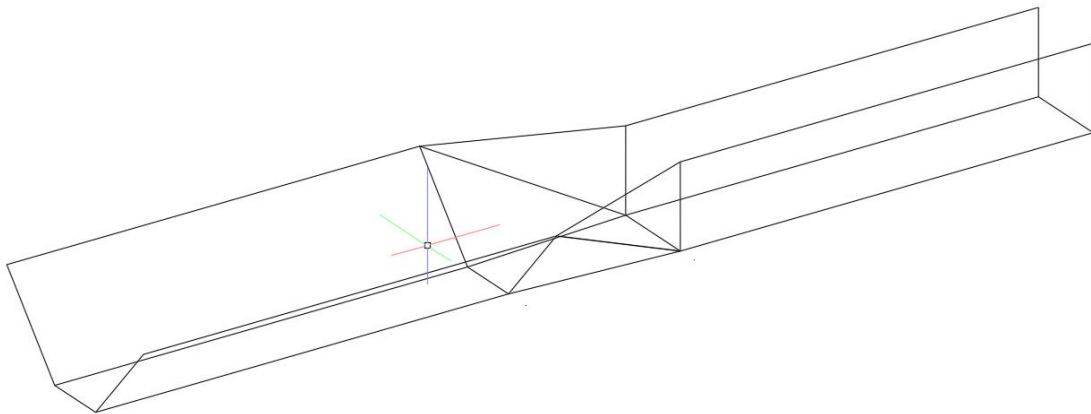


Escenario 11



V. CONCLUSIONES

- Se han revisado los diseños de transiciones y visitas a algunos canales donde están construidas algunas transiciones en canales verificando que muchas no cumplen con el criterio de diseño hidráulico, es decir los ángulos para determinar la longitud no se ajustan a lo recomendado por USBR (12.5°), lo que hace que exista una mayor pérdida de carga.
- Se ha generado la geometría tridimensional de los canales y las transiciones calculadas teóricamente, para poder insertar esta geometría al software Iber.



- Los cálculos analíticos de las transiciones dieron como resultado que teóricamente es necesario un fondo que se adapte a las condiciones del perfil hidráulico, pero en la práctica eso no se cumple porque obedece a la pendiente longitudinal del canal, lo cual genera un pequeño remanso hacia aguas arriba de la transición.
- En las transiciones que están al ingreso de una caída es posible que se varíe el ángulo de la transición es decir se puede contar con mayores pérdidas, sin embargo, para transiciones que anteceden a sifones, cruce de vías o alcantarillas debe tenerse cuidado con el ángulo para no incrementar las pérdidas.
- Los modelos numéricos bidimensionales se realizaron con el software Iber, para los 12 escenarios planteados, obteniendo como resultado que se presentan mayores pérdidas y perturbaciones al flujo en transiciones de canales rectangulares a trapezoidales, asimismo cuando se incrementa el caudal.

VI. RECOMENDACIONES

- Es importante compartir este documento para el mejor conocimiento de las pérdidas de carga en canales por efecto de las transiciones, ya que esto genera que muchos proyectos no alcancen la eficiencia con los que fueron diseñados.
- Se recomienda que la Universidad lidere un programa de aprendizaje de modelamiento numérico de flujo libre.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMIJOS, G. (2018), Diseño de canales abiertos.

CHOW, V.T. (1982), Hidráulica de los canales abiertos.

EB PAREJA, J. (2012). Análisis experimental de algunas pérdidas locales de energía en canales de sección rectangular abiertos, tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.

ENAMUL, A. (2008) Some characteristics of open channel transition flow, Canadá.

FLEMEN, GRUPO DE INGENIERIA DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE, CEDEX. (2010), Manual básico de usuario.

HERRERA, A.A. (2004). Investigación en modelo hidráulico de la represa de la hidroeléctrica Chimay, tesis, Universidad de Piura.

IBAÑEZ, H. (2016). Transición (expansión y reducción) en canales, Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala.

PALOMINO, J. (2003). Diseño hidráulico de una rápida para el proyecto: construcción del canal principal de Fortaleza, distrito Congas, provincia Ocros, Región Ancash, Monografía técnica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos

ROCHA, A (2007), Hidráulica de tuberías y canales, Perú.

RODRIGUEZ; PEDRO. (2008), Hidráulica II.

ROJAS. A. (2015). Diseño Hidráulico de una obra de transición convergente-divergente en el canal trasvase Alacranes-Pavón. Trabajo de diploma. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

VILLÓN, M. (2005), Diseño de Estructuras Hidráulicas, Lima.

VILLÓN, M. (2007), Hidráulica de canales, Lima