



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

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

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

Autor:

Piero Arenas Alvarado

Asesor:

Ing. Luis Vásquez Ramírez

Cajamarca - Perú

2019

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia quienes por ellos soy lo que soy. A las personas que me rodean por brindarme su apoyo, a mi madre quien me guio por el buen camino y dedicarme su tiempo sin pedir nada a cambio. Me han brindado todo lo que soy como persona, mis principios, mi carácter, mis valores, mi empeño.

Gracias también a mis queridos compañeros y amigos, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida en estos años de compartir momentos dentro y fuera del salón de clase.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a los formadores, personas de gran sabiduría quienes se me han brindado su apoyo hasta llegar a este punto, gracias por brindarme sus conocimientos, esa paciencia y dedicación.

Agradezco a mi madre por todo el tiempo dedicado y haberme proporcionado una buena educación y lecciones de vida.

A mis compañeros de clase, con los que hemos compartido diversos momentos agradables y apoyado en cada clase de esta etapa.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado.

A todos mis familiares por su apoyo.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática .....	10
1.2. Formulación del problema .....	25
1.3. Objetivos .....	25
1.4. Hipótesis .....	25
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
2.1. Tipo de investigación.....	26
2.2. Materiales, instrumentos y métodos. ....	26
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	26
2.4. Procedimiento de datos .....	29
2.5. Plan de análisis.....	29
2.6. Procedimientos.....	30
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>76</b>
ANEXO N° 01: PERFILES DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJO .....	76
ANEXO N° 02: PLANO DE UBICACIÓN.....	81
ANEXO N° 03: CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO TRIANGULAR A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE – PANEL FOTOGRÁFICO .....	86
ANEXO N° 04: PANEL FOTOGRÁFICO.....	93
ANEXO N° 05: PROTOCOLOS .....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de ecuaciones para estimar la pérdida de energía local. ....	14
Tabla 2. Consideraciones básicas para la Base Mayor. ....	27
Tabla 3. Consideraciones básicas para base menor. ....	27
Tabla 4. Toma de datos de la primera variable para reducción y ampliación brusca de 10%. ....	37
Tabla 5. Toma de datos de la segunda variable para reducción y ampliación brusca de 10%. ....	37
Tabla 6. Toma de datos de la tercera variable para reducción y ampliación brusca de 10%. ....	38
Tabla 7. Toma de datos de la cuarta variable para reducción y ampliación brusca de 10%. ....	38
Tabla 8. Toma de datos de la quinta variable para reducción y ampliación brusca de 10%. ....	39
Tabla 9. Toma de datos de la sexta variable para reducción y ampliación brusca de 10%. ....	39
Tabla 10. Toma de datos de la primera variable para reducción y ampliación brusca de 25%. ....	40
Tabla 11. Toma de datos de la segunda variable para reducción y ampliación brusca de 25%. ....	40
Tabla 12. Toma de datos de la tercera variable para reducción y ampliación brusca de 25%. ....	41
Tabla 13. Toma de datos de la cuarta variable para reducción y ampliación brusca de 25%. ....	41
Tabla 14. Toma de datos de la quinta variable para reducción y ampliación brusca de 25%. ....	42
Tabla 15. Toma de datos de la sexta variable para reducción y ampliación brusca de 25%. ....	42
Tabla 16. Toma de datos de la primera variable para reducción y ampliación brusca de 40%. ....	43
Tabla 17. Toma de datos de la segunda variable para reducción y ampliación brusca de 40%. ....	43
Tabla 18. Toma de datos de la tercera variable para reducción y ampliación brusca de 40%. ....	44
Tabla 19. Toma de datos de la cuarta variable para reducción y ampliación brusca de 40%. ....	44
Tabla 20. Toma de datos de la quinta variable para reducción y ampliación brusca de 40%. ....	45
Tabla 21. Toma de datos de la sexta variable para reducción y ampliación brusca de 40%. ....	45
Tabla 22. Procesamiento de datos para la transición 1-1 de expansión y contracción brusca del 10%. ....	46
Tabla 23. Procesamiento de datos para la transición 2-2 de expansión y contracción brusca del 10%. ....	46
Tabla 24. Procesamiento de datos para la transición 3-3 de expansión y contracción brusca del 10%. ....	47
Tabla 25. Ecuación general de la pérdida de energía local - Contracción brusca 10%. ....	48
Tabla 26. Ecuación general de la pérdida de energía local - Ampliación brusca 10%. ....	49
Tabla 27. Ecuación de Formica - Contracción brusca 10%. ....	50
Tabla 28. Ecuación de Formica - Ampliación brusca 10%. ....	51
Tabla 29. Ecuación de Hinds - Contracción brusca 10%. ....	52
Tabla 30. Ecuación de Hinds - Ampliación brusca 10%. ....	53
Tabla 31. Procesamiento de datos para la transición 1-1 de expansión y contracción brusca del 25%. ....	54
Tabla 32. Procesamiento de datos para la transición 2-2 de expansión y contracción brusca del 25%. ....	55
Tabla 33. Procesamiento de datos para la transición 3-3 de expansión y contracción brusca del 25%. ....	55
Tabla 34. Ecuación general de la pérdida de energía local - Contracción brusca 25%. ....	56
Tabla 35. Ecuación general de la pérdida de energía local - Ampliación brusca 25%. ....	57
Tabla 36. Ecuación de Formica - Contracción brusca 25%. ....	58
Tabla 37. Ecuación de Formica - Ampliación brusca 25%. ....	59

Tabla 38. Ecuación de Hinds - Contracción brusca 25% . . . . .	60
Tabla 39. Ecuación de Hinds - Ampliación brusca 25%. . . . .	61
Tabla 40. Procesamiento de datos para la transición 1-1 de expansión y contracción brusca del 40% . . . . .	62
Tabla 41. Procesamiento de datos para la transición 2-2 de expansión y contracción brusca del 40% . . . . .	62
Tabla 42. Procesamiento de datos para la transición 3-3 de expansión y contracción brusca del 40% . . . . .	62
Tabla 43. Ecuación general de la pérdida de energía local - Contracción brusca 40%. . . . .	63
Tabla 44. Ecuación general de la pérdida de energía local - Ampliación brusca 40%. . . . .	64
Tabla 45. Ecuación de Formica - Contracción brusca 40%. . . . .	65
Tabla 46. Ecuación de Formica - Ampliación brusca 40%. . . . .	66
Tabla 47. Ecuación de Hinds - Contracción brusca 40%. . . . .	67
Tabla 48. Ecuación de Hinds - Ampliación brusca 40%. . . . .	68
Tabla 49. Cuadro resumen del coeficiente de relación para contracción brusca. . . . .	69
Tabla 50. Valores para el coeficiente de pérdida local en contracciones bruscas. . . . .	69
Tabla 51. Cuadro resumen del coeficiente de relación para ampliación brusca. . . . .	70
Tabla 52. Valores para el coeficiente de pérdida local en Ampliaciones bruscas. . . . .	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista en planta de: a) Reducción brusca, b) Ampliación brusca, c) Reducción gradual, d) Ampliación gradual.....	16
Figura 2. Contracción brusca en canal rectangular:.....	16
Figura 3. Ampliación brusca en canal rectangular. ....	18
Figura 4. Flujo en canales abiertos. ....	20
Figura 5. Curva de energía específica. ....	21
Figura 6. Protocolo para toma de datos. ....	28
Figura 7. Habilitación de las planchas de acero galvanizado. ....	31
Figura 8. Doblaje de la plancha de acero. galvanizado. ....	31
Figura 9. Protocolo para calibración del vertedero de salida del canal de pendiente variable.....	34
Figura 10. Nomenclatura para transiciones. ....	36
Figura 11. Relación de base y altura de la sección transversal (1 - 3) y formula de área hidráulica con la ecuación de la energía .....	46
Figura 12: Relación de base y altura de la sección transversal 2-2, reducción del 10%.....	47
Figura 13. Ecuación general para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.....	48
Figura 14. Ecuación general para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.....	49
Figura 15. Ecuación de Formica para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía..	50
Figura 16. Ecuación de Formica para ampliación brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía. .	51
Figura 17. Ecuación de Hinds para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía. ....	52
Figura 18. Ecuación de Hinds para ampliación brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía. ....	53
Figura 19. Relación de base y altura del canal trapezoidal para reducción de 25% y 40%.....	54
Figura 20. Ecuación general para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía. ....	56
Figura 21. Ecuación general para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía. ....	57
Figura 22. Ecuación de Formica para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía..	58
Figura 23. Ecuación de Formica para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía..	59
Figura 24. Ecuación de Hinds para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía. ....	60
Figura 25. Ecuación de Hinds para ampliación brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía. ....	61
Figura 26. Ecuación general para contracción brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía. ....	63
Figura 27. Ecuación general para ampliación brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía. ....	64
Figura 28. Ecuación de Formica para contracción brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía. .	65
Figura 29. Ecuación de Formica para ampliación brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía. .	66
Figura 30. Ecuación de Hinds para contracción brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía. ....	67
Figura 31. Ecuación de Hinds para ampliación brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía. ....	68

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Formula general de la pérdida local .....	12
Ecuación 2: Ecuación de Borda-Carnot: .....	13
Ecuación 3: Ecuación de pérdida local en contracciones bruscas, Formica.....	14
Ecuación 4: Borda - Carnot.....	14
Ecuación 5: Formica .....	14
Ecuación 6: Hinds .....	14
Ecuación 7: Denli .....	14
Ecuación 8: Propuesta de Eb-Pareja.....	14
Ecuación 9: Ecuación de conservación de energía.....	19
Ecuación 10: Ecuación de Bernoulli .....	19
Ecuación 11: Ecuación de energía específica.....	20
Ecuación 12: Ecuación de energía específica en la sección de un caudal.....	20
Ecuación 13: Determinación del número de Froude .....	22
Ecuación 14: Ecuación del número de Froude .....	22
Ecuación 15: Ecuación del número de Reynolds .....	23

## RESUMEN

Las pérdidas locales o menores, son pérdidas de energía que resultan de las características como compuertas, cambios de dirección, etc. La información limitada en coeficientes de pérdida local para canales abiertos trapezoidales, ha motivado a tener como objetivo principal en esta investigación realizar un análisis en el tema antes mencionado cuando exista una ampliación y contracción brusca de la sección.

Para iniciar la investigación; se modificó 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  $\langle 0.20, 0.45 \rangle$ ;  $\langle 0.44, 0.97 \rangle$ ;  $\langle 0.25, 0.54 \rangle$ , 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  $\langle 3.70, 13.51 \rangle$ ;  $\langle 3.06, 6.16 \rangle$ ;  $\langle 1.27, 1.68 \rangle$  para el coeficiente “K” respectivamente.

**Palabras clave:** Pérdida de energía, pérdida local de energía, contracciones y ampliaciones bruscas, tirante hidráulico, coeficientes, canales abiertos, canales trapezoidales.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los canales pueden ser de tipo natural o artificial debido a su origen. Los primeros han sido creados por los ecosistemas para drenar el agua de la tierra en forma de arroyos o ríos. Por su parte los canales artificiales son creados por el hombre para generar electricidad, navegación, riego, etc., estos canales tienen como principal reto conducir eficientemente el agua para cumplir la función por la cual fueron creados (Castellanos, Collazos, Farfán, & Melendez-Pertuz, 2017).

Hoy en día, el diseño de un canal abierto puede tener como uso de riego, drenaje, acueducto, navegación entre otras. En el transcurso del conducto deberá tenerse en cuenta muchos factores que en su recorrido puedan presentarse, siendo las más principales la fricción, pendientes, direcciones, ampliaciones, contracciones y posibles obstáculos en el canal que generan pérdida de energía hidráulica. Por mencionados factores el flujo del agua tiende a disminuir su energía en todo su intervalo. Es por esto que en el tema de hidráulica se exige un estudio minucioso para poder controlar el flujo. La construcción o aparición de nuevas estructuras sobre canales abiertos trapezoidales, pueden generar modificaciones en el flujo de energía (aumento o disminución del tirante hidráulico) por tanto, es común encontrar puentes o pilares por encima de canales, cuyo efecto de dichas estructuras, es generar una disminución en el tirante hidráulico (pérdida de energía), lo cual conlleva al aumento de velocidad aguas abajo, el cual tendría por consecuencia socavaciones y posibles deterioros del canal a lo largo de la estructura, generando así, un problema abierto al campo de la investigación por resolver. Es, por tanto, que nos planteamos el siguiente problema: ¿Cuál es la pérdida de energía local en un canal trapezoidal abierto, cuando existe

contracción y expansión brusca de la sección? (Dulhoste, Georges, Besacon y J. Jerez, 2007), indicaron que la dinámica de flujos en canales abiertos normalmente se representa mediante las ecuaciones de Saint-Venant. El objetivo primordial de su trabajo fue automatizar los canales de manera eficiente y segura, esto implica satisfacer la demanda de agua en cada estación de bombeo. Esto involucra mantener un nivel de agua, que satisfaga la demanda sin permitir el desbordamiento del canal, para cada una de las secciones del canal y reservas existentes.

En los canales de riego las pérdidas de energía en las transiciones reducen la eficiencia de la conducción de los flujos de agua, otras obras de ingeniería hidráulica no deben pasarse por alto sin tener un valor estimado de su magnitud (Eb Pareja, 2012).

Teniendo como referencia internacional a la investigación experimental del ingeniero Eb Pareja en su tesis desarrollada en la Universidad Autónoma de México en donde estima de una mejor manera la pérdida de energía local en canales rectangulares cuando existen ampliaciones y contracciones en su ancho; evaluando coeficientes de ecuaciones establecidas, así como también determina cual es la ecuación más adecuada para obtener la medida de la energía en cada tipo de transición en flujos subcríticos.

A nivel local (Terrones, 2015), desarrolla una investigación enfocada a determinar la disipación de energía mediante cuencos amortiguadores bajo seis condiciones de flujo estudiando los comportamientos del flujo en el canal de pendiente variable de la Universidad Privada de Norte, sede Cajamarca en el año 2015.

Como continuidad de la investigación del ingeniero Eb-Pareja, siendo nuestro principal antecedente, se propone a realizar el estudio de pérdidas de energía en canales trapezoidales con contracciones y ampliaciones bruscas, tomando medidas de la

variación tirante hidráulico cuando se altere la longitud de esta sección y el flujo en el canal de pendiente variable.

Para introducción al desarrollo de esta investigación es necesario conocer conceptos y dentro del marco teórico iniciaremos con lo que llamamos pérdidas locales o menores.

Las pérdidas locales se pueden calcular como fracción de la velocidad, esta fracción suele ser denominado como el coeficiente de pérdida local y se obtiene experimentalmente. Aunque los coeficientes de pérdida local están bien determinados para el caudal de la tubería, sólo hay pocos que han estudiado los coeficientes de pérdidas locales en los flujos de canal abierto. Estos son para la expansión abrupta o contracción en el ancho de un Canal rectangular (Denli y Altan-Sakarya, 2011).

Las pérdidas locales se presentan por los accidentes topográficos y los cambios que se presentan en la geometría de la sección, están localizadas en el sitio del cambio de geometría; se expresa generalmente en términos de un cambio en la carga de velocidad en el tramo, su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, la fórmula general de la pérdida local es:

*Ecuación 1: Formula general de la pérdida local*

$$h_L = k \frac{V^2}{2g}$$

Donde  $h_L$  es la pérdida de energía,  $V$  la velocidad,  $g$  la gravedad y  $k$  es un coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida; desafortunadamente no se dispone de gran información sobre  $k$ , pues varía de caso en caso y por ende hay una variación en los valores, ya sea una expansión o contracción u otro.

Estas pérdidas son consideradas nulas en muchos de los casos, adquieren importancia cuando en un tramo corta existe un gran número de cambios o variaciones en la geometría de la sección.

La ecuación de Borda-Carnot, en honor de Jean-Charles de Borda (1733-1799) y Lazare Carnot (1753-1823), es una descripción empírica que trata a las pérdidas de energía de un fluido debidas a las expansiones bruscas. Esta ecuación puede ser utilizada tanto para flujo en tuberías como para flujo en canales abiertos, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

*Ecuación 2: Ecuación de Borda-Carnot:*

$$\Delta E = \xi \frac{1}{2} \rho (v_1 - v_2)^2$$

Donde:

$\Delta E$  Es la pérdida de energía por unidad de volumen.

$\xi$  Es el coeficiente empírico, es adimensional y tiene un valor entre cero y uno.

$\rho$  Es la densidad del líquido.

$(v_1, -v_2)$  Son las velocidades de flujo antes y después de la expansión.

Esta ecuación solo es válida sólo para las velocidades decrecientes  $v_1 > v_2$ , en caso contrario la pérdida de energía  $\Delta E$  es cero ya que sin él trabajo mecánico de las fuerzas externas no hay una ganancia de energía del fluido.

En las investigaciones de Eb Pareja menciona que Formica llevo a cabo experimentos en varios diseños para flujos subcríticos a través de transiciones repentinas, presentando coeficientes de pérdida local para el diseño de expansiones y contracciones y llegando a la conclusión de que las pérdidas de energía podrían

reducirse en gran medida mediante las modificaciones de las esquinas afiladas. Y para el análisis en contracciones bruscas indicó la siguiente ecuación:

*Ecuación 3: Ecuación de pérdida local en contracciones bruscas, Formica*

$$h_L = 0.10 \frac{v_2^2}{2g}$$

Skogerboe en el año 1971 estudio la pérdida de carga que ocurre en la expansión de un canal abierto. También realizó una comparación de los diferentes métodos estudiados por otros investigadores y encontró en los cálculos de pérdida a nivel local no son constantes.

Eb-Pareja en su investigación también recomienda ecuaciones para estimar la pérdida de energía local y una propuesta, a continuación, presentamos una relación de ecuaciones a usar en esta investigación para determinar la pérdida de energía local.

Tabla 1.

*Relación de ecuaciones para estimar la pérdida de energía local.*

<b>Ecuación</b>	<b>Fórmula</b>
<i>Ecuación 1: Fórmula general de la pérdida local</i>	$h_L = k \frac{V^2}{2g}$
<i>Ecuación 4: Borda - Carnot</i>	$h_L = k \frac{1}{2} \rho \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g}$
<i>Ecuación 5: Formica</i>	$h_L = k \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g}$
<i>Ecuación 6: Hinds</i>	$h_L = k \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$
<i>Ecuación 7: Denli</i>	$\frac{h_L}{y} = k \frac{Fr_3^2}{2}$
<i>Ecuación 8: Propuesta de Eb-Pareja</i>	$\frac{h_L}{b} = k \frac{Fr_3^2}{Fr_1}$

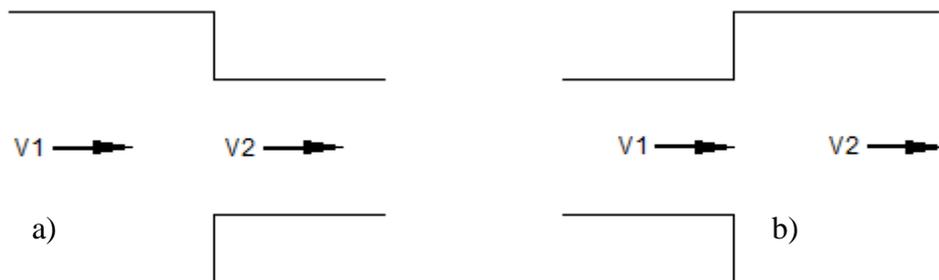
En la ecuación 8 la pérdida local está siendo dividida por el valor  $b$  que es el ancho de la sección de la contracción brusca y asimismo revela que esta fórmula solo será aplicada cuando exista una contracción brusca.

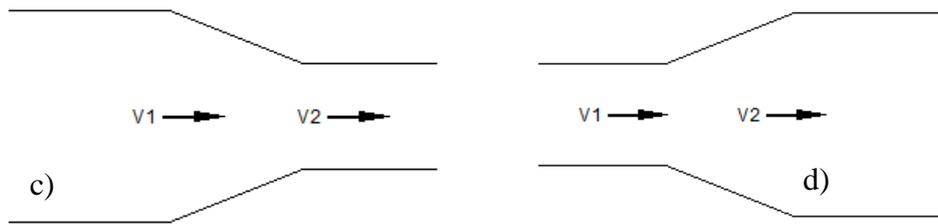
Continuando con la introducción para esta investigación, el flujo de un canal no siempre es conducido de un punto a otro con la misma sección, a menudo es necesario hacer cambios en la geometría de la sección del canal.

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.

La pérdida de energía local adquiere gran importancia cuando en un tramo corto de un río existe un gran número de transiciones, a diferencia de la pérdida por fricción en un tramo corto es despreciable.

Un uso común del cambio de geometría de la sección de un canal es la reducción de sección, este se presenta a menudo bajo los puentes en el que las pilas obstruyen el flujo normal en el canal.

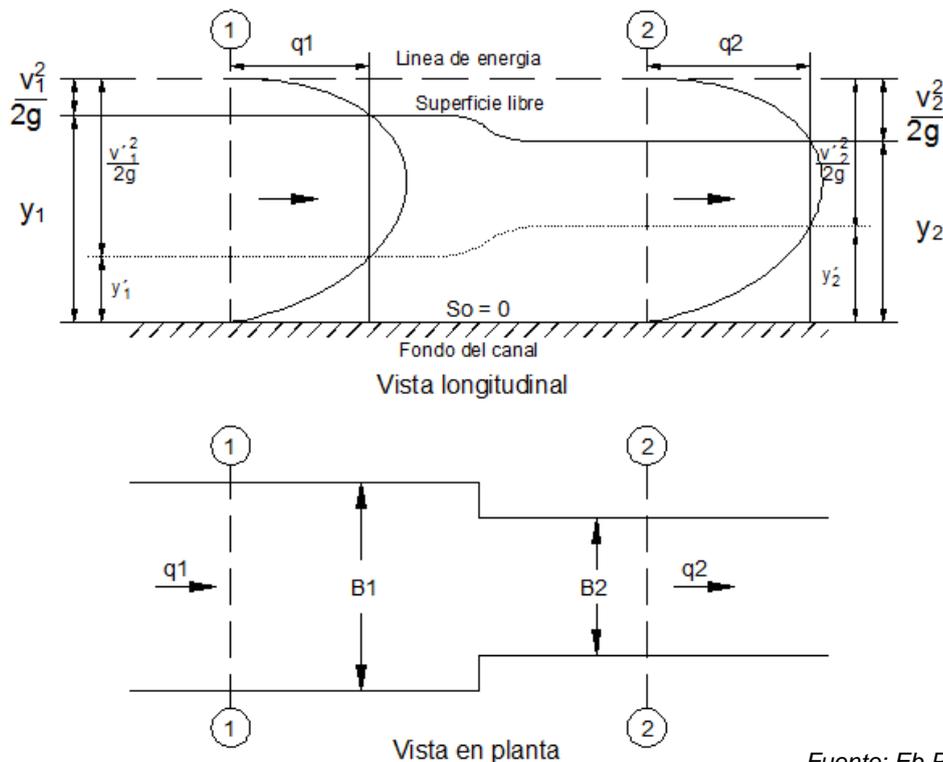




Fuente: Eb Pareja, 2012.

Figura 1. Vista en planta de: a) Reducción brusca, b) Ampliación brusca, c) Reducción gradual, d) Ampliación gradual.

De la figura a continuación presenta un canal rectangular con contracción brusca.



Fuente: Eb Pareja, 2012.

Figura 2. Contracción brusca en canal rectangular:

Debido a que  $B_1 > B_2$ , entonces el gasto por unidad de ancho deriva a que  $q_1 < q_2$ . El comportamiento de la superficie libre depende del tipo de régimen que se tenga en la sección 1.

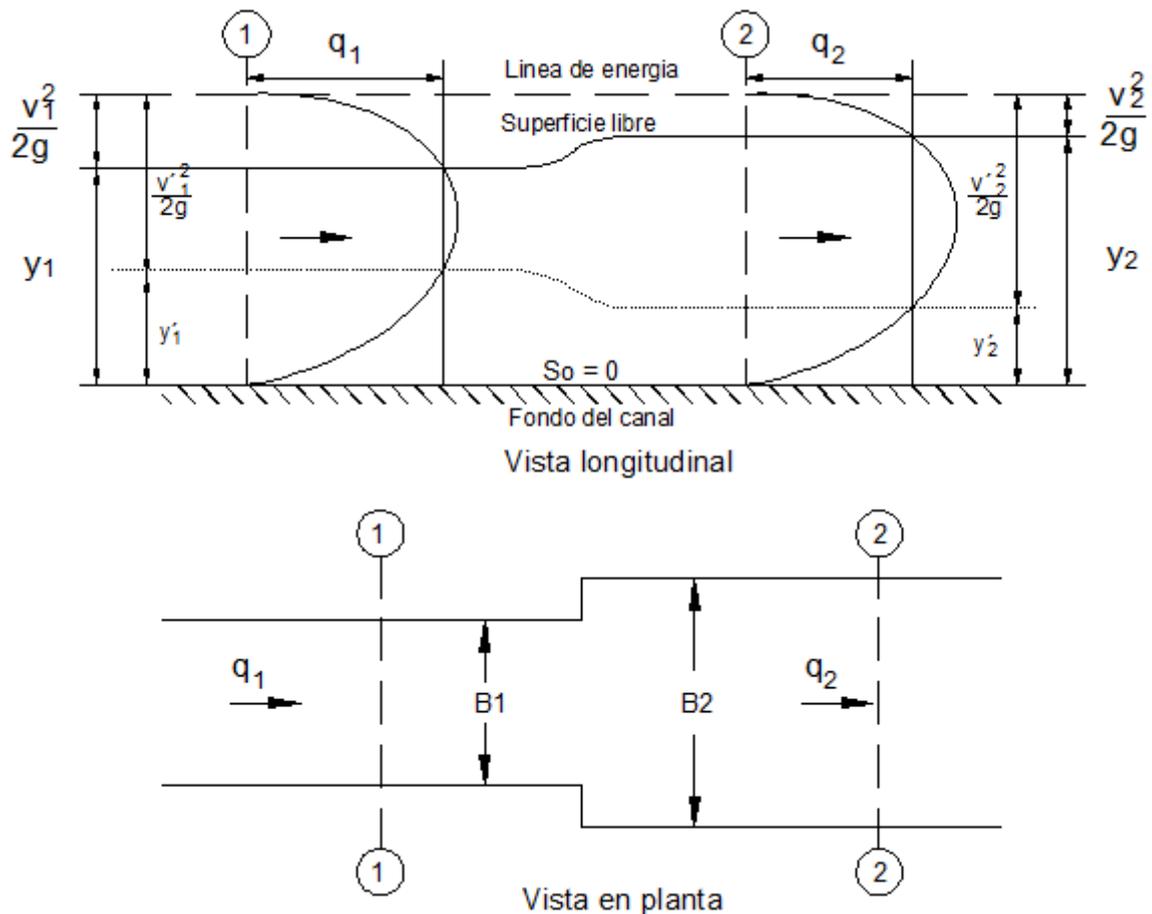
En consecuencia si  $y_1 > y_c$ , es decir, en la sección 1 el tirante  $y_1$  es menor a 1 corresponde a un régimen subcrítico, si en la sección 2 al aumentar el gasto por

unidad de ancho de  $q_1$  a  $q_2$ , el tirante en la sección debe disminuir ( $y_2 < y_1$ ), tal como se evaluó en los en la figura anterior, pero para este fenómeno existe otro valor  $y'_2 < y_c$  que también le corresponde al  $q_2$ , esta es la otra raíz de la ecuación que debe ser rechazada ya que para obtener ese valor el tirante  $y'_2$ , el gasto debió haber pasado por el gasto máximo ( $Q_{max}$ ) antes y eso no es posible ya que el caudal tiene un valor fijo, por lo tanto  $q_2 < Q_{max}$ .

El ancho  $B_2$  puede llegar a tomar un valor en el que  $q_2$  sea igual a  $Q_{max}$  y esa característica señalara el valor mínimo del ancho posible para la anergia específica  $E_o$ .

Lo anterior muestra que para calcular el tirante aguas abajo se requiere hacer un análisis del régimen del flujo y una vez conocido aplicar la ecuación de energía, según sean los datos proporcionados.

Para una ampliación brusca en un canal rectangular podemos apreciar lo siguiente.



Fuente: Eb Pareja, 2012.

Figura 3. Ampliación brusca en canal rectangular.

A diferencia de una contracción en este caso no es posible que se presente el estado crítico, después del cambio de sección de acuerdo a la figura muestra que  $q_1$  es mayor que  $q_2$ . Pero el estado crítico puede presentarse en la sección 1 antes de la ampliación, pero al observar la figura no se podrá predecir si en la sección dos se tendrá un tirante subcrítico o supercrítico, a lo cual se dice que en la sección 2 será impredecible e inconveniente proyectar una situación semejante, por lo tanto, se necesario que el flujo se encuentre definido en estado subcrítico o supercrítico.

El principio de la conservación de energía en el caso de los fluidos en movimientos también está presente, a diferencia del caso de un cuerpo considerado como una partícula, ahora en el caso de los fluidos la masa está distribuida en todo el fluido, es decir la masa está distribuida en todo el volumen.

La ecuación de conservación de la energía se expresa como la suma de su elevación  $z$  desde un punto de referencia, y es el tirante, la carga de presión  $p/g\rho$ , y la energía cinética  $V^2/2g$ , donde  $V$  es la velocidad local.

En un canal la energía de un punto cualquiera está dada por:

*Ecuación 9: Ecuación de conservación de energía*

$$H = z + y \cos\theta + \frac{p}{g\rho} + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Donde  $z$  es la elevación del fondo del canal, la suma  $H$  se conoce como carga total,  $\theta$  corresponde al ángulo de inclinación del fondo de la sección y  $\alpha$  es el coeficiente de Coriolis para considerar el efecto de la distribución irregular de la velocidad en la sección.

Debido a la presencia de la superficie libre y la acción de la presión atmosférica  $p_a = 0$ , en caso de que el ángulo  $\theta$  sea pequeño, se cumple que el  $\cos \theta \approx 1$  (solo para  $\theta \leq 8^\circ$ ). Si además  $\alpha = 1$ , la ecuación adquiere la forma de la ecuación de Bernoulli esto es:

*Ecuación 10: Ecuación de Bernoulli*

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g}$$

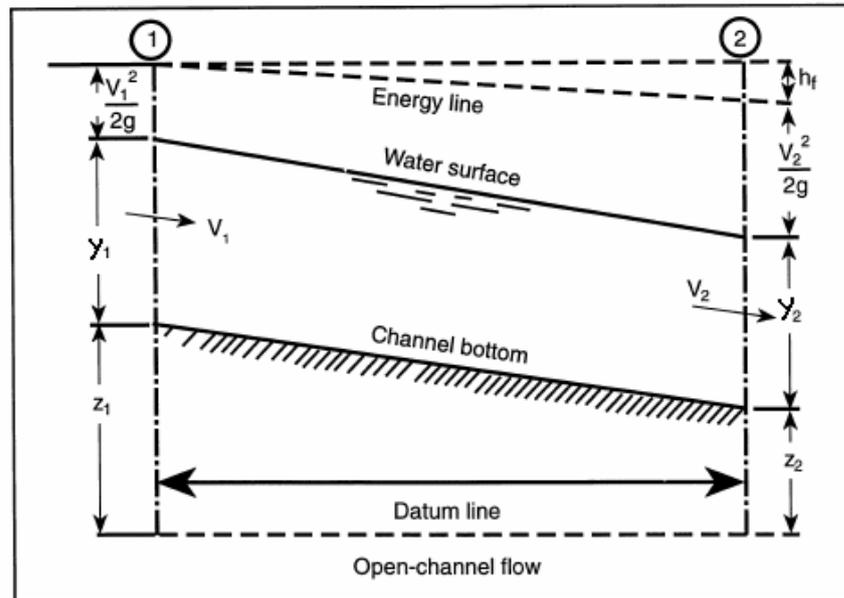


Figura 4. Flujo en canales abiertos.

El término  $h_f$  es la pérdida de energía, que ocurre de la sección 1 y la 2 se obtiene la ecuación de energía:

*Ecuación 11: Ecuación de energía específica*

$$y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Definiremos la energía específica en la sección de un canal como la energía por kilogramo de agua que fluye a través de la sección medida con respecto al fondo del canal.

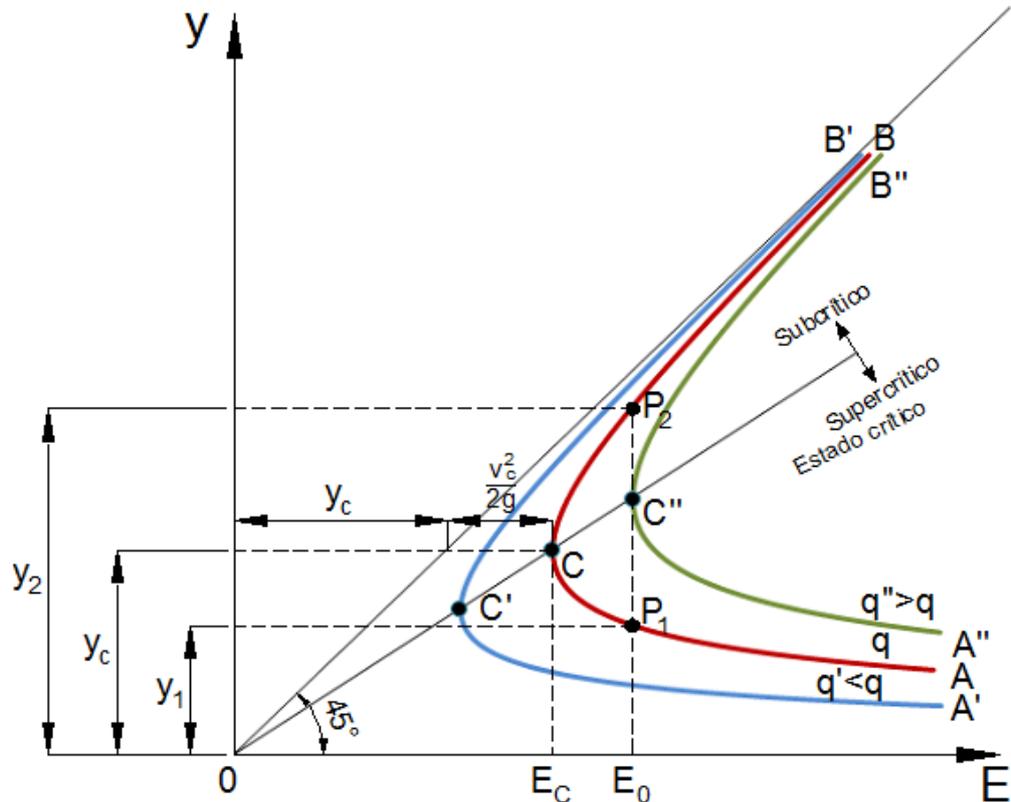
*Ecuación 12: Ecuación de energía específica en la sección de un caudal*

$$E = y \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} = y \cos \theta + \alpha \frac{Q^2}{2gA^2}$$

La ecuación de energía equivale a la suma de tirante y la carga de velocidad, la carga de posición no influye porque es constante.

El valor de  $\theta$  corresponde al ángulo de inclinación del fondo de la sección, si  $\theta$  es pequeño  $\cos \theta \approx 1$ .

Casi siempre  $\alpha$  se omite, debido a que se trabaja con flujos turbulentos y su valor es muy cercano a uno en la mayoría de los casos.



Fuente: Eb-pareja, 2012

Figura 5. Curva de energía específica.

Se observa que la figura 5 tiene dos ramas AC y BC, al igual se observa que para una  $E = \text{cte}$  existen dos tirantes que toman el nombre de alternos.

En el punto C se tiene un punto de inflexión que corresponde a la energía mínima con el cual pasa el gasto  $Q$  a través de la sección y el tirante que pasa por ese punto es único.

Cuando el tirante  $y_2$  del flujo es mayor de  $y_c$  (tirante crítico) la velocidad es menor que la  $v_c$  (velocidad crítica), por lo tanto, el flujo está en régimen subcrítico, en caso contrario, el tirante  $y_1$  del flujo es menor que  $y_c$  derivando a que la velocidad es mayor

que  $v_c$  por lo tanto el flujo está en estado supercrítico. De acuerdo a lo anterior si el tirante es igual al  $y_c$ , corresponderá a un estado crítico.

Los gastos  $q$  (gasto por unidad de ancho) cambian si el ancho del canal cambia en forma simultánea. Si el gasto  $q''$  es mayor al gasto  $q$ , indica que la sección del canal ha cambiado, en este caso en particular se trata de una contracción, caso contrario ocurre cuando  $q'$  es menor a  $q$ , esta condición implica que el ancho del canal ha sufrido una ampliación.

Existen fórmulas y teorías para clasificar al flujo como el número de Froude (Fr), denominado así en honor al ingeniero hidrodinámico y arquitecto naval inglés William Froude (1810 - 1879), en el cual describe que es adimensional y está relacionado con efecto de las fuerzas de inercia y la fuerza de gravedad que operan sobre un fluido. De esta forma el número de Froude, se determina en la ecuación 13.

*Ecuación 13: Determinación del número de Froude*

$$Froude = \frac{\text{Fuerza de Inercia}}{\text{Fuerza de Gravedad}}$$

Para determinar el estado del fluido lo concretaremos como:

*Ecuación 14: Ecuación del número de Froude*

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD_H}}$$

Siendo:

- $v$  - Es la velocidad media del flujo en la sección del canal (m/s)
- $D_H$  - Profundidad hidráulica en metros (A/T). Siendo la relación del área de la sección transversal del fluido (A) y el espacio de la lámina libre (T).

- $g$  - aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Es conveniente referirse al número de Froude para saber el régimen del flujo, para esto se hace la siguiente clasificación:

- Si  $Fr > 1$ , el régimen es supercrítico
- Si  $Fr = 1$ , el régimen es crítico
- Si  $Fr < 1$ , el régimen es subcrítico

Por otro lado, tenemos en número de Reynold que para canales abiertos se usa el radio hidráulico ( $R_h$ ) que está en relación con sección del canal y para determinar el número de Reynolds tenemos la siguiente ecuación.

*Ecuación 15: Ecuación del número de Reynolds*

$$Re = \frac{VR_h}{\nu}$$

Donde  $V$  es la velocidad de la sección y  $\nu$  es la viscosidad cinemática.

Cuando  $Re$  es pequeño se presenta el llamado régimen laminar, que se caracteriza porque el líquido fluye en capas paralelas. Al aumentar la velocidad del fluido, aumenta  $Re$ , llega un momento en que la viscosidad pierde importancia, y en consecuencia las partículas se desplazan en forma desordenada provocando así el llamado régimen turbulento.

Culminando esta sección consideraremos términos y conceptos básicos que serán necesarios para esta investigación.

- **Canal:** Se designa canal a una obra destinada al transporte de flujos universalmente utilizada para agua y que, a oposición de las tuberías, es

abierta y existen varios tipos de secciones para un canal. Además, se utilizan como vías artificiales de navegación.

- **Flujo hidráulico:** Movimiento de las cosas líquidas o fluidas. Para un canal su estado y comportamiento está relacionado por los efectos de la viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo.
- **Pérdida de cargas locales:** Los fluidos en movimiento o flujo interno forman parte básica para la producción de servicios dentro de las actividades industriales, residenciales y comerciales. También conocidas como pérdidas secundarias o menores, las cuales son originadas por una infinidad de accesorios que se ubican dentro de un sistema de tuberías.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuánto es la pérdida de energía en el canal trapezoidal cuando existe la contracción y expansión brusca de sección?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Realizar un análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el tirante hidráulico según la contracción en canales abiertos trapezoidales y comparar con las ecuaciones disponibles.
- Determinar el tirante hidráulico según la expansión en canales abiertos trapezoidales y comparar con las ecuaciones disponibles.

## 1.4. Hipótesis

“La pérdida de energía local es directamente proporcional al porcentaje de contracción y expansión brusca del ancho de la sección en un canal trapezoidal abierto”

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación que se desarrolló es cuasiexperimental, del tipo cuantitativo por que permitirá determinar la pérdida de energía en diferentes cambios de cambios de sección mediante pruebas en el laboratorio.

### 2.2. Materiales, instrumentos y métodos.

#### 2.2.1. Unidad de estudio

El canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica en la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca, 2018.

#### 2.2.2. Población

Los canales trapezoidales con cambios de contracción y expansión brusca de su ancho.

#### 2.2.3. Muestra

El canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica en la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca, 2018. Modificando la sección a una trapezoidal y considerando una expansión y contracción brusca de su ancho de 10%, 25% y 40% gradualmente para una mejor apreciación del comportamiento del flujo. Se adjunta un plano de ubicación del laboratorio donde se realizó la toma de datos (Ver anexo 02).

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica empleada es la observación directa, además se le deriva a una categoría experimental, ya que los datos elaborados estuvieron en condiciones controladas y se pueden manipular las variables.

### 2.3.1. Técnica e instrumentos de análisis de datos

Se dispone de unos instrumentos estructurados y estandarizados para medir las variables de estudio, utilizando protocolos que servirán como registro y análisis de datos; por ejemplo, para la calibración del vertedero a la salida del canal, la medición del caudal, los tirantes hidráulicos y para el perfil del comportamiento del flujo.

La recolección de datos se describe con evaluaciones visuales y apuntes de estos en protocolos previamente establecidos, teniendo en cuentas las consideraciones para los cambios de sección uniforme.

Tabla 2.  
*Consideraciones básicas para la Base Mayor.*

<b>Base Mayor (cm)</b>	<b>25</b>	<b>Disminución</b>	<b>Dism. por lado</b>	<b>% Reducción</b>
1ra reducción	22.5	2.5	1.25	<b>10.00%</b>
2da reducción	18.75	6.25	3.125	<b>25.00%</b>
3ra reducción	15	10	5	<b>40.00%</b>

Tabla 3.  
*Consideraciones básicas para base menor.*

<b>Base Menor (cm)</b>	<b>12.5</b>	<b>Disminución</b>	<b>Dism. por lado</b>	<b>% Reducción</b>
1ra reducción	11.25	1.25	0.625	<b>10.00%</b>
2da reducción	9.375	3.125	1.5625	<b>25.00%</b>
3ra reducción	7.5	5	2.5	<b>40.00%</b>

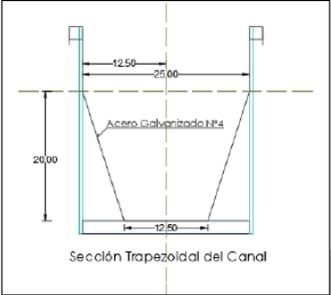
Evidenciamos la toma de datos en diferentes protocolos, siendo esta nuestros principales instrumentos.

LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b> CMF-LC-UPNC: .....
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:		REVISADO POR:	

### ENERGÍA ESPECÍFICA

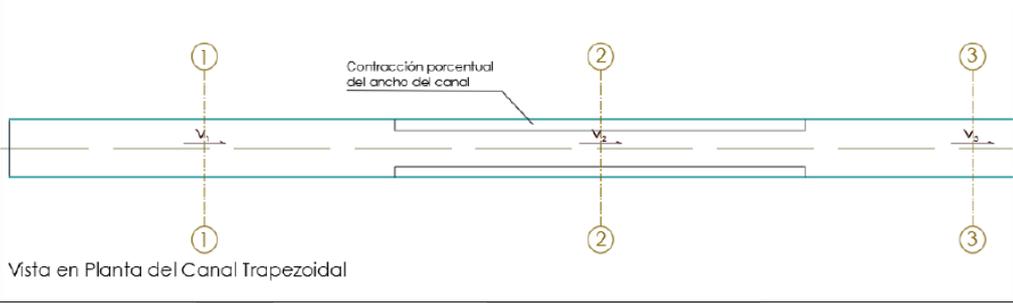
**TOMA DE DATOS**



Sección Trapezoidal del Canal

DATOS DEL ENSAYO			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	25 cm
		Base Menor	12.50 cm
Pendiente	1%		
Reducción	0%		
Caudal	1.00 lts/seg		



Vista en Planta del Canal Trapezoidal

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	TIRANTE (cm)	TIRANTE prom	Vertedero (cm)	Caudal (lt/s)	Caudal prom
1 - 1	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA:	FECHA:

Figura 6. Protocolo para toma de datos.

#### **2.4. Procedimiento de datos**

Se manipuló aplicaciones para facilitar el proceso de datos los cuales son: AutoCAD 2017, Microsoft Excel Plus 2016 y Word Plus 2016. El programa de AutoCAD nos facilitó la elaboración de planos que nos sirvió de guía para realizar los moldes de canales trapezoidales, posteriormente del apunte de los datos obtenidos en el laboratorio serán ingresados a tablas previamente elaborados en el programa Excel para realizar sus respectivos análisis y gráficos estadísticos, finalmente el programa de Word se usó para la presentación en el informe.

#### **2.5. Plan de análisis**

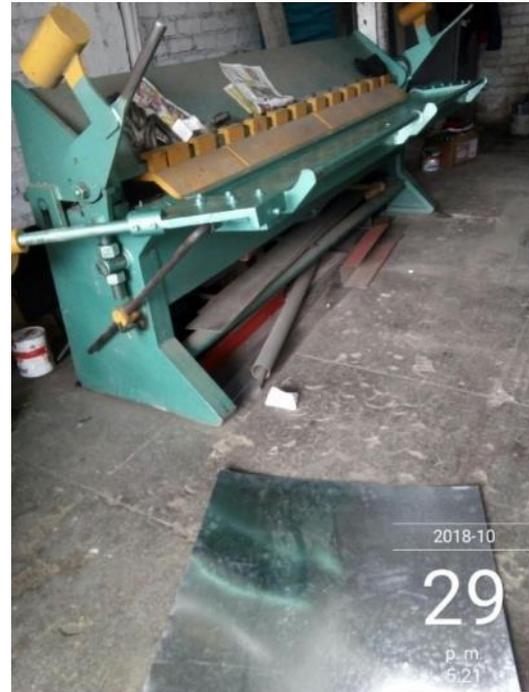
En el transcurso de la investigación se desarrolló el plan de análisis con su respectiva toma de datos a través de fichas técnicas y varios procedimientos como:

- Calibración del vertedero a la salida del canal de pendiente variable
- Generación de una tabla de datos del vertedero triangular de  $53^\circ$  para la determinar los caudales a cierta altura.
- Modificación del canal rectangular a trapezoidal usando acero galvanizado N°4. Por lo que se generó planos para el diseño de estos canales para su doblaje y habilitación de las planchas.
- Medición de tirante hidráulico en el canal en lugares estratégicos para la recolección de datos.
- Posteriormente continuamos con la recopilación de información tomada de los ensayos en el laboratorio de hidráulica para continuar con el procesamiento de datos.
- Los resultados serán creados en cuadros y gráficos de relación con su respectivo análisis de datos.

## 2.6. Procedimientos

En el desarrollo de la investigación, es necesario considerar los principios éticos que la rigen, es por esto que mi persona se compromete a cumplir su trabajo con ética, es decir, tener un minucioso cuidado y no alteración de la recopilación de datos obtenidos en campo, siendo esta visada por el encargado de laboratorio, el ingeniero a cargo y mi asesor que se realizaron correctamente bajo su supervisión. Antes de mencionar detalladamente cada procedimiento, se hace mención que equipos se usaron para realizar la investigación, siendo estos:

- **Micromedidor de las tuberías del banco de pérdidas:** Optamos por elegir la tubería y el medidor del diámetro de 2” (dos pulgadas) para conducir el agua al primer depósito del canal de pendiente variable y así poder calibrar el vertedero a la salida de este.
  - **Cronometro:** Nos permitió obtener el caudal para la calibración del vertedero triangular de 53° a la salida del canal del pendiente variable.
  - **Regla milimetrada:** Ubicada a un lado del segundo depósito del canal el cual lo usamos para medir alturas en el vertedero.
  - **Limnómetro:** Para la medición de tirantes hidráulicos en el canal.
1. El componente principal para la toma de datos de esta investigación será el cambio de sección del canal de pendiente variable rectangular al tipo trapezoidal, para el cual se usó acero galvanizado del tipo n°4 en donde se acopló a las paredes, y contará con apoyos de madera en la parte superior del canal para un mejor ajuste a las paredes verticales del canal rectangular y poder desenchajarse fácilmente de esta. Procederemos con la habilitación de las planchas de acero y su doblaje respectivo con guía de unos planos previamente elaborados.



*Figura 7. Habilitación de las planchas de acero galvanizado.*



*Figura 8. Doblaje de la plancha de acero.*

2. En el tramo de contracción la longitud tendrá una longitud de un metro y medio, con un empalme entre planchas para un mejor ensamble de estas y las medidas de la sección para contracción y expansión brusca serán del 10%, 25% y 40% uniformemente con la base mayor y base menor.
3. Con el soporte de regulación de altura logramos variar la pendiente del canal, para la toma de datos la pendiente será tomada en 1% para todos los ensayos.
4. La circulación del agua dentro del canal será controlada primero por el depósito tranquilizador de flujo para evitar la excesiva oscilación de las ondas en el canal.
5. La bomba centrífuga permite la recirculación del flujo.
6. Existe un vertedero triangular de 53 grados en el segundo depósito al final del canal, previamente calibrado nos brinda la medición del flujo que recorre por todo el canal. Se adjunta el protocolo para la calibración a la salida del canal de pendiente variable (Figura 09).
  - 6.1. Para iniciar la calibración a la salida del canal de pendiente variable usamos el banco de pérdidas en tuberías, específicamente la tubería de dos pulgadas para conducir el fluido al primer depósito del canal, con ayuda de una tubería PVC de dos pulgadas, un codo de noventa grados de diámetro de dos pulgadas, una manga de dos pulgadas y respectivamente para asegurar que no filtre el agua se asegura con teflón y unas abrazaderas.
  - 6.2. Antes de la salida del banco de pérdidas existe un micromedidor en metros cúbicos que utilizamos para obtener el volumen que estamos conduciendo en un determinado tiempo para tener como resultado el caudal.
  - 6.3. Seguido de esta toma de datos del micromedidor en un tiempo específico observamos que la altura del vertedero triangular se mantiene constante y

apuntaremos la altura que este tiene desde el vértice hasta la altura de la lámina de agua con apoyo de una regla ubicado a un lado del segundo depósito.

6.4. Se tomó una relación de cinco datos cuando la válvula está completamente abierta, a un 75%, 50% y 25% aproximadamente.

6.5. Por último, se procesó los datos con ayuda de Excel, previamente diseñado, para poder obtener un coeficiente para este vertedero. Se generó una tabla de datos que tendrá una relación de caudal para una determinada altura.

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
	<b>PROTOCOLO</b>		
	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: PAA-LH-UPNC: .....</b>
<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>		
EQUIPO:	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:		REVISADO POR:	

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Vertedero	Triangular	Ángulo	
		Espesor	
Equipos a usar	Cronometro		
	Micromedidor		
	Regla milimetrada		

ENSAYO N°	Vol. inicial	Vol. Final	Tiempo	h (cm)
1				
2				
3				
4				
5				

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

- Q: Caudal que pasa por el vertedero.
- C: Constante del vertedero.
- g: Gravedad.
- h: Tirante en el vertedero.
- θ: Ángulo del vertedero.

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>
<b>FECHA</b>	<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>

Figura 9. Protocolo para calibración del vertedero de salida del canal de pendiente variable.

7. La medición del tirante hidráulica se realizó antes de la contracción, dentro de la contracción y en la expansión con el limnómetro tipo vernier que posee una regla con una escala en centímetros sujeto a una corredera fija que indica la escala en milímetros y fracción de milímetros. (Terrones, 2015)
8. Previo a la definición para la recolección de datos se desarrollaron protocolos y con la técnica de observación directa se tomó apuntes de los tirantes hidráulicos y la medida del caudal cinco veces para seis caudales diferentes en tres diferentes transiciones para tres reducciones bruscas, llegando a una toma de datos de 270 datos.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para la toma de datos de las pruebas de laboratorio y facilitar su análisis, se definió una nomenclatura para las transiciones.

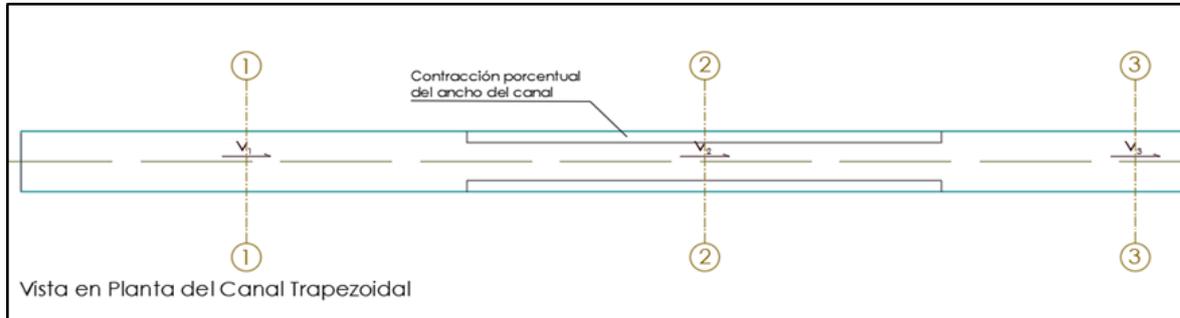


Figura 10. Nomenclatura para transiciones.

En la figura presentada, se mantiene a lo largo de todo el análisis y la contracción fue modificada como se indica en la tabla 2 y 3. De esta manera para la contracción la toma de datos se realizó en la sección uno y dos, mientras que en la ampliación las secciones dos y tres.

La pérdida local debido a la transición no se consideró en esta investigación ya que se desarrolla en tramos muy cortos por lo que es muy despreciable al igual que la pérdida por fricción que presenta el material de los canales trapezoidales instalados en el laboratorio.

A continuación, se presentan unas tablas que contienen los datos que se tomaron en el laboratorio para las distintas reducciones y ampliaciones bruscas.

Tabla 4

*Toma de datos de la primera variable para reducción y ampliación brusca de 10%.*

Variable	Q1	Alt. Vertedero	7.36 cm	Caudal	0.62399 lt/seg	Altura en fondo	230.54mm
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)			
1 - 1	1	252.52	21.98	21.268			
	2	251.86	21.32				
	3	251.90	21.36				
	4	251.08	20.54				
	5	251.68	21.14				
2 - 2	6	248.52	17.98	18.556			
	7	249.22	18.68				
	8	249.24	18.70				
	9	249.28	18.74				
	10	249.22	18.68				
3 - 3	11	247.52	16.98	16.672			
	12	247.14	16.60				
	13	246.82	16.28				
	14	247.32	16.78				
	15	247.26	16.72				

Tabla 5.

*Toma de datos de la segunda variable para reducción y ampliación brusca de 10%.*

Variable	Q2	Alt. Vertedero	10.4 cm	Caudal	1.79999 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	16	268.48	37.94	37.88	
	17	268.44	37.90		
	18	268.44	37.90		
	19	268.52	37.98		
	20	268.22	37.68		
2 - 2	21	263.58	33.04	32.876	
	22	263.64	33.10		
	23	263.34	32.80		
	24	263.34	32.80		
	25	263.18	32.64		
3 - 3	26	260.26	29.72	29.916	
	27	260.10	29.56		
	28	260.88	30.34		
	29	260.96	30.42		
	30	260.08	29.54		

Tabla 6.

*Toma de datos de la tercera variable para reducción y ampliación brusca de 10%.*

Variable	Q3	Alt. Vertedero	13.9 cm	Caudal	4.15745 lt/seg
----------	----	----------------	---------	--------	----------------

TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	31	283.18	52.64	52.348
	32	282.86	52.32	
	33	282.52	51.98	
	34	283.08	52.54	
	35	282.80	52.26	
2 - 2	36	276.97	46.43	45.938
	37	276.46	45.92	
	38	276.18	45.64	
	39	276.34	45.80	
	40	276.44	45.90	
3 - 3	41	270.46	39.92	40.208
	42	270.94	40.40	
	43	270.80	40.26	
	44	270.48	39.94	
	45	271.06	40.52	

Tabla 7.

*Toma de datos de la cuarta variable para reducción y ampliación brusca de 10%.*

Variable	Q4	Alt. Vertedero	15.8 cm	Caudal	5.95368 lt/seg
----------	----	----------------	---------	--------	----------------

TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	46	309.02	78.48	78.252
	47	308.38	77.84	
	48	308.82	78.28	
	49	308.94	78.40	
	50	308.80	78.26	
2 - 2	51	294.22	63.68	63.300
	52	293.58	63.04	
	53	293.62	63.08	
	54	293.84	63.30	
	55	293.94	63.40	
3 - 3	56	287.12	56.58	57.020
	57	288.44	57.90	
	58	287.40	56.86	
	59	287.34	56.80	
	60	287.50	56.96	

Tabla 8.

*Toma de datos de la quinta variable para reducción y ampliación brusca de 10%.*

Variable	Q5	Alt. Vertedero	18.05 cm	Caudal	8.59978 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	61	327.76	97.22	97.624	
	62	328.02	97.48		
	63	328.40	97.86		
	64	328.58	98.04		
	65	328.06	97.52		
2 - 2	66	309.56	79.02	79.208	
	67	310.10	79.56		
	68	310.16	79.62		
	69	309.22	78.68		
	70	309.70	79.16		
3 - 3	71	291.28	60.74	60.836	
	72	291.78	61.24		
	73	290.82	60.28		
	74	291.64	61.10		
	75	291.36	60.82		

Tabla 9.

*Toma de datos de la sexta variable para reducción y ampliación brusca de 10%.*

Variable	Q6	Alt. Vertedero	20.6 cm	Caudal	12.32960 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	76	349.12	118.58	118.412	
	77	348.64	118.10		
	78	349.32	118.78		
	79	348.66	118.12		
	80	349.02	118.48		
2 - 2	81	315.28	84.74	84.916	
	82	315.56	85.02		
	83	315.80	85.26		
	84	315.60	85.06		
	85	315.04	84.50		
3 - 3	86	300.50	69.96	69.944	
	87	300.44	69.90		
	88	301.10	70.56		
	89	300.18	69.64		
	90	300.20	69.66		

Tabla 10.

*Toma de datos de la primera variable para reducción y ampliación brusca de 25%.*

Variable	Q1	Alt. Vertedero	7.2 cm	Caudal	0.58148 lt/seg	Altura en fondo	229.20mm
TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)			
1 - 1	1	253.42	24.22	23.904			
	2	252.70	23.50				
	3	253.44	24.24				
	4	253.14	23.94				
	5	252.82	23.62				
	6	249.10	19.90				
2 - 2	7	249.22	20.02	20.336			
	8	249.90	20.70				
	9	249.78	20.58				
	10	249.68	20.48				
	11	247.28	18.08				
3 - 3	12	246.52	17.32	17.468			
	13	246.58	17.38				
	14	246.40	17.20				
	15	246.56	17.36				

Tabla 11.

*Toma de datos de la segunda variable para reducción y ampliación brusca de 25%.*

Variable	Q2	Alt. Vertedero	9.90 cm	Caudal	1.82578 lt/seg
TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	16	271.88	42.68	42.508	
	17	271.80	42.60		
	18	271.82	42.62		
	19	271.26	42.06		
	20	271.78	42.58		
	21	265.52	36.32		
2 - 2	22	265.14	35.94	36.028	
	23	265.20	36.00		
	24	265.16	35.96		
	25	265.12	35.92		
	26	255.46	26.26		
	27	255.98	26.78		
3 - 3	28	255.48	26.28	26.364	
	29	255.58	26.38		
	30	255.32	26.12		

Tabla 12.

*Toma de datos de la tercera variable para reducción y ampliación brusca de 25%.*

Variable	Q3	Alt. Vertedero	12.55 cm	Caudal	3.10897 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	31	292.52	63.32	63.412	
	32	292.68	63.48		
	33	292.94	63.74		
	34	292.56	63.36		
	35	292.36	63.16		
2 - 2	36	281.88	52.68	52.280	
	37	281.78	52.58		
	38	281.66	52.46		
	39	281.18	51.98		
	40	280.90	51.70		
3 - 3	41	257.52	28.32	28.356	
	42	257.36	28.16		
	43	257.68	28.48		
	44	257.64	28.44		
	45	257.58	28.38		

Tabla 13.

*Toma de datos de la cuarta variable para reducción y ampliación brusca de 25%.*

Variable	Q4	Alt. Vertedero	14.80 cm	Caudal	5.34456 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	46	314.44	85.24	85.112	
	47	314.62	85.42		
	48	313.86	84.66		
	49	314.12	84.92		
	50	314.52	85.32		
2 - 2	51	303.30	74.10	74.052	
	52	302.84	73.64		
	53	303.56	74.36		
	54	303.12	73.92		
	55	303.44	74.24		
3 - 3	56	274.56	45.36	45.280	
	57	274.30	45.10		
	58	274.90	45.70		
	59	274.42	45.22		
	60	274.22	45.02		

Tabla 14.

*Toma de datos de la quinta variable para reducción y ampliación brusca de 25%.*

Variable	Q5	Alt. Vertedero	17.05 cm	Caudal	7.35182 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	61	335.40	106.20	106.256	
	62	334.96	105.76		
	63	335.24	106.04		
	64	335.72	106.52		
	65	335.96	106.76		
2 - 2	66	308.40	79.20	79.176	
	67	308.22	79.02		
	68	308.58	79.38		
	69	308.50	79.30		
	70	308.18	78.98		
3 - 3	71	283.74	54.54	54.640	
	72	284.26	55.06		
	73	283.80	54.60		
	74	283.76	54.56		
	75	283.64	54.44		

Tabla 15.

*Toma de datos de la sexta variable para reducción y ampliación brusca de 25%.*

Variable	Q6	Alt. Vertedero	19.20 cm	Caudal	9.82473 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	76	359.18	129.98	129.928	
	77	358.84	129.64		
	78	359.20	130.00		
	79	359.10	129.90		
	80	359.32	130.12		
2 - 2	81	320.18	90.98	91.244	
	82	320.24	91.04		
	83	320.72	91.52		
	84	320.12	90.92		
	85	320.96	91.76		
3 - 3	86	295.76	66.56	66.108	
	87	295.24	66.04		
	88	295.36	66.16		
	89	295.12	65.92		
	90	295.06	65.86		

Tabla 16.

*Toma de datos de la primera variable para reducción y ampliación brusca de 40%.*

Variable	Q1	Alt. Vertedero	8.4 cm	Caudal	0.94479 lt/seg	Altura en fondo	229.11mm
TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)			
1 - 1	1	256.22	27.11	27.134			
	2	256.48	27.37				
	3	256.18	27.07				
	4	256.20	27.09				
	5	256.14	27.03				
	6	250.94	21.83				
2 - 2	7	250.90	21.79	21.574			
	8	250.94	21.83				
	9	250.56	21.45				
	10	250.08	20.97				
	11	244.32	15.21				
	12	244.82	15.71				
3 - 3	13	244.70	15.59	15.442			
	14	244.12	15.01				
	15	244.80	15.69				

Tabla 17.

*Toma de datos de la segunda variable para reducción y ampliación brusca de 40%.*

Variable	Q2	Alt. Vertedero	10.45 cm	Caudal	1.82567 lt/seg
TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	16	271.80	42.69	42.654	
	17	271.76	42.65		
	18	271.88	42.77		
	19	271.50	42.39		
	20	271.88	42.77		
	21	262.76	33.65		
2 - 2	22	262.54	33.43	33.450	
	23	262.36	33.25		
	24	262.56	33.45		
	25	262.58	33.47		
	26	243.46	14.35		
	27	243.04	13.93		
3 - 3	28	243.12	14.01	14.082	
	29	243.20	14.09		
	30	243.14	14.03		

Tabla 18.

*Toma de datos de la tercera variable para reducción y ampliación brusca de 40%.*

Variable	Q3	Alt. Vertedero	11.00 cm	Caudal	3.14447 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	31	292.46	63.35	63.458	
	32	292.26	63.15		
	33	292.54	63.43		
	34	292.86	63.75		
	35	292.72	63.61		
2 - 2	36	276.26	47.15	47.206	
	37	276.12	47.01		
	38	276.28	47.17		
	39	276.04	46.93		
	40	276.88	47.77		
3 - 3	41	255.84	26.73	26.672	
	42	255.71	26.60		
	43	255.88	26.77		
	44	255.58	26.47		
	45	255.90	26.79		

Tabla 19.

*Toma de datos de la cuarta variable para reducción y ampliación brusca de 40%.*

Variable	Q4	Alt. Vertedero	13.60 cm	Caudal	5.34457 lt/seg
TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	46	320.28	91.17	91.202	
	47	320.22	91.11		
	48	320.34	91.23		
	49	320.42	91.31		
	50	320.30	91.19		
2 - 2	51	295.08	65.97	66.022	
	52	295.18	66.07		
	53	295.10	65.99		
	54	295.12	66.01		
	55	295.18	66.07		
3 - 3	56	256.18	27.07	27.070	
	57	256.20	27.09		
	58	256.14	27.03		
	59	256.30	27.19		
	60	256.08	26.97		

Tabla 20.

*Toma de datos de la quinta variable para reducción y ampliación brusca de 40%.*

Variable	Q5	Alt. Vertedero	15.40 cm	Caudal	7.29234 lt/seg
TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	61	340.90	111.79	111.862	
	62	341.04	111.93		
	63	340.88	111.77		
	64	340.96	111.85		
	65	341.08	111.97		
2 - 2	66	299.18	70.07	70.126	
	67	299.32	70.21		
	68	299.12	70.01		
	69	299.24	70.13		
	70	299.32	70.21		
3 - 3	71	264.88	35.77	35.470	
	72	264.52	35.41		
	73	264.48	35.37		
	74	264.38	35.27		
	75	264.64	35.53		

Tabla 21.

*Toma de datos de la sexta variable para reducción y ampliación brusca de 40%.*

Variable	Q6	Alt. Vertedero	17.35 cm	Caudal	9.82458 lt/seg
TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)	
1 - 1	76	365.68	136.57	136.366	
	77	365.50	136.39		
	78	365.30	136.19		
	79	365.42	136.31		
	80	365.48	136.37		
2 - 2	81	310.24	81.13	81.170	
	82	310.40	81.29		
	83	310.44	81.33		
	84	310.12	81.01		
	85	310.20	81.09		
3 - 3	86	268.48	39.37	39.174	
	87	268.22	39.11		
	88	268.16	39.05		
	89	268.26	39.15		
	90	268.30	39.19		

Para el primer análisis de esta investigación será ineludible conocer los siguientes datos.

Tabla 22.

Procesamiento de datos para la transición 1-1 de expansión y contracción brusca del 10%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio-mm)	H <sub>th</sub> (Promedio-m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>1</sub> (m/s)	E <sub>1</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.623994	0.00062399	21.268	0.021268	0.0027987	0.22296	0.00253
Q <sub>2</sub>	1.799998	0.00180000	37.880	0.037880	0.0051798	0.34750	0.00615
Q <sub>3</sub>	4.157459	0.00415746	52.348	0.052348	0.0073930	0.56235	0.01612
Q <sub>4</sub>	5.953688	0.00595369	78.252	0.078252	0.0116797	0.50974	0.01324
Q <sub>5</sub>	8.599784	0.00859978	97.624	0.097624	0.0151574	0.56736	0.01641
Q <sub>6</sub>	12.329607	0.01232961	118.412	0.118412	0.0191481	0.64391	0.02113

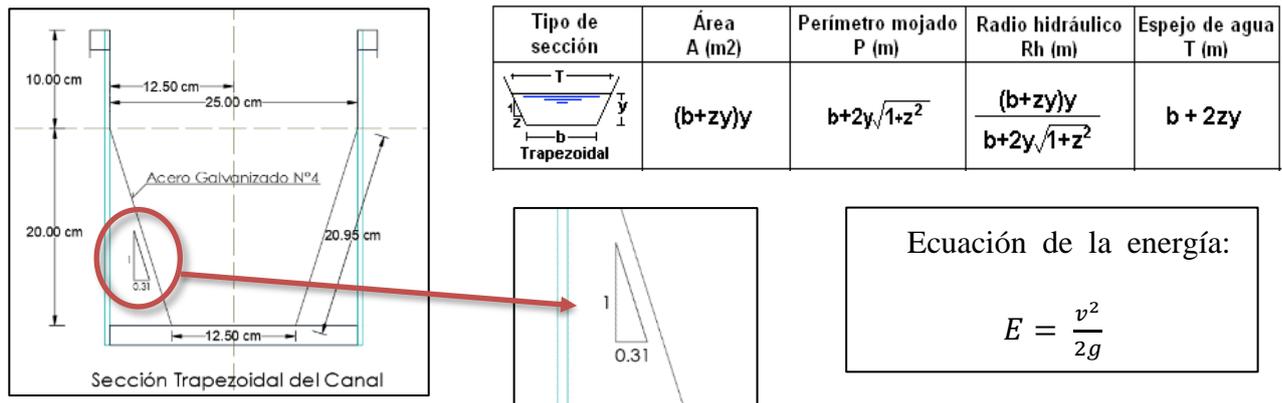


Figura 11. Relación de base y altura de la sección transversal (1 - 3) y formula de área hidráulica con la ecuación de la energía

Tabla 23.

Procesamiento de datos para la transición 2-2 de expansión y contracción brusca del 10%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio-mm)	H <sub>th</sub> (Promedio-m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>1</sub> (m/s)	E <sub>1</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.623994	0.00062399	18.556	0.018556	0.0021840	0.28572	0.00416
Q <sub>2</sub>	1.799998	0.00180000	32.876	0.032876	0.0040012	0.44987	0.01031
Q <sub>3</sub>	4.157459	0.00415746	45.938	0.045938	0.0057589	0.72192	0.02656
Q <sub>4</sub>	5.953688	0.00595369	63.300	0.063300	0.0082432	0.72226	0.02659
Q <sub>5</sub>	8.599784	0.00859978	79.208	0.079208	0.0106676	0.80616	0.03312
Q <sub>6</sub>	12.329607	0.01232961	84.916	0.084916	0.0115721	1.06546	0.05786

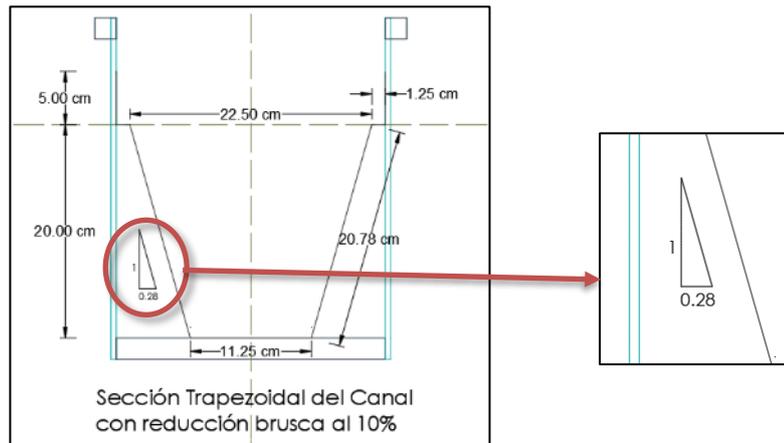


Figura 12: Relación de base y altura de la sección transversal 2-2, reducción del 10%.

Tabla 24.

*Procesamiento de datos para la transición 3-3 de expansión y contracción brusca del 10%*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sup>th</sup> (Promedio- mm)	H <sup>th</sup> (Promedio- m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>1</sub> (m/s)	E <sub>3</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.623994	0.00062399	16.672	0.016672	0.0021702	0.28753	0.00421
Q <sub>2</sub>	1.799998	0.00180000	29.916	0.029916	0.0040169	0.44810	0.01023
Q <sub>3</sub>	4.157459	0.00415746	40.208	0.040208	0.0055272	0.75219	0.02884
Q <sub>4</sub>	5.953688	0.00595369	57.020	0.057020	0.0081354	0.73183	0.02730
Q <sub>5</sub>	8.599784	0.00859978	60.836	0.060836	0.0087518	0.98263	0.04921
Q <sub>6</sub>	12.329607	0.01232961	69.944	0.069944	0.0102596	1.20177	0.07361

Iniciamos con el procesamiento de datos del primer cambio de sección del 10% con la ecuación general, identificando que el tirante hidraulico, ubicado en la cuarta columna lo representamos por  $H_L$ , es producto de la diferencia de tirantes hidraulicos de la sección dos con la primera sección, existiendo una disminución de esta cada vez más notoria cuando el caudal tiende a aumentar.

Tabla 25.

*Ecuación general de la pérdida de energía local - Contracción brusca 10%.*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (mm)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	E <sub>2</sub> (v <sup>2</sup> /2g)	K (coef.)
Q <sub>1</sub>	0.623994	0.00062399	2.712	0.002712	0.28572	0.00416	0.65181
Q <sub>2</sub>	1.799998	0.00180000	5.004	0.005004	0.44987	0.01031	0.48512
Q <sub>3</sub>	4.157459	0.00415746	6.410	0.006410	0.72192	0.02656	0.24131
Q <sub>4</sub>	5.953688	0.00595369	14.952	0.014952	0.72226	0.02659	0.56236
Q <sub>5</sub>	8.599784	0.00859978	18.416	0.018416	0.80616	0.03312	0.55597
Q <sub>6</sub>	12.329607	0.01232961	33.496	0.033496	1.06546	0.05786	0.57891

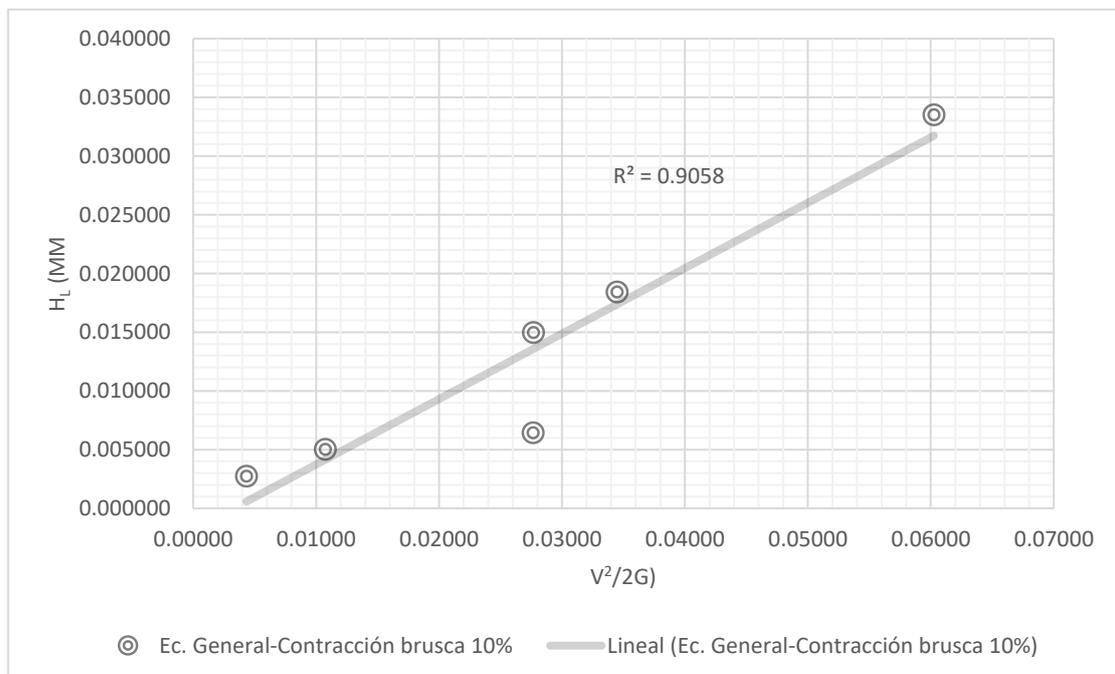


Figura 13. Ecuación general para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía

La gráfica anterior, el coeficiente de correlación 0.9058 al ser cercano a uno, deducimos que existe una relación de la disminución del tirante hidráulico con la energía.

Tabla 26.

*Ecuación general de la pérdida de energía local - Ampliación brusca 10%.*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (mm)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>3</sub> (m/s)	E <sub>3</sub> (v <sup>2</sup> /2g)	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.623994	0.00062399	1.884	0.001884	0.28753	0.00421	0.44710
Q <sub>2</sub>	1.799998	0.00180000	2.960	0.002960	0.44810	0.01023	0.28923
Q <sub>3</sub>	4.157459	0.00415746	5.730	0.005730	0.75219	0.02884	0.19870
Q <sub>4</sub>	5.953688	0.00595369	6.280	0.006280	0.73183	0.02730	0.23006
Q <sub>5</sub>	8.599784	0.00859978	18.372	0.018372	0.98263	0.04921	0.37332
Q <sub>6</sub>	12.329607	0.01232961	14.972	0.014972	1.20177	0.07361	0.20339

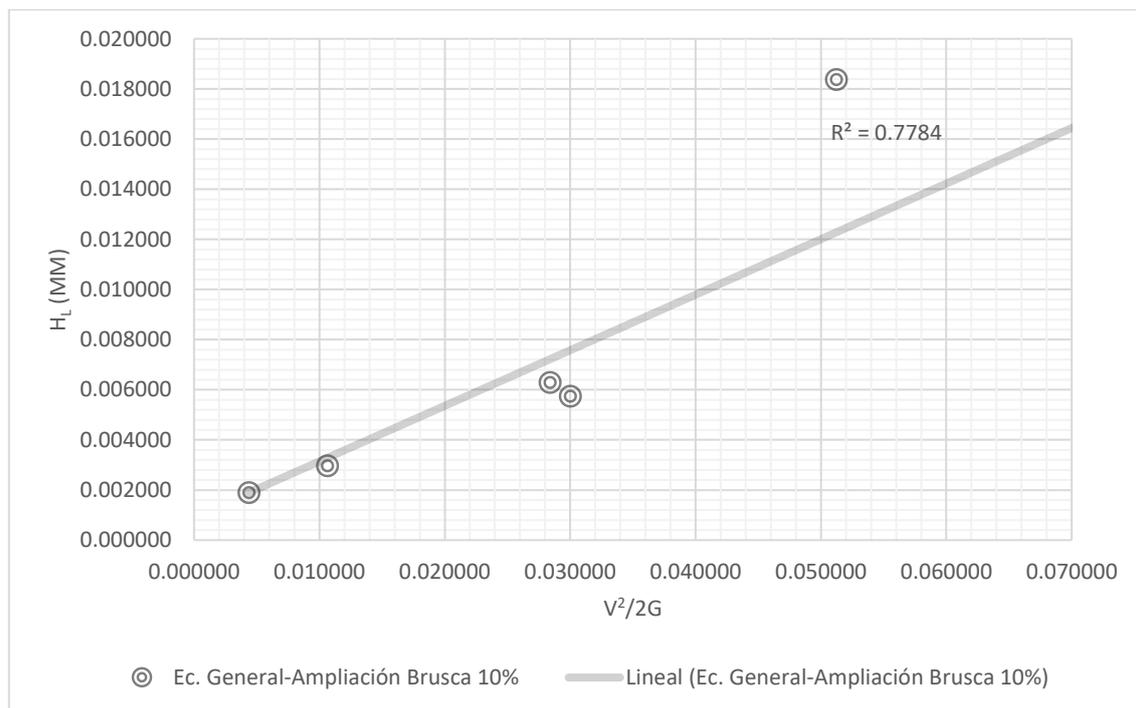


Figura 14. Ecuación general para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.

A comparación de la contracción brusca usando la misma ecuación, el coeficiente es inferior.

Tabla 27.  
Ecuación de Formica - Contracción brusca 10%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	(V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> )	(V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000624	0.002712	0.222957	0.285717	0.062760	0.00020	13.5091
Q <sub>2</sub>	0.001800	0.005004	0.347502	0.449866	0.102364	0.00053	9.3696
Q <sub>3</sub>	0.004157	0.006410	0.562351	0.721918	0.159567	0.00130	4.9394
Q <sub>4</sub>	0.005954	0.014952	0.509745	0.722256	0.212512	0.00230	6.4958
Q <sub>5</sub>	0.008600	0.018416	0.567364	0.806160	0.238796	0.00291	6.3364
Q <sub>6</sub>	0.012330	0.033496	0.643906	1.065464	0.421558	0.00906	3.6981

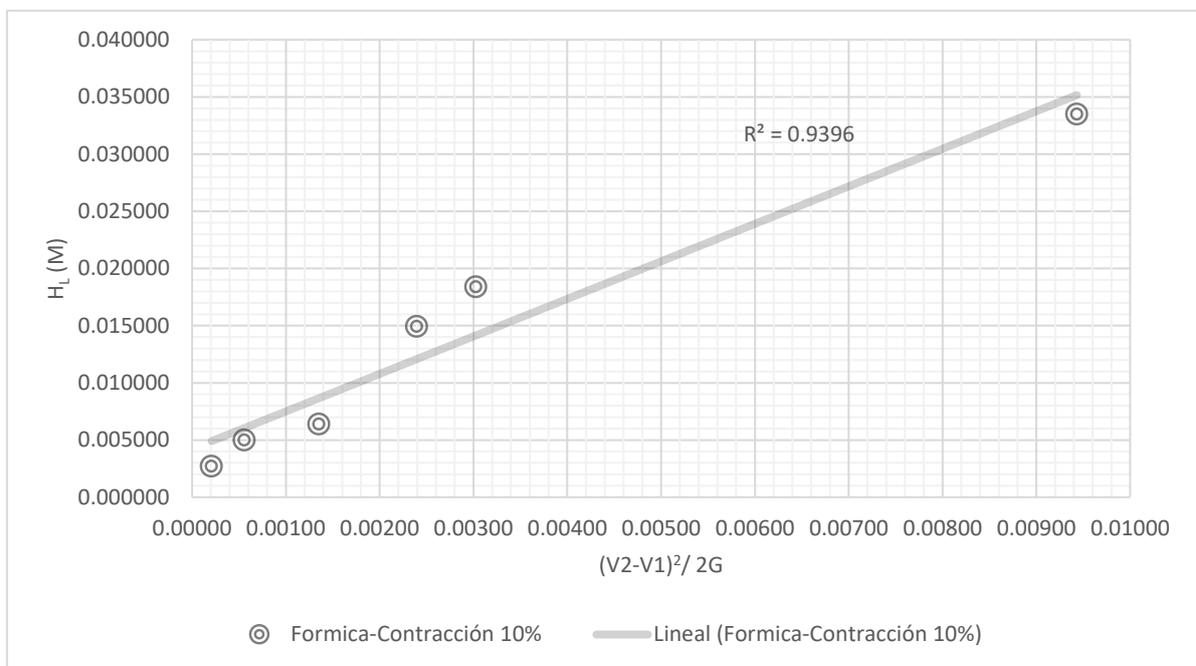


Figura 15. Ecuación de Formica para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.

La ecuación de Formica, considera que se debe realizar una diferencia de velocidades para la obtención de la energía. Esto nos dará como resultado un coeficiente de correlación más elevado al de la ecuación general cuando se presencia una contracción.

Tabla 28.  
Ecuación de Formica - Ampliación brusca 10%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>3</sub> (m/s)	(V <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> )	(V <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000624	0.001884	0.285717	0.287533	0.001816	0.00000	11206.3397
Q <sub>2</sub>	0.001800	0.002960	0.449866	0.448102	-0.001765	0.00000	18649.4966
Q <sub>3</sub>	0.004157	0.005730	0.721918	0.752186	0.030268	0.00005	122.7136
Q <sub>4</sub>	0.005954	0.006280	0.722256	0.731825	0.009569	0.00000	1345.6705
Q <sub>5</sub>	0.008600	0.018372	0.806160	0.982628	0.176469	0.00159	11.5750
Q <sub>6</sub>	0.012330	0.014972	1.065464	1.201766	0.136302	0.00095	15.8115

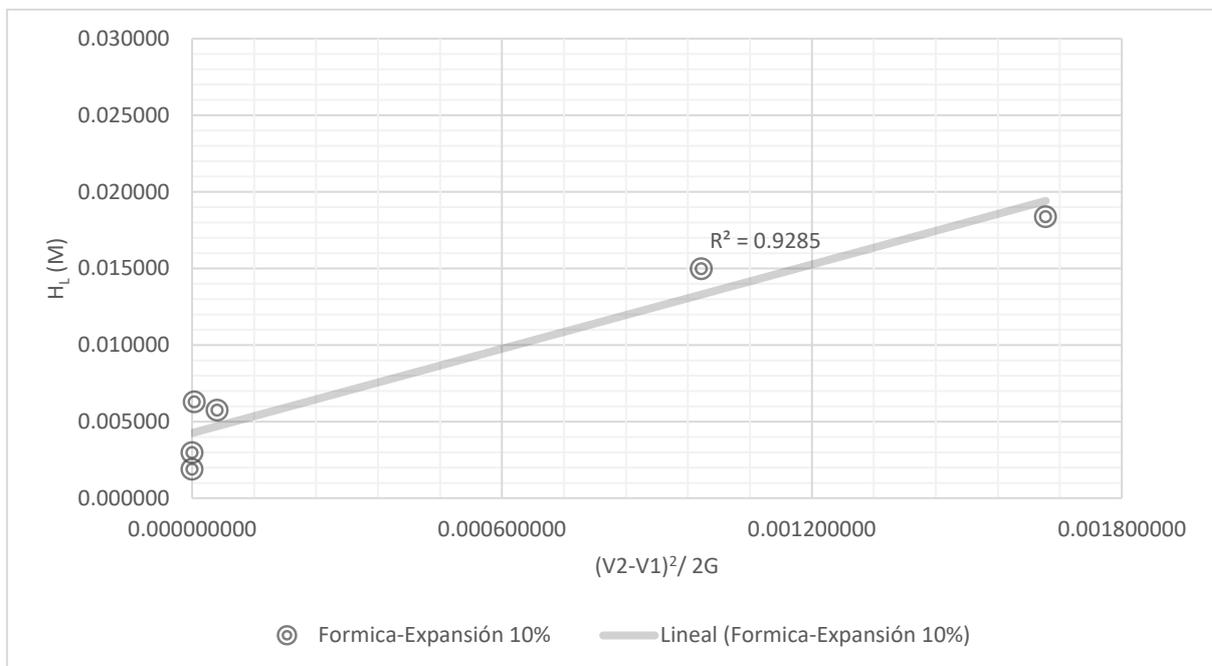


Figura 16. Ecuación de Formica para ampliación brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 29.  
*Ecuación de Hinds - Contracción brusca 10%.*

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup> ) / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000624	0.002712	0.222957	0.285717	0.031924	0.00005	52.2092
Q <sub>2</sub>	0.001800	0.005004	0.347502	0.449866	0.081622	0.00034	14.7367
Q <sub>3</sub>	0.004157	0.006410	0.562351	0.721918	0.204927	0.00214	2.9947
Q <sub>4</sub>	0.005954	0.014952	0.509745	0.722256	0.261815	0.00349	4.2797
Q <sub>5</sub>	0.008600	0.018416	0.567364	0.806160	0.327992	0.00548	3.3587
Q <sub>6</sub>	0.012330	0.033496	0.643906	1.065464	0.720598	0.02647	1.2656

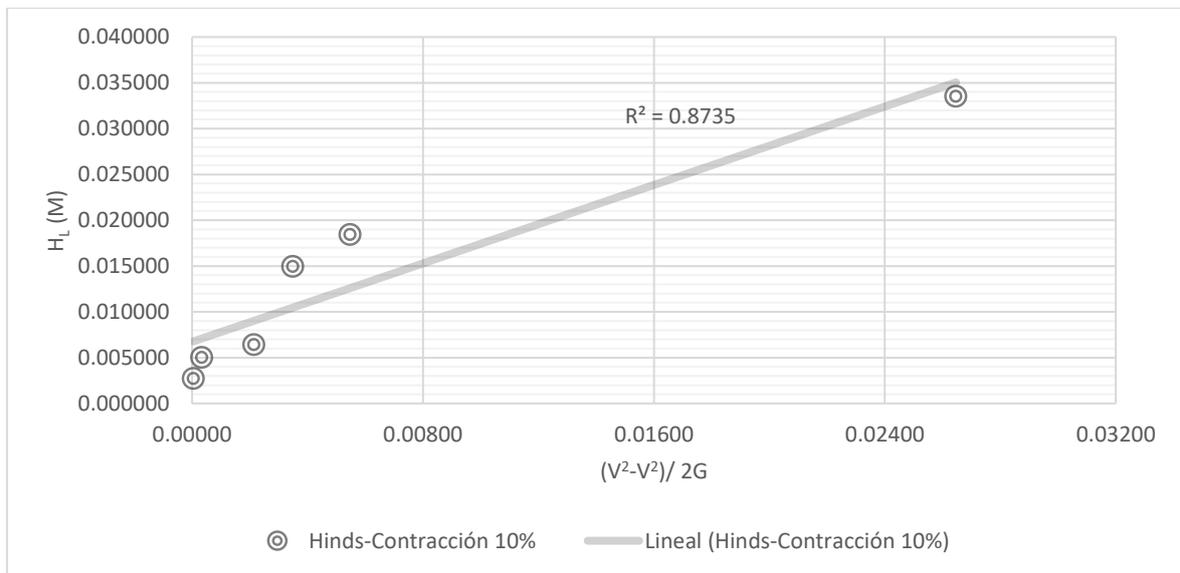


Figura 17. Ecuación de Hinds para contracción brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.

En la ecuación de Hinds establece que las dos velocidades al cuadrado y hacer una diferencia de estas, conllevando a tener un coeficiente de correlación más bajo a comparación de las otras ecuaciones en presencia de una contracción brusca del 10%.

Tabla 30.  
Ecuación de Hinds - Ampliación brusca 10%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup> ) / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000624	0.001884	0.285717	0.287533	0.001041	0.00005	35.5041
Q <sub>2</sub>	0.001800	0.002960	0.449866	0.448102	-0.001585	-0.00008	-36.6495
Q <sub>3</sub>	0.004157	0.005730	0.721918	0.752186	0.044618	0.00227	2.5197
Q <sub>4</sub>	0.005954	0.006280	0.722256	0.731825	0.013914	0.00071	8.8554
Q <sub>5</sub>	0.008600	0.018372	0.806160	0.982628	0.315665	0.01609	1.1419
Q <sub>6</sub>	0.012330	0.014972	1.065464	1.201766	0.309029	0.01575	0.9506

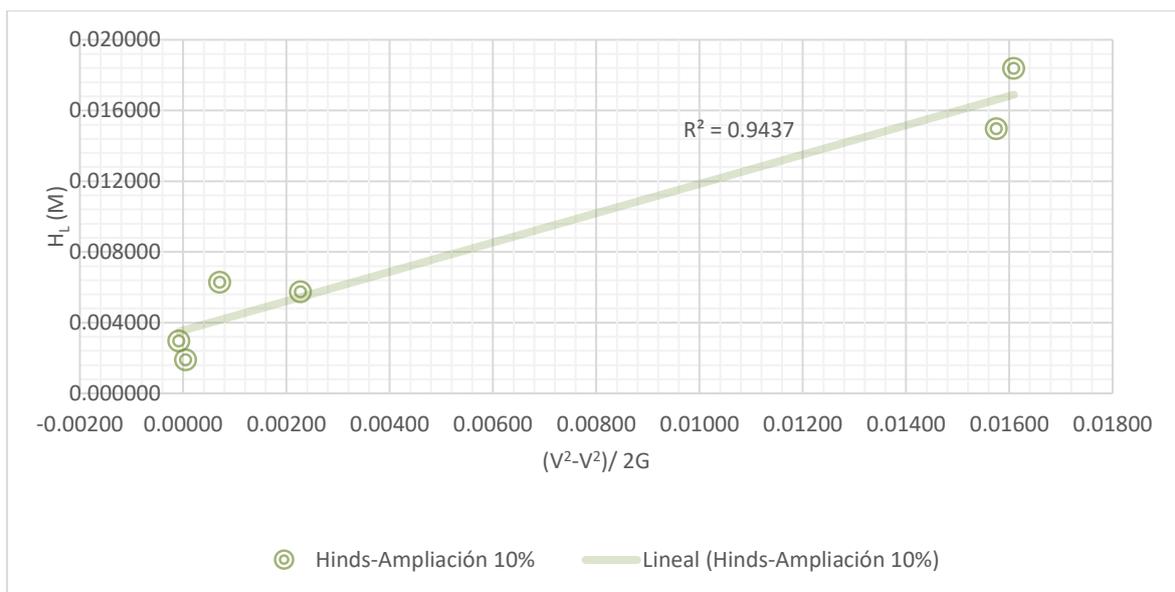


Figura 18. Ecuación de Hinds para ampliación brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.

La transición 1 y 3 tienen las mismas dimensiones por lo que solo indicaremos la relación de altura y base de la sección trapezoidal para las dos contracciones que presentaremos a continuación para poder hallar su área con respecto al tirante hidráulico.

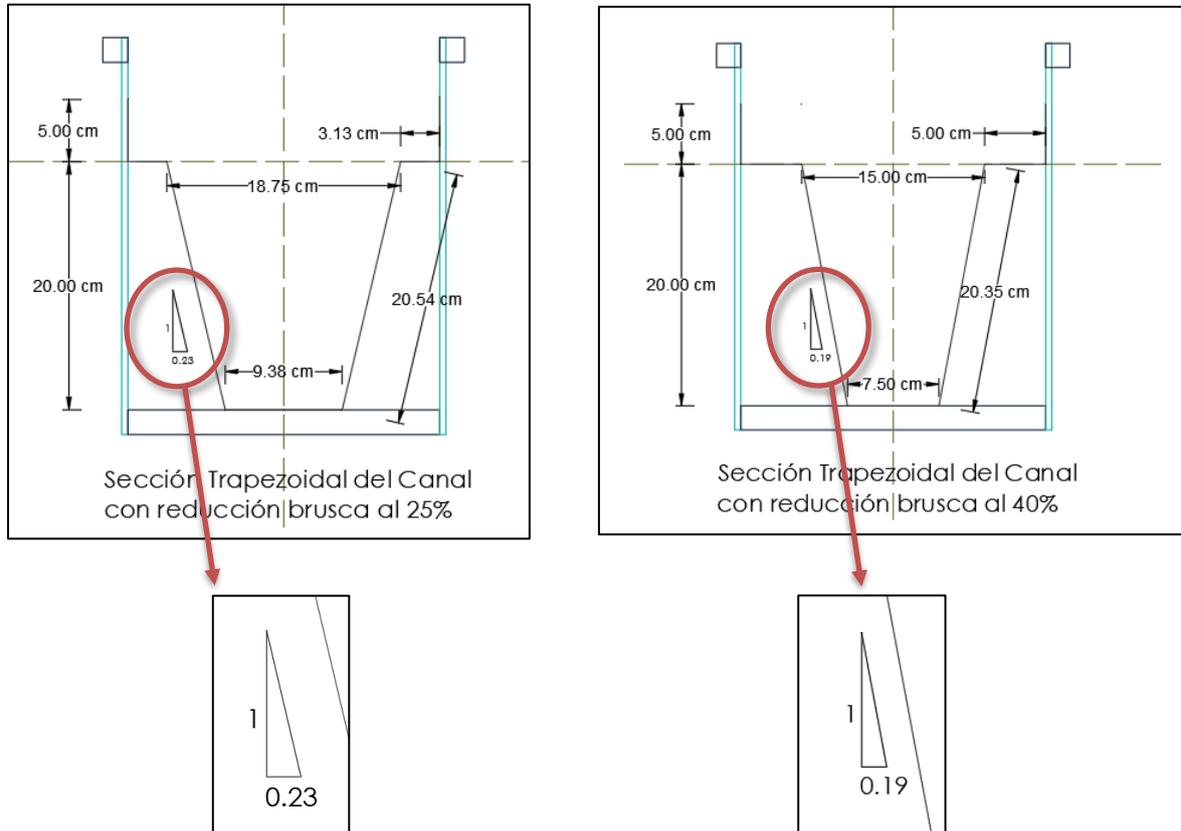


Figura 19. Relación de base y altura del canal trapezoidal para reducción de 25% y 40%.

Tabla 31.

Procesamiento de datos para la transición 1-1 de expansión y contracción brusca del 25%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio-mm)	H <sub>th</sub> (Promedio-m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>1</sub> (m/s)	E <sub>1</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.581481	0.00058148	23.904	0.023904	0.0031651	0.18371	0.00172
Q <sub>2</sub>	1.555108	0.00155511	42.508	0.042508	0.0058736	0.26476	0.00357
Q <sub>3</sub>	3.108977	0.00310898	63.412	0.063412	0.0091730	0.33893	0.00585
Q <sub>4</sub>	4.960210	0.00496021	85.112	0.085112	0.0128847	0.38497	0.00755
Q <sub>5</sub>	7.351822	0.00735182	106.256	0.106256	0.0167820	0.43808	0.00978
Q <sub>6</sub>	10.182324	0.01018232	129.928	0.129928	0.0214742	0.47417	0.01146

Tabla 32.

Procesamiento de datos para la transición 2-2 de expansión y contracción brusca del 25%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio- mm)	H <sub>th</sub> (Promedio-m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>2</sub> (m/s)	E <sub>2</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.581481	0.00058148	20.336	0.020336	0.0020026	0.29036	0.00430
Q <sub>2</sub>	1.555108	0.00155511	36.028	0.036028	0.0036780	0.42282	0.00911
Q <sub>3</sub>	3.108977	0.00310898	52.280	0.052280	0.0055325	0.56195	0.01610
Q <sub>4</sub>	4.960210	0.00496021	74.052	0.074052	0.0082073	0.60436	0.01862
Q <sub>5</sub>	7.351822	0.00735182	79.176	0.079176	0.0088685	0.82898	0.03503
Q <sub>6</sub>	10.182324	0.01018232	91.244	0.091244	0.0104735	0.97219	0.04817

Tabla 33.

Procesamiento de datos para la transición 3-3 de expansión y contracción brusca del 25%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio- mm)	H <sub>th</sub> (Promedio-m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>2</sub> (m/s)	E <sub>2</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.581481	0.00058148	17.468	0.017468	0.0022781	0.25525	0.00332
Q <sub>2</sub>	1.555108	0.00155511	26.364	0.026364	0.0035110	0.44293	0.01000
Q <sub>3</sub>	3.108977	0.00310898	28.356	0.028356	0.0037938	0.81950	0.03423
Q <sub>4</sub>	4.960210	0.00496021	45.280	0.045280	0.0062956	0.78789	0.03164
Q <sub>5</sub>	7.351822	0.00735182	54.640	0.054640	0.0077555	0.94795	0.04580
Q <sub>6</sub>	10.182324	0.01018232	66.108	0.066108	0.0096183	1.05864	0.05712

Tabla 34.

Ecuación general de la pérdida de energía local - Contracción brusca 25%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (mm)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	E <sub>2</sub> (v <sup>2</sup> /2g)	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.581481	0.00058148	3.568	0.003568	0.29036	0.00430	0.83034
Q <sub>2</sub>	1.555108	0.00155511	6.480	0.006480	0.42282	0.00911	0.71116
Q <sub>3</sub>	3.108977	0.00310898	11.132	0.011132	0.56195	0.01610	0.69164
Q <sub>4</sub>	4.960210	0.00496021	11.060	0.011060	0.60436	0.01862	0.59410
Q <sub>5</sub>	7.351822	0.00735182	27.080	0.027080	0.82898	0.03503	0.77315
Q <sub>6</sub>	10.182324	0.01018232	38.684	0.038684	0.97219	0.04817	0.80302

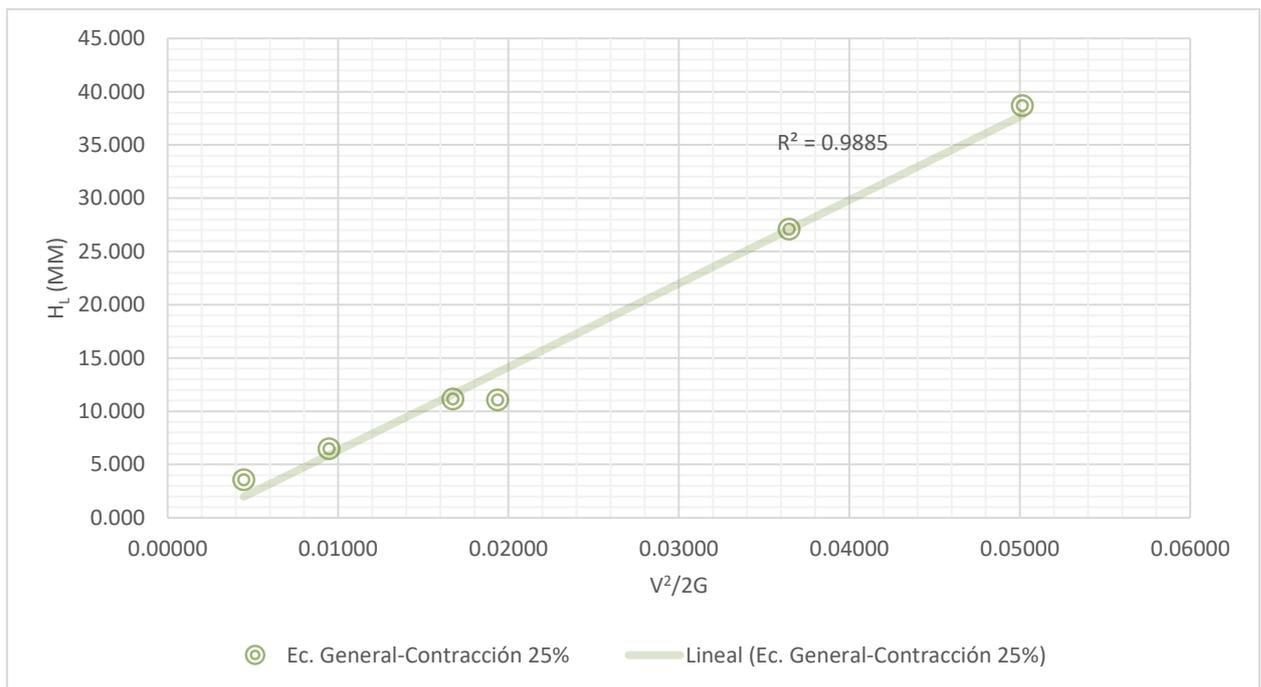
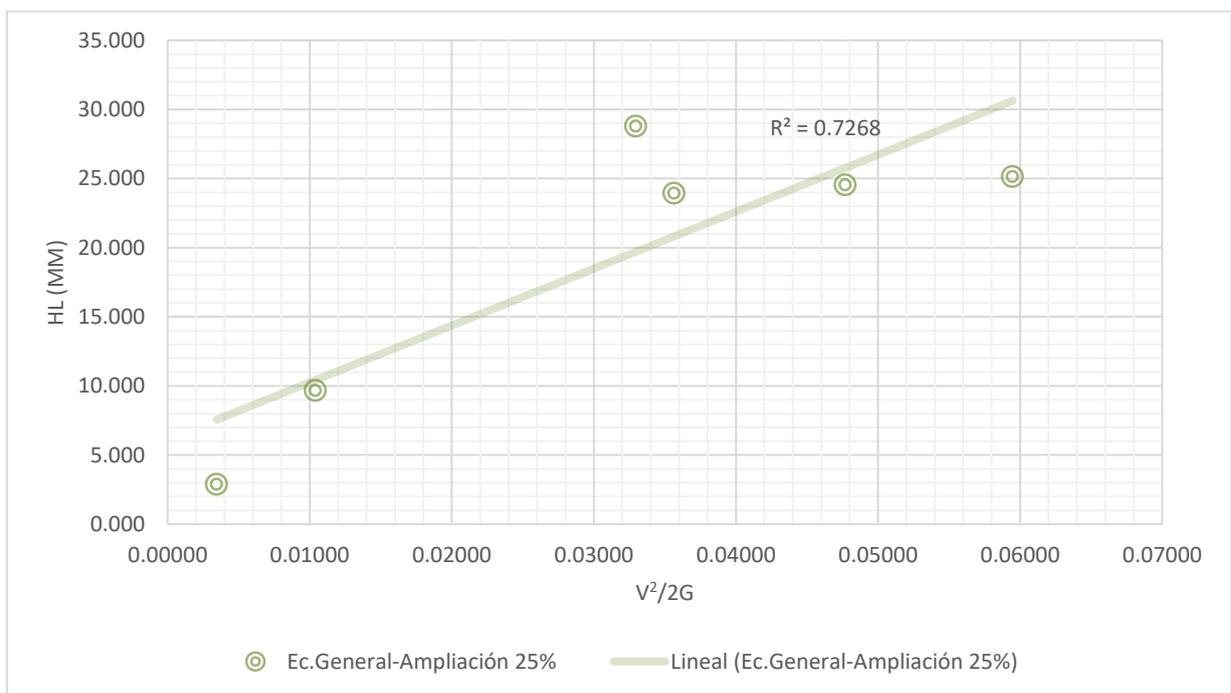


Figura 20. Ecuación general para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 35.

*Ecuación general de la pérdida de energía local - Ampliación brusca 25%.*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (mm)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>3</sub> (m/s)	E <sub>3</sub> (v <sup>2</sup> /2g)	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.581481	0.00058148	2.868	0.002868	0.25525	0.00332	0.86367
Q <sub>2</sub>	1.555108	0.00155511	9.664	0.009664	0.44293	0.01000	0.96647
Q <sub>3</sub>	3.108977	0.00310898	23.924	0.023924	0.81950	0.03423	0.69894
Q <sub>4</sub>	4.960210	0.00496021	28.772	0.028772	0.78789	0.03164	0.90937
Q <sub>5</sub>	7.351822	0.00735182	24.536	0.024536	0.94795	0.04580	0.53572
Q <sub>6</sub>	10.182324	0.01018232	25.136	0.025136	1.05864	0.05712	0.44004



*Figura 21.* Ecuación general para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía.

La dispersión de datos del gráfico da como resultado un coeficiente de 0.7268, concluimos el descarte del uso de esta ecuación cuando existe una ampliación.

Tabla 36.  
Ecuación de Formica - Contracción brusca 25%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	(V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> )	(V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000581	0.003568	0.183714	0.290358	0.106644	0.00058	6.1554
Q <sub>2</sub>	0.001555	0.006480	0.264760	0.422817	0.158057	0.00127	5.0892
Q <sub>3</sub>	0.003109	0.011132	0.338926	0.561948	0.223022	0.00254	4.3911
Q <sub>4</sub>	0.004960	0.011060	0.384970	0.604364	0.219393	0.00245	4.5082
Q <sub>5</sub>	0.007352	0.027080	0.438078	0.828978	0.390900	0.00779	3.4771
Q <sub>6</sub>	0.010182	0.038684	0.474165	0.972195	0.498029	0.01264	3.0600

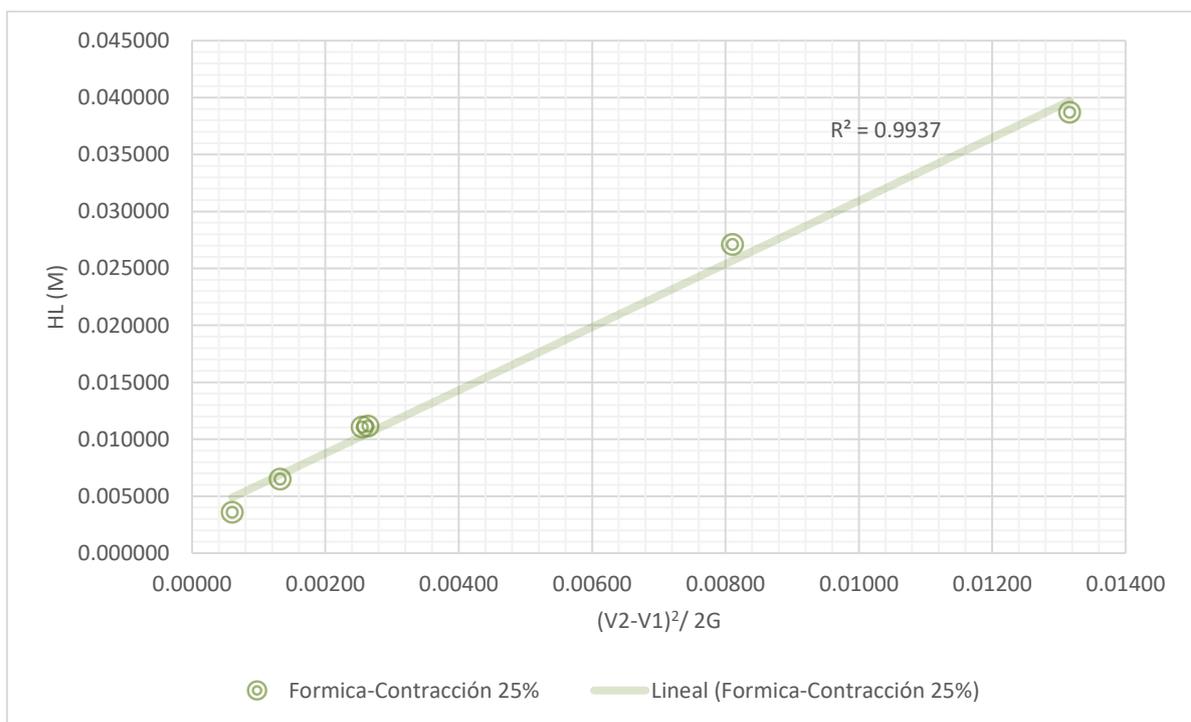


Figura 22. Ecuación de Formica para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía.

Al igual que en las contracciones bruscas del 10%, la ecuación de Formica para esta contracción tiende a ser la más elevada.

Tabla 37.  
Ecuación de Formica - Ampliación brusca 25%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>3</sub> (m/s)	(V <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> )	(V <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000581	0.002868	0.290358	0.255249	-0.035109	0.00006	45.6506
Q <sub>2</sub>	0.001555	0.009664	0.422817	0.442928	0.020112	0.00002	468.7751
Q <sub>3</sub>	0.003109	0.023924	0.561948	0.819498	0.257550	0.00338	7.0764
Q <sub>4</sub>	0.004960	0.028772	0.604364	0.787887	0.183523	0.00172	16.7605
Q <sub>5</sub>	0.007352	0.024536	0.828978	0.947948	0.118970	0.00072	34.0116
Q <sub>6</sub>	0.010182	0.025136	0.972195	1.058643	0.086448	0.00038	65.9912

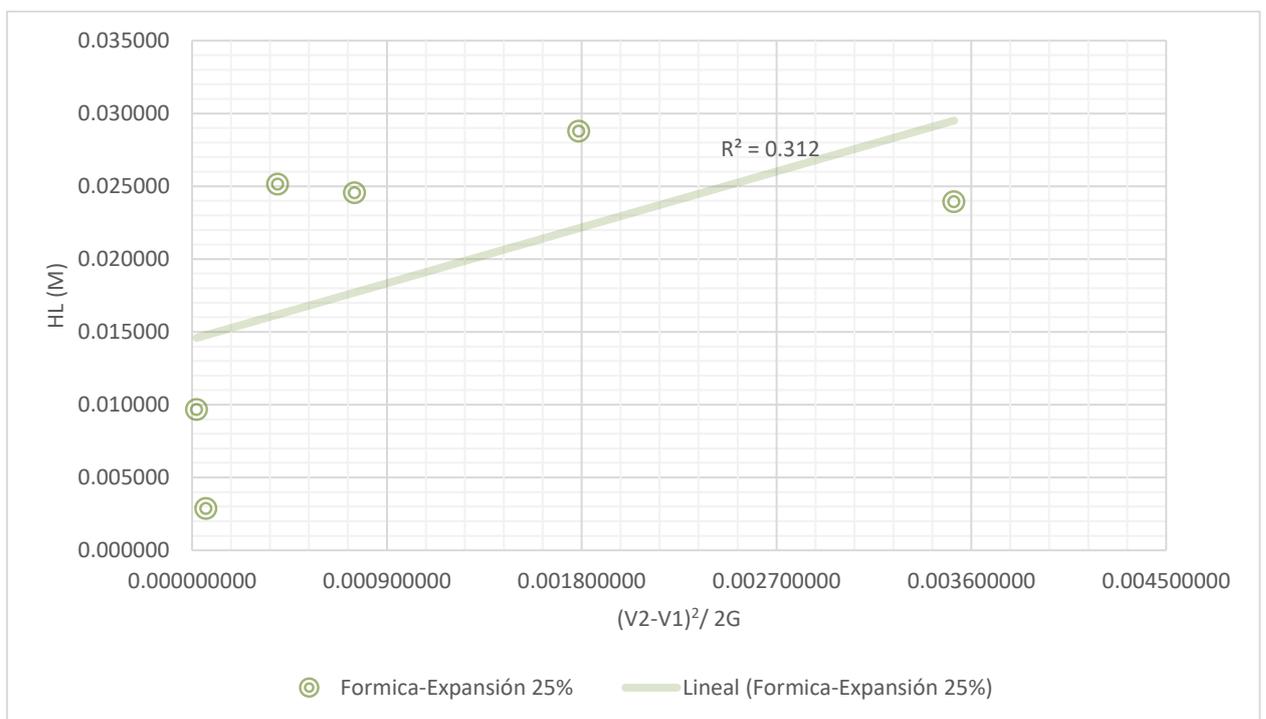


Figura 23. Ecuación de Formica para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía.

De los resultados que obtenemos del procesamiento de datos con la ecuación de Formica para el 25%, el coeficiente de correlación es mayor solo para cuando existe una contracción.

Tabla 38.  
Ecuación de Hinds - Contracción brusca 25%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup> ) / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000581	0.003568	0.183714	0.290358	0.050557	0.00013	27.3883
Q <sub>2</sub>	0.001555	0.006480	0.264760	0.422817	0.108676	0.00060	10.7648
Q <sub>3</sub>	0.003109	0.011132	0.338926	0.561948	0.200915	0.00206	5.4106
Q <sub>4</sub>	0.004960	0.011060	0.384970	0.604364	0.217053	0.00240	4.6060
Q <sub>5</sub>	0.007352	0.027080	0.438078	0.828978	0.495292	0.01250	2.1658
Q <sub>6</sub>	0.010182	0.038684	0.474165	0.972195	0.720329	0.02645	1.4627

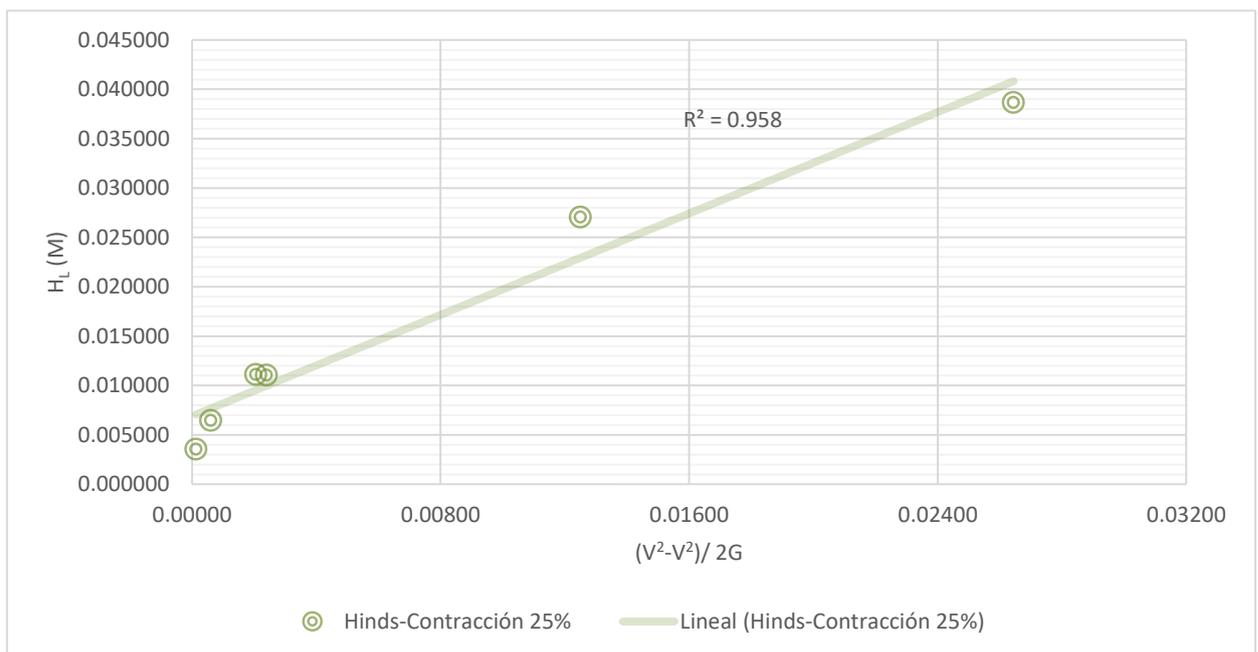


Figura 24. Ecuación de Hinds para contracción brusca de 25%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 39.  
*Ecuación de Hinds - Ampliación brusca 25%.*

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup> ) / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000581	0.002868	0.290358	0.255249	-0.019156	-0.00098	-2.9375
Q <sub>2</sub>	0.001555	0.009664	0.422817	0.442928	0.017411	0.00089	10.8898
Q <sub>3</sub>	0.003109	0.023924	0.561948	0.819498	0.355791	0.01813	1.3193
Q <sub>4</sub>	0.004960	0.028772	0.604364	0.787887	0.255510	0.01302	2.2093
Q <sub>5</sub>	0.007352	0.024536	0.828978	0.947948	0.211401	0.01077	2.2772
Q <sub>6</sub>	0.010182	0.025136	0.972195	1.058643	0.175562	0.00895	2.8091

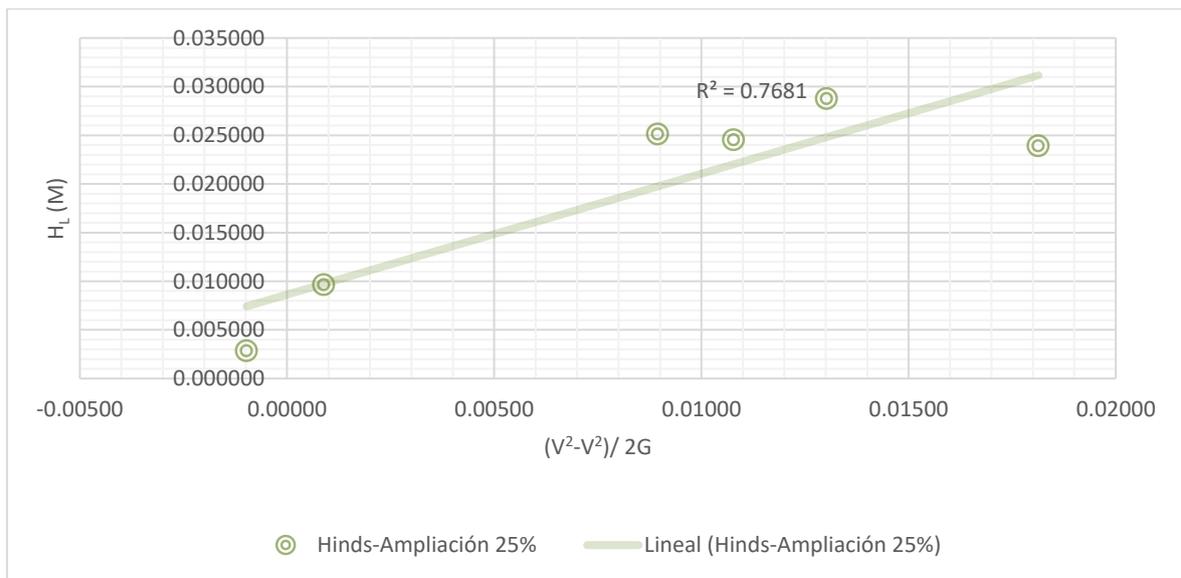


Figura 25. Ecuación de Hinds para ampliación brusca de 10%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 40.

*Procesamiento de datos para la transición 1-1 de expansión y contracción brusca del 40%*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio- mm)	H <sub>th</sub> (Promedio- m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>1</sub> (m/s)	E <sub>1</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.944795	0.00094479	27.134	0.027134	0.0036200	0.26099	0.00347
Q <sub>2</sub>	1.825784	0.00182578	42.654	0.042654	0.0058958	0.30968	0.00489
Q <sub>3</sub>	3.144466	0.00314447	63.458	0.063458	0.0091806	0.34251	0.00598
Q <sub>4</sub>	5.344567	0.00534457	91.202	0.091202	0.0139788	0.38233	0.00745
Q <sub>5</sub>	7.292342	0.00729234	111.862	0.111862	0.0178618	0.40826	0.00850
Q <sub>6</sub>	9.824732	0.00982473	136.366	0.136366	0.0228104	0.43071	0.00946

Tabla 41.

*Procesamiento de datos para la transición 2-2 de expansión y contracción brusca del 40%*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio- mm)	H <sub>th</sub> (Promedio- m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>2</sub> (m/s)	E <sub>2</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.944795	0.00094479	21.574	0.021574	0.0017065	0.55365	0.01562
Q <sub>2</sub>	1.825784	0.00182578	33.450	0.033450	0.0027213	0.67091	0.02294
Q <sub>3</sub>	3.144466	0.00314447	47.206	0.047206	0.0039638	0.79329	0.03207
Q <sub>4</sub>	5.344567	0.00534457	66.022	0.066022	0.0057798	0.92469	0.04358
Q <sub>5</sub>	7.292342	0.00729234	70.126	0.070126	0.0061938	1.17736	0.07065
Q <sub>6</sub>	9.824732	0.00982473	81.170	0.081170	0.0073396	1.33860	0.09133

Tabla 42.

*Procesamiento de datos para la transición 3-3 de expansión y contracción brusca del 40%*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>th</sub> (Promedio- mm)	H <sub>th</sub> (Promedio- m)	A <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>3</sub> (m/s)	E <sub>3</sub> (v <sup>2</sup> /2g)
Q <sub>1</sub>	0.944795	0.00094479	15.442	0.015442	0.0020042	0.47141	0.01133
Q <sub>2</sub>	1.825784	0.00182578	14.082	0.014082	0.0018217	1.00223	0.05120
Q <sub>3</sub>	3.144466	0.00314447	26.672	0.026672	0.0035545	0.88464	0.03989
Q <sub>4</sub>	5.344567	0.00534457	27.070	0.027070	0.0036109	1.48011	0.11166
Q <sub>5</sub>	7.292342	0.00729234	35.470	0.035470	0.0048238	1.51175	0.11648
Q <sub>6</sub>	9.824732	0.00982473	39.174	0.039174	0.0053725	1.82872	0.17045

Tabla 43.

Ecuación general de la pérdida de energía local - Contracción brusca 40%.

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (mm)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	E <sub>2</sub> (v <sup>2</sup> /2g)	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.944795	0.00094479	5.560	0.005560	0.55365	0.01562	0.35588
Q <sub>2</sub>	1.825784	0.00182578	9.204	0.009204	0.67091	0.02294	0.40118
Q <sub>3</sub>	3.144466	0.00314447	16.252	0.016252	0.79329	0.03207	0.50669
Q <sub>4</sub>	5.344567	0.00534457	25.180	0.025180	0.92469	0.04358	0.57778
Q <sub>5</sub>	7.292342	0.00729234	41.736	0.041736	1.17736	0.07065	0.59073
Q <sub>6</sub>	9.824732	0.00982473	55.196	0.055196	1.33860	0.09133	0.60438

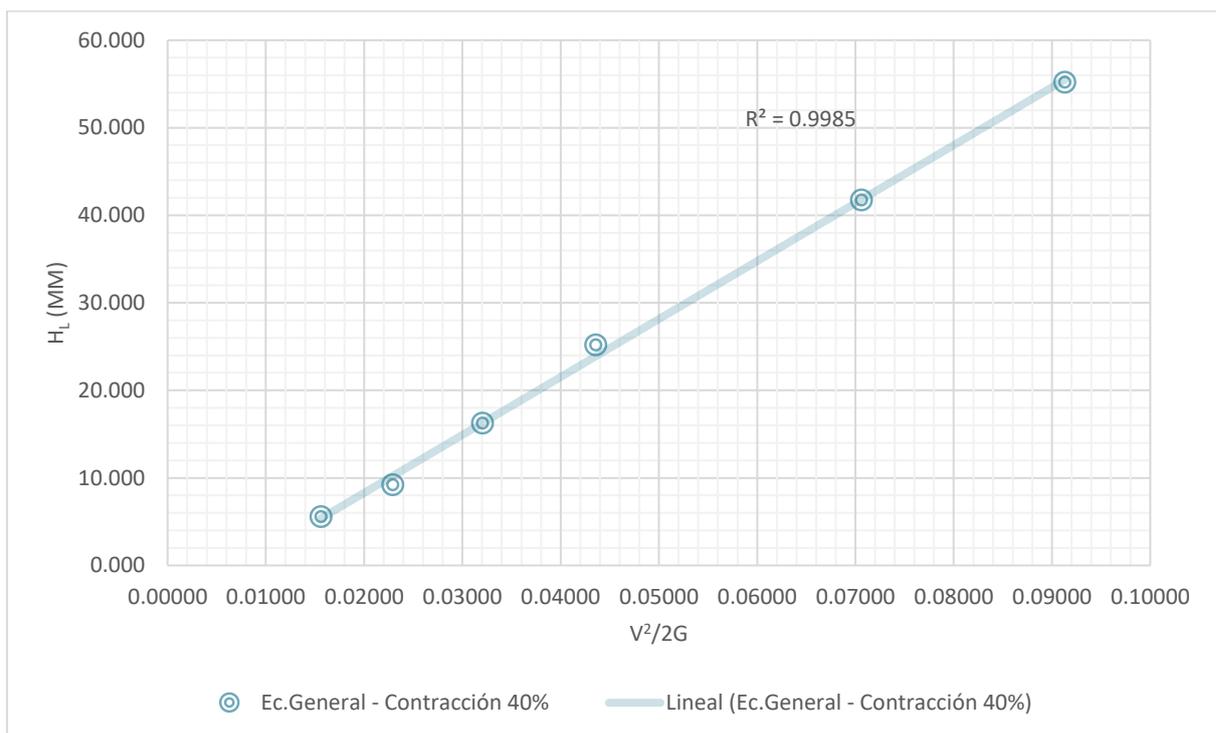


Figura 26. Ecuación general para contracción brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía.

Se va a tener las mismas consideraciones de análisis para este porcentaje con las tres ecuaciones disponibles.

Tabla 44.

*Ecuación general de la pérdida de energía local - Ampliación brusca 40%.*

Variable	Caudal (lts/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (mm)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>3</sub> (m/s)	E <sub>3</sub> (v <sup>2</sup> /2g)	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.944795	0.00094479	6.132	0.006132	0.47141	0.01133	0.54137
Q <sub>2</sub>	1.825784	0.00182578	19.368	0.019368	1.00223	0.05120	0.37831
Q <sub>3</sub>	3.144466	0.00314447	20.534	0.020534	0.88464	0.03989	0.51481
Q <sub>4</sub>	5.344567	0.00534457	38.952	0.038952	1.48011	0.11166	0.34885
Q <sub>5</sub>	7.292342	0.00729234	34.656	0.034656	1.51175	0.11648	0.29752
Q <sub>6</sub>	9.824732	0.00982473	41.996	0.041996	1.82872	0.17045	0.24639

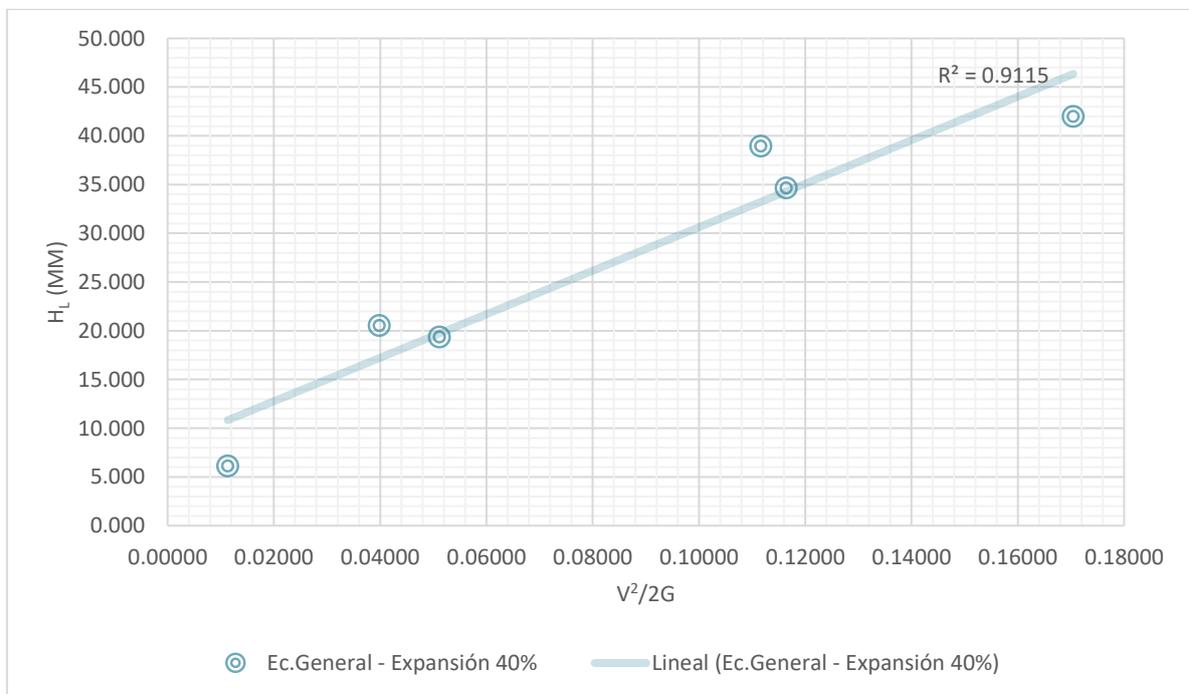


Figura 27. Ecuación general para ampliación brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 45.  
Ecuación de Formica - Contracción brusca 40%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	(V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> )	(V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000945	0.005560	0.260994	0.553650	0.292656	0.00437	1.2737
Q <sub>2</sub>	0.001826	0.009204	0.309678	0.670913	0.361235	0.00665	1.3839
Q <sub>3</sub>	0.003144	0.016252	0.342512	0.793286	0.450774	0.01036	1.5692
Q <sub>4</sub>	0.005345	0.025180	0.382335	0.924691	0.542356	0.01499	1.6795
Q <sub>5</sub>	0.007292	0.041736	0.408264	1.177361	0.769096	0.03015	1.3844
Q <sub>6</sub>	0.009825	0.055196	0.430713	1.338596	0.907884	0.04201	1.3139

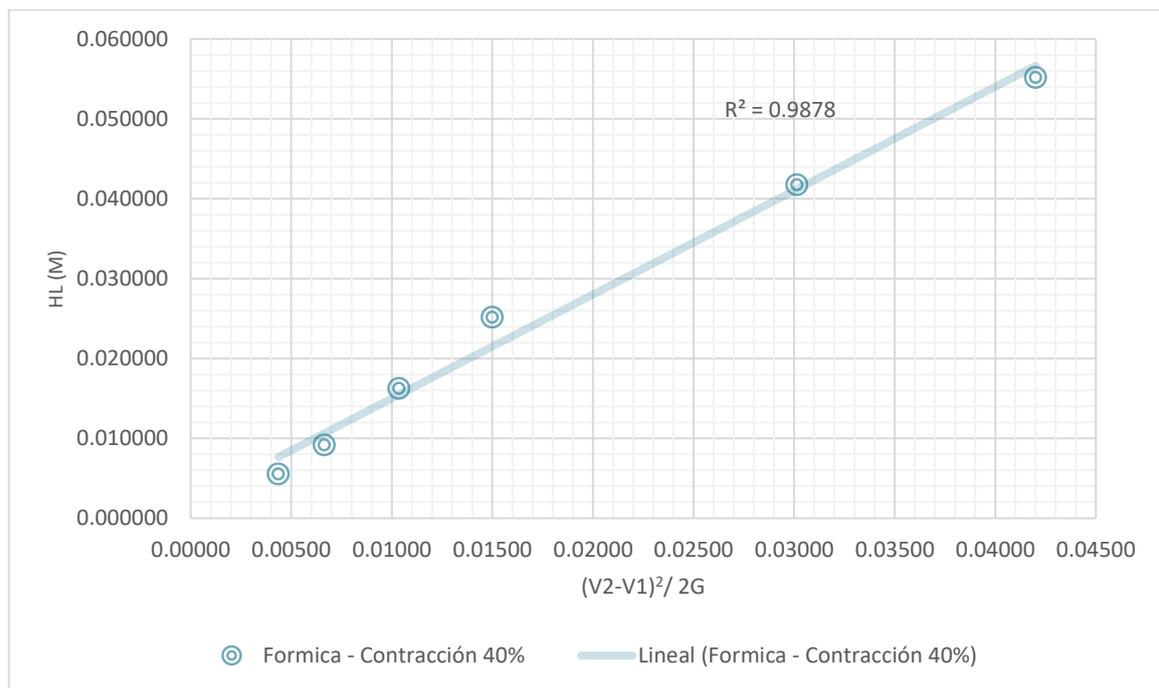


Figura 28. Ecuación de Formica para contracción brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 46.  
Ecuación de Formica - Ampliación brusca 40%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>3</sub> (m/s)	(V <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> )	(V <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000945	0.006132	0.553650	0.471414	-0.082236	0.00034	17.7900
Q <sub>2</sub>	0.001826	0.019368	0.670913	1.002229	0.331316	0.00559	3.4618
Q <sub>3</sub>	0.003144	0.020534	0.793286	0.884636	0.091349	0.00043	48.2795
Q <sub>4</sub>	0.005345	0.038952	0.924691	1.480115	0.555424	0.01572	2.4773
Q <sub>5</sub>	0.007292	0.034656	1.177361	1.511752	0.334392	0.00570	6.0809
Q <sub>6</sub>	0.009825	0.041996	1.338596	1.828716	0.490119	0.01224	3.4301

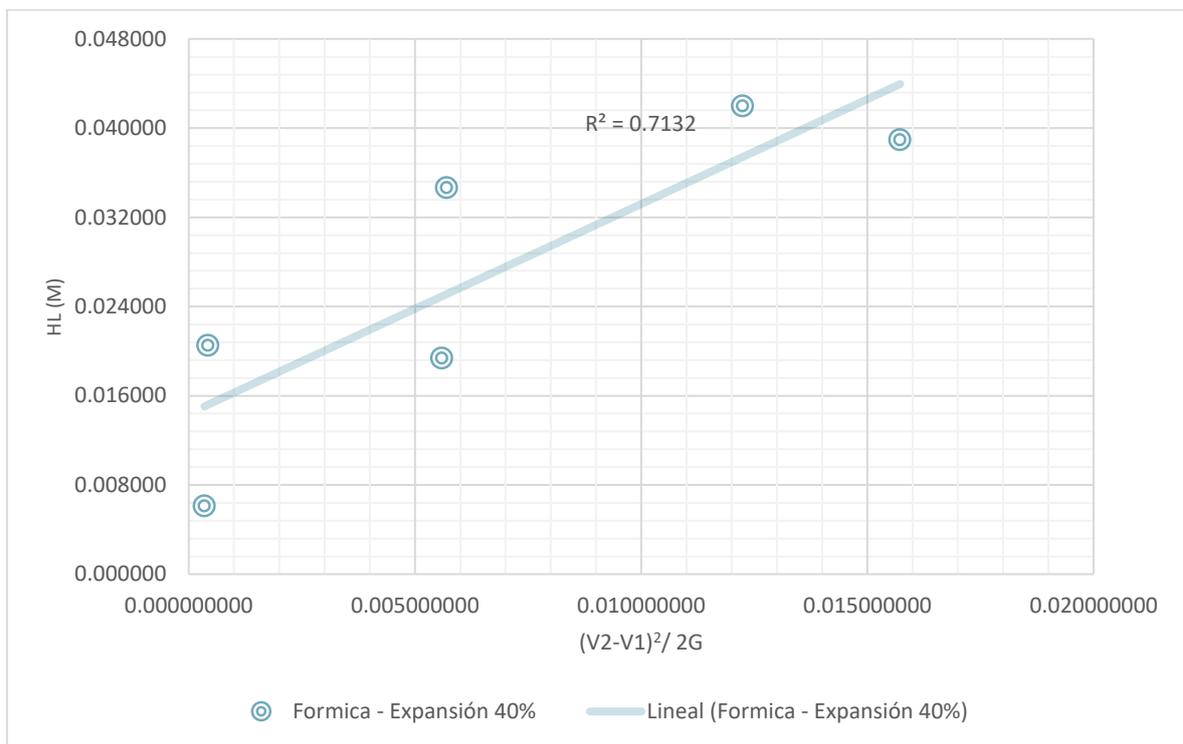


Figura 29. Ecuación de Formica para ampliación brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 47.  
Ecuación de Hinds - Contracción brusca 40%.

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup> ) / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000945	0.005560	0.260994	0.553650	0.238411	0.00290	1.9192
Q <sub>2</sub>	0.001826	0.009204	0.309678	0.670913	0.354224	0.00640	1.4392
Q <sub>3</sub>	0.003144	0.016252	0.342512	0.793286	0.511989	0.01336	1.2164
Q <sub>4</sub>	0.005345	0.025180	0.382335	0.924691	0.708873	0.02561	0.9831
Q <sub>5</sub>	0.007292	0.041736	0.408264	1.177361	1.219498	0.07580	0.5506
Q <sub>6</sub>	0.009825	0.055196	0.430713	1.338596	1.606327	0.13151	0.4197

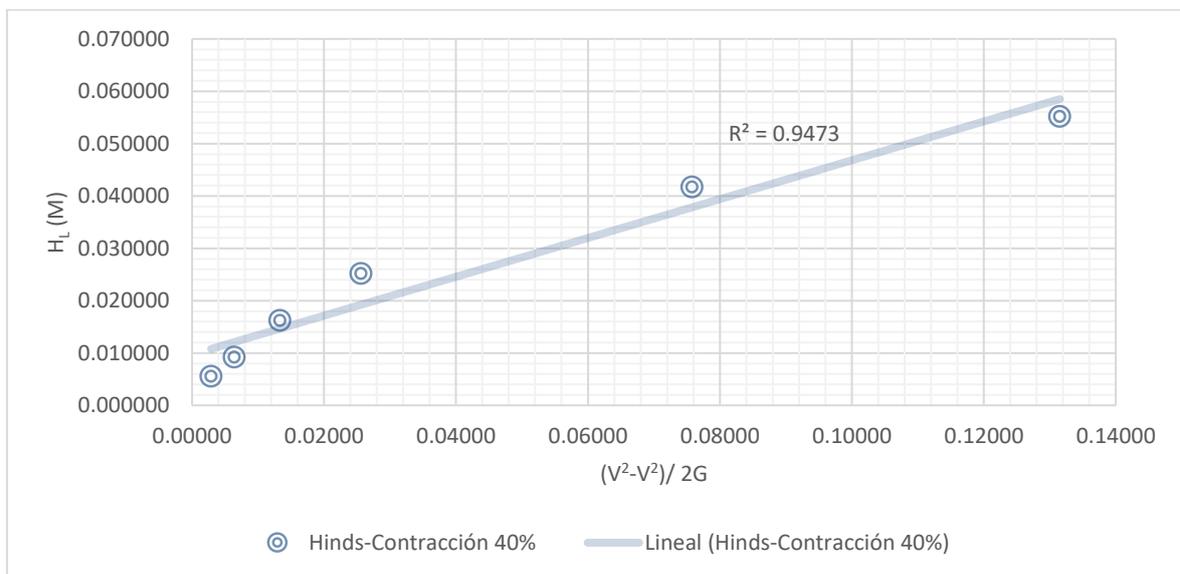
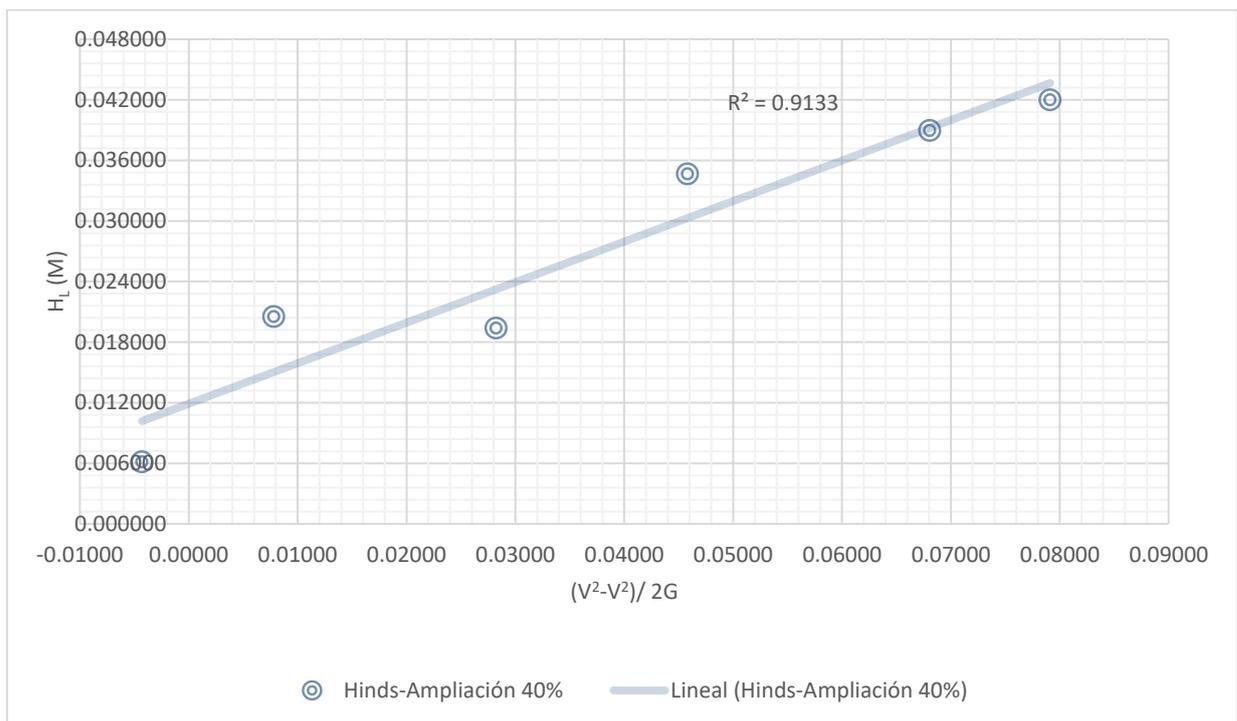


Figura 30. Ecuación de Hinds para contracción brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía.

Tabla 48.

*Ecuación de Hinds - Ampliación brusca 40%.*

Variable	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>L</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(V <sub>2</sub> <sup>2</sup> -V <sub>1</sub> <sup>2</sup> ) / 2g	K (coef)
Q <sub>1</sub>	0.000945	0.006132	0.553650	0.471414	-0.084297	-0.00430	-1.4272
Q <sub>2</sub>	0.001826	0.019368	0.670913	1.002229	0.554338	0.02825	0.6855
Q <sub>3</sub>	0.003144	0.020534	0.793286	0.884636	0.153277	0.00781	2.6284
Q <sub>4</sub>	0.005345	0.038952	0.924691	1.480115	1.335687	0.06808	0.5722
Q <sub>5</sub>	0.007292	0.034656	1.177361	1.511752	0.899217	0.04583	0.7562
Q <sub>6</sub>	0.009825	0.041996	1.338596	1.828716	1.552361	0.07912	0.5308



*Figura 31. Ecuación de Hinds para ampliación brusca de 40%, relación de la pérdida local y la energía.*

Gracias a los gráficos, determinamos los coeficientes de relación de pérdida de energía local ( $H_L$ ) y de la energía ( $v^2/2g$ ), para el cual definiremos que ecuación es la más adecuado para el tipo de análisis cuando existe una contracción y ampliación brusca.

Tabla 49.

*Cuadro resumen del coeficiente de relación para contracción brusca.*

FÓRMULAS	CONTRACCIÓN			PROMEDIO
	10%	25%	40%	
EC. GENERAL	0.9058	0.9885	0.9985	0.96427
<b>FORMICA</b>	<b>0.9396</b>	<b>0.9937</b>	<b>0.9878</b>	<b>0.9737</b>
HINDS	0.8735	0.958	0.9473	0.9263

Determinamos que la ecuación planteada por el autor Formica es la más adecuada cuando se presenta una contracción brusca, existiendo un rango de valores y una relación que es inversamente proporcional al gasto que se presente en la transición del canal trapezoidal entonces definimos que los coeficientes a usar no son constantes.

Tabla 50.

*Valores para el coeficiente de pérdida local en contracciones bruscas.*

REDUCCIÓN	RANGOS	
	MIN	MAX
10%	3.70	13.51
25%	3.06	6.16
40%	1.27	1.68

El mismo proceso continuará cuando en el canal trapezoidal se presente una ampliación y de los gráficos anteriores observamos que los siguientes coeficientes de relación.

Tabla 51.

*Cuadro resumen del coeficiente de relación para ampliación brusca.*

FÓRMULAS	AMPLIACIÓN			PROMEDIO
	10%	25%	40%	
EC. GENERAL	0.7784	0.7268	0.9115	<b>0.8056</b>
FORMICA	0.9285	0.312	0.7132	0.6512
HINDS	0.9437	0.7681	0.9133	0.8750

Del cuadro anterior se difiere que, para una ampliación brusca el coeficiente de relación más cercano a uno es la ecuación de Hinds; sin embargo, los valores en sus coeficientes son negativos, y es por ello es que se escoge como resultado la ecuación general. Este último presenta valores que no tienen una relación directa o inversamente proporcional, solo obteniendo de esto un rango de valores a elegir para el coeficiente de pérdida local.

Tabla 52.

*Valores para el coeficiente de pérdida local en Ampliaciones bruscas.*

REDUCCIÓN	RANGOS	
	MIN	MAX
10%	0.20	0.45
25%	0.44	0.97
40%	0.25	0.54

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

1. La disminución o ampliación del ancho del canal será proporcional a la pérdida de energía, es por esto que, a mayor reducción de la sección del canal, mayor será la pérdida; por tanto, podemos decir que la variación del tirante hidráulico está en función al aumento o disminución de velocidad, por tal razón se establecieron rangos para el coeficiente “k” en los distintos porcentajes de variación de ancho.
2. En estudios previos realizados por Eb Pareja (2015) en su investigación denominada “Análisis experimental de algunas pérdidas locales de energía en canales de sección rectangular abiertos” recomienda usar diferentes métodos para contracciones y ampliaciones bruscas siendo para la primera mencionada usar la ecuación de Hinds y para ampliaciones la formula general, los cuales en esta investigación no se confirma estos resultados ya que cuando existe una contratación brusca en canales trapezoidales la ecuación más adecuado para determinar la energía de pérdida local es la de Formica, y en el enfoque para ampliaciones bruscas afirmamos que la ecuación general es la más apropiada para los dos tipos de sección.
3. También en la mencionada investigación concluye no tener coeficientes constantes para los cambios bruscos de la sección cuando existen ampliaciones y contracciones, generando un rango de los valores para el coeficiente. Reafirmando que para los canales trapezoidales sigue cumpliendo esta variación de valores para el coeficiente de pérdida local.
4. La obtención de los valores para el coeficiente de pérdida local se evaluó en relación al  $H_L$  experimental debido a que el análisis de pérdida local teórico calculado con la ecuación de continuidad no tiene relación con la disminución del tirante hidráulico.

5. En comparación con el antecedente principal se procesa la información por todas las ecuaciones mencionadas en la tabla 01 y en esta investigación solo se optó por las ecuaciones 1, 5 y 6 debido a que en la ecuación de Borda tiene relación con la densidad, viscosidad, temperatura y en el laboratorio existen limitaciones que por instrumentación no se eligió realizar ya que el fluido está expuesto a diferentes condiciones externas y a pesar de ser bastante cercana al valor de uno ciertas disciplinas recomiendan que las diferencias mínimas son muy importantes para ciertas investigaciones o experimentos. En la ecuación de Denli se deriva a la pérdida local en presencia de escalones positivos y negativos siendo esta excluida por la orientación del tema de investigación y, por último, la propuesta de Eb-Pareja se relaciona solo con canales rectangulares y cuando solo exista una contracción brusca.
6. A diferencia de la investigación en canales rectangulares, esta tesis se desarrolló con la existencia de una pendiente (1%) para apreciar de mejor forma el comportamiento del fluido y la energía potencial, y así determinar con más exactitud la pérdida de energía local. La medición del tirante hidráulico se da en parte media de la transición de cada canal debido que es esta posición el tirante se encuentra menos perturbado por el remanso provocado por los cambios de sección. Es por esto que luego se realiza una toma de datos cada 5 centímetros para elaborar un perfil del comportamiento del flujo en toda la transición a evaluar.
7. Las consideraciones que se realizó en esta investigación y procesos planteados no pueden ser aplicados para cualquier canal trapezoidal, teniendo en cuenta que la rugosidad y pendiente generan pérdidas de energía en tramos largos más no en esta investigación debido a que la longitud de cada canal mide 1.20 metros y estas pérdidas son casi nulas.

8. En el proceso de instalación de las planchas para la modificación de la sección del canal de pendiente variable se presencié cierta inestabilidad en los apoyos laterales por lo que se optó como soporte por unos listones de madera con medidas de 1” de alto 1 ½” de ancho y 25 centímetros de largo como se observa en la fotografía 15, concluyendo que será usado para todas las planchas y resolviendo esta limitación presenciada.
9. Para futuras investigaciones podría tomarse en cuenta tramos más largos para considerar pérdidas por rugosidad y pendiente, de igual forma, valdría la pena realizar nuevamente la toma de datos considerando otros porcentajes de reducción y ampliación. Considerando también diferentes secciones del canal como triangular, parabólicos y semicirculares.
10. Del análisis se desprende algunas implicancias favorables para estudios minucioso de hidráulica aguas abajo cuando ocurre un cambio de sección en un canal trapezoidal; en el cual se puede controlar la velocidad del flujo para estudios de socavación o deterioro en la estructura, otra implicancia es que con el control de la velocidad se puede derivar a otra función del cual no fue destinada. Por ejemplo, en un canal de riego, disminuir el ancho bruscamente generará un aumento de velocidad aguas abajo en donde se puede aprovechar con pequeños motores para generar una energía artesanal para electrificación de ballas y/o otros usos. Por otra parte, el aporte académico para un estudio y análisis de pérdida de energía locales o menores en canales trapezoidales.

#### **4.2 Conclusiones**

1. Llegamos a la conclusión de que la pérdida de energía local es directamente proporcional al porcentaje de contracción y expansión brusca del ancho de la sección

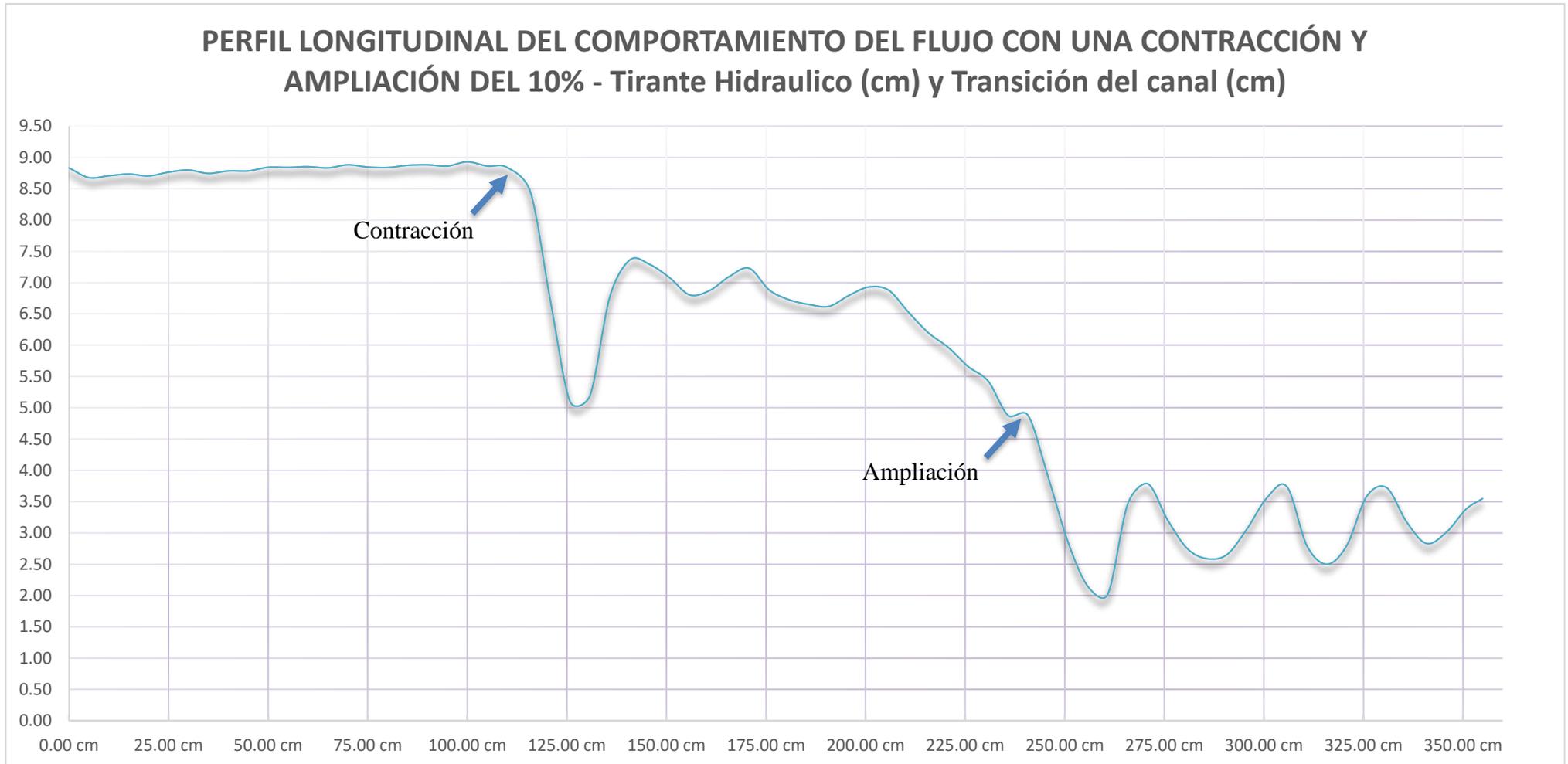
- en un canal trapezoidal abierto , llegando a establecer para rangos para “K” de 10%, 25% y 40% de  $\langle 0.20, 0.45 \rangle$ ;  $\langle 0.44, 0.97 \rangle$ ;  $\langle 0.25, 0.54 \rangle$ , para ampliaciones , y de  $\langle 3.70, 13.51 \rangle$ ;  $\langle 3.06, 6.16 \rangle$ ;  $\langle 1.27, 1.68 \rangle$  para contracciones.
2. Se midió experimentalmente la pérdida de energía local con la diferencia de alturas del tirante hidráulico cuando existe un cambio de reducción, determinando que la medida del fondo del canal hacia la lámina de agua tiende a disminuir. En el procesamiento de datos, el coeficiente de correlación más elevado lo determina la ecuación de Formica, concluyendo que para una contracción brusca al 10% y 25% encontramos rango de valores para el coeficiente, siendo el máximo para caudales pequeños y el mínimo para caudales elevados. Para la contracción al 40% el rango de valores tiende a no tener relación con el caudal, sugiriendo que se podría tomar el valor del promedio de los datos propuestos siendo 1.43 para  $k$ .
  3. Concluimos que mediante el coeficiente de correlación para las ampliaciones bruscas el tirante hidráulico disminuye y la ecuación más adecuada para determinar la pérdida de energía local es la ecuación general. A diferencia del análisis con presencia de una contracción brusca, esta no tiene relación con el caudal y los parámetros para el coeficiente se detallan en la tabla 53.
  4. La precisión de toma de datos para esta investigación es confiable debido a que la medición del caudal fue realizada en el vertedero a la salida del canal de pendiente variable, comparado con la medición del caudal por el método volumétrico. La instalación de las planchas y uso de silicona caliente proporcionaron que las filtraciones fueron mínimas en el momento de la recolección de datos.

## REFERENCIAS

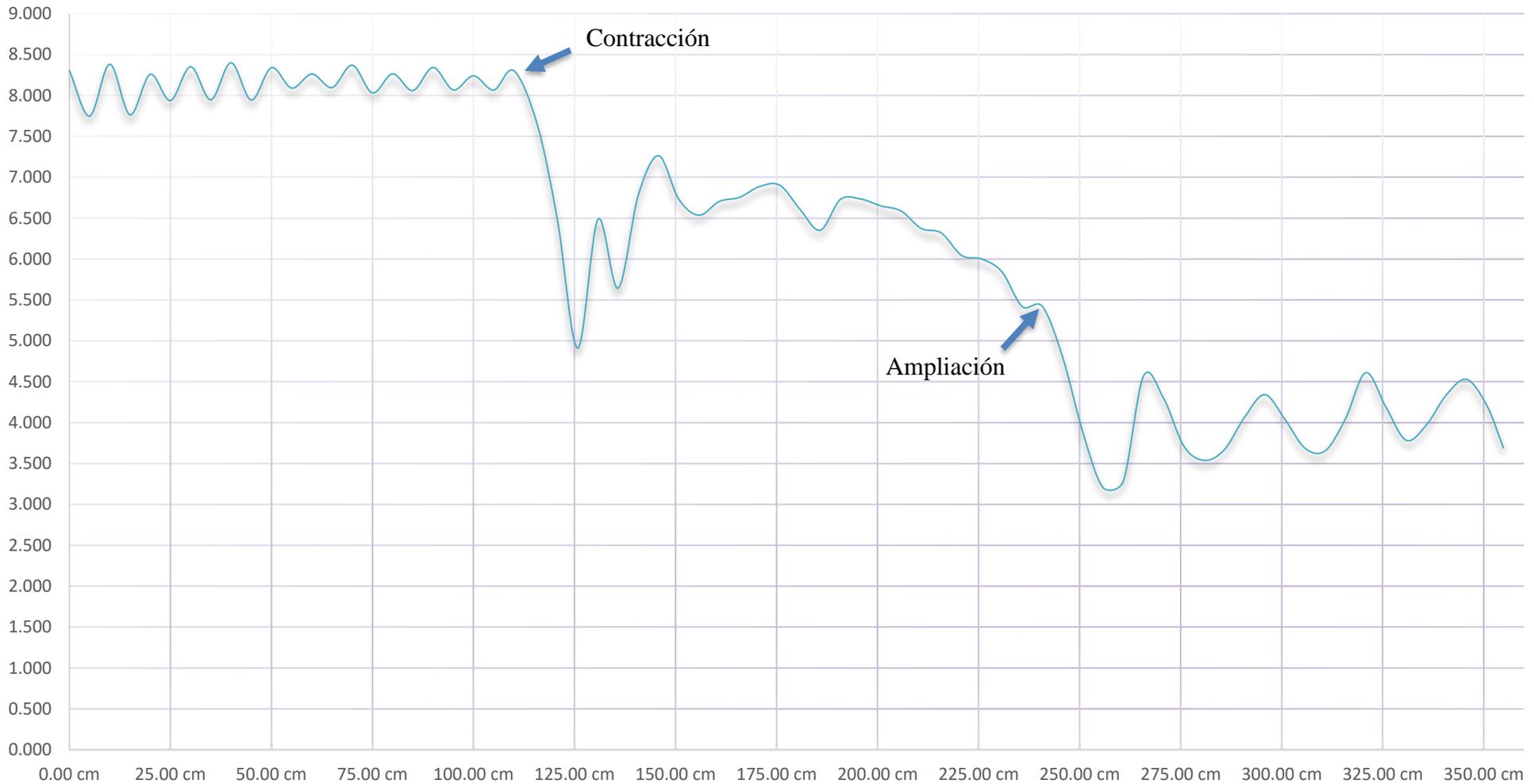
- Alvarado, A. G. (06 de Abril de 2008). *Mecánica de Fluidos*. Obtenido de Mecánicafluidos7mo: <http://mecanicafluidos7mo.blogspot.com/2008/04/flujo-en-canales-abiertos.html>
- Castellanos, H. E., Collazos, C. A., Farfán, J. C., & Melendez-Pertuz, F. (2017). *Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable*. Obtenido de Información tecnológica, 28(6), 103-114.: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000600012>
- Terrones, N. (2015). *Disipación de energía hidráulica mediante cuencos amortiguadores en el canal de pendiente variable del laboratorio de la universidad privada del norte, 2015*. . Universidad Privada del Norte - Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca.
- Jean F. Dulhoste, Didier Georges, Gildas Besacon y Carlos J. Jerez. (2007). *Comparación de Controladores de Nivel para Canales Abiertos Basados en un Modelo por Colocación*. En revista Información Tecnológica – Vol. 18 N°6.
- Joel Enrique Eb Pareja (2012). *Análisis experimentas de algunas pérdidas locales de energía en canales de sección rectangular abiertos*. (Tesis de maestría). Posgrado de Ingeniería UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nuray Denli Tokyay and A Burcu Altan-Sakarya. (2 de abril del 2011). *Local energy losses at positive and negative steps in subcritical open channel flows*. En revista Water SA Vol 37 No 2
- Ven Te Chow. (1982). *Hidráulica de los canales abiertos*. ISBN968.13-1327-5.
- Arturo Rocha Felices. (2007). *Hidráulica de Tuberías y Canales*. Lima.
- Manuel Vicente Méndez (2001). *Elementos de Hidráulica de Canales*. Caracas.

**ANEXOS**

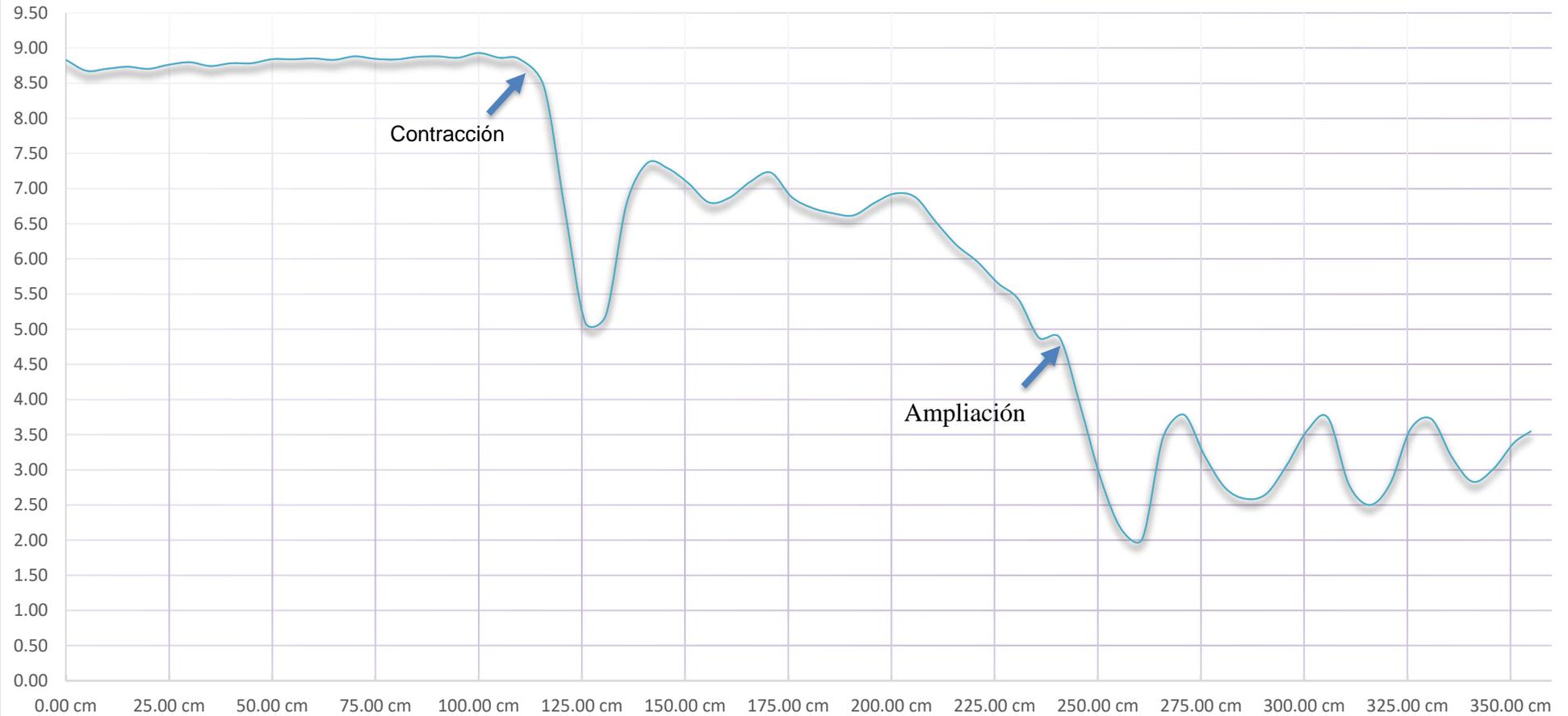
**ANEXO N° 01: PERFILES DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJO**



### PERFIL LONGITUDINAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO CON UNA CONTRACCIÓN Y AMPLIACIÓN DEL 25% - Tirante Hidraulico (cm) y Transición del canal (cm)



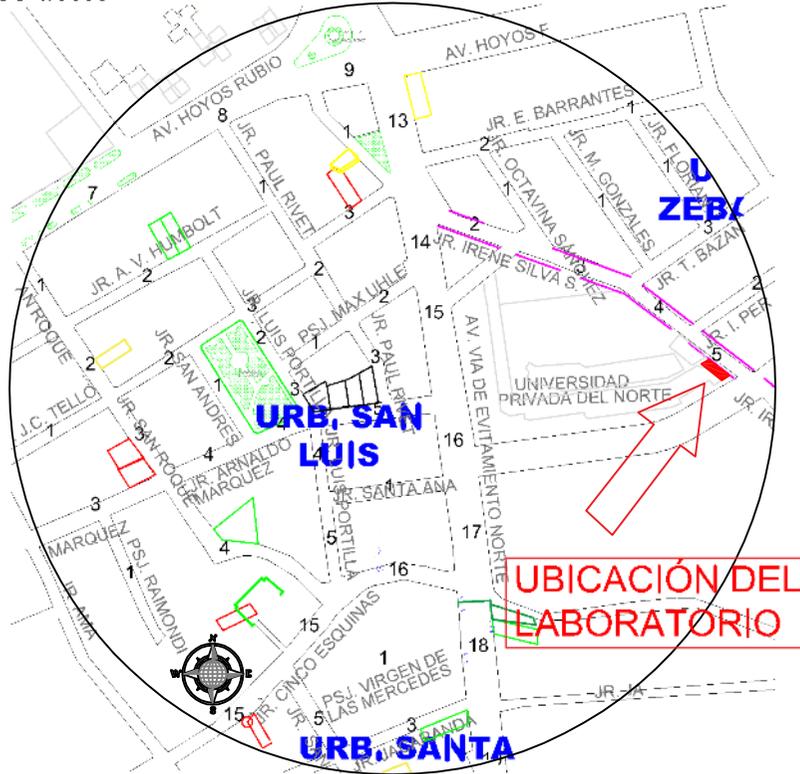
### PERFIL LONGITUDINAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO CON UNA CONTRACCIÓN Y AMPLIACIÓN DEL 40% - Tirante Hidraulico (cm) y Transición del canal (cm)



## **ANEXO N° 02: PLANO DE UBICACIÓN**

# PLANO DE LOCALIZACIÓN

ESC 1/5000



CUADRO DE COORDENADAS			
Punto	Norte	Este	Cota
Labor.	9208829.7	775583.1	2695

# PLANO DE UBICACIÓN

ESC 1/200



CUADRO DE ÁREAS	
LAB. HIDRAULICA	93.2 m <sup>2</sup> (ref)



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE ENERGÍA EN CANALES TRAPEZOIDALES CON CAMBIOS DE AMPLIFICACIÓN Y CONTRACCIÓN BRUSCA DEL ANCHO"

AUTOR:

BACH. PIERO ARENAS ALVARADO.

ASESOR:

ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

UBICACIÓN

DEPARTAMENTO : CAJAMARCA  
PROVINCIA : CAJAMARCA  
DISTRITO : CAJAMARCA

PLANO:

LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

JULIO DEL 2020

LÁMINA:

U-1

### ANEXO N° 03: CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO TRIANGULAR A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE

#### Procesamiento de datos:

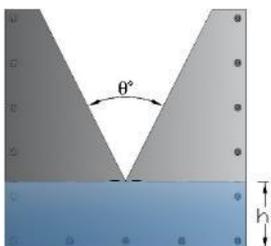
- Determinación de caudales mediante diferencias de lectura de un micromedidor de 2”.

Fórmula	Item	Descripción	Unidad
$Q = \frac{V_f - V_i}{T_f}$	Q	Caudal	m <sup>3</sup> /seg
	V <sub>f</sub>	Volumen final	m <sup>3</sup>
	V <sub>i</sub>	Volumen inicial	m <sup>3</sup>
	T <sub>f</sub>	Tiempo	seg

- Determinación de caudales con vertederos triangulares.

Fórmula	Item	Descripción	Unidad
$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2gh}^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$	Q	Caudal	m <sup>3</sup> /seg
	C	Coficiente	-
	g	Gravedad	m/s <sup>2</sup>
	h	Tirante de agua	m
	Θ	Ángulo de vertedero	° (Rad)

- Datos generales

Gráfico	Item	Descripción	Unidad	Dato
	Θ	Ángulo de vertedero	° (Rad)	53
	h <sub>i</sub>	Altura inicial	cm	1.60
	g	Gravedad	m/s <sup>2</sup>	9.81

- Toma de datos

Nº PRUEBA	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	$V_f$ (m <sup>3</sup> )	Tiempo (seg)	Altura (cm)	Descripción
1	639.5075	640.0996	234.62	11.23	Valv. Al 100%
2	640.2394	641.0597	319.8	11.71	Valv. Al 100%
3	641.0597	642.1365	421.48	11.85	Valv. Al 100%
4	642.1365	643.2814	449.52	11.83	Valv. Al 100%
5	643.2814	644.2317	376.03	11.8	Valv. Al 100%
6	644.2317	645.1651	362.96	11.9	Valv. Al 100%
7	645.1651	645.7534	269.09	11.86	Valv. Al 100%
8	645.7534	646.5751	280.36	11.8	Valv. Al 100%
9	646.5751	647.2888	276.92	11.87	Valv. Al 100%
10	647.2888	648.1478	334.4	11.87	Valv. Al 100%
11	648.1478	648.5696	277.4	9.9	Valv. Al 75%
12	648.5696	649.0148	272.32	10.19	Valv. Al 75%
13	649.0148	649.5141	293.83	10.35	Valv. Al 75%
14	649.5141	650.0941	364.77	10.1	Valv. Al 75%
15	650.0941	650.6911	304.66	10.75	Valv. Al 75%
16	650.6911	651.2471	276.91	10.85	Valv. Al 75%
17	651.2471	651.8121	297.82	10.65	Valv. Al 75%
18	651.8121	652.3919	294.62	10.85	Valv. Al 75%
19	652.3919	652.7274	205.89	10.1	Valv. Al 75%
20	652.7274	653.1394	209.12	10.7	Valv. Al 75%
21	653.1394	653.5892	180.31	11.51	Valv. Al 50%
22	653.5892	654.0359	181.81	11.49	Valv. Al 50%
23	654.0359	654.4909	185.79	11.5	Valv. Al 50%
24	654.4909	654.9202	179.52	11.39	Valv. Al 50%
25	654.9202	655.3942	197.89	11.54	Valv. Al 50%
26	655.3942	655.7143	203.3	9.85	Valv. Al 25%
27	655.7143	655.8124	177.42	7.14	Valv. Al 25%
28	655.8124	655.9219	196.73	6.61	Valv. Al 25%
29	655.9219	656.0246	160.86	6.7	Valv. Al 25%
30	656.0246	656.0929	145.23	6.35	Valv. Al 25%
31	0	0.015303	4.15	13.9	Met. Volumet.
32	0	0.0123824	3.27	13.9	Met. Volumet.
33	0	0.0136433	2.55	15.78	Met. Volumet.
34	0	0.0133529	2.49	15.78	Met. Volumet.
35	0	0.0162353	2.22	17.74	Met. Volumet.
36	0	0.0155588	2.13	17.74	Met. Volumet.

- Procesamiento de datos

Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	Altura real (m)	Coficiente
0.0025236553	0.0963	0.7445259328
0.0025650407	0.1011	0.6700880603
0.0025548069	0.1025	0.6448577574
0.0025469390	0.1023	0.6460185201
0.0025271920	0.1020	0.6457335059
0.0025716332	0.1030	0.6412560641
0.0021862574	0.1026	0.5504886947
0.0029308746	0.1020	0.7488801562
0.0025772786	0.1027	0.6473673342
0.0025687799	0.1027	0.6452326013
0.0015205479	0.0830	0.6504597147
0.0016348414	0.0859	0.6418125784
0.0016992819	0.0875	0.6370313636
0.0015900430	0.0850	0.6408805371
0.0019595615	0.0915	0.6569339019
0.0020078726	0.0925	0.6550845196
0.0018971191	0.0905	0.6537153112
0.0019679587	0.0925	0.6420623006
0.0016295109	0.0850	0.6567883991
0.0019701607	0.0910	0.6695972811
0.0024945926	0.0991	0.6850637982
0.0024569606	0.0989	0.6781456390
0.0024490016	0.0990	0.6742432262
0.0023913770	0.0979	0.6770283207
0.0023952701	0.0994	0.6528359302
0.0015745204	0.0825	0.6837997548
0.0005529253	0.0554	0.6498416414

Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	Altura real (m)	Coefficiente
0.0005566004	0.0501	0.8411331108
0.0006384434	0.0510	0.9228103473
0.0004702885	0.0475	0.8119809846
0.0036874699	0.1230	0.5900396810
0.0037866667	0.1230	0.6059123640
0.0053503137	0.1418	0.5999349843
0.0053626104	0.1418	0.6013138250
0.0073131982	0.1614	0.5932859098
0.0073046009	0.1614	0.5925884539
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.6652436807</b>

Con los siguientes datos generaremos una tabla para el vertedero triangular de 53° a la salida del canal, indicando el caudal para una determinada altura medida desde el vértice hasta la lámina de agua.

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2gh}^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

- Q : Caudal (m<sup>3</sup>)
- C : 0.6652
- g : 9.81
- h : Tirante de agua (m)
- θ : 53°

- Tabla de vertedero de 53°

Altura		Caudal		Altura		Caudal		Altura		Caudal		Altura		Caudal	
h (cm)	h (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(lts/s)	h (cm)	h (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(lts/s)	h (cm)	h (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(lts/s)	h (cm)	h (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(lts/s)
1.0	0.01	7.84E-06	0.007835	6.0	0.06	6.91E-04	0.690945	12.0	0.12	3.91E-03	3.908574	18.0	0.18	3.91E-03	3.908574
1.1	0.011	9.94E-06	0.009944	6.2	0.062	7.50E-04	0.749971	12.2	0.122	4.07E-03	4.073473	18.2	0.182	4.07E-03	4.073473
1.2	0.012	1.24E-05	0.012360	6.4	0.064	8.12E-04	0.811924	12.4	0.124	4.24E-03	4.242477	18.4	0.184	4.24E-03	4.242477
1.3	0.013	1.51E-05	0.015098	6.6	0.066	8.77E-04	0.876850	12.6	0.126	4.42E-03	4.415619	18.6	0.186	4.42E-03	4.415619
1.4	0.014	1.82E-05	0.018171	6.8	0.068	9.45E-04	0.944795	12.8	0.128	4.59E-03	4.592934	18.8	0.188	4.59E-03	4.592934
1.5	0.015	2.16E-05	0.021592	7.0	0.07	1.02E-03	1.015805	13.0	0.13	4.77E-03	4.774453	19.0	0.19	4.77E-03	4.774453
1.6	0.016	2.54E-05	0.025373	7.2	0.072	1.09E-03	1.089925	13.2	0.132	4.96E-03	4.960210	19.2	0.192	4.96E-03	4.960210
1.7	0.017	2.95E-05	0.029525	7.4	0.074	1.17E-03	1.167198	13.4	0.134	5.15E-03	5.150237	19.4	0.194	5.15E-03	5.150237
1.8	0.018	3.41E-05	0.034060	7.6	0.076	1.25E-03	1.247669	13.6	0.136	5.34E-03	5.344567	19.6	0.196	5.34E-03	5.344567
1.9	0.019	3.90E-05	0.038990	7.8	0.078	1.33E-03	1.331379	13.8	0.138	5.54E-03	5.543231	19.8	0.198	5.54E-03	5.543231
2.0	0.02	4.43E-05	0.044324	8.0	0.08	1.42E-03	1.418372	14.0	0.14	5.75E-03	5.746261	20.0	0.2	5.75E-03	5.746261
2.2	0.022	5.62E-05	0.056250	8.2	0.082	1.51E-03	1.508690	14.2	0.142	5.95E-03	5.953688	20.2	0.202	5.95E-03	5.953688
2.4	0.024	6.99E-05	0.069919	8.4	0.084	1.60E-03	1.602372	14.4	0.144	6.17E-03	6.165545	20.4	0.204	6.17E-03	6.165545
2.6	0.026	8.54E-05	0.085408	8.6	0.086	1.70E-03	1.699462	14.6	0.146	6.38E-03	6.381862	20.6	0.206	6.38E-03	6.381862
2.8	0.028	1.03E-04	0.102792	8.8	0.088	1.80E-03	1.799998	14.8	0.148	6.60E-03	6.602669	20.8	0.208	6.60E-03	6.602669
3.0	0.03	1.22E-04	0.122143	9.0	0.09	1.90E-03	1.904020	15.0	0.15	6.83E-03	6.827998	21.0	0.21	6.83E-03	6.827998
3.2	0.032	1.44E-04	0.143529	9.2	0.092	2.01E-03	2.011568	15.2	0.152	7.06E-03	7.057879	21.2	0.212	7.06E-03	7.057879
3.4	0.034	1.67E-04	0.167018	9.4	0.094	2.12E-03	2.122682	15.4	0.154	7.29E-03	7.292342	21.4	0.214	7.29E-03	7.292342
3.6	0.036	1.93E-04	0.192673	9.6	0.096	2.24E-03	2.237398	15.6	0.156	7.53E-03	7.531418	21.6	0.216	7.53E-03	7.531418
3.8	0.038	2.21E-04	0.220559	9.8	0.098	2.36E-03	2.355757	15.8	0.158	7.78E-03	7.775135	21.8	0.218	7.78E-03	7.775135
4.0	0.04	2.51E-04	0.250735	10.0	0.1	2.48E-03	2.477794	16.0	0.16	8.02E-03	8.023525	22.0	0.22	8.02E-03	8.023525
4.2	0.042	2.83E-04	0.283262	10.2	0.102	2.60E-03	2.603548	16.2	0.162	8.28E-03	8.276615	22.2	0.222	1.82E-02	18.194816
4.4	0.044	3.18E-04	0.318198	10.4	0.104	2.73E-03	2.733056	16.4	0.164	8.53E-03	8.534437	22.4	0.224	1.86E-02	18.607383
4.6	0.046	3.56E-04	0.355598	10.6	0.106	2.87E-03	2.866355	16.6	0.166	8.80E-03	8.797018	22.6	0.226	1.90E-02	19.025511
4.8	0.048	3.96E-04	0.395520	10.8	0.108	3.00E-03	3.003479	16.8	0.168	9.06E-03	9.064387	22.8	0.228	1.94E-02	19.449228
5.0	0.05	4.38E-04	0.438016	11.0	0.11	3.14E-03	3.144466	17.0	0.17	9.34E-03	9.336574	23.0	0.23	1.99E-02	19.878556
5.2	0.052	4.83E-04	0.483141	11.2	0.112	3.29E-03	3.289352	17.2	0.172	9.61E-03	9.613607	23.2	0.232	2.03E-02	20.313521
5.4	0.054	5.31E-04	0.530945	11.4	0.114	3.44E-03	3.438170	17.4	0.174	9.90E-03	9.895514	23.4	0.234	2.08E-02	20.754147
5.6	0.056	5.81E-04	0.581481	11.6	0.116	3.59E-03	3.590957	17.6	0.176	1.02E-02	10.182324	23.6	0.236	2.12E-02	21.200458
5.8	0.058	6.35E-04	0.634798	11.8	0.118	3.75E-03	3.747747	17.8	0.178	1.05E-02	10.474065	23.8	0.238	2.17E-02	21.652479
6.0	0.06	6.91E-04	0.690945	12.0	0.12	3.91E-03	3.908574	18.0	0.18	1.08E-02	10.770764	24.0	0.24	2.21E-02	22.110234

**ANEXO N° 04: CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO TRIANGULAR A LA  
SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE – PANEL FOTOGRÁFICO**

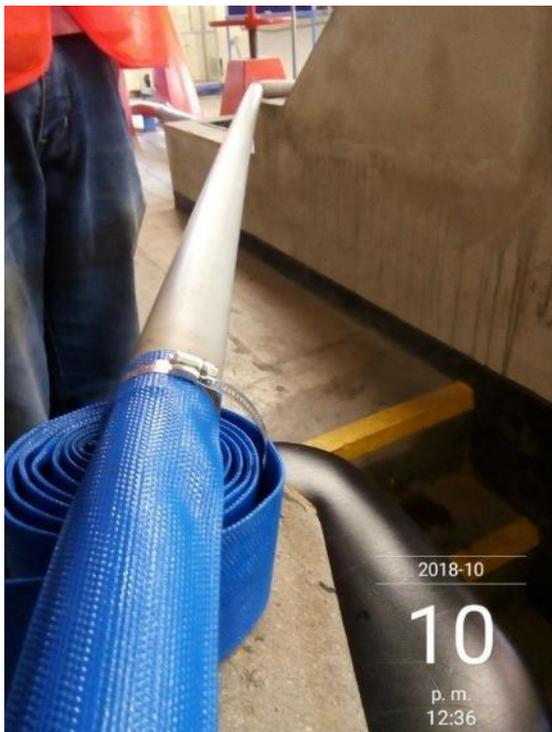
Fotografía 1: Habilitación de la tubería para ser conducida al primer depósito de la salida del canal



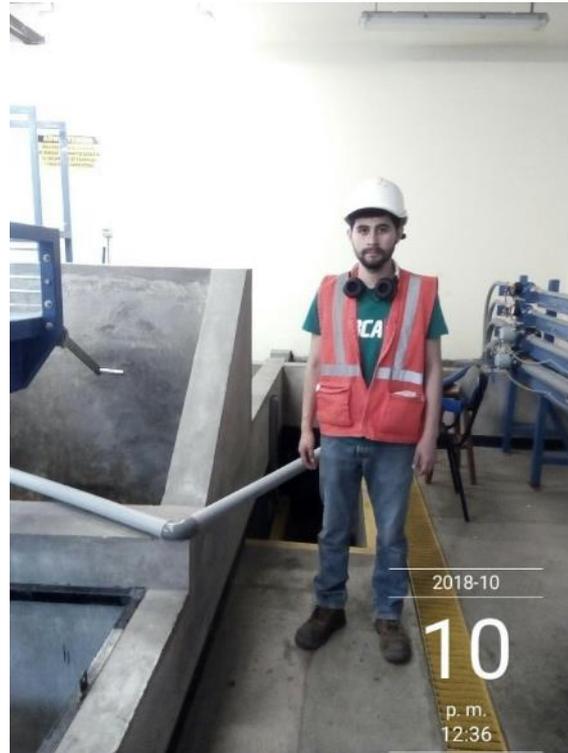
*Fotografía 2: Conexión de manga a tubería galvanizada de dos pulgadas del banco de pérdidas de tubería del laboratorio de hidráulica*



*Fotografía 3: Conducción del agua al primer deposito del canal de pendiente variable*



*Fotografía 5: Culminación de conexión*



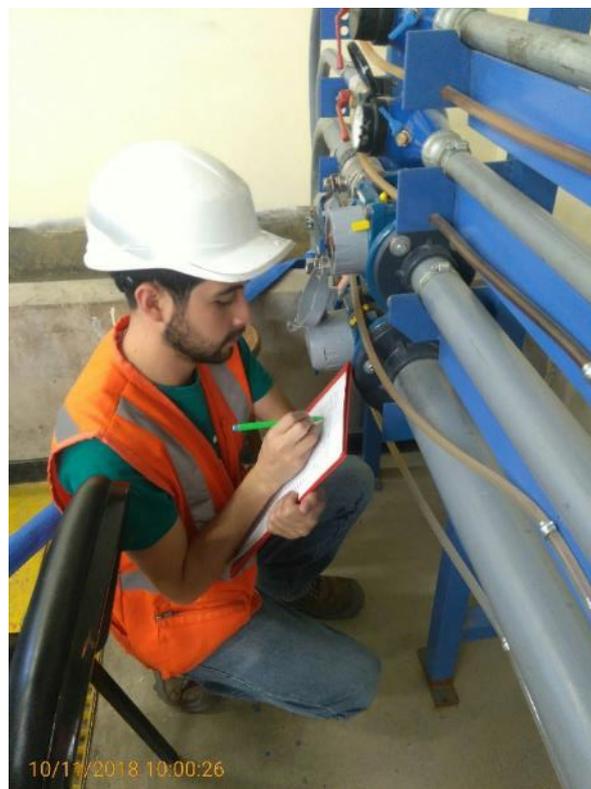
*Fotografía 6: Asesoramiento de la docente del curso, Ing. Anita Alva.*



*Fotografía 7: Nivel del agua en el vértice del vertedero.*



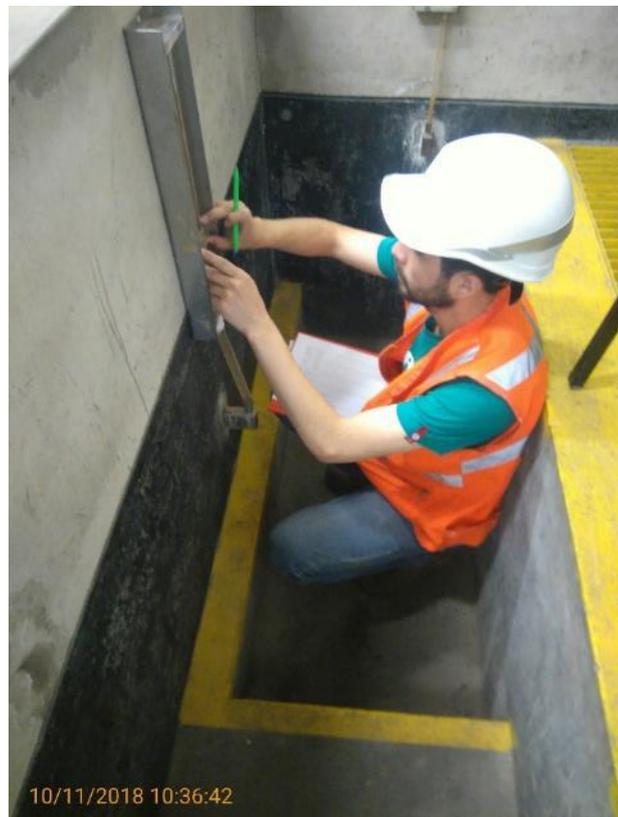
*Fotografía 8: Apunte del volumen inicial del micromedidor*



*Fotografía 9: Toma de datos, manipulación de la válvula.*



*Fotografía 10: Toma de datos, medición de la altura de agua en el vertedero.*



*Fotografía 11: Toma de datos, anotación del volumen final del micromedidor.*



*Fotografía 12: Medición volumétrica a la salida del canal de pendiente variable.*



*Fotografía 13: Toma de datos, método volumétrico*

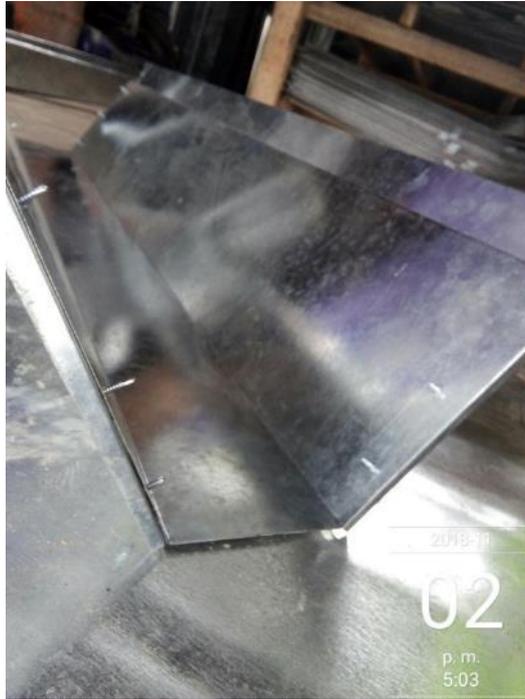


*Fotografía 14: Visita del asesor Ing. Luis Vásquez en el laboratorio de hidráulica.*



#### ANEXO N° 04: PANEL FOTOGRÁFICO

*Fotografía 15: Sección del canal trapezoidal de acero galvanizado n°4*



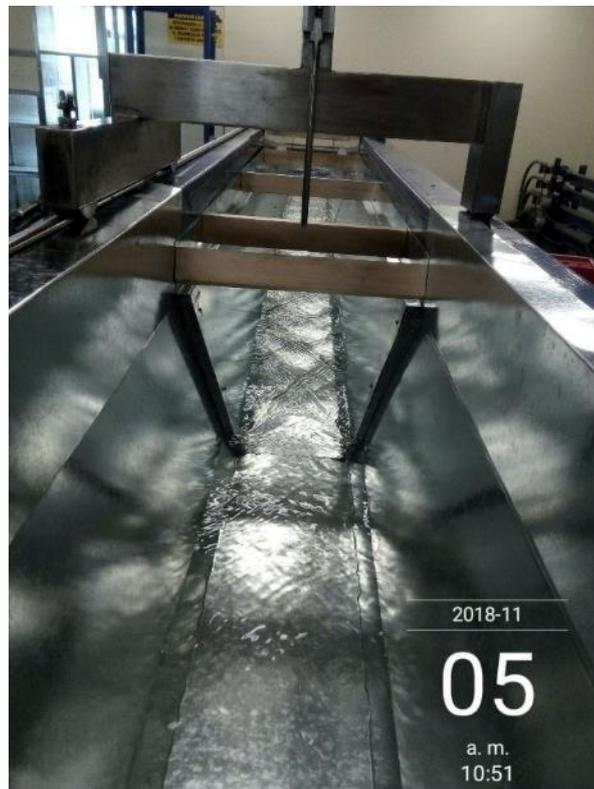
*Fotografía 17: Instalación de los canales trapezoidales en el laboratorio*



*Fotografía 19: Instalación del canal trapezoidal, uso de pegamento para evitar filtración del agua.*



*Fotografía 20: Flujo de agua dentro del canal trapezoidal, reducción del ancho de 10%*



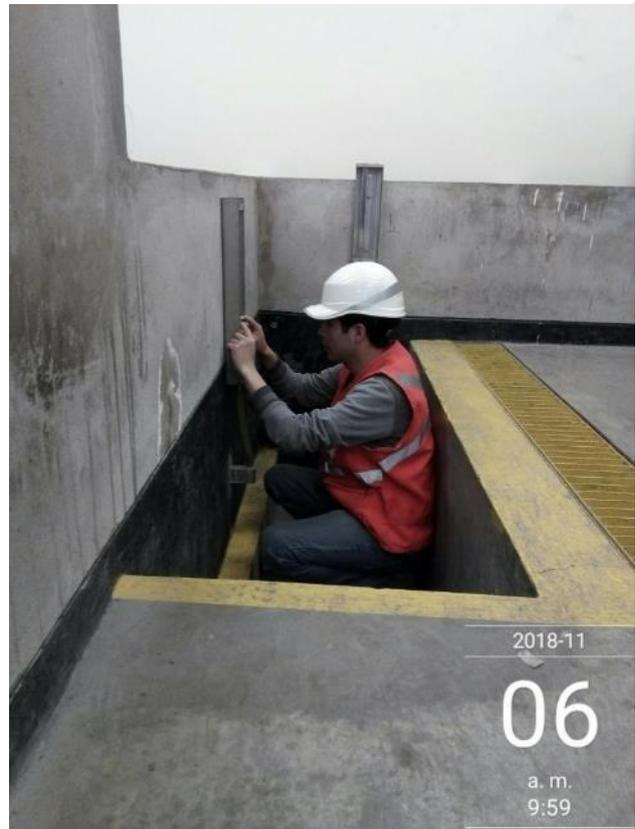
*Fotografía 21: Medición de la altura del vertedero a la salida del canal de pendiente variable.*



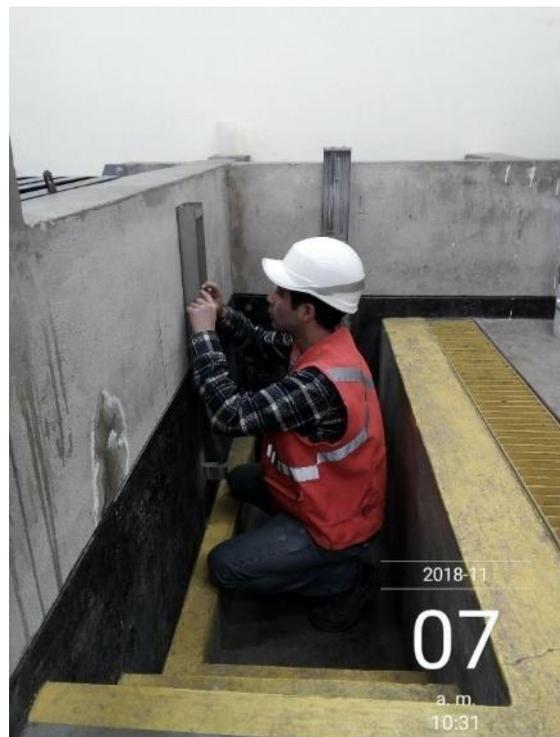
*Fotografía 22: Medición del tirante hidráulico*



*Fotografía 23: Toma de datos del tirante hidráulico en la expansión y altura del vertedero*



*Fotografía 25: Toma de datos del tirante hidráulico en la contracción y altura del vertedero*



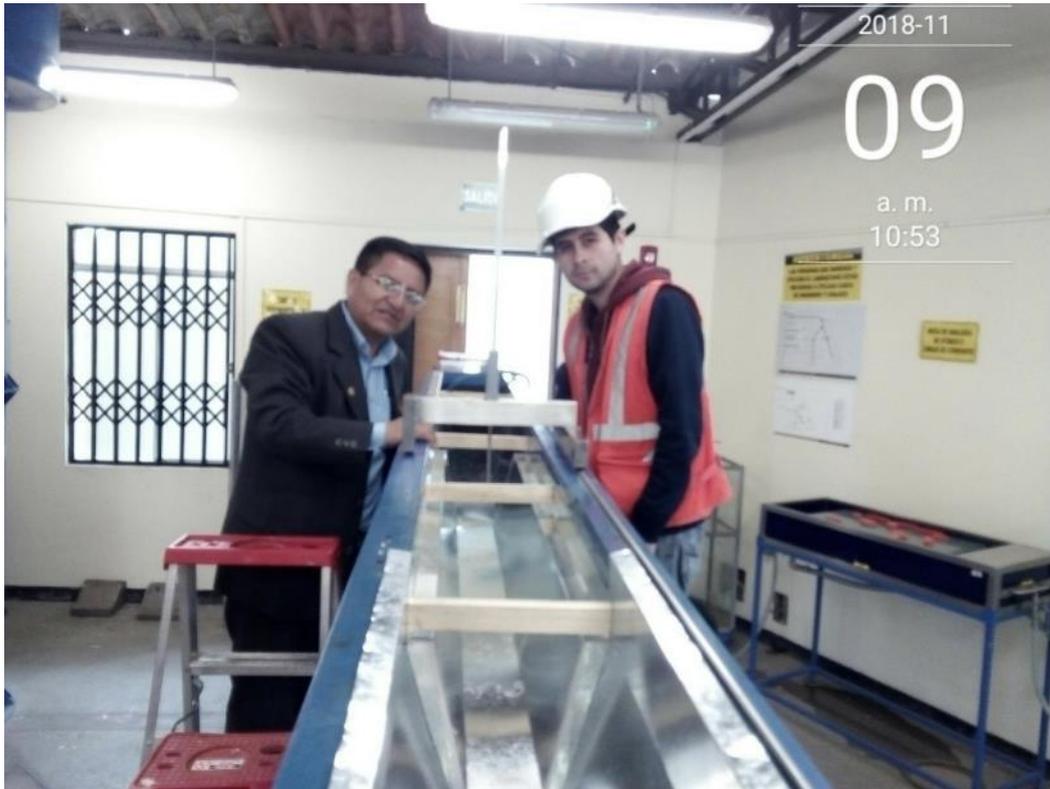
*Fotografía 27: Ampliación brusca del canal trapezoidal a un 25%*



*Fotografía 29: Instalación de apoyo de madera para estabilidad del canal trapezoidal*



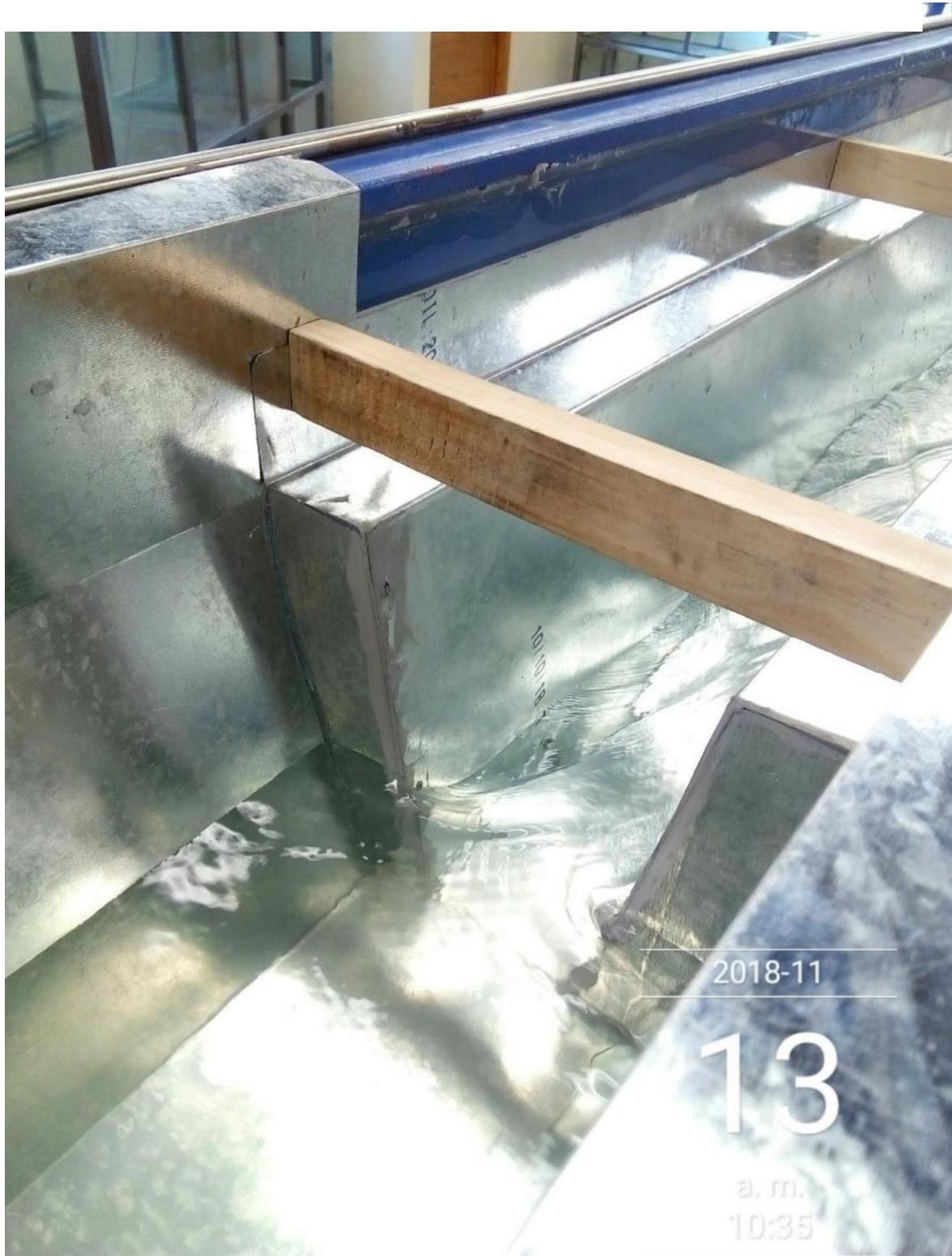
*Fotografía 31: Asesoramiento del ingeniero Luis Vásquez Ramírez en el laboratorio de hidráulica*



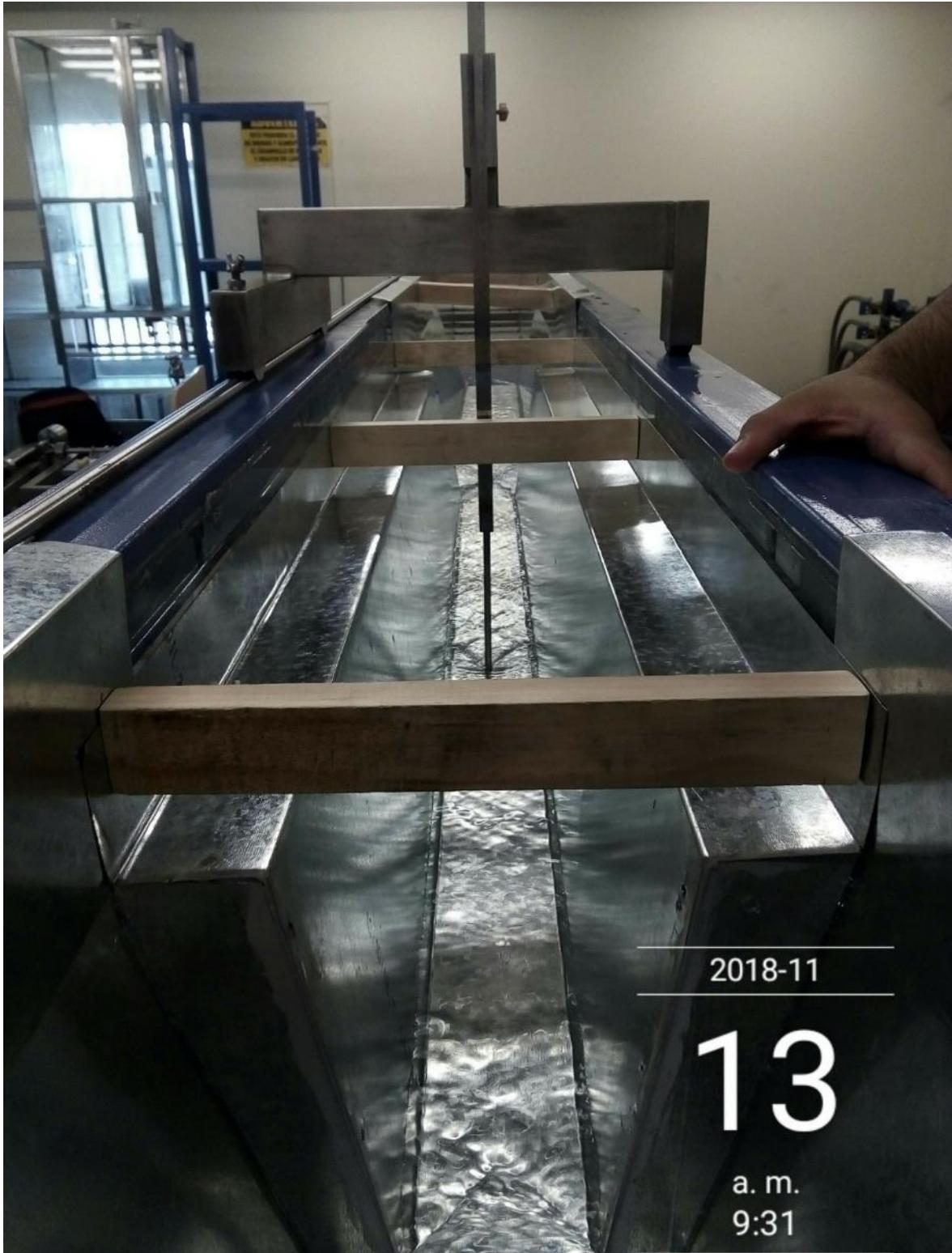
*Fotografía 33: Toma de dato en la base del canal trapezoidal*



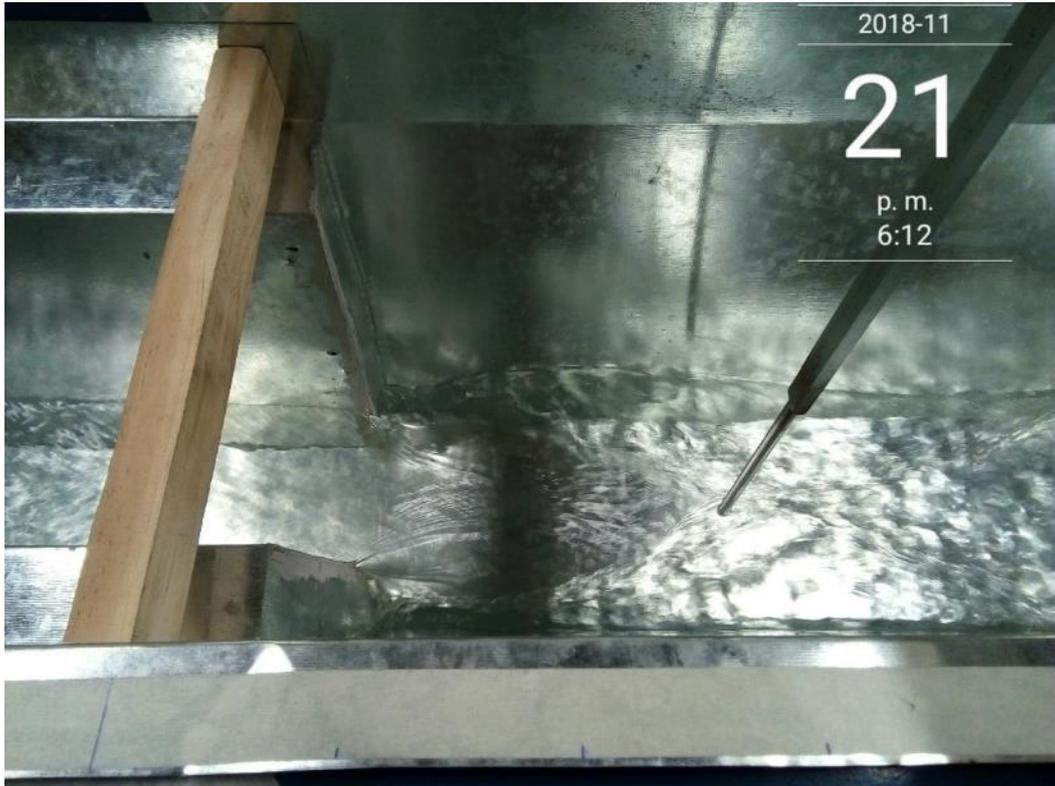
*Fotografía 35: Comportamiento del flujo ante la presencia de una contracción brusca*



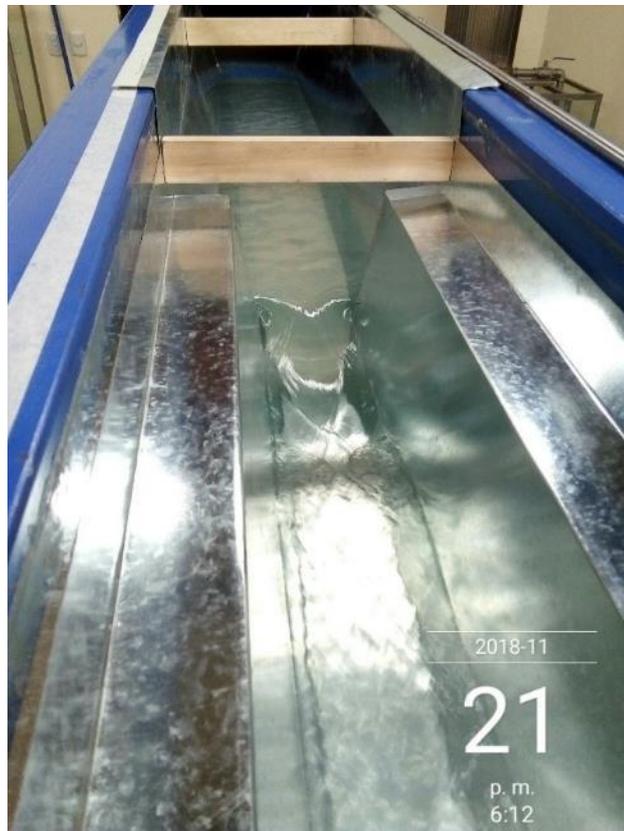
*Fotografía 37: Contracción brusca de 40% en el canal trapezoidal*



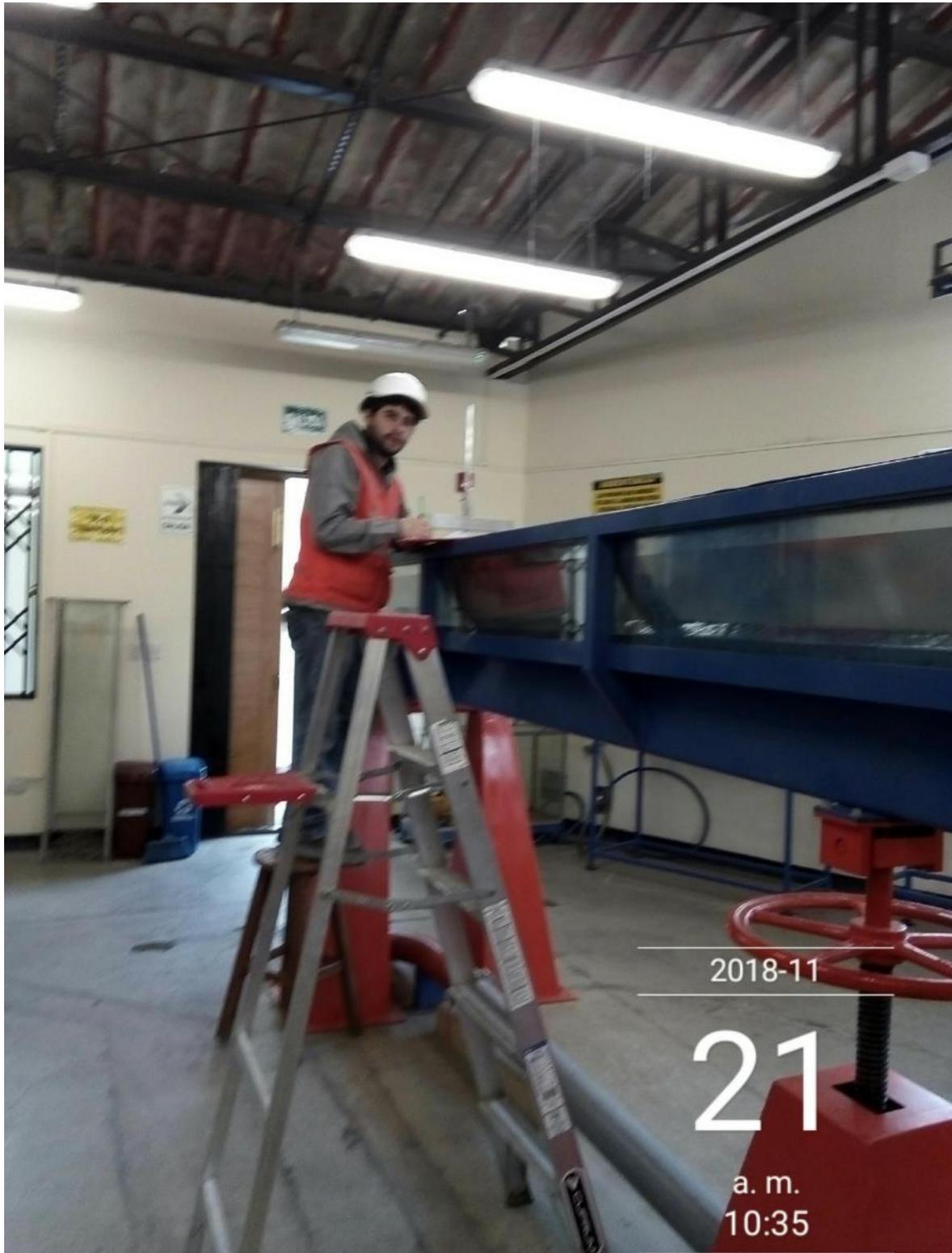
*Fotografía 41: Medición del tirante hidráulico en la ampliación brusca del canal*



*Fotografía 39: Toma de datos cada 5cm para elaboración del perfil de la altura de agua*



*Fotografía 43: Tesista realizando la toma de datos en el canal de pendiente variable de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca.*



## **ANEXO N° 05: PROTOCOLOS**

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CVCPV-LH-UPNC: .....01.....</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado.
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11 - 10 - 2018	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1 mm
Cronometro			
Equipos a usar			
Micromedidor			
Regla milimetrada			

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m³)	Vol. Final (m³)	Tiempo	h (cm)
1	639.5075	640.0996	3' 54.62"	11.23
2	640.2394	641.0597	5' 19.80"	11.71
3	641.0597	642.1365	7' 01.48"	11.85
4	642.1365	643.2814	7' 29.52"	11.83
5	643.2814	644.2317	6' 16.03"	11.80

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

**OBSERVACIONES:**

\* Válvula totalmente abierta y altura inicial en el vertedero de 1.60 cm.

<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
	 ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA	
<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>
Arenas Alvarado, Piero	Laboratorios de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Ing. Luis Vasquez Ramirez.
<b>FECHA</b> 11 - 10 - 2018	<b>FECHA:</b> 11 - 10 - 2018	<b>FECHA:</b> 17 - 10 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CVCPV-LH-UPNC: .....02.....</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado.
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11-10-2018	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1 mm
Cronometro			
Equipos a usar			
Micromedidor			
Regla milimetrada			

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m³)	Vol. Final (m³)	Tiempo	h (cm)
1	644.2317	645.1651	6' 02.96"	11.90
2	645.1651	645.7534	4' 29.09"	11.86
3	645.7534	646.5751	4' 40.36"	11.80
4	646.5751	647.2888	4' 36.92"	11.87
5	647.2888	648.1478	5' 34.40"	11.87

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

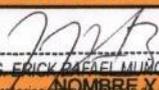
g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

**OBSERVACIONES:**

\* Vólula totalmente abierta.

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica UPNC	Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA	FECHA:	FECHA:
11-10-2018	11-10-2018	17-10-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CVCPV-LH-UPNC: .....03.....</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11 - 10 - 2018	<b>REVISADO POR:</b>	Jng. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1 mm
Cronometro			
Equipos a usar			
Micromedidor			
Regla milimetrada			

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m³)	Vol. Final (m³)	Tiempo	h (cm)
1	648.1478	648.5696	4' 37.40"	9.90
2	648.5696	649.0148	4' 32.32"	10.19
3	649.0148	649.5141	4' 53.83"	10.35
4	649.5141	650.0941	6' 04.77"	10.10
5	650.0941	650.6911	5' 04.66"	10.75

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

**OBSERVACIONES:**

\* Válvula abierta a un 50% aproximadamente.

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Jng. Luis Vargas Ramirez
<b>FECHA</b> 11 - 10 - 2018	<b>FECHA:</b> 11 - 10 - 2018	<b>FECHA:</b> 17 - 10 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CVCPV-LH-UPNC: .....04.....</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11-10-2018	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1 mm
Cronometro			
Equipos a usar			
Micromedidor			
Regla milimetrada			

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m³)	Vol. Final (m³)	Tiempo	h (cm)
1	650.6911	651.2471	4' 36.91"	10.85
2	651.2471	651.8121	4' 57.82"	10.65
3	651.8121	652.3919	4' 54.62"	10.85
4	652.3919	652.7274	3' 25.89"	10.10
5	652.7274	653.1394	3' 29.12"	10.70

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

**OBSERVACIONES:**

\* Válvula abierta a un 50% aproximadamente.

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Ing. Jesús Vasquez Vasquez
FECHA: 11-10-2018	FECHA: 11-10-2018	FECHA: 17-11-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CVCPV-LH-UPNC: .....05.....</b>	
<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>		
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11 - 10 - 2018	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1mm
Equipos a usar	Cronometro		
	Micromedidor		
	Regla milimetrada		

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m³)	Vol. Final (m³)	Tiempo	h (cm)
1	653.1394	653.5892	3' 00.31"	11.51
2	653.5892	654.0359	3' 01.81"	11.49
3	654.0359	654.4909	3' 05.79"	11.50
4	654.4909	654.9202	2' 59.52"	11.39
5	654.9202	655.3942	3' 17.89"	11.54

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

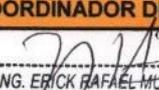
g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

**OBSERVACIONES:**

\* Válvula abierta a un 75% aproximadamente.

<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>	<b>NOMBRE Y FIRMA</b>
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA <small>Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos - UPNC</small>	Ing. Luis Vasquez Ramirez
<b>FECHA</b> 11 - 10 - 2018	<b>FECHA:</b> 11 - 10 - 2018	<b>FECHA:</b> 17 - 10 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b> CVCPV-LH-UPNC: .....06.....
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11-10-2018	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1mm
Equipos a usar			
Cronometro			
Micromedidor			
Regla milimetrada			

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m³)	Vol. Final (m³)	Tiempo	h (cm)
1	655.3942	655.7143	3' 23.30"	9.85
2	655.7143	655.8124	2' 57.42"	7.14
3	655.8124	655.9219	3' 16.73"	6.61
4	655.9219	656.0246	2' 40.86"	6.70
5	656.0246	656.0929	2' 25.23"	6.35

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

<b>OBSERVACIONES:</b>		
* Válvula abierta a un 25% aproximadamente.		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vazquez Ramirez
FECHA 11-10-2018	FECHA: 11-10-2018	FECHA: 17-11-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CVCPV-LH-UPNC: .....07.....</b>	
<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>		
<b>EQUIPO:</b>	Banco de pérdidas en tuberías y el canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Arenas Alvarado, Piero.
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	29-10-2018	<b>REVISADO POR:</b>	Jng. Erick Muñoz Barboza

**CAUDAL A LA SALIDA DEL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE**

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Vertedero	Triangular	Ángulo	53°
		Espesor	1 mm
Equipos a usar			
Cronometro			
Balde de 20 litros			
Regla milimetrada			

ENSAYO N°	Vol. Inicial (m <sup>3p</sup> )	Vol. Final (m <sup>3</sup> )	Tiempo	h (cm)
1	0	0.015303	4.15"	13.90
2	0	0.012382	3.27"	13.90
3	0	0.013643	2.55"	15.78
4	0	0.013353	2.49"	15.78
5	0	0.016235	2.22"	17.74
6	0	0.015559	2.13"	17.74

**FORMULAS A UTILIZAR:**

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

Q: Caudal que pasa por el vertedero.

C: Constante del vertedero.

g: Gravedad.

h: Tirante en el vertedero.

θ: Ángulo del vertedero.

**OBSERVACIONES:**

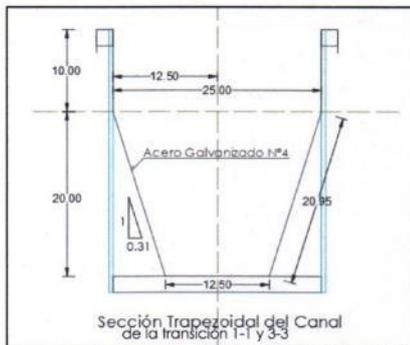
\* Datos tomados con el método volumétrico a la salida del canal.

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA <small>Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos - UPRN-C</small>	Jng. Julio Vasquez Ramirez
FECHA: 29-10-2018	FECHA: 31-10-2018	FECHA: 31-10-2018

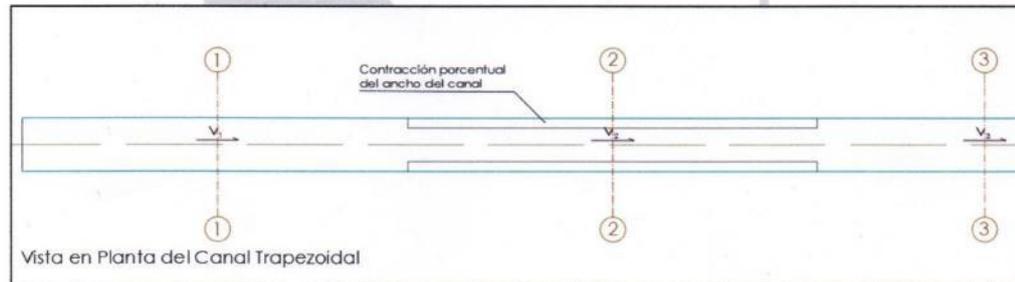
LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	ENSAYO	ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...1...01.....
	TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	06 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Muñoz Barboza, Erick

ENERGÍA ESPECÍFICA – PERDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA

TOMA DE DATOS

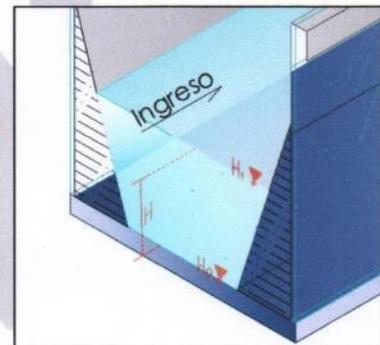


FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	25cm
		Base Menor	12.50cm
Pendiente	1%		
Reducción	0%		
Variable	Caudal N°1		
Alt. Verted.	7.36 cm	Caudal (lt/s)	0.63676



$H_0$  (mm) 230.54

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	1	252.52	21.98	21.268
	2	251.86	21.32	
	3	251.90	21.36	
	4	251.08	20.54	
	5	251.68	21.14	

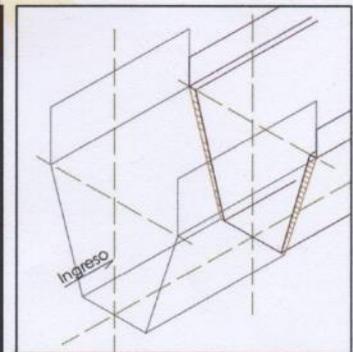


OBSERVACIONES:

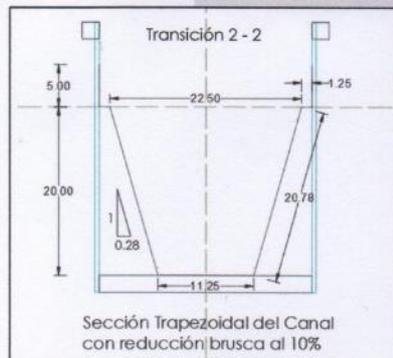
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Energía UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Xelis Vasquez Ramirez
FECHA 06-11-2018	FECHA: 06-11-2018	FECHA: 08-11-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: .....1-92.....</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	06 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

TRANSICIÓN	Nº PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
2 - 2	6	248.52	17.98	18.556
	7	249.22	18.68	
	8	249.24	18.70	
	9	249.28	18.74	
	10	249.22	18.68	
3 - 3	11	247.52	16.98	16.672
	12	247.14	16.60	
	13	246.82	16.28	
	14	247.32	16.78	
	15	247.26	16.72	

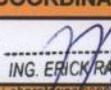
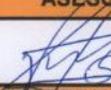


Contracción Brusca del 10%



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	22.50cm
		Base Menor	11.25cm
Pendiente	1%		
Reducción	10%		
Variable	Caudal N°1		
Alt. Verted.	7.36 cm	Caudal (lt/s)	0.63676

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Energía UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA: 06 - 11 - 2018	FECHA: 06 - 11 - 2018	FECHA: 08 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...1...03...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Arenas Alvarado, Piero.
FECHA DE ENSAYO:	06 - 11 - 18	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza.

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

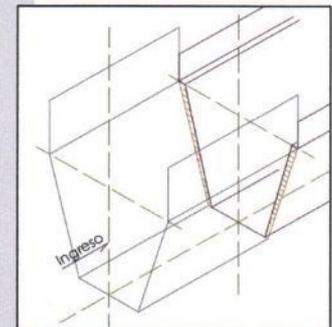
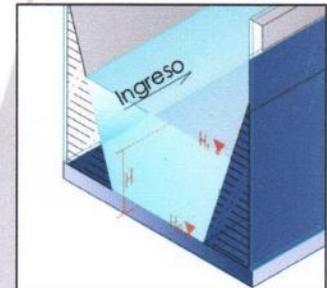
**TOMA DE DATOS**



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N° 4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	22.50cm
		Base Menor	11.25cm
Pendiente	1%		
Reducción	10%		
Variable	Caudal N° 2		
Alt. Verted.	10.40 cm	Caudal (lt/s)	1.83683

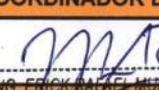
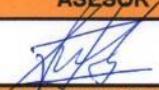
$H_0$  (mm)    230.54

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	16	268.48	37.94	37.88
	17	268.44	37.90	
	18	268.44	37.90	
	19	268.52	37.98	
	20	268.22	37.68	
2 - 2	21	263.58	33.04	32.876
	22	263.64	33.10	
	23	263.34	32.80	
	24	263.34	32.80	
	25	263.18	32.64	
3 - 3	26	260.26	29.72	29.916
	27	260.10	29.56	
	28	260.88	30.34	
	29	260.96	30.42	
	30	260.08	29.54	



Contracción Brusca del 10%

**OBSERVACIONES:**

<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 06 - 11 - 18	FECHA: 06 - 11 - 18	FECHA: 08 - 11 - 18

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...1.2.03...
TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”		
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	06 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA

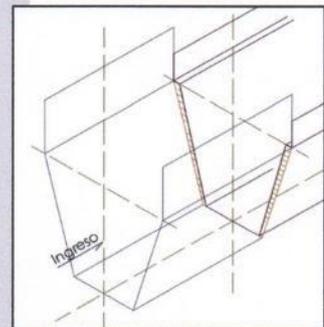
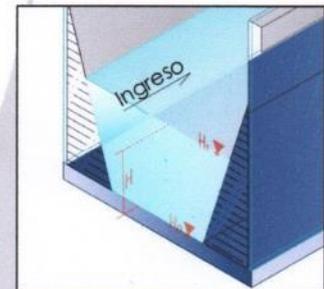
TOMA DE DATOS



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	22.50cm
		Base Menor	11.25cm
Pendiente	1%		
Reducción	10%		
Variable	Caudal N° 3		
Alt. Verted.	12.30 cm	Caudal (lt/s)	4.24253

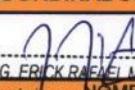
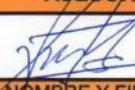
$H_0$  (mm) 230.54

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	31	283.18	52.64	52.348
	32	282.86	52.32	
	33	282.52	51.98	
	34	283.08	52.54	
	35	282.80	52.26	
2 - 2	36	276.97	46.43	42.938
	37	276.46	45.92	
	38	276.18	45.69	
	39	276.34	45.80	
	40	276.44	45.90	
3 - 3	41	270.46	39.92	40.208
	42	270.94	40.40	
	43	270.80	40.26	
	44	270.48	39.94	
	45	271.06	40.52	



Contracción Brusca del 10%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio Especializado en Hidráulica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vazquez Romerez
FECHA 06 - 11 - 2018	FECHA: 06 - 11 - 2018	FECHA: 08 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...1...05...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	07 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

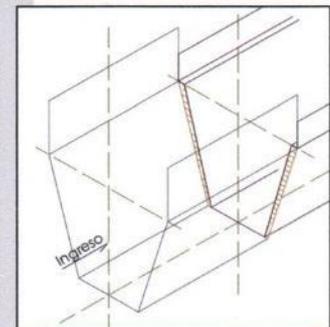
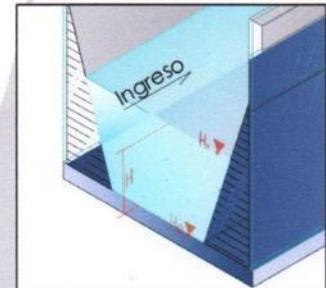
**TOMA DE DATOS**



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	22.50cm
		Base Menor	11.25cm
Pendiente	1%		
Reducción	10%		
Variable	Caudal N°4		
Alt. Verted.	Caudal (lt/s)		

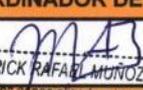
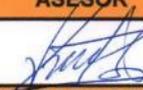
$H_0$  (mm)      230.54

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	46	309.02	78.48	78.252
	47	308.38	77.84	
	48	308.82	78.28	
	49	308.94	78.40	
	50	308.80	78.26	
2 - 2	51	294.22	63.68	63.300
	52	293.58	63.04	
	53	293.62	63.08	
	54	293.84	63.30	
	55	293.94	63.40	
3 - 3	56	287.12	56.98	57.020
	57	288.44	57.90	
	58	287.40	56.86	
	59	287.34	56.80	
	60	287.50	56.96	



Contracción Brusca del 10%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vosquez Ramirez
FECHA 07 - 11 - 2018	FECHA: 07 - 11 - 2018	FECHA: 08 - 11 - 2018

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
ENSAYO	ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ..... 1- 06.....	
TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”		
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	07 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA

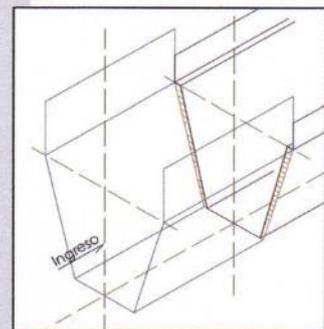
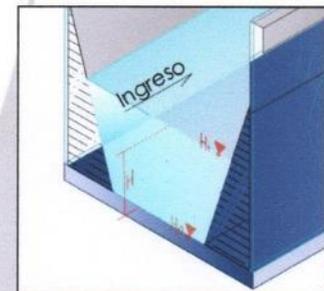
TOMA DE DATOS



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	22.50cm
		Base Menor	11.25cm
Pendiente	1%		
Reducción	10%		
Variable	Caudal N°5		
Alt. Verted.	18.05 cm	Caudal (lt/s)	8.77576

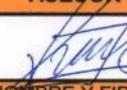
$H_0$  (mm) 230.54

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	61	327.76	97.22	97.624
	62	328.02	97.48	
	63	328.40	97.86	
	64	328.58	98.04	
	65	328.06	97.52	
2 - 2	66	309.56	79.02	79.208
	67	310.10	79.56	
	68	310.16	79.62	
	69	309.22	78.68	
	70	309.20	79.16	
3 - 3	71	291.28	60.74	60.836
	72	291.78	61.24	
	73	290.82	60.28	
	74	291.64	61.10	
	75	291.36	60.82	



Contracción Brusca del 10%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero.	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARROZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 07 - 11 - 2018	FECHA: 07 - 11 - 2018	FECHA: 08 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...1...07...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	07 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza.

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

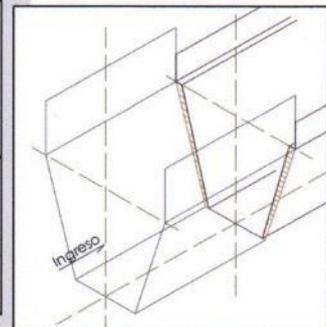
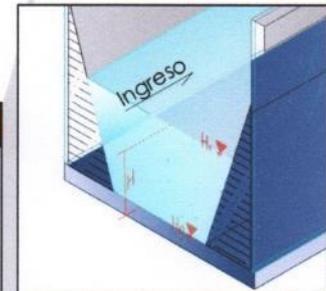
**TOMA DE DATOS**



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N° 4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	22.50cm
		Base Menor	11.25cm
Pendiente	1%		
Reducción	10%		
Variable	Caudal N° 6		
Alt. Verted.	20.60 cm	Caudal (lt/s)	12.58191

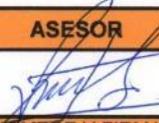
$H_0$  (mm)    230.54

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	$H$ tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	76	349.12	118.58	118.412
	77	348.64	118.10	
	78	349.32	118.78	
	79	348.66	118.12	
	80	349.02	118.48	
2 - 2	81	315.28	84.74	84.916
	82	315.56	85.02	
	83	315.80	85.26	
	84	315.60	85.06	
	85	315.04	84.50	
3 - 3	86	300.50	69.96	69.944
	87	300.44	69.90	
	88	301.10	70.56	
	89	300.18	69.64	
	90	300.20	69.66	



Contracción Brusca del 10%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA laboratorio de Hidráulica y Energía UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA    07 - 11 - 2018	FECHA:    07 - 11 - 2018	FECHA:    08 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...2...91...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	12 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

**TOMA DE DATOS**

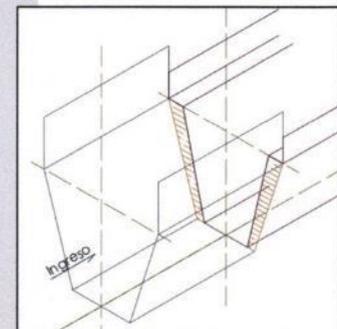
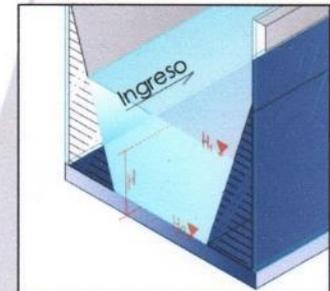


**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	18.75cm
		Base Menor	9.38cm
Pendiente	1%		
Reducción	25%		
Variable	Caudal N°1		
Alt. Verted.	7.20 cm	Caudal (lt/s)	0.59338

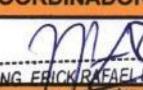
$H_0$  (mm)    229.20

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	1	253.42	24.22	23.904
	2	253.70	23.50	
	3	253.44	24.24	
	4	253.14	23.94	
	5	252.82	23.62	
2 - 2	6	249.10	19.90	20.336
	7	249.22	20.02	
	8	249.90	20.70	
	9	249.78	20.58	
	10	249.68	20.48	
3 - 3	11	247.28	18.68	17.468
	12	246.52	17.32	
	13	246.58	17.38	
	14	246.40	17.20	
	15	246.56	17.36	



Contracción Brusca del 25%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
Arenas Alvarado, Piero	ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA laboratorio de Hidraulica y Mecanica de Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA    12 - 11 - 2018	FECHA:    12 - 11 - 2018	FECHA:    16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...2...92...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	12 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

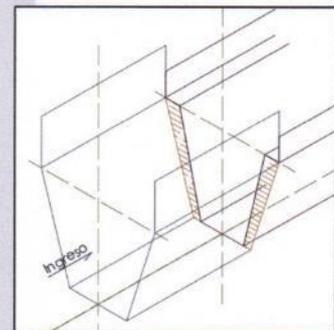
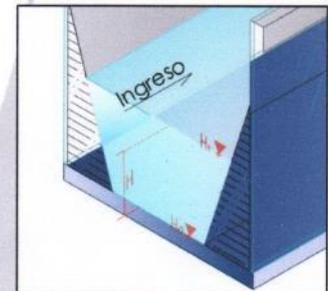
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N° 4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	18.75cm
		Base Menor	9.38cm
Pendiente	1%		
Reducción	25%		
Variable	Caudal N° 2		
Alt. Verted.	9.90	Caudal (lt/s)	1.58693

$H_0$  (mm)      229.20

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	16	271.88	42.68	42.508
	17	271.80	42.60	
	18	271.82	42.62	
	19	271.26	42.06	
	20	271.78	42.58	
2 - 2	21	265.52	36.32	36.028
	22	265.14	35.94	
	23	265.20	36.00	
	24	265.16	35.96	
	25	265.12	35.92	
3 - 3	26	255.46	26.26	26.364
	27	255.98	26.78	
	28	255.48	26.28	
	29	255.58	26.38	
	30	255.32	26.12	



Contracción Brusca del 25%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Pasquero Ramirez
FECHA 12 - 11 - 2018	FECHA: 12 - 11 - 2018	FECHA: 16 - 11 - 2018

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ....2...93...
TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”		
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	12 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA

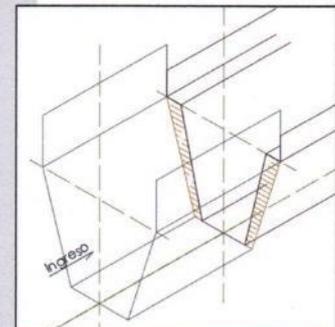
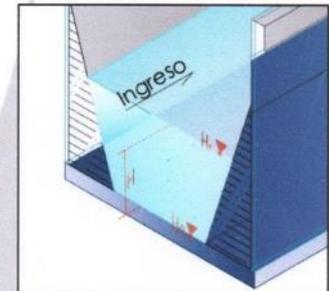
TOMA DE DATOS



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	18.75cm
		Base Menor	9.38cm
Pendiente	1%		
Reducción	25%		
Variable	Caudal N°3		
Alt. Verted.	12.55 cm	Caudal (lt/s)	3.17260

$H_0$  (mm) 229.20

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	31	292.52	63.32	63.412
	32	292.68	63.48	
	33	292.94	63.74	
	34	292.56	63.36	
	35	292.36	63.16	
2 - 2	36	281.98	52.68	52.280
	37	281.78	52.58	
	38	281.66	52.46	
	39	281.18	51.98	
	40	280.90	51.70	
3 - 3	41	257.52	28.32	28.356
	42	257.36	28.16	
	43	257.68	28.48	
	44	257.64	28.44	
	45	257.58	28.38	



Contracción Brusca del 25%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio Especializados de Ing. Civil UPN-C UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 12 - 11 - 2018	FECHA: 12 - 11 - 2018	FECHA: 16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...2...99...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	12-11-2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

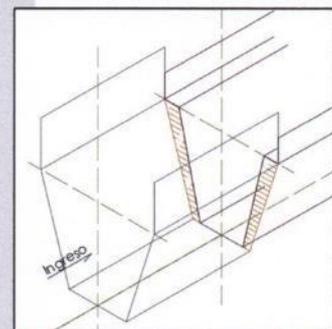
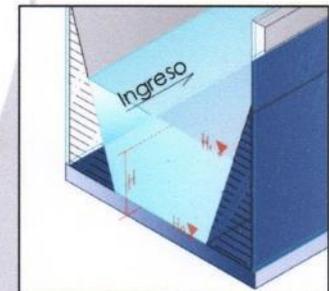
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	18.75cm
		Base Menor	9.38cm
Pendiente	1%		
Reducción	25%		
Variable	Caudal N°4		
Alt. Verted.	14.80	Caudal (lt/s)	5.06171

$H_0$  (mm)      229.20

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	46	314.44	85.24	85.112
	47	314.62	85.42	
	48	313.86	84.66	
	49	314.12	84.92	
	50	314.52	85.32	
2 - 2	51	303.30	74.10	74.052
	52	302.84	73.64	
	53	303.56	74.36	
	54	303.12	73.92	
	55	303.44	74.24	
3 - 3	56	274.56	45.36	45.280
	57	274.30	45.10	
	58	274.90	45.70	
	59	274.42	45.22	
	60	274.22	45.02	



Contracción Brusca del 25%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero.	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Energía UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 12-11-2018	FECHA: 12-11-2018	FECHA: 16-11-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...2...05...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	12 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza.

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

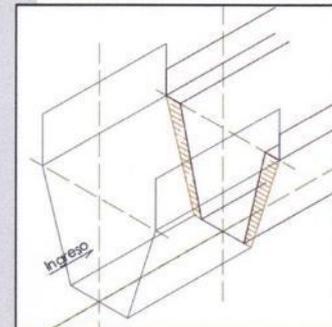
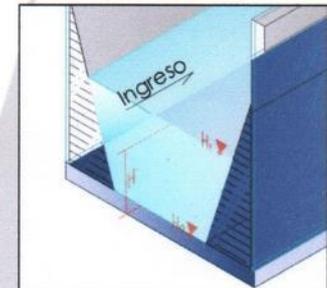
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N° 4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	18.75cm
		Base Menor	9.38cm
Pendiente	1%		
Reducción	25%		
Variable	Caudal N° 5		
Alt. Verted.	17.05 cm	Caudal (lt/s)	7.50226

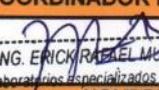
$H_0$  (mm)      229.20

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	61	335.40	106.20	106.256
	62	334.96	105.76	
	63	335.24	106.04	
	64	335.72	106.52	
	65	335.96	106.76	
2 - 2	66	308.40	79.20	79.176
	67	308.22	79.02	
	68	308.58	79.38	
	69	308.50	79.30	
	70	308.18	79.98	
3 - 3	71	283.74	54.54	54.640
	72	284.26	55.06	
	73	283.80	54.60	
	74	283.76	54.56	
	75	283.64	54.44	



Contracción Brusca del 25%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorios Especializados de Ing. Civil UPN-C	
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA MUNOZ BARBOZA	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 12 - 11 - 2018	FECHA: 12 - 11 - 2018	FECHA: 16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...2...96...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	12-11-2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

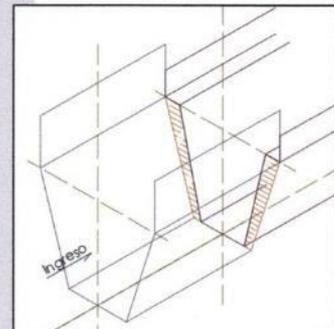
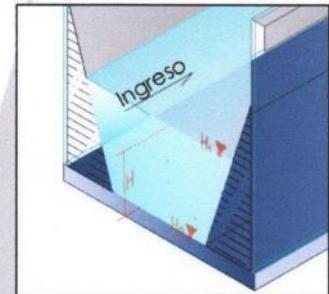
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	18.75cm
		Base Menor	9.38cm
Pendiente	1%		
Reducción	25%		
Variable	Caudal N°6		
Alt. Verted.	19.20 cm	Caudal (lt/s)	10.39069

**H<sub>0</sub> (mm)**      229.20

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	76	359.18	129.98	129.928
	77	358.84	129.64	
	78	359.20	130.00	
	79	359.10	129.90	
	80	359.32	130.12	
2 - 2	81	320.18	90.98	91.244
	82	320.24	91.04	
	83	320.72	91.52	
	84	320.12	90.92	
	85	320.96	91.76	
3 - 3	86	295.76	66.56	66.108
	87	295.24	66.04	
	88	295.36	66.16	
	89	295.12	66.92	
	90	295.06	65.86	



Contracción Brusca del 25%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorios Especializados de Ing. Civil UPN-C	
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero.	NOMBRE Y FIRMA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 12-11-2018	FECHA: 12-11-2018	FECHA: 16-11-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...3...91...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Canal de pendiente variable	<b>RESPONSABLE:</b>	Piero Arenas Alvarado.
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	13 - 11 - 2018	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Erick Muñoz Barboza.

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

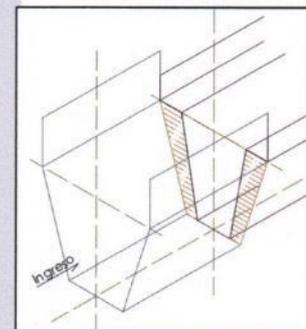
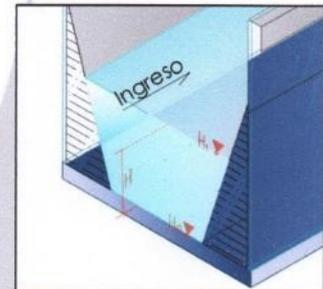
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>Material</b>	Acero Galvanizado N°4		
<b>Sección</b>	Trapezoidal	Base Mayor	15.00cm
		Base Menor	7.50cm
<b>Pendiente</b>	1%		
<b>Reducción</b>	40%		
<b>Variable</b>	Caudal N°1		
<b>Alt. Verted.</b>	6.80 cm	<b>Caudal (lt/s)</b>	0.94479

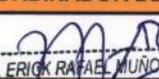
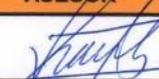
**H<sub>0</sub> (mm)**      229.11

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H <sub>tirante</sub> (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	1	256.22	27.11	27.134
	2	256.48	27.37	
	3	256.18	27.07	
	4	256.20	27.09	
	5	256.14	27.03	
2 - 2	6	250.94	21.83	21.574
	7	250.90	21.79	
	8	250.94	21.83	
	9	250.56	21.45	
	10	250.08	20.97	
3 - 3	11	244.32	15.21	15.442
	12	244.82	15.71	
	13	244.70	15.69	
	14	244.12	15.01	
	15	244.80	15.69	



Contracción Brusca del 40%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero.	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA laboratorio de Hidráulica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Domínguez
FECHA      13 - 11 - 2018	FECHA:      13 - 11 - 2018	FECHA:      16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...3...02...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	13 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Muñoz Barboza, Erick

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

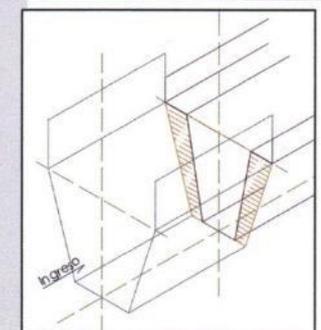
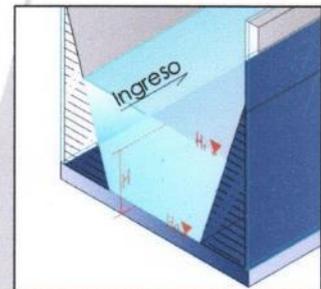
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	15.00cm
		Base Menor	7.50cm
Pendiente	1%		
Reducción	40%		
Variable	Caudal N° 2		
Alt. Verted.	8.85 cm	Caudal (lt/s)	1.82567

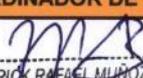
**H<sub>0</sub> (mm)**      229.11

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	16	271.80	42.69	42.654
	17	271.76	42.65	
	18	271.88	42.77	
	19	271.50	42.39	
	20	271.88	42.77	
2 - 2	21	262.76	33.65	33.450
	22	262.54	33.43	
	23	262.36	33.25	
	24	262.56	33.45	
	25	262.58	33.47	
3 - 3	26	243.46	14.35	14.062
	27	243.04	13.93	
	28	243.12	14.01	
	29	243.20	14.09	
	30	243.14	14.03	



Contracción Brusca del 40%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA laboratorio es UN-C	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Viquez Ramirez
FECHA 13 - 11 - 2018	FECHA: 13 - 11 - 2018	FECHA: 16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...3...93...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	13 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

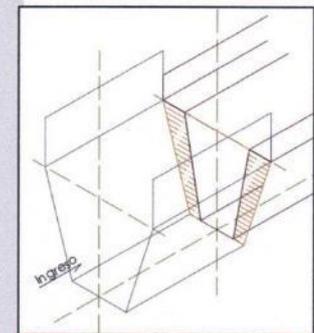
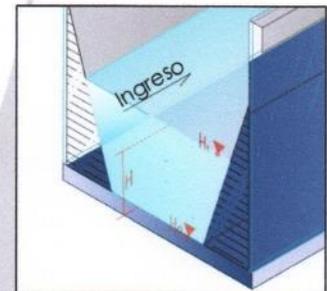
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	15.00cm
		Base Menor	7.50cm
Pendiente	1%		
Reducción	40%		
Variable	Caudal N°3		
Alt. Verted.	11.00 cm	Caudal (lt/s)	3.14447

$H_0$  (mm)    229.11

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	H tirante (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	31	292.46	63.35	63.458
	32	292.26	63.15	
	33	292.54	63.43	
	34	292.86	63.75	
	35	292.72	63.61	
2 - 2	36	276.26	47.15	47.206
	37	276.12	47.01	
	38	276.28	47.17	
	39	276.04	46.93	
	40	276.88	47.77	
3 - 3	41	255.84	26.73	26.672
	42	255.71	26.60	
	43	255.88	26.77	
	44	255.58	26.47	
	45	255.90	26.79	



Contracción Brusca del 40%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vosquez Ramirez
FECHA 13 - 11 - 2018	FECHA: 13 - 11 - 2018	FECHA: 16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...3...04...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	13 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

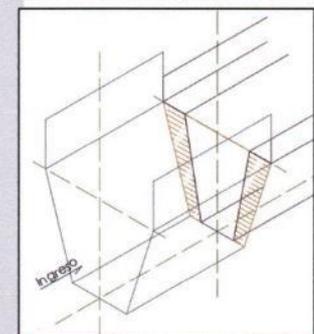
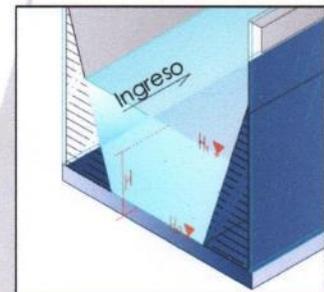
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	15.00cm
		Base Menor	7.50cm
Pendiente	1%		
Reducción	40%		
Variable	Caudal N°4		
Alt. Verted.	13.60 cm	Caudal (lt/s)	5.34457

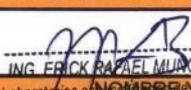
**H<sub>0</sub> (mm)**      229.11

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	46	320.28	91.17	91.202
	47	320.22	91.11	
	48	320.34	91.23	
	49	320.42	91.31	
	50	320.30	91.19	
2 - 2	51	295.08	65.97	66.022
	52	295.18	66.07	
	53	295.10	65.99	
	54	295.12	66.01	
	55	295.18	66.07	
3 - 3	56	256.18	27.07	27.070
	57	256.20	27.09	
	58	256.14	27.03	
	59	256.30	27.19	
	60	256.08	27.97	



Contracción Brusca del 40%

**OBSERVACIONES:**

<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA laboratorios de Hidráulica y UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA      13 - 11 - 2018	FECHA:      13 - 11 - 2018	FECHA:      16 - 11 - 2018

LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	ENSAYO	ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...3...95..
	TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	13 - 11 - 2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA

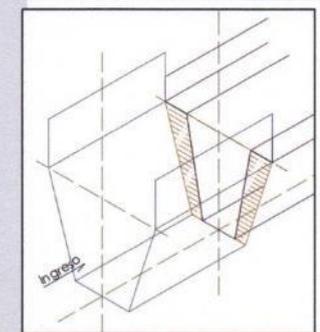
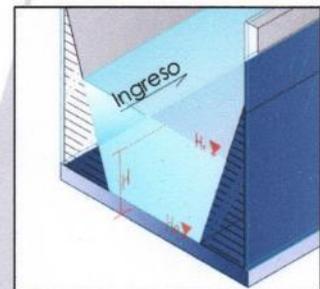
TOMA DE DATOS



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Material	Acero Galvanizado N° 4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	15.00cm
		Base Menor	7.50cm
Pendiente	1%		
Reducción	40%		
Variable	Caudal N° 5		
Alt. Verted.	15.40 cm	Caudal (lt/s)	7.29234

$H_0$  (mm) 229.11

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	$H_1$ (mm)	$H_{tirante}$ (mm)	$H_{th}$ (Promedio)
1 - 1	61	340.40	111.79	111.862
	62	341.04	111.93	
	63	340.88	111.77	
	64	340.96	111.85	
	65	341.08	111.97	
2 - 2	66	299.18	70.07	70.126
	67	299.32	70.21	
	68	299.12	70.01	
	69	299.24	70.13	
	70	299.32	70.21	
3 - 3	71	264.88	35.77	35.470
	72	264.52	35.41	
	73	264.48	35.37	
	74	264.38	35.27	
	75	264.64	35.53	



Contracción Brusca del 40%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero.	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorios de Hidráulica y Energía UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA 13 - 11 - 2018	FECHA: 13 - 11 - 2018	FECHA: 16 - 11 - 2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>ENERGÍA ESPECÍFICA – CANAL DE PENDIENTE VARIABLE</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: EPCPV-LH-UPNC: ...3...08...</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado
FECHA DE ENSAYO:	13-11-2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

**ENERGÍA ESPECÍFICA – PÉRDIDA LOCAL EN CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN BRUSCA**

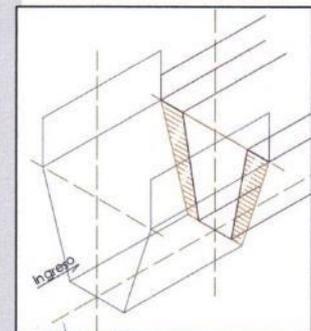
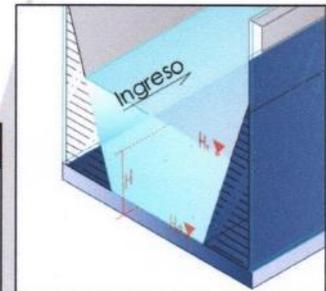
**TOMA DE DATOS**



<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
Material	Acero Galvanizado N°4		
Sección	Trapezoidal	Base Mayor	15.00cm
		Base Menor	7.50cm
Pendiente	1%		
Reducción	40%		
Variable	Caudal N°6		
Alt. Verted.	17.35 cm	Caudal (lt/s)	9.82458

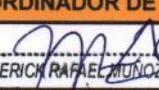
**H<sub>0</sub> (mm)**      229.11

TRANSICIÓN	N° PRUEBA	H <sub>1</sub> (mm)	H tirante (mm)	H <sub>th</sub> (Promedio)
1 - 1	76	365.68	136.57	136.366
	77	365.50	136.39	
	78	365.30	136.19	
	79	365.42	136.31	
	80	365.48	136.37	
2 - 2	81	310.24	81.13	81.170
	82	310.40	81.29	
	83	310.44	81.33	
	84	310.12	81.01	
	85	310.20	81.09	
3 - 3	86	268.48	39.37	39.174
	87	268.22	39.11	
	88	268.16	39.05	
	89	268.26	39.15	
	90	268.30	39.19	



Contracción Brusca del 40%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero.	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Viquez Ramirez
FECHA 13-11-2018	FECHA: 11-13-2018	FECHA: 16-11-2018

	LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	PERFIL DEL FLUJO ANTE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN DEL ANCHO DE SECCIÓN EN UN CANAL TRAPEZOIDAL	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: PFCYE-LH-UPNC: .....01.....
TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”		
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	21-11-2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza.

TOMA DE DATOS PARA EL PERFIL LONGITUDINAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Vertedero	Triangular	Altura	15.50 cm
		Caudal	7.41130 $\frac{m^3}{s}$
Equipos a usar	Limnómetro		
	Canal de pendiente variable		
	Regla milimetrada		

DATOS PRINCIPALES	
Material	Acero Galvanizado N°4
Sección	Trapezoidal
Reducción y Ampliación	10%
Pendiente	1%
H <sub>o</sub> (mm)	228.84

Transición - H <sub>1</sub> (mm)					
1 - 1	Progresiva	2 - 2	Progresiva	3 - 3	Progresiva
308.84	5.00 cm	300.70	5.00 cm	284.22	5.00 cm
299.12	5.00 cm	306.08	5.00 cm	280.56	5.00 cm
291.28	5.00 cm	285.10	5.00 cm	276.38	5.00 cm
304.82	5.00 cm	276.88	5.00 cm	273.14	5.00 cm
303.64	5.00 cm	281.14	5.00 cm	272.86	5.00 cm
301.78	5.00 cm	297.36	5.00 cm	282.36	5.00 cm
303.34	5.00 cm	294.32	5.00 cm	278.54	5.00 cm
303.54	5.00 cm	300.18	5.00 cm	274.72	5.00 cm
303.14	5.00 cm	295.46	5.00 cm	276.08	5.00 cm
301.72	5.00 cm	288.94	5.00 cm	279.42	5.00 cm
304.52	5.00 cm	292.26	5.00 cm	283.24	5.00 cm
303.56	5.00 cm	294.72	5.00 cm	284.92	5.00 cm
302.66	5.00 cm	295.40	5.00 cm	285.80	5.00 cm
303.64	5.00 cm	296.18	5.00 cm	289.34	5.00 cm
304.32	5.00 cm	294.22	5.00 cm	290.90	5.00 cm
303.20	5.00 cm	292.46	5.00 cm	283.54	5.00 cm
302.66	5.00 cm	291.18	5.00 cm	284.02	5.00 cm
303.74	5.00 cm	291.08	5.00 cm	285.20	5.00 cm
303.36	5.00 cm	296.56	5.00 cm	283.05	5.00 cm
302.16	5.00 cm	294.44	5.00 cm	280.54	5.00 cm
303.14	5.00 cm	291.68	5.00 cm	279.68	5.00 cm
302.60	5.00 cm	291.18	5.00 cm	279.56	5.00 cm
302.76	5.80 cm	287.66	5.00 cm	278.14	4.10 cm
-	-	286.64	5.00 cm	274.32	-
-	-	284.22	5.00 cm	-	-

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Jesús Vasquez Ramirez.
FECHA 21-11-2018	FECHA 21-11-2018	FECHA 26-11-2018

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	PERFIL DEL FLUJO ANTE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN DEL ANCHO DE SECCIÓN EN UN CANAL TRAPEZOIDAL	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: PFCYE-LH-UPNC: .....02.....
TESIS	“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”		
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	20-11-2018	REVISADO POR:	Ing. Erick Muñoz Barboza

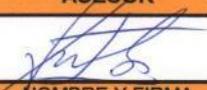
TOMA DE DATOS PARA EL PERFIL LONGITUDINAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Vertedero	Triangular	Altura	14.60 cm
		Caudal	6.38186 m <sup>3</sup> /s
Equipos a usar	Limnómetro		
	Canal de pendiente variable		
	Regla milimetrada		

DATOS PRINCIPALES	
Material	Acero Galvanizado N°4
Sección	Trapezoidal
Reducción y Ampliación	25%
Pendiente	1%
H <sub>o</sub> (mm)	228.84

Transición - H <sub>1</sub> (mm)					
1 - 1	Progresiva	2 - 2	Progresiva	3 - 3	Progresiva
311.88	5.00 cm	305.28	5.00 cm	283.03	5.00 cm
306.32	5.00 cm	293.54	5.00 cm	276.84	5.00 cm
312.66	5.00 cm	277.96	5.00 cm	267.64	5.00 cm
306.48	5.00 cm	273.68	5.00 cm	260.88	5.00 cm
311.42	5.00 cm	285.28	5.00 cm	261.66	5.00 cm
308.22	5.00 cm	296.68	5.00 cm	274.52	5.00 cm
312.36	5.00 cm	301.48	5.00 cm	271.80	5.00 cm
308.32	5.00 cm	296.16	5.00 cm	265.96	5.00 cm
312.84	5.00 cm	294.20	5.00 cm	264.22	5.00 cm
308.28	5.00 cm	295.88	5.00 cm	265.82	5.00 cm
312.24	5.00 cm	296.38	5.00 cm	269.48	5.00 cm
309.74	5.00 cm	297.70	5.00 cm	272.36	5.00 cm
311.46	5.00 cm	297.86	5.00 cm	269.24	5.00 cm
309.80	5.00 cm	294.92	5.00 cm	265.70	5.00 cm
312.54	5.00 cm	292.36	5.00 cm	265.40	5.00 cm
309.16	5.00 cm	296.12	5.00 cm	269.32	5.00 cm
311.48	5.00 cm	296.18	5.00 cm	274.94	5.00 cm
309.44	5.00 cm	295.34	5.00 cm	270.74	5.00 cm
312.26	5.00 cm	294.72	5.00 cm	266.68	5.00 cm
309.52	5.00 cm	292.58	5.00 cm	268.54	5.00 cm
311.24	5.00 cm	290.02	5.00 cm	272.26	5.00 cm
309.50	5.00 cm	289.28	5.00 cm	274.12	5.00 cm
311.86	5.80 cm	288.84	5.00 cm	270.90	4.10 cm
-	-	287.26	5.00 cm	265.74	-
-	-	283.03	5.00 cm	-	-

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Romerez.
FECHA 20-11-2018	FECHA: 20-11-2018	FECHA: 26-11-2018

<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO</b>	<b>PERFIL DEL FLUJO ANTE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN DEL ANCHO DE SECCIÓN EN UN CANAL TRAPEZOIDAL</b>	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO: PFCYE-LH-UPNC: .....03.....</b>
	<b>TESIS</b>	<b>“Análisis de pérdida de energía en canales trapezoidales abiertos con cambios de amplificación y contracción brusca del ancho”</b>	
EQUIPO:	Canal de pendiente variable	RESPONSABLE:	Piero Arenas Alvarado.
FECHA DE ENSAYO:	21-11-2018	REVISADO POR:	Jng. Erick Muñoz Barboza

**TOMA DE DATOS PARA EL PERFIL LONGITUDINAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Vertedero	Triangular	Altura	13.40 cm
		Caudal	5.15024 l/s
Limnómetro			
Equipos a usar	Canal de pendiente variable		
	Regla milimetrada		

DATOS PRINCIPALES	
Material	Acero Galvanizado N°4
Sección	Trapezoidal
Reducción y Ampliación	40%
Pendiente	1%
H <sub>0</sub> (mm)	228.84

Transición - H <sub>1</sub> (mm)					
1 - 1	Progresiva	2 - 2	Progresiva	3 - 3	Progresiva
317.16	5.00 cm	313.38	5.00 cm	277.60	5.00 cm
315.66	5.00 cm	296.16	5.00 cm	267.86	5.00 cm
315.90	5.00 cm	279.82	5.00 cm	257.42	5.00 cm
316.18	5.00 cm	280.80	5.00 cm	250.30	5.00 cm
318.88	5.00 cm	296.62	5.00 cm	249.04	5.00 cm
316.48	5.00 cm	302.46	5.00 cm	263.44	5.00 cm
316.82	5.00 cm	301.74	5.00 cm	266.70	5.00 cm
316.28	5.00 cm	299.62	5.00 cm	260.94	5.00 cm
316.68	5.00 cm	296.88	5.00 cm	256.32	5.00 cm
316.88	5.00 cm	297.86	5.00 cm	254.72	5.00 cm
317.26	5.00 cm	299.82	5.00 cm	255.42	5.00 cm
317.24	5.00 cm	301.12	5.00 cm	259.82	5.00 cm
317.36	5.00 cm	297.66	5.00 cm	264.48	5.00 cm
317.16	5.00 cm	296.10	5.00 cm	266.22	5.00 cm
317.66	5.00 cm	293.34	5.00 cm	256.80	5.00 cm
317.30	5.00 cm	295.04	5.00 cm	253.84	5.00 cm
317.22	5.00 cm	296.78	5.00 cm	256.82	5.00 cm
317.88	5.00 cm	298.14	5.00 cm	264.66	5.00 cm
317.66	5.00 cm	297.62	5.00 cm	266.08	5.00 cm
317.46	5.00 cm	294.08	5.00 cm	260.64	5.00 cm
318.14	5.00 cm	290.80	5.00 cm	257.16	5.00 cm
317.46	5.00 cm	288.46	5.00 cm	258.94	5.00 cm
317.24	5.80 cm	285.40	5.00 cm	262.66	4.10 cm
-	-	283.08	5.00 cm	264.32	-
-	-	277.60	5.00 cm	-	-

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE Y FIRMA Arenas Alvarado, Piero	NOMBRE Y FIRMA ING. ERICK MUÑOZ BARBOZA Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	NOMBRE Y FIRMA Ing. Luis Vasquez Ramirez
FECHA: 21-11-2018	FECHA: 21-11-2018	FECHA: 26-11-2018