

**ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CANAL DE LABORATORIO DE  
HIDRAULICA DE LA UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS SEDE GIRARDOT PARA  
EXPERIMENTOS HIDRAULICOS**

**MARÍA ALEJANDRA MÉNDEZ GARCÍA**

**JORGE EDUARDO RIVAS ESCOBAR**

**MIGUEL IVAN RODRIGUEZ GALLEGO**



**PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

**GIRARDOT, CUNDINAMARCA**

**2021**

**ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CANAL DE LABORATORIO DE  
HIDRAULICA DE LA UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS SEDE GIRARDOT PARA  
EXPERIMENTOS HIDRAULICOS**

**MARÍA ALEJANDRA MÉNDEZ GARCÍA**

**JORGE EDUARDO RIVAS ESCOBAR**

**MIGUEL IVAN RODRIGUEZ GALLEGO**



**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

**GIRARDOT, CUNDINAMARCA**

**2021**

## CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN.....	6
AGRADECIMIENTO DE MARIA ALEJANDRA MENDEZ.....	7
AGRADECIMIENTO JORGE EDUARDO RIVAS ESCOBAR.....	8
AGRADECIMIENTO MIGUEL IVAN RODRIGUEZ GALLEGO.....	9
INTRODUCCION .....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACION.....	13
OBJETIVOS.....	14
OBJETIVO GENERAL .....	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	14
ANTECEDENTES.....	15
MARCO TEORICO .....	17
CLASIFICACIÓN DE LOS CANALES.....	18
CLASIFICACIÓN DEL FLUJO EN CANALES ABIERTOS.....	20
FLUJO PERMANENTE .....	20
FLUJO UNIFORME .....	21
FLUJO VARIADO .....	22
FLUJO GRADUALMENTE VARIADO.....	22
FLUJO RÁPIDAMENTE VARIADO .....	23
CUALIDADES DE LA CANALETA PARSHALL.....	23
CARACTERISTICAS DEL FLUJO EN LA CANALETA PARSHALL.....	24
PARTES DE LA CANALETA PARSHALL.....	27
DIMENSIONES DE LA CANALETA PARSHALL .....	28
ESTADO DEL FLUJO.....	31
REGIMEN DE FLUJO .....	32
VERTEDOR PARSHALL .....	35
VERTEDOR PARSHALL (PROCEDIMIENTO).....	36
ECUACIÓN DE MANNING .....	37
COMPUERTAS .....	39
CLASIFICACIÓN DE COMPUERTAS .....	39

<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Flujo de conductos (Ruiz, 2008).....	17
Ilustración 2. Sección transversal de un canal natural (Ruiz, 2008). ....	19
Ilustración 3. Tipos de sección transversal de una canal artificial (Ruiz, 2008).....	19
Ilustración 4. Formula flujo permanente (Ruiz, 2008).....	21
Ilustración 5. Formula Flujo no permanente (Ruiz, 2008).....	21
Ilustración 6. Formula flujo uniforme (Ruiz, 2008).....	21
Ilustración 7. Formula flujo no uniforme (Ruiz, 2008).....	22
Ilustración 8. Flujo variado (Ruiz, 2008).....	22
Ilustración 9. Flujo Gradualmente variado (Ruiz, 2008) .....	23
Ilustración 10. Flujo Rápidamente Variado (Ruiz, 2008) .....	23
Ilustración 11. Tipos de resalto hidráulico .....	26
Ilustración 12. Resalto Hidráulico Fuente: Biblioteca Universidad Nacional Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica [Imagen]. Recuperado de <a href="http://bdigital.unal.edu.co/12697/31/3353962.2005.Parte%206.pdf">http://bdigital.unal.edu.co/12697/31/3353962.2005.Parte%206.pdf</a> .....	27
Ilustración 13. Representación esquemática de la perdida de energía en un resalto hidráulico.....	27
Ilustración 14. Partes de la Canaleta Parshal Fuente: <a href="https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf">https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf</a> .....	28
Ilustración 15. Dimensiones de una canaleta Parshall. Fuente: <a href="https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf">https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf</a> .....	29
Ilustración 16. Formula de Reynolds (Gutierrez, s.f.).....	31
Ilustración 17. Formula de froude (Gutierrez, s.f.) .....	32
Ilustración 18. Formula cálculo velocidad de flujo (Gutierrez, s.f.).....	34
Ilustración 19. Formula Radio Hidráulico (Gutierrez, s.f.).....	34
Ilustración 20. Tabla tomada del libro mecánica de fluidos e hidráulica, serie Schaum <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Ilustración 21. Tabla ancho de la garganta w (Gutierrez, s.f.) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 22. Planta, Elevación y alzado de un vertedero tipo parshall.....	37
Ilustración 23. Formula ecuación de manning (Gutierrez, s.f.) .....	38
Ilustración 24. Distribución de velocidades (Carolina Torres Yepes, 2014). ....	38
Ilustración 25. Elementos principales de una compuerta (Carolina Torres Yepes, 2014).....	40
Ilustración 26. Formula de las compuertas .....	41
Ilustración 27. Componentes principales de una compuerta.....	42

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CANAL DE LABORATORIO DE HIDRAULICA DE LA UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS SEDE GIRARDOT PARA EXPERIMENTOS HIDRAULICOS”

Presentado por María Alejandra Méndez García, Jorge Eduardo Rivas Escobar y Miguel Iván Rodríguez Gallego, en cumplimiento del requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, fue aprobado por el director del proyecto y por el jurado evaluador correspondiente.

---

Lina Katheryn Parra Rodríguez

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

## **AGRADECIMIENTO DE MARIA ALEJANDRA MENDEZ**

Agradezco primeramente a Dios por regalarme salud y vida para poder culminar mi etapa profesional, a mis padres y demás familiares que de alguna u otra forma han sido parte de este proceso, donde me han apoyado y han estado en los momentos donde más los he necesitado para salir adelante. No puedo pasar en alto a mis docentes que con cada explicación me enseñaron a formar a una gran persona y ser lo que soy hoy en día.

## **AGRADECIMIENTO JORGE EDUARDO RIVAS ESCOBAR**

Agradezco a mis padres por ser mi motor y mi apoyo incondicional, son los que siempre están a mi lado dándome las fuerzas necesarias con ese amor que los caracteriza, la compañía que me dan, el esfuerzo y la dedicación que para mí es lo más preciado e inigualable, la verdad es que les tengo mucho que agradecerles. Y ya que culmino una etapa de mi vida, espero mucha salud para ustedes y para mí ya que espero cumplir muchos sueños más al lado de mis seres más preciados.

## **AGRADECIMIENTO MIGUEL IVAN RODRIGUEZ GALLEGO**

No ha sido sencillo el camino, pero gracias al apoyo de mis padres, mis compañeros y demás familiares he salido adelante y he podido hacer realidad este sueño. Gracias a todos los que creyeron en mí y en mis habilidades, a mis maestros y a la universidad por brindarme buenas enseñanzas y momentos que nunca voy a olvidar y que siempre llevare en mi corazón. Extrañaré cada locura, cada sentimiento y por supuesto cada persona que de alguna u otra manera hizo parte de este proceso tan lindo que ahora me convierte en ¡INGENIERO CIVIL!.

## INTRODUCCION

Los estudios realizados en Colombia muestran que la hidráulica ha sido parte fundamental del desarrollo de los seres humanos, teniendo en cuenta que el diseño de canales abiertos, ya sean riego, drenaje, encauzamiento de ríos, explotación hidroeléctrica etc. Son la base para tener acceso en la elaboración de estructuras complejas de canalización para hacer llegar el agua a cualquier función que se le desee dar, por eso al implementar escenarios prácticos en los laboratorios ayudan a que la educación llegue a un nivel superior, pues mediante las pruebas de ensayos y/o simulación, ayudan a diferenciar los trabajos de campo que se pueden llegar a presentar.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, este trabajo de investigación plantea la adecuación de la estructura del canal de laboratorio de hidráulica de la Corporación Universitaria Minuto de Dios Sede Girardot para experimentos hidráulicos, y de esta manera brindar a los estudiantes del programa de ingeniería civil la posibilidad de realizar sus prácticas pedagógicas de las diferentes asignaturas de la línea de Aguas e Hidráulica sin realizar desplazamiento a ninguna de las otras sedes o universidad.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La estructura del canal de hidráulica (canaleta parshall) fue diseñado y construido por estudiantes del programa de ingeniería civil en el año 2009 para la universidad minuto de dios sede Girardot a lo largo del tiempo ha venido presentado fallas y errores de funcionamientos 6 años después de haber sido entregado a la universidad, el sistema hidráulico presento deficiencia, su estructura empezó a tener fisuras y se pudo evidenciar que tuvo un deterioro general. Por estas razones sea desmantelado dejando al laboratorio de hidráulica sin un medio pedagógico donde los estudiantes no pueden realizar prácticas del canal (canaleta parshall)

Para los estudiantes del programa de ingeniería civil es muy importante la existencia de escenarios donde se puedan realizar prácticas de laboratorio o trabajo de campo, para complementar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clase, y de esta manera prepararse de una mejor manera para el ambiente laboral al que se enfrentan una vez culminen sus estudios.

Las prácticas en laboratorios y el trabajo de campo, fortalecen habilidades investigativas, científicas y prácticas de los estudiantes contribuyendo a mejorar su futuros desempeño como profesionales, dado que realizan experimentos o ensayos de análisis y de prueba o error, repetitivos y constantes, hasta lograr el objetivo o el cumplimiento de sus necesidades.

Adicionalmente, los prepara y conduce a un camino de perfección y/o excelencia, garantizando la búsqueda de soluciones asertivas y efectivas de problemas que se puedan presentar en el campo laboral.

Actualmente, el centro regional Girardot de la UNIMINUTO, no cuenta con escenarios de prácticas de laboratorio del área de aguas o hidráulica, donde los estudiantes puedan realizar sus diferentes clases prácticas o de ensayos para aplicar los diferentes conceptos y ecuaciones de la hidráulica de tuberías y de canales, en la Universidad sin desplazarse al PARQUE CIENTIFICO DE INNOVACIÓN SOCIAL ubicado en la calle 80 de Bogotá D.C donde se encuentran los escenarios adecuados para realizar este tipo de laboratorios. Es importante mencionar, que años atrás un grupo de estudiantes planteo y realizó la construcción de una estructura modelo de un Canal para realizar las prácticas de la asignatura hidráulica de canales, sin embargo, dicha estructura no se encuentra en funcionamiento y no es usada por los estudiantes del programa. Por la anterior razón, se tiene como propuesta los estudios y diseños necesarios para recuperar y/o rehabilitar la estructura del canal del laboratorio y adicionalmente, crear una hoja de cálculo para dicho modelo, garantizando que quede en óptimas condiciones de funcionamiento.

## JUSTIFICACION

La hidráulica de canales es una asignatura de gran importancia en la línea de aguas de cualquier programa de ingeniería civil, mediante esta asignatura se aplican las diferentes ecuaciones matemáticas en el diseño, construcción, rehabilitación o cualquier tipo de estudio hidráulico en canales.

Por otra parte, en el quehacer de la ingeniería civil, es de gran importancia y fundamental el conocimiento sobre el comportamiento hidráulico de los canales, debido a que son estructuras muy empleadas desde las épocas antiguas para el transporte de agua para abastecer sistemas de acueducto y muy empleadas en sistemas de riego. Por esta razón, y teniendo en cuenta que los conocimientos experimentales o prácticos son indispensables para ampliar los conocimientos teóricos aprendidos en las aulas de clase surge esta idea de trabajo de grado.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta que el laboratorio de hidráulica de la Corporación Universitaria Minuto de Dios sede Girardot cuenta con una estructura de canal para prácticas que se encuentra inhabilitada para su uso, este trabajo investigativo pretende realizar los estudios y diseños necesarios para recuperar y/o rehabilitar la estructura del canal del laboratorio existente y adicionalmente, crear una hoja de cálculo para dicho modelo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar los estudios y diseños para la recuperación y/o rehabilitación del modelo de Canal del laboratorio de hidráulica de la UNIMINUTO sede Girardot.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar un levantamiento y dimensionamiento de la estructura existente, para la elaboración del modelo gráfico con ayuda del software AUTOCAD.
- Identificar las fallencias, fallas o materiales necesarios para garantizar el óptimo funcionamiento de la estructura del canal, reparándolas y rehabilitando dicha estructura que será empleada por los estudiantes en prácticas de laboratorio.
- Diseñar la hoja de cálculo de Excel de acuerdo con el modelo del canal existente en el laboratorio, para ser aplicada por los estudiantes y docentes en la comprobación de los diferentes ensayos a realizar.
- Elaborar y/o actualizar las guías de laboratorio existente, teniendo en cuenta los diseños y modificaciones realizadas a la estructura.

## ANTECEDENTES

El canal (canaleta parshall) es inventada con el fin de realizar un control y medición de caudal en plantas de tratamiento de agua potable PTAP, en zonas de riegos y en plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR, aunque su uso es muy amplio en el campo de la ingeniería civil.

El primer diseño de la canaleta parshall recibió el nombre de Medidor Venturí, usado en la Estación Agrícola Experimental de Colorado en 1920 y posterior a unas modificaciones se conoció como Medidor Venturí Mejorado, y con el paso de los años fue llamado canal parshall. (Aponte, 2019).

Ralp Parshall se basó en los estudios de Venturi, Chezy, Manning y Bakhmeteff, quienes formularon expresiones y teorías importantes en la comprensión del comportamiento de los fluidos, para obtener su diseño y medidas finales. De esta manera se puede decir que el canal Parshall o canaleta Parshall es una adaptación del principio de Venturi en hidrodinámica de canales abiertos, donde se aplica un estrechamiento de la sección y un levantamiento del fondo del canal. (Aponte, 2019).

Por lo anterior el canal parshall es una estructura muy utilizada para la explicación y prácticas ya que es muy importante la enseñanza de la teoría hidráulica en universidades, puesto que se puede observar y evidenciar la teoría de Venturi y demás temas. La Universidad Minuto de Dios sede Bogotá es un ejemplo de ello donde expone y plantea las enseñanzas a los estudiantes mediante el canal parshall.

La Universidad Minuto de Dios sede Girardot cuenta con un canal que no se encuentra habilitado en estos momentos para realizar las actividades prácticas de la asignatura de hidráulica de

canales. Actualmente, en los laboratorios de hidráulica de la Sede Girardot, se cuenta con equipos para que los estudiantes del programa de ingeniería civil puedan realizar los ensayos de Reynolds y Bernoulli.

En estas condiciones el laboratorio de hidráulica cuenta con los equipos que se pueden utilizar para la adecuación del canal parshall posee bombas hidráulicas, tanque de almacenamiento, estructura del canal.

En el año 2009 mediante un proyecto como opción de grado titulado “Instalación y montaje del laboratorio de hidráulica de canales” tuvo como objetivo inducir al estudiante en el conocimiento del procedimiento experimental. (Méndez Gómez, Rodríguez, Tarquino Garavito, Candía Cotamo, & Ángel Jaramillo, 2009)

De este trabajo de grado el resultado obtenido fue un canal parshall en acero y acrílico que fue empleado por los estudiantes del programa de ingeniería civil en las prácticas del laboratorio de hidráulica de canales hasta aproximadamente el año 2015. Dichas prácticas según lo dialogado con el ingeniero Julián Grimaldo, actual docente y egresado del programa, se realizaban en el laboratorio de hidráulica que para ese entonces se encontraba en el barrio El Diamante de la ciudad de Girardot.

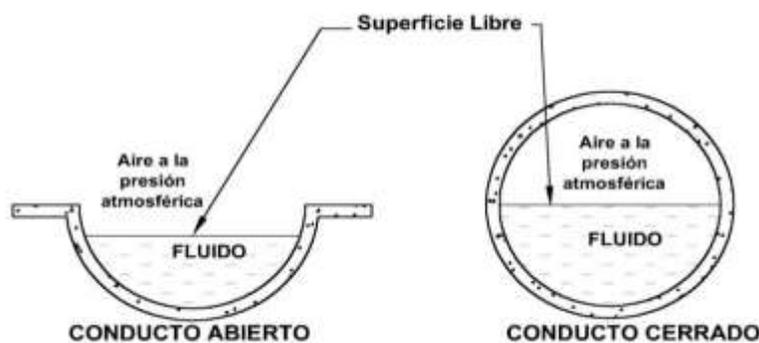
Desde el año 2015, momento en que la estructura del canal y el laboratorio de hidráulica en general fue inhabilitado, hasta la actualidad, los estudiantes del programa de ingeniería civil de la sede Girardot de la UNIMINUTO, deben desplazarse hasta el PARQUE CIENTIFICO DE INNOVACIÓN SOCIAL ubicado en la calle 80 de Bogotá D.C donde se encuentran los escenarios adecuados para realizar este tipo de laboratorios, con el fin de realizar las diferentes actividad experimentales y/o prácticas del área de Aguas.

## MARCO TEORICO

La ingeniería es quien se ocupa hoy en día de la solución de problemas prácticos en que intervienen líquidos o fluidos. Estaría, por consiguiente, plenamente justificada una asociación entre hidráulica e ingeniería. Se da así en la práctica. De allí que se hable en forma corriente de ingeniería hidráulica, en el caso específico de la ingeniería civil, y se presente como una de las especializaciones de esta rama de la ingeniería. (Cadavid, 2006).

En la hidráulica, el flujo puede ser conducido a presión o a superficie libre, de ahí se deriva la dirección de la hidráulica en tuberías y en canales.

El flujo de agua u otro fluido en un conducto puede ser flujo en canal abierto o flujo en tubería. Estas dos clases de flujo son similares en muchos aspectos, pero se diferencian en un aspecto importante. El flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, en tanto que el flujo en tubería no la tiene debido a que en este caso el agua debe llenar completamente el conducto. Una superficie libre está sometida a la presión atmosférica. El flujo en tubería, al estar confinado en un conducto cerrado, no está sometido a la presión atmosférica de manera directa, sino solo a la presión hidráulica. (Chow, 2004).



*Ilustración 1. Flujo de conductos (Ruiz, 2008)*

Se denomina hidráulica de tuberías a aquella rama que comprende la teoría hidráulica y los procedimientos destinados al diseño de conducciones que operan presurizadas. (Cadavid, 2006)

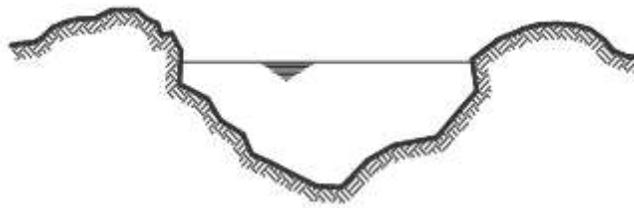
Se llama hidráulica de canales a la rama que comprende la teoría y los procedimientos para el diseño de conducciones que transportan flujo a superficie libre. (Cadavid, 2006)

En la presente investigación, se relacionará los conceptos teóricos y ecuaciones básicas de la hidráulica de canales.

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. (Ruiz, 2008)

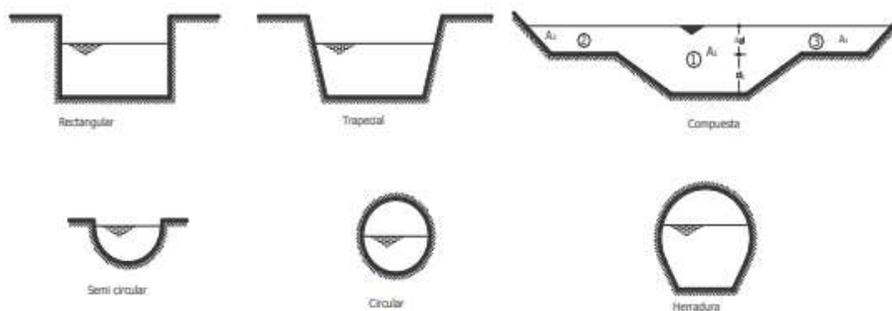
## **CLASIFICACIÓN DE LOS CANALES.**

- **Canales naturales:** Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagos y lagunas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales. La sección transversal de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y variable durante su recorrido, lo mismo que su alineación y las características y aspereza de los lechos.



*Ilustración 2. Sección transversal de un canal natural (Ruiz, 2008).*

- Canales artificiales:** Los canales artificiales son todos aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo de la mano del hombre, tales como: canales de riego, de navegación, control de inundaciones, canales de centrales hidroeléctricas, alcantarillado pluvial, sanitario, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras, cunetas de drenaje agrícola y canales de modelos construidos en el laboratorio. Los canales artificiales usualmente se diseñan con forma geométricas regulares (prismáticos), un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. El término sección de canal se refiere a la sección transversal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo.



*Ilustración 3. Tipos de sección transversal de una canal artificial (Ruiz, 2008)*

La sección transversal representa, en cierta forma, la capacidad máxima de un determinado canal. Sin embargo, éste operará a valores inferiores del límite durante su vida útil, en función del caudal

disponible y, por tanto, de la hidrología local. Visto de esa manera, resulta ser un concepto inapropiado para ser tenido en cuenta dentro de las ecuaciones de conservación – y otras anexas – empleadas en la hidráulica. Por eso es más conveniente echar mano de la noción de sección hidráulica. (Cadavid, 2006)

Se define como tal, la parte de una sección transversal ocupada por el flujo en un instante dado. Es válido decir, también, que es la misma sección del flujo o sección mojada. En estas condiciones, su límite superior está en la superficie libre instantánea. (Cadavid, 2006)

### **CLASIFICACIÓN DEL FLUJO EN CANALES ABIERTOS.**

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio de los parámetros profundidad, velocidad, área etc. del flujo con respecto al tiempo y al espacio. La clasificación del flujo en canales abiertos se resume de la siguiente manera (Ruiz, 2008)

### **FLUJO PERMANENTE**

El flujo es permanente si los parámetros (Tirante, velocidad, área) No cambian con respecto al tiempo, es decir en una sección del canal en todos los tiempos, los elementos del flujo permanecen constante. Y se representan de la siguiente manera:

$$\frac{dA}{dt} = 0; \quad \frac{dV}{dt} = 0; \quad \frac{dd}{dt} = 0;$$

*Ilustración 4. Formula flujo permanente (Ruiz, 2008)*

Si los parámetros cambian con respecto al tiempo de flujo se llaman no permanente. Y se representan de la siguiente manera:

$$\frac{dd}{dt} \neq 0; \quad \frac{dv}{dt} \neq 0; \quad \frac{da}{dt} \neq 0; \quad \text{etc.}$$

*Ilustración 5. Formula Flujo no permanente (Ruiz, 2008)*

## **FLUJO UNIFORME**

El flujo es uniforme si los parámetros (Tirante, velocidad, área) No cambian con respecto al tiempo, es decir en una sección del canal en todos los tiempos, los elementos del flujo permanecen constante. Y se representan de la siguiente manera:

$$\frac{dd}{dl} = 0; \quad \frac{dv}{dl} = 0; \quad \frac{dA}{dl} = 0; \quad \text{etc.}$$

*Ilustración 6. Formula flujo uniforme (Ruiz, 2008)*

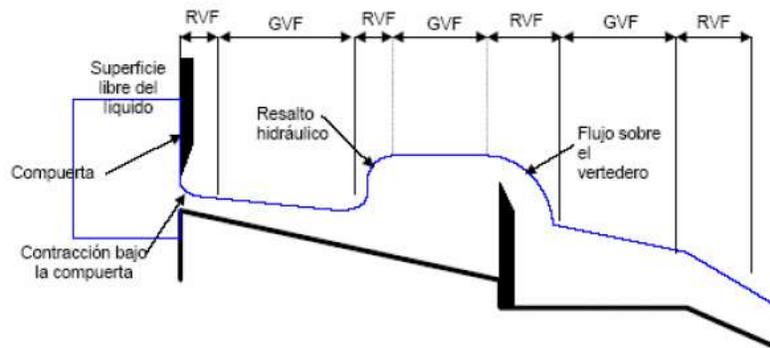
Si los parámetros varían de una sección a otra, flujo se llama no uniforme. Y se representan de la siguiente manera:

$$\frac{dd}{dl} \neq 0; \quad \frac{dv}{dl} \neq 0; \quad \frac{dA}{dl} \neq 0; \quad \text{etc.}$$

*Ilustración 7. Formula flujo no uniforme (Ruiz, 2008)*

## FLUJO VARIADO

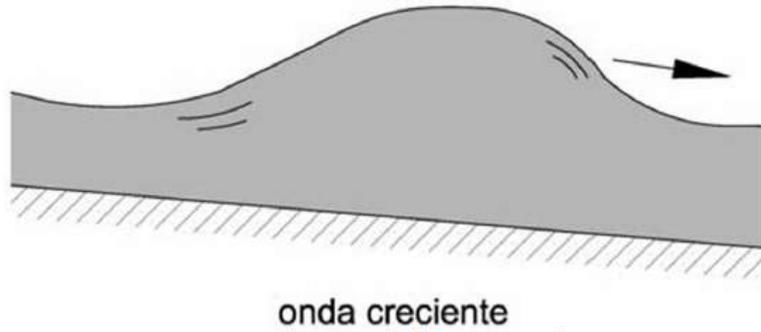
El flujo variado, a lo largo del canal no permanecen constante las características hidráulicas de flujo.



*Ilustración 8. Flujo variado (Ruiz, 2008)*

## FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

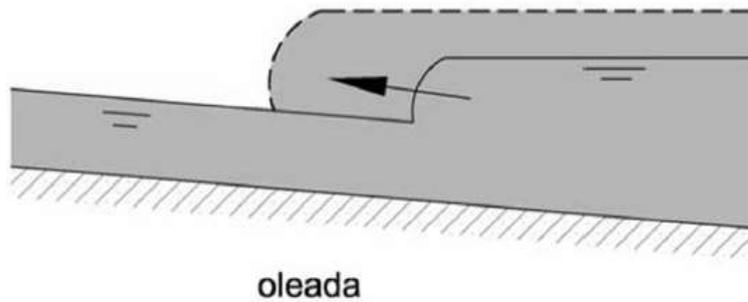
El flujo gradualmente variado es aquel en el cual los parámetros cambian en forma gradual a lo largo de la canal, como es el caso de una curva de remanso.



*Ilustración 9. Flujo Gradualmente variado (Ruiz, 2008)*

### **FLUJO RÁPIDAMENTE VARIADO**

El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas, como lo es el caso del resalto hidráulico.



*Ilustración 10. Flujo Rápidamente Variado (Ruiz, 2008)*

### **CUALIDADES DE LA CANALETA PARSHALL**

La canaleta Parshall es utilizada generalmente para la medición del flujo de líquidos en canales abiertos. La textura lisa de su superficie interior evita obstrucciones al flujo por acumulación de

sedimentos, lo que la hace más eficiente para las mediciones en comparación de otras estructuras, como los vertederos (Research, 1997). Adicionalmente presenta gran eficiencia, pues se requiere una sola medida de carga para determinar el caudal. (Castillo, 2019)

### **CARACTERISTICAS DEL FLUJO EN LA CANALETA PARSHALL**

Para el estudio de la mecánica de los fluidos mediante análisis dimensional o modelación, se han definido números adimensionales para la comprensión de algunos fenómenos ocurridos en el agua. Con base a esto, es posible distinguir el flujo en un canal a partir de tres tipos: Flujo Subcrítico, Flujo Crítico y Flujo Supercrítico. (Castillo, 2019)

**Flujo Subcrítico:** En este tipo de flujo las fuerzas inerciales son sobrepasadas por las gravitacionales; presenta velocidades y pendientes bajas, y la profundidad de la lámina de agua son mayores que las que presentan los demás tipos de flujo. En el flujo subcrítico el aumento en la energía se representa por el aumento en la profundidad de la lámina de agua. El número de Froude en este estado es menor a 1. (Castillo, 2019)

**Flujo Crítico:** Dentro de este tipo de flujo ocurre una sinergia de fuerzas inerciales y gravitacionales que lo hacen inestable. El valor que toma depende únicamente de la geometría del canal y de la velocidad de descarga. En teoría es un estado intermedio y cambiante entre los otros dos tipos de flujo. Es un estado en que la energía específica es mínima para un caudal determinado, la corriente es inestable y está sujeta a fluctuaciones de la profundidad del agua (M.r, 2018) Para este tipo de flujo el número de Froude es igual a 1. (Castillo, 2019)

**Flujo Supercrítico:** En este tipo de flujo las fuerzas inerciales son mayores que las gravitacionales. El flujo presenta velocidades y pendientes altas, además de profundidades más

pequeñas. El número de Froude en este estado es mayor a 1. Este flujo se caracteriza por la formación de resaltos hidráulicos (M.r, 2018) (Castillo, 2019).

Para calcular el número de Froude y determinar el estado en que se encuentra el flujo se usa la siguiente relación:

$$F = \frac{v}{\sqrt{g DH}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

v: Velocidad

g: Gravedad

DH: Profundidad Hidráulica.

**Resalto Hidráulico:** Es el fenómeno hidráulico por el que una corriente líquida de gran velocidad en flujo supercrítico, bajo ciertas condiciones (área, pendiente, etc), pasa a un flujo subcrítico con una brusca elevación de la superficie libre. En él las pérdidas de energía son mayores a medida que la altura del salto es mayor. Se caracteriza por ser una zona donde se produce una macro turbulencia y un arrastre de aire hacia el interior de la masa líquida, razón por lo que suele ser usado para procesos de mezclado o aireación de los fluidos. En la imagen 1 se representa la vista lateral de un resalto hidráulico dentro de una canaleta Parshall (Perez, 1997). (Castillo, 2019)

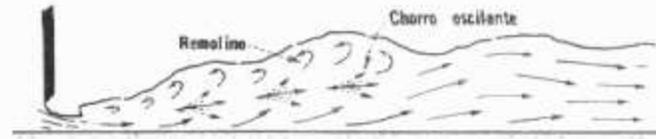
El salto hidráulico se clasifica de acuerdo al número de Froude (Fr), como se indica en la figura

Salto débil



$F_1$  ENTRE 1.7 y 2.5  
FORMA A - REGIMEN ANTES DEL RESALTO

Salto oscilante



$F_1$  ENTRE 2.5 Y 4.5  
FORMA B - REGIMEN DE TRANSICION

Salto estable



$F_1$  ENTRE 4.5 Y 9.0  
FORMA C - ZONA DE RESALTOS BIEN BALANCEADOS

Salto fuerte



$F_1$  MAYOR QUE 9.0  
FORMA D - RESALTO EFECTIVO PERO CON UNA SUPERFICIE MUY IRREGULAR AGUAS ABAJO

Ilustración 11. Tipos de resalto hidráulico

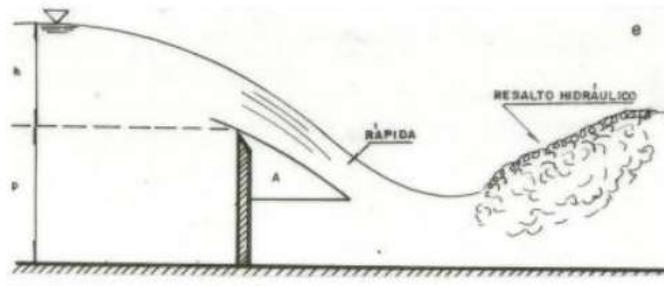


Ilustración 12. Resalto Hidráulico Fuente: Biblioteca Universidad Nacional Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica [Imagen]. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/12697/31/3353962.2005.Parte%206.pdf>

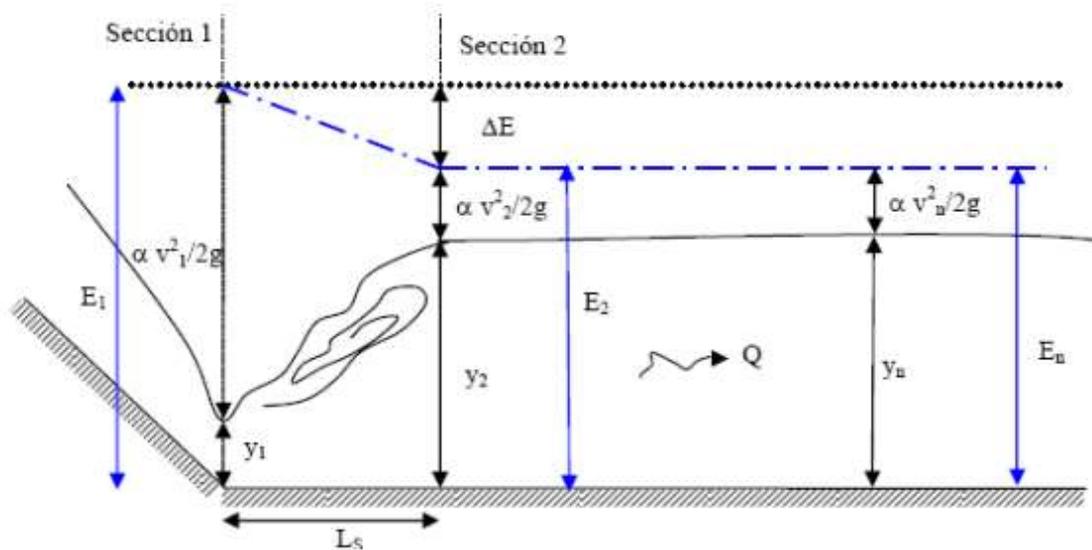


Ilustración 13. Representación esquemática de la pérdida de energía en un resalto hidráulico

## PARTES DE LA CANALETA PARSHALL

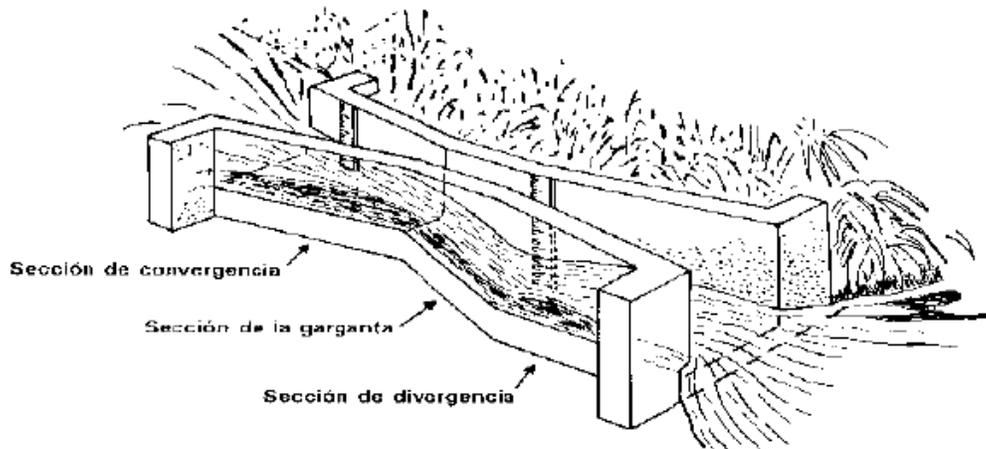
La geometría básica de la canaleta Parshall consta de 3 secciones principales

**Sección de convergencia:** Es el inicio de la estructura, su base presenta una pendiente de cero y su ancho entre paredes va disminuyendo hasta la garganta (Murillo, 1992)

**Sección de la garganta:** La garganta presenta un ancho igual en todos sus puntos, sus paredes están paralelas una de la otra y su base tiene una disminución de 3:8 en su pendiente (3 verticales y 8 horizontales) (Murillo, 1992)

**Sección de divergencia:**

Es el final de la estructura, su base presenta una pendiente en aumento de 1:6 (1 vertical y 6 horizontal) y su ancho de paredes aumenta desde la garganta al ancho inicial del canal (Murillo, 1992)



*Ilustración 14. Partes de la Canaleta Parshal Fuente:*

*[https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica\\_ruiz.pdf](https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf)*

## **DIMENSIONES DE LA CANALETA PARSHALL**

A partir de diferentes practicas experimentales J.M. De Acevedo y Acosta G. establecen en su manual de hidráulica, las dimensiones para la construcción de una canaleta Parshall teniendo como base el ancho de la garganta. (Castillo, 2019)

Los valores de las dimensiones para cada ancho de garganta estipulado en el manual de hidráulica se presentan en la Tabla 1.

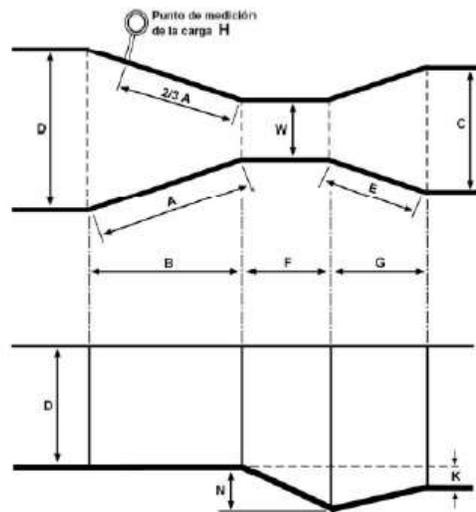


Ilustración 15. Dimensiones de una canaleta Parshall. Fuente: [https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica\\_ruiz.pdf](https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf)

Tabla 1 Valores típico de las dimensiones de una canaleta Parshall en cm a partir del ancho de la garganta.

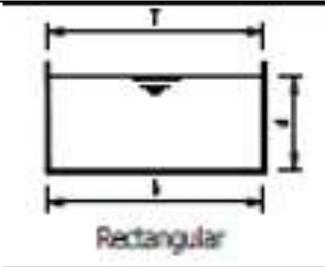
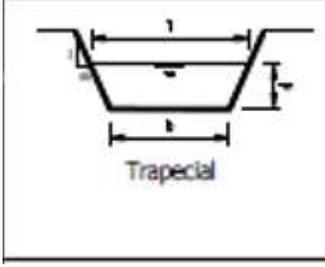
	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 ½'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	374.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3

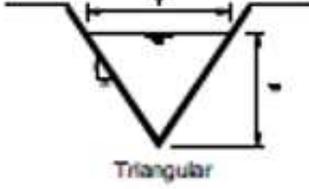
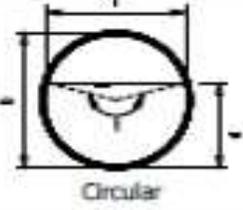
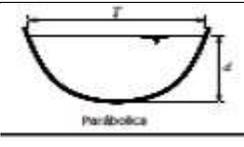
A partir del ancho de la garganta en una canaleta Parshall, según Acevedo y Guillermo Acosta se establecen las constantes para el caudal de diseño respectivo (Tabla 1 ). (Castillo, 2019)

Tabla 2 Valores del exponente n y del coeficiente K.

Unidades de Métricas		
W	N	K
3	1.547	0.176
6	1.580	0.381
9	1.530	0.535
1	1.522	0.690
1 1/2	1.538	1.054

Tabla 3 Elementos geométricos de las secciones transversales más frecuentes de canales tipo.

SECCIÓN	ÁREA	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	ANCHO SUPERFICIA L	PROFUNDIDAD HIDRAULICA
 <p>Rectangular</p>	$b \cdot d$	$b + 2d$	$\frac{bd}{b + 2d}$	T	d
 <p>Trapezial</p>	$b \cdot d + md^2$	$b + 2d\sqrt{1 + m^2}$ o también : $b + 2d\sqrt{1 + ctg^2\theta}$	$\frac{bd + md^2}{b + 2d\sqrt{1 + m^2}}$	$b + 2md$	$\frac{bd + md^2}{b + 2md}$

 <p>Triangular</p>	$md^2$	$2d\sqrt{1 + m^2}$ o también : $2d\sqrt{1 + ctg\theta^2}$	$\frac{md}{2\sqrt{1 + m^2}}$	$2md$	$\frac{d}{2}$
 <p>Circular</p>	$\frac{(\theta - \text{sen } \theta)D^2}{8}$	$\frac{D\theta}{2}$	$\left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)\frac{D}{4}$	$\left(\frac{\text{sen } \theta}{2}\right)^2$ $2\sqrt{d}(D - d)$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2}\theta}\right)D$
 <p>Parabólica</p>	$\frac{2}{3}Td$	$T + \frac{8d^2}{3T}$	$\frac{2T^2d}{3T^2 + 8d^2}$	$\frac{3A}{2d}$	$\frac{2}{3}d$

## ESTADO DEL FLUJO

Dependiendo de la magnitud de la proporción de las fuerzas de inercia sobre las fuerzas de viscosidad número de Reynolds,  $Re$ , el estado del flujo para canales a superficie libre, (Gutierrez, s.f.), se clasifica como:

- Laminar  $Re \leq 500$
- Transitorio  $500 \leq Re \leq 12500$
- Turbulento  $12500 \leq Re$

$$R_e = \frac{VL}{\nu} = \frac{4VR}{\nu}$$

Ilustración 16. Formula de Reynolds (Gutierrez, s.f.)

V = velocidad del flujo en m/s

L = longitud característica, m. La longitud característica en conductos a superficie libre es igual a cuatro veces el radio hidráulico R.

v = viscosidad cinemática del fluido en m<sup>2</sup> /s

### **REGIMEN DE FLUJO**

Si se relacionan las fuerzas de inercia con las fuerzas gravitacionales se obtiene un parámetro adimensional conocido como número de Froude (Fr), el cual permite clasificar al flujo como subcrítico, crítico y supercrítico. El número de Froude se escribe. (Gutierrez, s.f.).

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

*Ilustración 17. Formula de froude (Gutierrez, s.f.)*

Donde

V = velocidad media del flujo, m/s

g = aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>

D = profundidad hidráulica, m

Dependiendo de la magnitud de la proporción de las fuerzas de gravedad e inercia, el régimen del flujo es clasificado como:

- Subcrítico  $Fr < 1$
- Crítico  $Fr = 1$
- Supercrítico  $Fr > 1$

Los equipos para utilizar para calcular el régimen de flujo son los siguientes:

Equipo:

- Cinta métrica
- Cronómetro
- Termómetro

El procedimiento que se debe realizar son los siguientes:

1. Aforo volumétrico,  $m^3/s$
2. Medir la profundidad del flujo en diferentes secciones transversales, m
3. Calcular el área hidráulica  $A$ ,  $m^2$
4. Medir la temperatura,  $^{\circ}C$
5. Medir el espejo del agua  $B$ , m
6. Calcular el perímetro mojado  $P$ , m
7. Calcular la velocidad del flujo,  $m/s$

$$V = \frac{Q}{A}$$

*Ilustración 18. Formula cálculo velocidad de flujo (Gutierrez, s.f.)*

8. Calcular el número de Froude
9. Clasificar el régimen de acuerdo al número de Froude
10. De la tabla 1, con la temperatura medida, calcular la viscosidad cinemática  $\nu$ , m<sup>2</sup>/s
11. Calcular el radio hidráulico  $R$ , m

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

*Ilustración 19. Formula Radio Hidráulico (Gutierrez, s.f.)*

12. Calcular el número de Reynolds
13. Clasificar el estado del flujo en función al número de Reynolds

Tabla 4 Viscosidad cinemática  $V$ , en función a la temperatura del agua, en °C

Temperatura °C	Viscosidad cinemática ( $\frac{m^2}{s}$ )
5	$1.520 \cdot 10^{-6}$
10	$1.308 \cdot 10^{-6}$
15	$1.142 \cdot 10^{-6}$
20	$1.007 \cdot 10^{-6}$
25	$0.897 \cdot 10^{-6}$
30	$0.804 \cdot 10^{-6}$
35	$0.727 \cdot 10^{-6}$
40	$0.661 \cdot 10^{-6}$
50	$0.556 \cdot 10^{-6}$
65	$0.442 \cdot 10^{-6}$

### **VERTEDOR PARSHALL**

El aforador Parshall, es un aparato que se basa en la pérdida de altura del nivel del agua producida por el paso forzado de una corriente a través de un estrechamiento inclinado. La entrada, de paredes convergentes, y la salida, de paredes divergentes, están separadas por una garganta de paredes paralelas y con el piso inclinado. Este tipo de vertedor trabaja bajo condiciones de régimen crítico en la garganta, es ideal para aforos donde el agua lleve algún tipo de material arrastrado ya que no permite que el sedimento se deposite. (Gutierrez, s.f.)

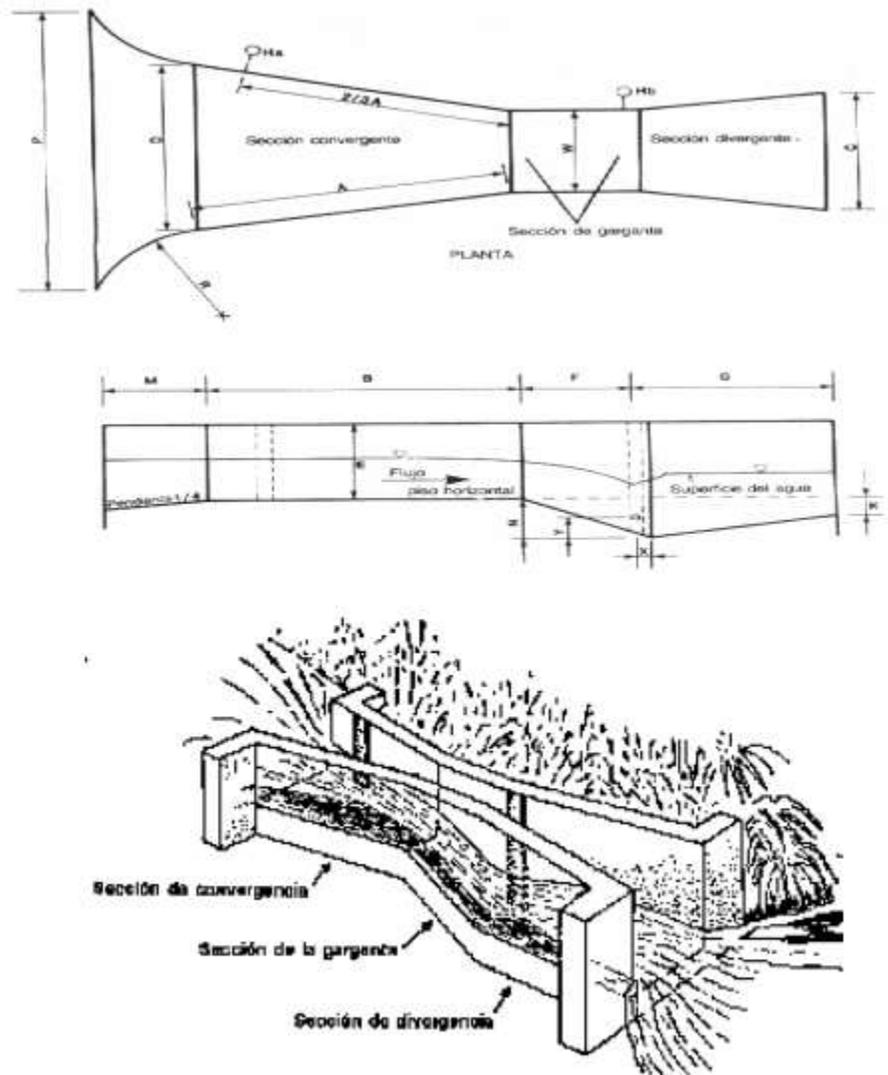
Tabla 5 Ecuación para el cálculo el caudal de un vertedor Parshall como función del ancho de la garganta W.

Ancho de la garganta (pies)	Ecuación del gasto libre ( $pies^3/s$ )
0.25	$Q=0.992 H^{1.547}$
0.5	$Q=2.06 H^{1.58}$
0.67	$Q=3.07 H^{1.53}$
$1 \leq w \leq 8$	$Q=4 H^{1.522w \exp 0.026}$
$10 \leq w \leq 50$	$Q=(3.6875w+2.5)H^{1.6}$

### **VERTEDOR PARSHALL (PROCEDIMIENTO)**

1. Medir ancho de garganta (w), (pulg.).
2. Medir longitud A
3. Medir profundidad hidráulica (H), a una distancia de 2/3 de A, medida del inicio de la garganta hacia aguas arriba, como lo muestra la figura.
4. En función al ancho de garganta, emplear la ecuación recomendada según la tabla

## ILUSTRACIONES DE CANALETA TIPO PARSHALL



*Ilustración 20. Planta, Elevación y alzado de un vertedero tipo parshall*

## ECUACIÓN DE MANNING

Esta ecuación es netamente empírica y fue presentada por primera ocasión por el ingeniero Irlandés Robert Manning en 1889. Es función del radio hidráulico ( $R$ ), de la pendiente de la línea de energía ( $S$ ) y del coeficiente de rugosidad  $n$ , conocido mundialmente como coeficiente  $n$  de Manning y

cuyo valor puede ser usado en ambos sistemas de unidades. La ecuación en el sistema métrico de unidades se escribe. (Gutierrez, s.f.).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Ilustración 21. Formula ecuación de manning (Gutierrez, s.f.)

## DISTRIBUCIÓN DE LA VELOCIDAD

En un canal las velocidades no se encuentran distribuidas uniformemente a lo largo de la sección, debido a la presencia de superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal. En la siguiente Figura se muestra la distribución de velocidades para varias secciones transversales de un canal. (Carolina Torres Yepes, 2014).

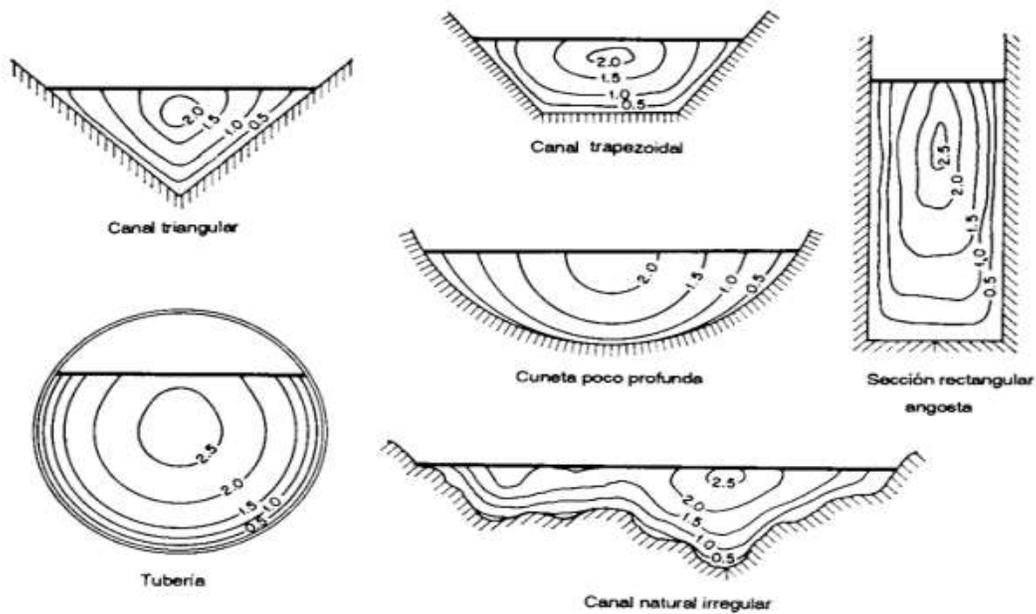


Ilustración 22. Distribución de velocidades (Carolina Torres Yepes, 2014).

## **PROBLEMAS DE CALCULO FLUJO UNIFORME**

El cálculo de flujo uniforme puede llevarse a cabo a partir de dos ecuaciones: la ecuación de continuidad y una ecuación de flujo uniforme. Cuando se utiliza la ecuación de Manning como ecuación de flujo uniforme, el cálculo involucrará las siguientes seis variables:

- El caudal normal  $Q$
  - La velocidad media de flujo  $V$
  - La profundidad normal  $y$
  - El coeficiente de rugosidad  $n$
  - La pendiente de canal  $S$
  - Los elementos geométricos que dependen de la forma de la sección de canal, como,  $A$ ,  $R$ , etc.
- (Carolina Torres Yepes, 2014).

## **COMPUERTAS**

Las compuertas son un tipo de barreras móviles que se insertan en canales, embalses, estanques y/o estructuras de hormigón, con el fin de controlar el caudal. (Carolina Torres Yepes, 2014)

### **CLASIFICACIÓN DE COMPUERTAS**

**TOTALMENTE ABIERTAS:** El flujo del agua se realiza como si la compuerta no existiera.

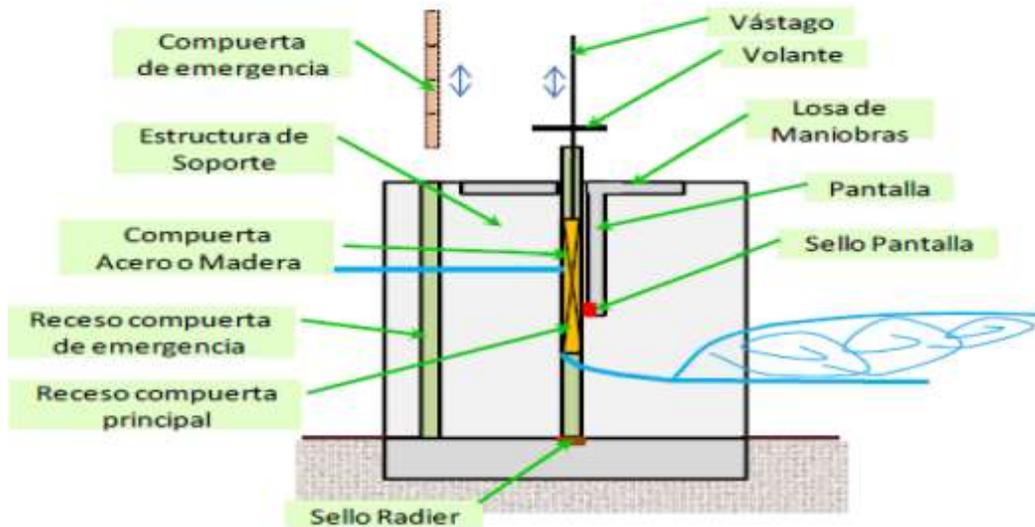
**PARCIALMENTE ABIERTAS:** El comportamiento toma la forma de un orificio.

**TOTALMENTE CERRADAS:** No hay presencia de flujo

**COMPUERTAS PLANAS:** Son aquellas en la que la cara que se opone al flujo es plana.

Los elementos principales de una compuerta plana son los siguientes

- Compuerta principal y de emergencia.
- Estructura de soporte
- Pantalla
- Sello de pantalla
- Recesos y guías para compuerta principal
- Vástago y Volante
- Sello de fondo.
- Tablones o tableros de compuerta de emergencia.
- Recesos y guías para compuerta de emergencia. (Carolina Torres Yepes, 2014)



*Ilustración 23. Elementos principales de una compuerta  
(Carolina Torres Yepes, 2014)*

El caudal que escurre por una compuerta, depende de la geometría de la obra y de las condiciones de escurrimiento por aguas abajo. La fórmula fundamental de la compuerta es

$$Q=m*a*b*\sqrt{2*g(H-h)}$$

*Ilustración 24. Formula de las compuertas*

Q: Caudal

H: Altura aguas arriba de la compuerta

h': carga neta sobre la compuerta

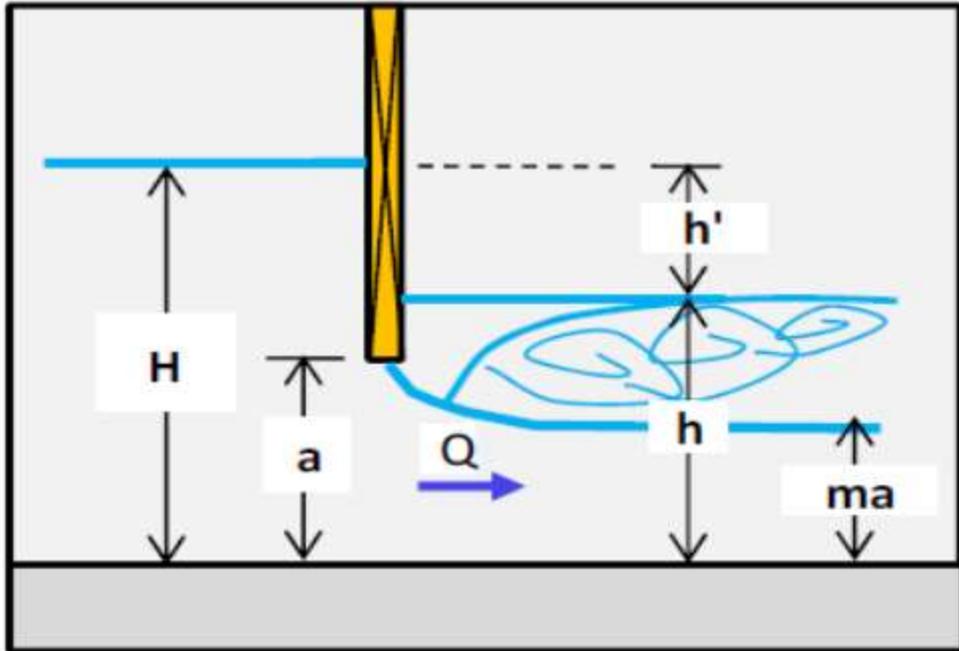
h: Altura aguas debajo de la compuerta

m: Coeficiente de gasto

a: abertura de la compuerta

b: ancho de la compuerta.

En cuanto al valor del coeficiente de gasto m, se puede usar un valor entre 0.6 y 0.7. Cada uno de los componentes que forman parte de las compuertas se pueden ver reflejado en la siguiente figura, Está muestra la localización de cada uno de los componentes que intervienen en una compuerta, tales como: altura aguas arriba y aguas debajo de la compuerta, la carga neta, el coeficiente de gasto, el ancho, la abertura etc. (Carolina Torres Yepes, 2014).



*Ilustración 25. Componentes principales de una compuerta (Carolina Torres Yepes, 2014).*

## METODOLOGÍA

Se tiene como punto de base o referencia el modelo o estructura del canal existente en el laboratorio creado a partir del trabajo de grado “INSTALACIÓN Y MONTAJE DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES” realizado en el año 2009; pero que actualmente no se encuentra en óptimas condiciones para el empleo en prácticas de laboratorios y que las actividades necesarias para repararla y rehabilitarla no son complejas, de ahí el interés de realizar este proyecto de grado y de esta manera aportar con un escenario práctico importante para la comunidad estudiantil y educativa en general del programa de ingeniería civil de la Universidad.

Inicialmente se realizó la identificación y verificación de la estructura del canal existente, determinando las falencias o fallas que presenta y que son motivo o causa del No funcionamiento para las prácticas de laboratorio. Para esto se realizó un llenado y puesta en funcionamiento de la estructura, identificando las fugas que se presentaban en las láminas de acrílico que conforman las paredes del canal.

Posteriormente, se realizó el levantamiento de la estructura con cinta métrica con el fin de determinar las dimensiones y luego se procedió a plasmar este levantamiento en el software AUTOCAD creando un modelo en 2D y 3D de la estructura existente.

Luego, se planificaron y realizaron las actividades necesarias para la reparación y rehabilitación de la estructura, teniendo en cuenta que los materiales, insumos y/o recursos necesarios para ejecutar dichas actividades son de recursos económicos propios, pero no son costosos y si aportaran e impactarán de manera muy positiva los estudiantes del programa.

Por otra parte, con el modelo en 2D y 3D, se procedió a la elaboración de la hoja de cálculo y actualización de guías de laboratorio que contengan los procedimientos, conceptos básicos y

ecuaciones de la hidráulica de canales y demás información necesaria para puesta en marcha de las prácticas del laboratorio.

Por último, se realizó el montaje final de la estructura del canal, ubicándola en el sitio correspondiente y destinado para su instalación. Se instaló el sistema de tubería de succión y recirculación del agua, para de esta manera garantizar que no se genere un desperdicio del agua y un elevado consumo durante los diferentes ensayos de laboratorio.

Finalmente, se realizan las pruebas necesarias para verificar que las fugas en la estructura quedaron subsanadas y que la instalación del sistema de tuberías para recirculación queda en correcto funcionamiento y la entrega del escenario de práctica con las guías de este.

## RESULTADOS

Se evidencia registro fotográfico de la estructura del canal y el proceso de levantamiento topográfico, mantenimiento y adecuación de dicha estructura en el salón de prácticas de laboratorio de hidráulica.



*Imagen 1. Ubicación donde se encontraba el canal existente en el laboratorio.*



*Imagen 2 Estado y ubicación donde se encontraba el canal existente en el laboratorio.*



*Imagen 3 Ubicación donde se encontraba el canal existente en el laboratorio.*



*Imagen 4 Estado y Ubicación de la motobomba del montaje del canal*



*Imagen 5 Obstáculos empleados en el canal para las diferentes prácticas.*



*Imagen 6 Levantamiento de la estructura existente*



*Imagen 7 Mantenimiento y limpieza de la estructura del canal.*



*Imagen 8 Mantenimiento y limpieza de la estructura del canal.*



*Imagen 9 Adecuación y reparación del sistema de tuberías y accesorios del canal.*



*Imagen 10. Instalación tubería para recirculación del agua.*

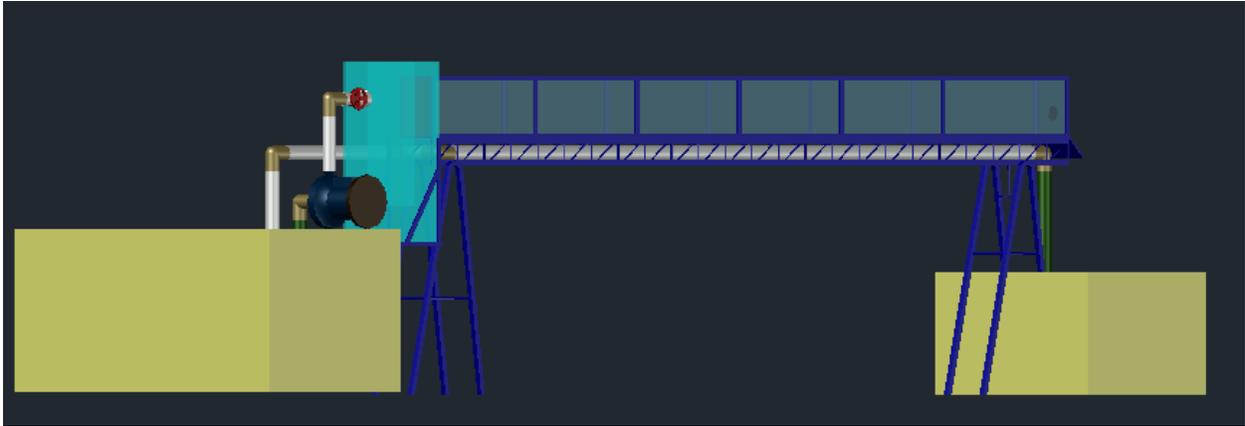


*Imagen 11 Montaje del canal en el sitio correspondiente.*

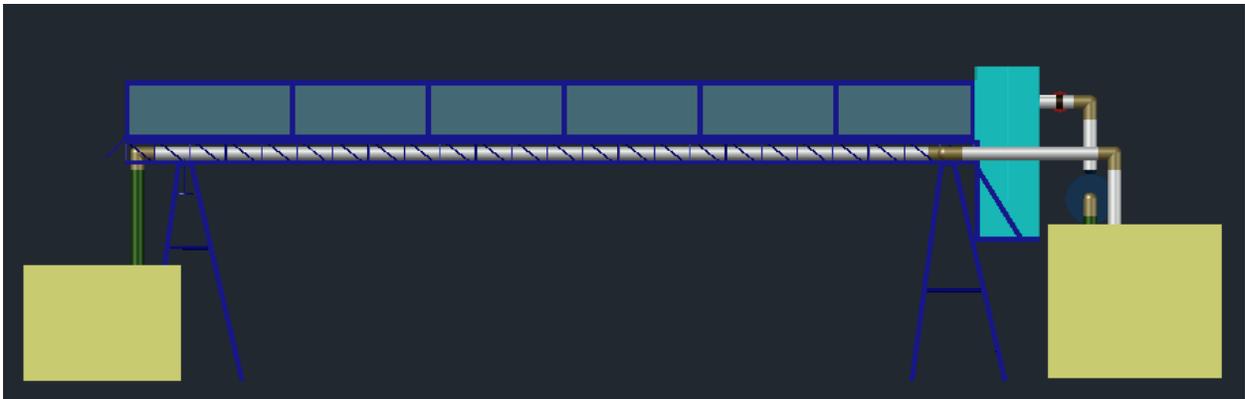


*Imagen 12 Montaje del canal en el sitio correspondiente.*

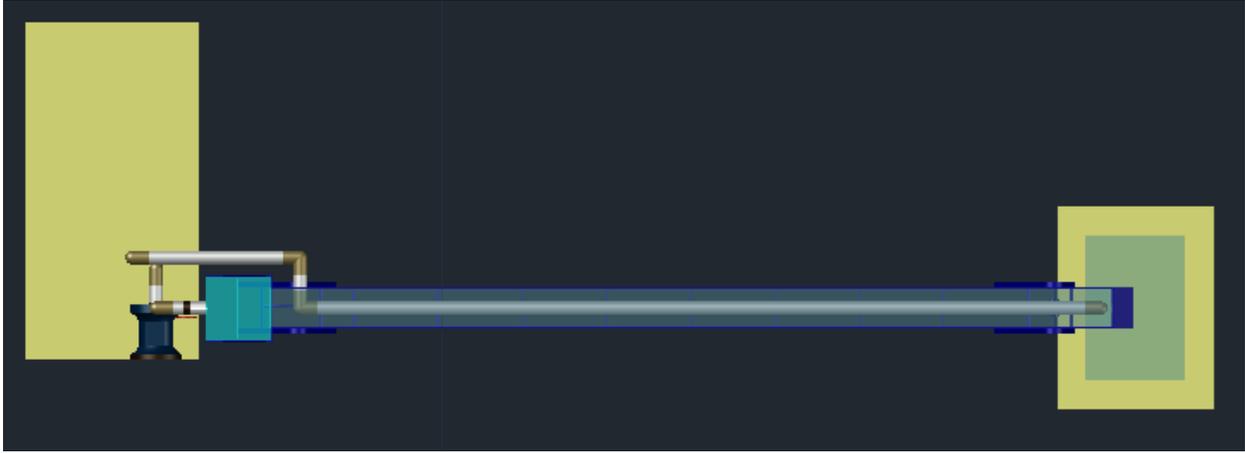
Con las dimensiones obtenidas del levantamiento de la estructura del canal, se realizó el modelo en 2D y 3D en el software AutoCAD y se tiene como resultado las siguientes imágenes, extraídas del programa:



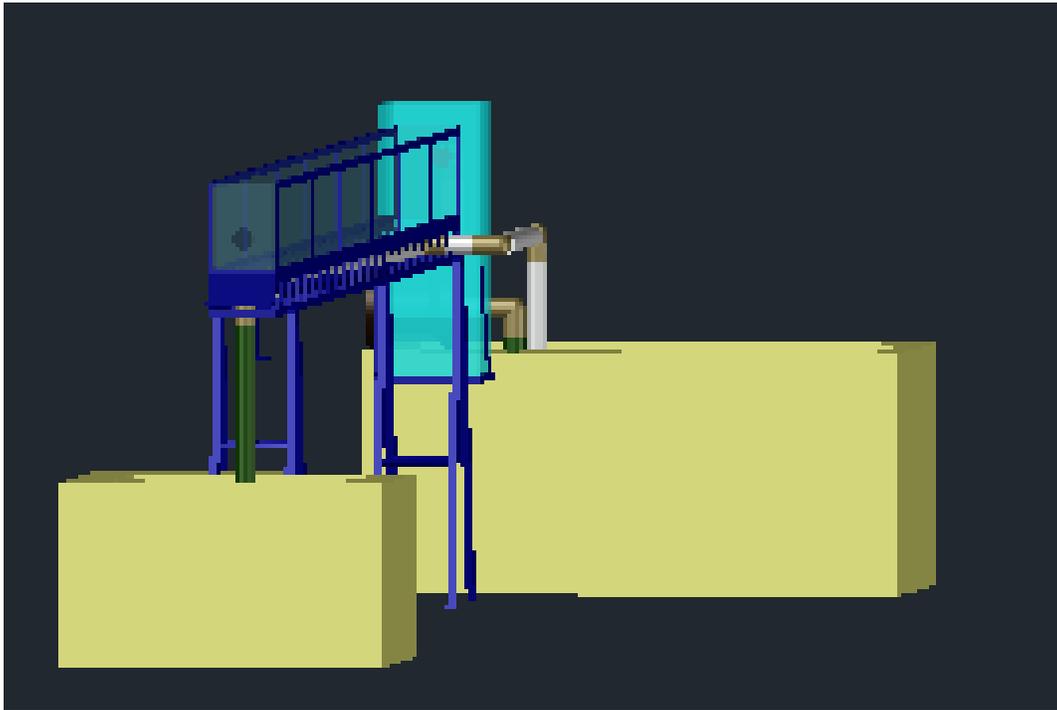
*Imagen 13 Perfil longitudinal Modelo 3D del canal.*



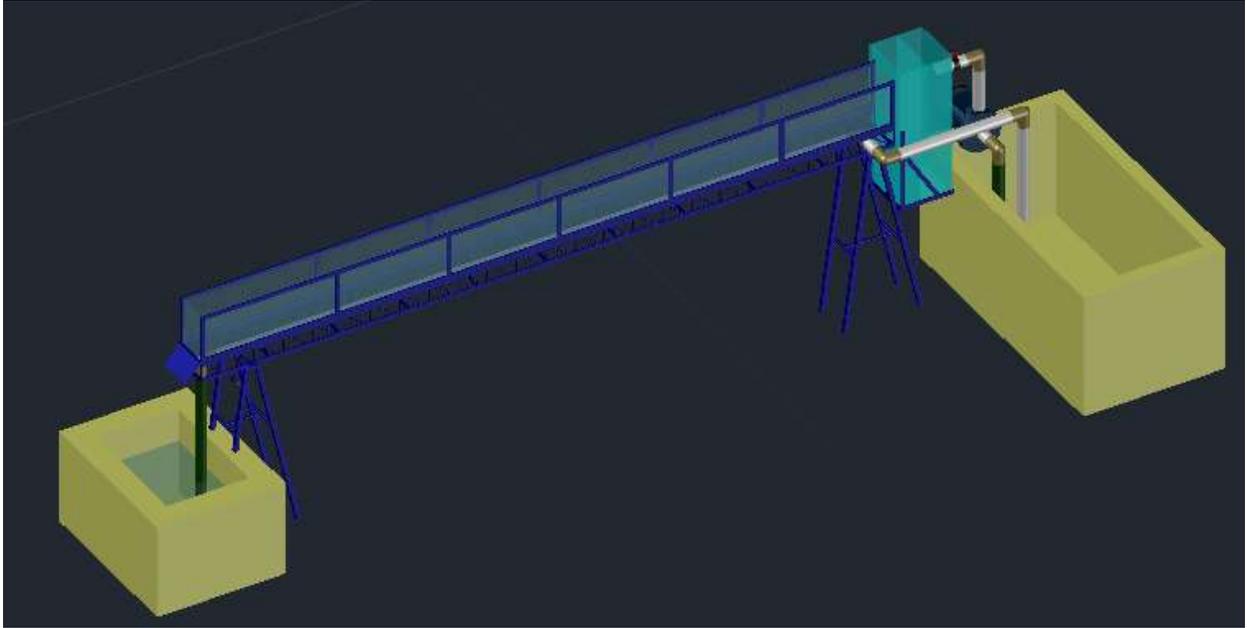
*Imagen 14 Perfil longitudinal Modelo 3D del canal.*



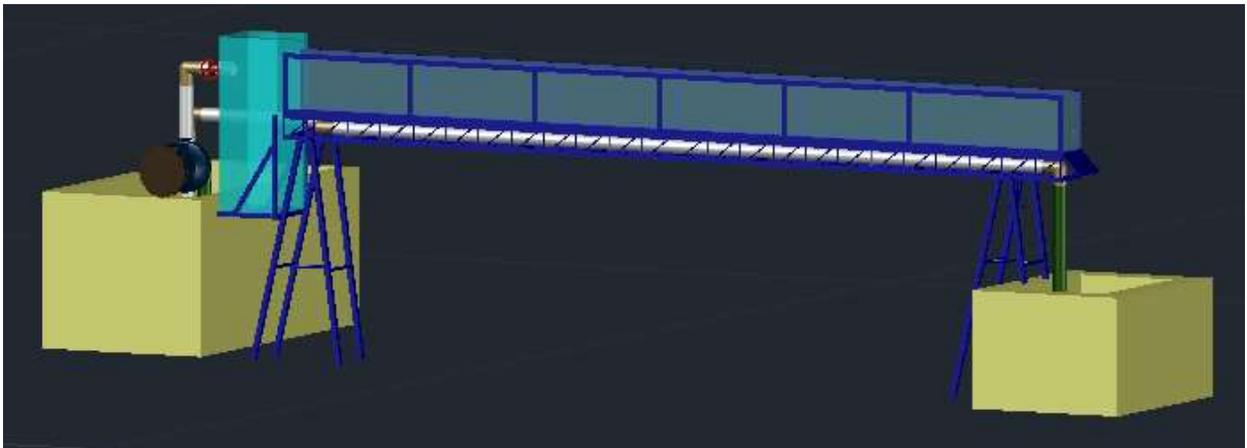
*Imagen 15 Vista superior modelo 3D del canal.*



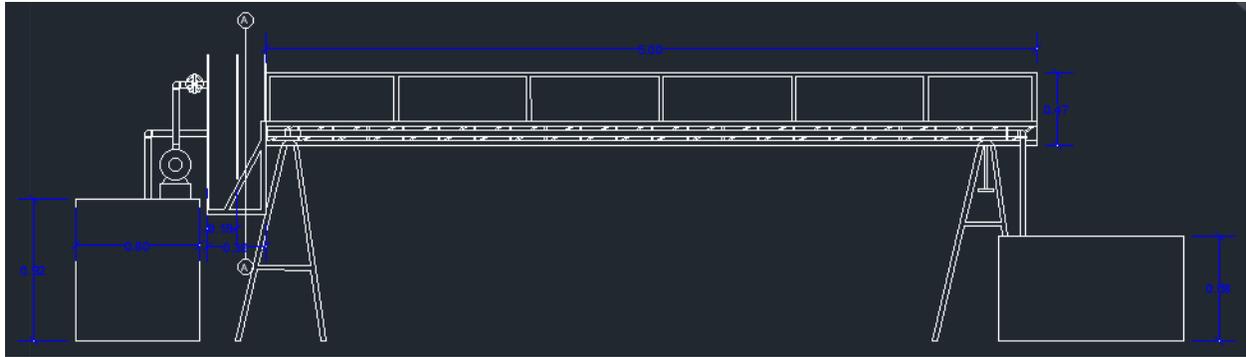
*Imagen 16 Vista frontal modelo 3D Canal*



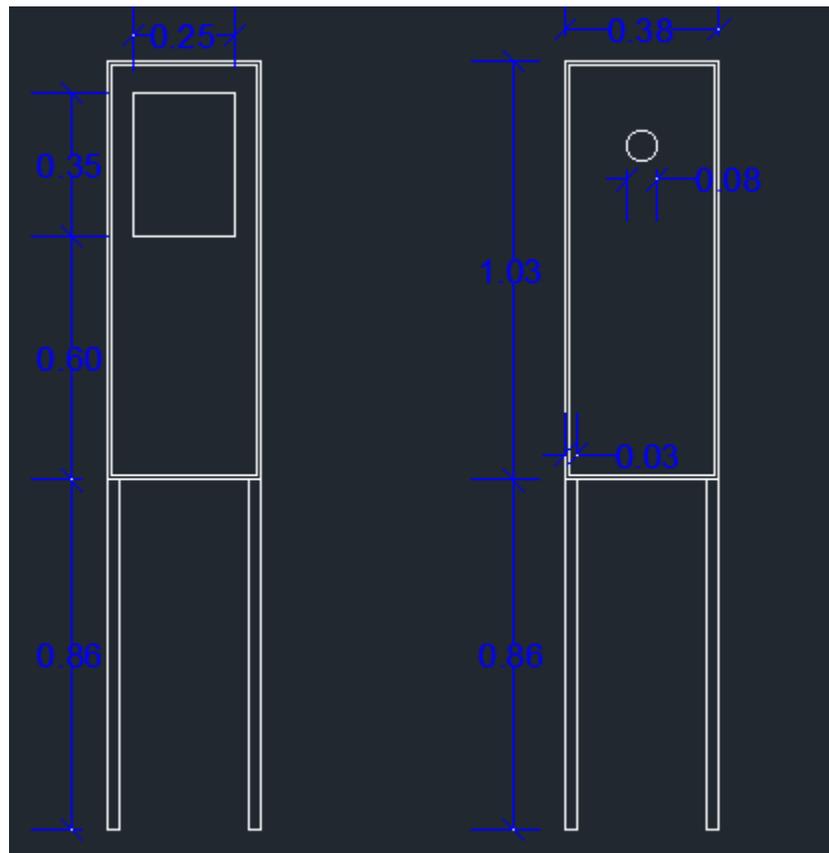
*Imagen 17 Modelo 3D del canal*



*Imagen 18 Modelo 3D del canal*



*Imagen 19 Perfil longitudinal modelo 2D, incluye dimensiones.*



*Imagen 20 Cortes transversales del modelo 2D, incluye dimensiones.*

Estos modelos pueden ser visualizados de manera digital en el software AutoCAD como archivos anexos 1 y 2 del presente trabajo de grado, denominados “Modelo Canal Laboratorio de hidráulica Uniminuto Girardot 2D” y “Modelo Canal Laboratorio de hidráulica Uniminuto Girardot 3D”.

El programa de ingeniería civil cuenta con unas guías de laboratorio de acuerdo con las diferentes prácticas que se pueden realizar en la estructura del canal, realizando la revisión de dichas guías, consideramos que la estructura del canal existente y objeto de este trabajo de grado es adecuada para realizar los siguientes ensayos según dichas guías:

- Ensayo de Coeficiente de Manning y Chezy, existe guía y formato para la toma de datos.
- Ensayo de Compuerta Vertical Plana en el Canal Abierto, existe guía y formato para la toma de datos.
- Ensayo de Fuerza y Energía Especifica en el Canal Abierto, existe guía y formato para la toma de datos.
- Ensayo de Resalto Hidráulico en el Canal Abierto, existe guía y formato para la toma de datos.
- Ensayo de Vertederos de Pared Delgada en el Canal Abierto, existe guía y formato para la toma de datos.

Por otra parte, se realizó la modelación de una hoja de Excel donde se determina la geometría del canal, las características de flujo y físicas del canal, caudal máximo y mínimo, entre otras condiciones y criterios hidráulicos importantes a tener en cuenta. Este documento, se encontrará como anexo al presente informe.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este trabajo de grado genera un gran e importante impacto en la población de estudiantes y docentes del programa de ingeniería civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios Centro Regional Girardot, dado a que con la adecuación y puesta en marcha de la estructura del canal existente, los estudiantes que se encuentren cursando la asignatura hidráulica de canales, ya no tendrán necesidad de dirigirse o trasladarse hasta el Parque de innovación científica ubicado en la sede de Bogotá Calle 80 para realizar las actividades prácticas de la asignatura, sino que tendrán la posibilidad de realizarlo en la universidad.

Es necesario que la comunidad estudiantil se incentive a formular proyectos o trabajos de grado de este tipo, y de esta manera cada uno puede aportar su granito de arena a la mejora de la infraestructura del laboratorio de hidráulica de la sede, y adicionalmente, pone en práctica los conocimientos teóricos impartidos en las diferentes asignaturas de la línea de aguas, esto puesto que para realizar o desarrollar este tipo de proyectos se debe realizar un análisis, estudio, diseño y/o modelación hidráulica de este tipo de estructuras.

Por medio de este trabajo de grado, nosotros como estudiantes del programa y futuros ingenieros civiles, desarrollamos y ampliamos nuestro conocimiento relacionado con la línea de aguas y especialmente con la asignatura de hidráulica de canales.

Se recomienda a los estudiantes y docentes del programa considerar otros trabajos de grado o proyectos similares a este, que propendan la adecuación de escenarios prácticos de la línea de aguas y otras áreas del programa, en donde se realizaran los ensayos correspondientes a cada tema y necesarios para profundizar de manera práctica los conocimientos teóricos.

Se recomienda realizar el respectivo mantenimiento preventivo y periódico de la estructura del canal existente en el laboratorio, con el fin de que esta siempre se encuentre en perfecto estado y sea de beneficio para la comunidad educativa. Adicionalmente, se recomienda realizar un chequeo y análisis más detallado del funcionamiento de los equipos de bombeo sugeridos para la puesta en marcha de la estructura del canal, puesto que los equipos existentes en el laboratorio de hidráulica presentan fallas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aponte. (2019). Diseño y construcción de una canaleta Parshall para el laboratorio de hidraulica. *Santo tomas sede central*.
- Cadavid. (2006). Hidraulica de canales fundamentos. Medellin, Colombia: Universidad EAFIT.
- Carolina Torres Yepes, D. G. (2014). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0067146.pdf>
- Castillo, C. D. (2019). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CANALETA PARSHALL PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD SANTO TÓMÁS SEDE CENTRAL*. Bogotá.
- Chow. (2004). Hidraulica de canales abiertos. Bogotá D.C.
- Gutierrez, G. E. (s.f.). *Laboratorio Hidraulica de canales* . Obtenido de [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual\\_de\\_Hidraulica\\_de\\_Canales.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual_de_Hidraulica_de_Canales.pdf)
- M.r, C. f. (2018). *Escuela superior politecnica del lito obtenido de comparación de tipos de flujos, para diferentes secciones de canales*. Obtenido de [http://www.reserchgate.net/publication/322555700\\_comparacion\\_de\\_tipos\\_de\\_flujos\\_para\\_diferentes\\_secciones\\_de\\_canales](http://www.reserchgate.net/publication/322555700_comparacion_de_tipos_de_flujos_para_diferentes_secciones_de_canales)
- Méndez Gómez, D., Rodríguez, S. A., Tarquino Garavito, C. A., Candía Cotamo, G. A., & Ángel Jaramillo, J. L. (2009). *INSTALACIÓN Y MONTAJE DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE*. Girardot.
- Murillo, H. (1992). *Principios hidraulicos del funcionamiento del aforador pashall en el canal principal bagatzi costa rica instituto interamericano de cooperación para la agricultura* .
- Perez, R. (1997). *Fundamentos para las praticas de laboratororio de hidraulica*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/12572/>
- Research, W. R. (1997). *Water measuren manual*. Obtenido de [http://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/wmm\\_3rd\\_2001pdf](http://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/wmm_3rd_2001pdf)
- Rodriguez. (2008). *Hidraulica de canales. Hidraulica II*.
- Ruiz. (2008). Hidraulica de canales. Hidraulica II.