

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE DOS  
ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS: VERTEDERO DE CRESTA LARGA Y PARTIDOR PROPORCIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**LISBETH ENID PECHENÉ OSSA - 1430035**

**ANA MARÍA RAMOS OROZCO - 1429826**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**SANTIAGO DE CALI**

**SEPTIEMBRE 2021**

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE DOS  
ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS: VERTEDERO DE CRESTA LARGA Y PARTIDOR PROPORCIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**LISBETH ENID PECHENÉ OSSA - 1430035**

**ANA MARÍA RAMOS OROZCO - 1429826**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**DIRECTOR**

**NORBERTO URRUTIA COBO**

**INGENIERO AGRÍCOLA M.SC, PhD**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**SANTIAGO DE CALI**

**SEPTIEMBRE 2021**

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>2. IMPORTANCIA</b>	<b>9</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
4.1.    Objetivo general	10
4.2.    Objetivos específicos	11
<b>5. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>11</b>
5.1.    Marco de antecedentes	11
5.1.1.  Software de diseño hidráulico DEHIDRO	11
5.1.2.  Software de diseño hidráulico CANSHALL	12
5.1.3.  Software libre para el diseño y modelación	13
5.1.4.  Modelización numérica de partidores de caudales en canales	14
5.1.5.  Metodología para el diseño hidráulico de vertedores de laberinto	14
5.2.    Marco teórico	15
5.2.1.  Vertederos	15
5.2.2.  Partidor proporcional	16
5.3.    Principios de Hidráulica	24
<b>6. METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>
6.1.    Recopilación y análisis de información	27
6.2.    Análisis y diseños hidráulicos	28
6.2.1.  Diseño del vertedero de cresta larga	28
6.2.2.  Diseño Partidor proporcional fijo	37
6.2.3.  Diseño partidor proporcional móvil	44

6.3.	Desarrollo de la herramienta computacional	46
6.3.1.	Diseño del algoritmo en pseudocódigo	47
6.3.2.	Elección y codificación del algoritmo con lenguaje de programación	47
6.3.3.	Diseño y desarrollo de la aplicación de escritorio	48
6.3.4.	Diseño del aplicativo web	49
6.4.	Verificación de la herramienta implementada	50
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>50</b>
7.1.	Generalidades	50
7.2.	Descripción detallada de la aplicación de escritorio	51
7.2.1.	Ventana inicial	51
7.2.2.	Diseño hidráulico del vertedero de cresta larga o pico de pato	52
7.2.3.	Diseño hidráulico partidor proporcional	54
7.3.	Descripción detallada del aplicativo web	56
7.3.1.	Acceso al aplicativo	56
7.3.2.	Página de ingreso	57
7.3.3.	Página principal	57
7.3.4.	Diseño hidráulico vertedero de cresta larga o pico de pato	58
7.3.5.	Diseño hidráulico partidor proporcional	61
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>64</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>65</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista en planta del vertedero de pico de pato.	16
Figura 2. Distribución de caudales en un partidor proporcional.	17
Figura 3. Partidor Fijo, vista en planta (Derecha).	18
Figura 4. Partidor móvil.	18
Figura 5. Partidores de vertedero.	19
Figura 6. Aliviadero que funciona como partidor.	20
Figura 7. Marco partidor de barrera.	21
Figura 8. Marco partidor por angostamiento, vista en planta y perfil.	21
Figura 9. Marco partidor de resalto visto en planta y perfil.	22
Figura 10. Marco partidor de ranura lateral.	23
Figura 11. Sección transversal de un canal rectangular.	26
Figura 12. Sección transversal de un canal trapezoidal.	26
Figura 13. Parámetros vertedero de cresta larga para: (a) canal rectangular (b) canal trapezoidal.	
Vista en planta.	32
Figura 14. Parámetros y cotas del vertedero de cresta larga. Vista perfil.	35
Figura 15. Diagrama de flujo para el diseño del vertedero de cresta larga.	36
Figura 16. Parámetros del partidor proporcional fijo, vista en planta.	39
Figura 17. Parámetros del partidor proporcional, vista en perfil.	42
Figura 18. Diagrama de flujo para el diseño del partidor proporcional.	43
Figura 19. Inclinación de la lámina de división del caudal para el partidor proporcional móvil.	45
Figura 20. Parámetros del partidor proporcional móvil, vista en planta.	46
Figura 21. Ventana inicial de la aplicación de escritorio.	52
Figura 22. Ventana del diseño hidráulico del vertedero de cresta larga o pico de pato.	53
Figura 23. Ejemplo de diseño del vertedero de cresta larga o pico de pato.	54
Figura 24. Ventana del diseño hidráulico del partidor proporcional.	55
Figura 25. Ejemplo diseño del partidor proporcional.	56
Figura 26. Página de ingreso de aplicativo web.	57

Figura 27. Página principal del aplicativo web.	58
Figura 28. Página del diseño del vertedero de cresta larga.	59
Figura 29. Ejemplo de diseño del vertedero de cresta larga.	60
Figura 30. Ejemplo de diseño del vertedero de cresta larga.	60
Figura 31. Página del diseño del partidor proporcional.	61
Figura 32. Ejemplo de diseño del partidor proporcional.	62
Figura 33. Ejemplo de diseño del partidor proporcional.	63

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Datos de entrada y salida para el cálculo de parámetros de canales abiertos.	28
Tabla 2. Datos de entrada y salida para el diseño del vertedero de cresta larga.	31
Tabla 3. Cuadro de cotas	34
Tabla 4. Datos de entrada y salida para el canal entrante.	37
Tabla 5. Datos de entrada y salida para el diseño del partidor.	39
Tabla 6. Cotras para el partidor proporcional	42

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darnos la vida y permitirnos llegar hasta aquí.

A nuestros padres y familiares por el apoyo brindado a lo largo de la carrera, el cual nos permitió culminar nuestros estudios.

A Norberto Urrutia Cobo, Ingeniero Agrícola MSc. Director de la sede Palmira de la Universidad del Valle, director de este proyecto, por el aporte de ideas, corrección, asesoría y acompañamiento durante todo este proceso.

A Camilo José Cruz Rivera, estudiante de ingeniería de sistemas de la Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería en Sistemas y Computación, por su colaboración, apoyo y guía recibida en cuanto a lo relacionado a la programación y desarrollo de aplicaciones. Sin su conocimiento, este proyecto no hubiera tenido un final satisfactorio.

A la Universidad del Valle por formarnos como profesionales.

## RESUMEN

Desde hace algunos años, los programas computacionales se han convertido en herramientas de gran importancia para los ingenieros a la hora de diseñar y analizar información, dichas herramientas permiten la optimización de diferentes procesos en diversas áreas de conocimiento. Para el caso de la ingeniería agrícola se han desarrollado diferentes programas relacionados con el diseño de canales y estructuras hidráulicas, facilitándole al ingeniero los datos y criterios que debe de tener en cuenta para realizar el diseño y construcción de las variadas estructuras.

La investigación desarrollada es de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, debido a que, para el desarrollo de la herramienta es necesario tener un orden secuencial. La metodología empleada consistió en una exhaustiva revisión de literatura, abarcando los conceptos técnicos correspondientes a la hidráulica de canales y todo lo referente al diseño del vertedero de cresta larga, también llamado vertedero pico de pato y al partidor proporcional. Posterior a ello, se realizó el diseño de las estructuras con la información recopilada, traducéndose después, a un lenguaje de programación llamado Python, con el cual fue posible desarrollar una aplicación de escritorio y una aplicación web.

Se obtuvo como resultado una herramienta computacional de acceso libre llamada Hidra VP, la cual fue creada para reducir los tiempos en el proceso de diseño, garantizar un nivel de seguridad de cálculo y aumentar la precisión de los diseños de las estructuras objeto de estudio.

**Palabras clave:** diseño, vertedero de cresta larga, partidor proporcional, canales abiertos, Python.



## 1. INTRODUCCIÓN

Muchos proyectos de riego se construyeron inicialmente como simples sistemas de inundación, en los cuáles un suministro de agua no regulado desde el río se esparcía sobre los campos. Un mejoramiento básico consistió en dividir el flujo de forma proporcional, relacionando el caudal de riego al tamaño del área a beneficiar. Por ello, el riego con un apropiado suministro de agua, un suelo adecuado y una buena administración asegura un alto rendimiento de los cultivos.

La medición de agua de riego es un factor esencial para su distribución equitativa y uso económico, sirve para asegurar el mantenimiento adecuado de programas de suministro, determinar las cantidades de agua suministradas y advertir las anomalías que se produzcan en la distribución. Se han creado diversos métodos, dispositivos y obras para atender estas necesidades; algunos de estos medios se han normalizado a escala nacional en distintos países.

Por otro lado, los canales secundarios y terciarios y las obras de regulación a nivel generalmente de fincas son descuidados, existe mala construcción o muchas veces son de total omisión en los planes de ingeniería; para los contratistas estas obras no significan mucho beneficio, están dispersas y son difíciles de vigilar (Kraatz, 1967). Sin embargo, el gran efecto que las pequeñas obras tienen en el funcionamiento satisfactorio y en el rendimiento general de los sistemas de riego por gravedad se pone en evidencia.

Para la distribución equitativa del agua y el suministro de esta con regularidad, las pequeñas obras hidráulicas deben diseñarse, construirse y utilizarse de forma adecuada. Para la explotación satisfactoria del sistema es preciso contar con medios oportunos que permitan regular y medir el caudal en todos los puntos estratégicos de la red, incluidas las ramificaciones a nivel de fincas y campos. Toda pequeña obra hidráulica que se realice debe ser eficaz, de diseño sencillo, duradera y además, fácil de construir y utilizar.

El presente trabajo se refiere al desarrollo de una herramienta computacional para el diseño de dos estructuras hidráulicas: vertedero de cresta larga y partidor proporcional; estructuras de control de nivel y de distribución de caudal, respectivamente. El vertedero de cresta larga permite el control de nivel de agua a una altura dada dentro de unos límites reducidos, situado aguas abajo de la toma lateral o derivación; mientras que el partidor permite la división de caudal

en dos o más partes donde cada división representa una proporción definida del caudal total respectivamente.

Así pues, aprovechando la evolución de la tecnología a través del tiempo y la cercanía de los usuarios a esta, se propone la creación de una herramienta de uso totalmente libre y eficaz que permita a los usuarios un diseño sencillo para asegurar una correcta construcción de las estructuras hidráulicas mencionadas.

## **2. IMPORTANCIA**

En las últimas décadas se ha observado mayores rendimientos en la agricultura de regadío que en la de secano; incluso, el riego con bajos insumos sigue representando un mayor rendimiento que la de secano. Además, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en América Latina y El Caribe se ha podido observar que en la agricultura el desperdicio del recurso hídrico es mayor que en otras áreas, como la industrial y la doméstica (FAO, 2002); por estas razones, urge realizar controles sobre el recurso hídrico en la agricultura.

El control del flujo es una técnica necesaria para mantener el sistema de regadío en el estado deseado; actualmente este control se realiza mediante estructuras hidráulicas instaladas en canales abiertos, utilizadas en fincas agrícolas y redes con tomas de caudal reducido. Según la FAO, estas pequeñas obras hidráulicas no siempre han tenido la atención que merecen, a pesar de que representan el 70% de todas las obras hidráulicas que se realizan en multitud de redes de riego (Kraatz, 1967). Por ello, en una obra de agua para riego la mayor eficacia se presenta en los sistemas de distribución, es decir, las pequeñas obras, las cuales dan paso a las estructuras hidráulicas. Por consiguiente, un sistema eficaz de distribución (pequeñas obras) genera mayor aporte a las obras de agua para riego.

De las diferentes estructuras hidráulicas utilizadas para el control de flujo, se escogió realizar el estudio y posterior desarrollo de una herramienta computacional, para el diseño del partididor proporcional y el vertedero de cresta larga, ya que son las más demandadas en el sector agrícola para controlar y distribuir el agua de riego. El desarrollo de la herramienta computacional se realiza como una ayuda para llevar a cabo el diseño hidráulico de estas dos estructuras, ya que,

los cálculos que se deben hacer manualmente son un poco extensos y además, en algunos casos se procede por ensayo y error, lo que puede generar un resultado no válido para el diseño.

### **Pregunta de investigación**

¿Cómo diseñar una herramienta computacional que permita el diseño hidráulico de un vertedero de cresta larga y un partidador proporcional?

## **3. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente existe un software llamado DEHIDRO (DEHIDRO, 2017) que permite el diseño de estructuras hidráulicas para riego y drenaje, incluyendo el vertedero de cresta larga y partidador proporcional, pero su licencia es costosa. Por tanto, no es asequible fácilmente para los usuarios. En nuestro medio no se dispone de una herramienta ágil y de acceso libre para ingenieros o usuarios que lo requieran, que facilite el diseño hidráulico del partidador proporcional y el vertedero de cresta larga, dos estructuras de gran importancia para el manejo y uso eficiente del recurso hídrico en redes de canales abiertos de distribución.

El trabajo de diseño de estructuras hidráulicas requiere tiempo de elaboración y se pueden presentar errores de cálculo. Por ello, este proyecto se orienta a la creación de una herramienta computacional sin costo y de acceso libre, con el fin de proveer un diseño rápido, confiable y útil para todos los usuarios que requieran el servicio.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Desarrollar una herramienta computacional de acceso libre que facilite el diseño hidráulico de un vertedero de cresta larga y de un partidador proporcional.

## **4.2. Objetivos específicos**

- Sistematizar el proceso de diseño y cálculo de un vertedero de cresta larga y de un partidor proporcional.
- Diseñar una herramienta computacional de acceso libre para el diseño y cálculo de un vertedero de cresta larga y de partidor proporcional.
- Redactar un manual de usuario en el que se especifique el uso de la herramienta computacional.

## **5. REVISIÓN DE LITERATURA**

Actualmente no se dispone de una herramienta computacional de acceso libre que facilite el diseño de dos estructuras hidráulicas, como son el vertedero de cresta larga y el partidor proporcional. Como se indicó anteriormente, existe un software comercial llamado DEHIDRO, el cual permite el diseño de varias estructuras hidráulicas, incluyendo las ya mencionadas, pero no es un software de acceso libre y su licencia es muy costosa. Por otro lado, se han diseñado y creado softwares para diferentes estructuras hidráulicas, sin incluir el vertedero de cresta larga y el partidor proporcional.

A continuación, se presenta una breve descripción del software DEHIDRO y algunas tesis nacionales e internacionales sobre proyectos relacionados con el tema objeto de estudio, como lo son, el diseño y creación de software para diferentes estructuras hidráulicas.

También se presenta el marco teórico, donde se exponen los conceptos relacionados con las dos estructuras hidráulicas.

### **5.1. Marco de antecedentes**

#### **5.1.1. Software de diseño hidráulico DEHIDRO**

DEHIDRO (2017), es el software de diseño de estructuras hidráulicas para sistemas de irrigación y drenaje, avalado por la IRRIGATION ENGINEERING CONSULTING, USA, CALIFORNIA. El acceso a la licencia tiene un costo de 4.986.733,50 pesos colombianos, por tanto, no es un

software de libre acceso. Su objetivo es obtener una buena aproximación en el diseño de estructuras hidráulicas, analizar varios escenarios hasta alcanzar un diseño optimizado, eliminar los errores que pueden cometerse en la manipulación de datos en una hoja de cálculo para diseñar varios tipos de estructuras hidráulicas de tipo convencional; todo en uno. Las metodologías que se utilizan en este programa provienen de las publicaciones realizadas por las siguientes instituciones: ILRI: The International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands, IHE: Land and Water Development lecture notes, The Netherlands., DELFT – HYDRAULICS: Hydraulic research institute, The Netherlands, USBR: Bureau of Reclamation of the United States of America., SCS: Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos., GTZ: Cooperación Técnica Alemana, FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El programa permite obtener un diseño optimizado y luego exportar los resultados a Excel para poderlos presentar en un informe o reporte.

#### **5.1.2. Software de diseño hidráulico CANSHALL**

Espinosa, Gaitán. (2018). Desarrollo de software para el diseño hidráulico de canaleta Parshall como estructura para mezcla rápida en el tratamiento del agua – caso aplicativo en municipios de la provincia del Alto Magdalena. Los objetivos fueron: desarrollar un software para el diseño hidráulico de una Canaleta Parshall como estructura para mezcla rápida en el tratamiento del agua, tomando como caso aplicativo algunos municipios de la provincia del Alto Magdalena y determinar los criterios técnicos para el diseño y operación de la Canaleta Parshall como estructura hidráulica para realizar la mezcla rápida en el tratamiento del agua potable, a partir de las especificaciones establecidas por la Resolución 0330 del 08 de Junio de 2017 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Una vez determinados los criterios técnicos, se procedió a diseñar el software educativo en Visual Basic para diferentes anchos de garganta, que varían desde 2” hasta 12”; finalmente se realizó una prueba en una de las Canaletas Parshall existentes en el departamento del Tolima en los municipios de Purificación y Flandes con la finalidad de evaluar la situación actual de estas estructuras. Como resultado se obtuvo un software educativo de libre acceso, llamado CANSHALL, desarrollado para reducir los

tiempos en el proceso y garantizar un nivel de seguridad de cálculo y aumentar la precisión de los diseños de una Canaleta Parshall.

### **5.1.3. Software libre para el diseño y modelación**

Cabrera, Racines. (2015). Aplicación de software libre para el diseño y modelación de las obras hidráulicas a flujo libre de una pequeña central hidroeléctrica en el río Zarapullo ubicado en la provincia de Sto. Domingo de los Tsáchilas (Ecuador). En este estudio se realizaron los diseños hidráulicos a nivel de prefactibilidad de los componentes a flujo libre de una Pequeña Central Hidroeléctrica ubicada en el Río Zarapullo. Los componentes a flujo libre se refieren a aquellas estructuras hidráulicas que están a presión atmosférica y dentro de un proyecto hidroeléctrico están presentes en las siguientes partes: Captación, Conducción y Desarenador; por lo tanto, la presente investigación hace énfasis en estos tres temas, siendo este su alcance. Se analizó si existe una ventaja económica al utilizar estos programas de software libre para el diseño y modelación hidráulica y se analizaron también los resultados obtenidos con los programas computacionales determinando su grado de confiabilidad. Se conceptualizaron bases teóricas sobre hidráulica, hidrología y centrales hidroeléctricas que fueron base para el desarrollo del proyecto; posteriormente se realizó la aplicación de estos conceptos, obteniendo como resultado los diseños a nivel de prefactibilidad de la captación, la conducción y el desarenador; el cálculo se hizo manualmente a través de tablas, ábacos, etc. El desarrollo computacional se realizó a través de un software libre llamado Hec-Ras, donde se efectuó el diseño y la modelación de las estructuras hidráulicas previamente diseñadas de forma manual. Finalmente, se comparó el costo de la consultoría realizada con software libre con una consultoría utilizando software original, mostrando las ventajas que estas herramientas disponibles gratis en la web ofrecen. También se comparó el comportamiento hidráulico ideal que se obtuvo en el cálculo manual y los resultados del Hec-Ras.

#### **5.1.4. Modelización numérica de partidores de caudales en canales**

Quispe. (2015). Modelización numérica de partidores de caudales en canales. Sus objetivos fueron, ampliar el estudio del comportamiento hidráulico de los partidores de caudales en canales usando modelos numéricos tridimensionales en la simulación y obtener las características geométricas del partidor para determinar las condiciones de borde, los caudales involucrados en la partición y las propiedades del fluido para obtener las condiciones hidráulicas iniciales del partidor, plantear y emplear el modelamiento numérico para la determinación de los parámetros hidráulicos resultantes del comportamiento hidráulico y proponer mejoras para el desempeño eficiente de la estructura hidráulica, luego de analizar e interpretar los resultados del comportamiento hidráulico. La metodología se realizó siguiendo un orden secuencial: primero la descripción de las bases teóricas de los repartidores de caudales en canales, después la formulación matemática de las ecuaciones en derivadas parciales del fenómeno de transporte de fluidos y la solución de estas ecuaciones por un método numérico y finalmente la aplicación práctica del modelo planteado al caso de estudio. La aplicación práctica fue en el partidor de caudales ubicado en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, región de Ayacucho (Perú), dicha estructura fue construida por el Proyecto Especial Río Cachi en la década de los 80. El modelamiento se realizó con el programa comercial Flow-3D de la empresa Flow Science - USA pues resuelve numéricamente las ecuaciones que gobiernan el fluido utilizando aproximaciones en diferencias finitas y emplea la técnica VOF para el seguimiento de la superficie libre. Como resultado se obtuvo la modelación numérica cuyos parámetros son el campo de velocidades y presiones para toda la masa de fluido escurriendo a través del tiempo.

#### **5.1.5. Metodología para el diseño hidráulico de vertedores de laberinto**

Rodríguez. (2015). Metodología para el diseño hidráulico de vertedores de laberinto. Este trabajo se enfoca en la presentación de la metodología para el diseño hidráulico de vertedores de laberinto pretendiendo que dicha metodología sea una herramienta útil para actividades de diseño y su implementación en presas ya existentes, o en nuevas estructuras, tomando en cuenta que el vertedor de laberinto contribuye a la descarga de grandes volúmenes de agua. El diseño

consiste en la obtención de los parámetros mediante la aplicación de una hoja de cálculo, como la presentada por Tullis, et al. (1995). La aplicación del procedimiento de diseño recomendado se muestra con la solución de un ejemplo basado en datos de un modelo de estudio conducido por el Utah Water Research Laboratory (UWRL), para el vertedor de laberinto del Lago Standley, localizado cerca de Denver (Tullis, 1993). En la hoja de cálculo se requiere de los datos de entrada en la sección “Entrada de usuario”. Posteriormente, se calculan las dimensiones del vertedor, la descarga máxima, detalles de la curva de descarga, y las dimensiones del vertedor de laberinto.

## **5.2. Marco teórico**

### **5.2.1. Vertederos**

Según Ramírez (2018), un vertedero es una pantalla que se sitúa o construye normal al flujo, causando una elevación del nivel aguas-arriba de la superficie libre del agua y una disminución aguas abajo. Las principales funciones de los vertederos son:

- Control de nivel de embalses, canales, depósitos, estanques, etc.
- Aforo o medición de caudales.
- Elevación del nivel del agua.
- Evacuación de crecientes (vertedero de alivio).
- Derivación de un determinado caudal.

Los vertederos se clasifican según:

- El espesor de la cresta o pared.
- La forma de la sección transversal.
- Según si el vertedero ocupa parte o la totalidad de la sección transversal del canal.



El **vertedero de cresta larga o pico de pato** es un vertedero de superficie fija sin ningún dispositivo móvil de control (Figura 1), pudiéndose utilizar tanto en canales revestidos como sin revestir. Este vertedero es el más usado debido a la simplicidad de su construcción, mantenimiento, confiabilidad en la operación, y comparado con vertederos tipo “Z” y diagonales, resulta ser más económico. (Kraatz, 1976).

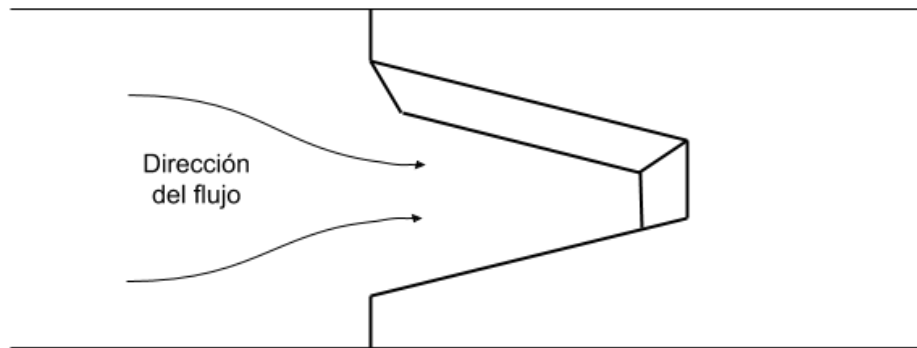


Figura 1. Vista en planta del vertedero de pico de pato. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de la descarga por un azud diagonal, en pico de pato, se basa en la ecuación. (Kraatz, 1976):

$$Q = m B_{(t)} \sqrt{2g} H_{(crt)}^{3/2} \quad \text{Ecuación 1}$$

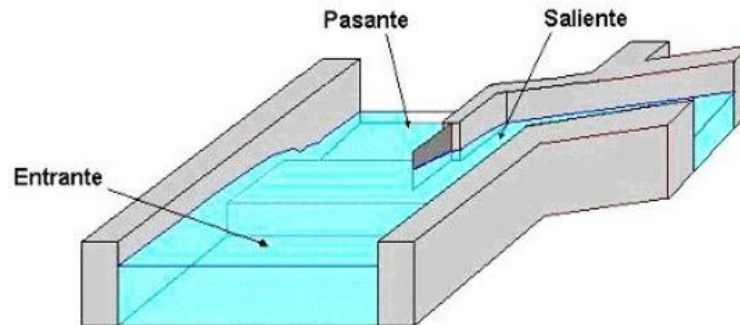
Donde:

- $m$  = Coeficiente de descarga
- $B_{(t)}$  = Longitud de la coronación [m]
- $H_{(crt)}$  = Profundidad del agua, es decir altura sobre la coronación [m]

### 5.2.2. Partidor proporcional

Un partidor es una estructura hidráulica de pequeña relevancia cuya finalidad es dividir los caudales variables de un canal en una proporción fija. Los partidores pueden ser fijos o móviles, en estos últimos los elementos móviles son metálicos y en los primeros la estructura es de concreto. En dichos partidores, se denomina caudal entrante al canal principal de acceso

correspondiente, caudal pasante a la cantidad de agua que sigue por este canal principal y caudal saliente a la cantidad de agua que se extrae del canal que suele ser más del 25% (Kraatz, 1976) del caudal principal (Figura 2).



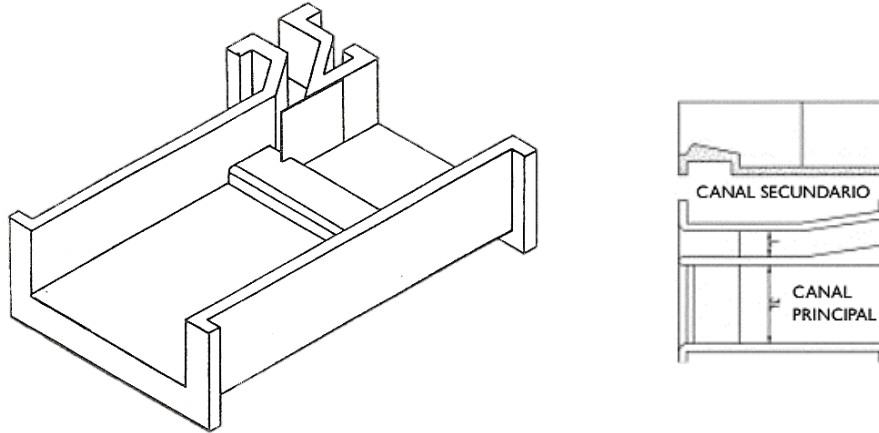
*Figura 2. Distribución de caudales en un partididor proporcional. Fuente: Obras hidráulicas, partididores. (p. 6), por Rodríguez, E. (2013).*

Según Poiree, M. (1977) se tienen los siguientes tipos de partididores: partididor fijo, partididor móvil, partididor de vertedero y aliviaderos que funcionan como partididores.

### **Partidores fijos**

Un partididor fijo divide el volumen transportado en una relación constante. Está constituido por un muro con cresta (tabique) (Figura 3), construido paralelamente al eje del canal, donde su posición determina la división del caudal que se quiera obtener. El canal, aguas arriba del partididor, deberá tener una longitud de 20 m por lo menos en línea recta con una pendiente uniforme, pequeña, y una sección rectangular ("aguas tranquilas").

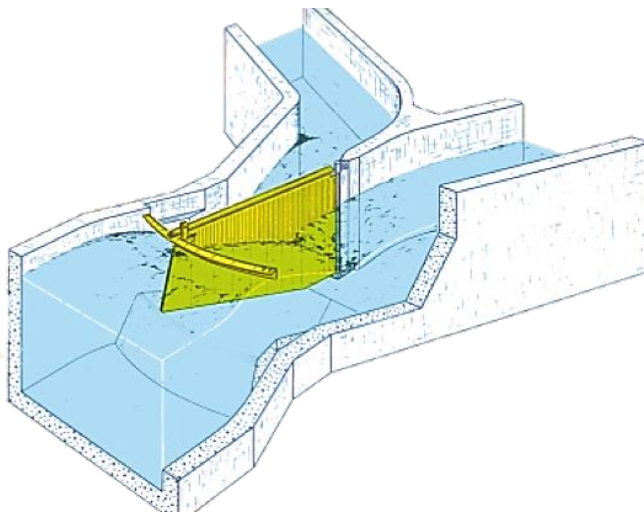
Si la división deseada del caudal es en dos partes iguales, el conjunto de la obra será simétrico con relación al eje del canal y se tendrá en este caso, un reparto muy exacto. Pero si se quiere dividir el volumen en tres partes iguales no convendrá dividir el ancho del canal en tres secciones idénticas por las razones dadas antes. Igual ocurre si la partición debe ser desigual, ya que los caudales separados no son del todo proporcionales al ancho de los pasos, y será preciso proceder por tanteos y emplear dispositivos especiales (resaltos) para obtener una división conveniente para las distintas alturas de agua.



*Figura 3. Partidor Fijo, vista en planta (Derecha). Fuente: Partidor Proporcional: PROPAR. (p. 2), por Einar S.A.*

### **Partidor Móvil**

Un partidor móvil permite dejar pasar a un canal secundario un caudal que sea una fracción variable del canal de alimentación (Figura 4). Los partidores de trampillas están constituidos por una solera y dos muretes con intermedios que forman aberturas de modo que cada una alimenta un canal secundario. Estas aberturas están cerradas por trampillas verticales de madera cuyo número es igual al número de partes que se quiere hacer pasar al canal. Se quitan tantas trampillas como partes se quieren dejar pasar. Este partidor no es de resultados muy precisos, pues no tiene en cuenta la variación de la velocidad ni la contracción.



*Figura 4. Partidor móvil. Fuente: Partidor Proporcional: PROPAR. (p. 2), por Einar S.A.*

### Partidores de vertedero

Cuando el agua pasa por un vertedero el caudal es sensiblemente proporcional a la longitud de la cresta. Pero los vertederos no pueden funcionar sin salto, por ello es preciso crearlo cuando no existe, lo que obligaría a una disminución de la pendiente.



Figura 5. Partidores de vertedero. Fuente: MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA. (p. 1), por Pérez, R.

### Aliviaderos que funcionan como partidores

Dos aliviaderos de la misma forma y las mismas dimensiones colocadas en un canal en condiciones idénticas dan caudales iguales. Si el nivel del agua varía en el canal de alimentación los caudales de los aliviaderos varían paralelamente.



*Figura 6. Aliviadero que funciona como partidor. Fuente: Murcia y el agua: Historia de una pasión (cap. 6), por Vera, N. (2005).*

Por otro lado, Rodríguez, E. (2013) y Domínguez, J, (1999), mencionan los tipos de partidores más usados: marco partidor de barrera, marco partidor de angostamiento, marco partidor de resalto y marco partidor de ranura lateral. A continuación, se describe cada tipo.

### **Marco partidor de barrera**

Se fundamenta principalmente en el diseño de un umbral en el fondo, dicho umbral debe tener ciertas características que permitan la ocurrencia del tirante crítico encima de él, de manera que, en la sección de partición no influyan las condiciones de aguas debajo de los canales derivados, es decir que no cree ningún efecto de contracorriente.

En este tipo de marco partidor no siempre los anchos de los derivados son proporcionales a los derechos de agua, debido simplemente a la altura de la barrera (Figura 7).

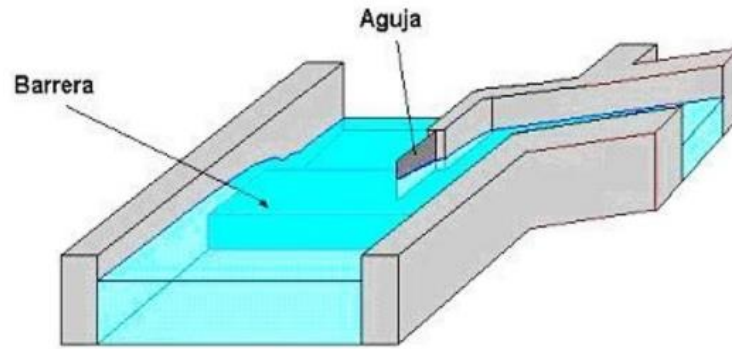


Figura 7. Marco partidor de barrera. Fuente: Obras hidráulicas, partidores. (p. 6), por Rodríguez, E. (2013)

### Marco partidor por angostamiento

El diseño de este tipo de partidor se fundamenta en la selección del ancho de estrechamiento que nos da un flujo crítico, donde las velocidades se igualan y nos permiten efectuar la partición de los caudales, según las necesidades de cada canal.

Como se observa en la Figura 8, el escurrimiento crítico se consigue a través del estrechamiento de la sección.

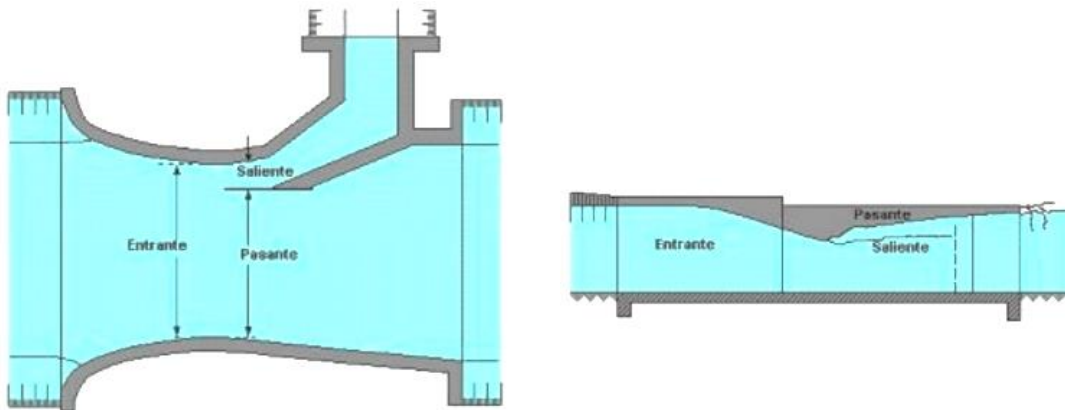
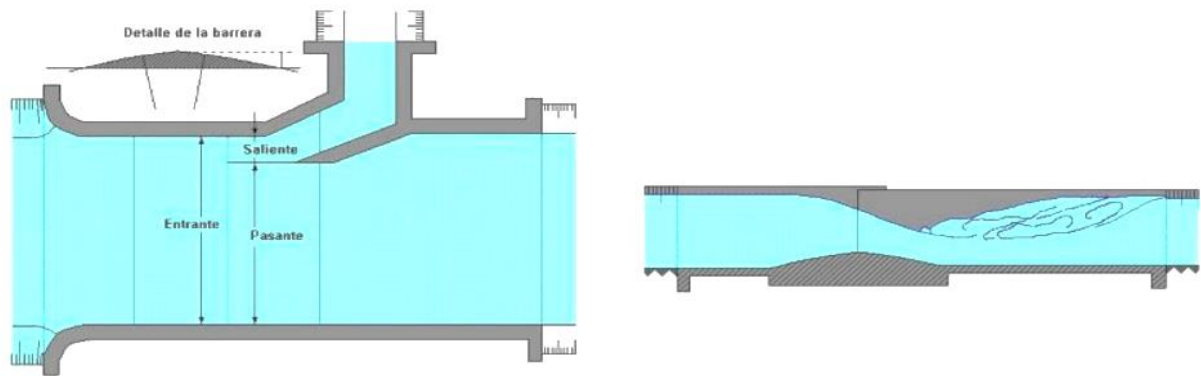


Figura 8. Marco partidor por angostamiento, vista en planta y perfil. Fuente: Obras hidráulicas, partidores. (p. 18), por Rodríguez, E. (2013).

### Marco partidor de resalto

Este tipo de partidor es más perfeccionado que los otros, porque permite anchos proporcionales a los caudales que se quiere derivar, debido a que asegura la igualdad de las condiciones de escurrimiento como el espesor de la lámina líquida para todos los ramales y

principalmente conserva al mismo tiempo una rápida aceleración que iguala las velocidades y aísla la sección de partición de las variaciones aguas abajo. Tiene como característica principal una barrera en sección triangular en la dirección del escurrimiento (Figura 9).



*Figura 9. Marco partidor de resalto visto en planta y perfil. Fuente: Obras hidráulicas, partidores. (p. 19), por Rodríguez, E. (2013).*

### **Marco partidor de ranura lateral**

Un caso especial de partidor constituye el caso de extracción de un derecho relativamente pequeño de otro grande. En tal caso no es conveniente colocar una punta partidora, debido a que con un saliente muy pequeño es probable que a su entrada se depositen basuras, hojas y ramas que obstruyen su funcionamiento. En este caso es conveniente usar el marco de ranura lateral.

Este tipo de marco se dispone como una pared gruesa con entrada redondeada, aguas abajo del partidor lateral se debe instalar una barrera, la cual permite que el marco partidor pueda operar (Figura 10).

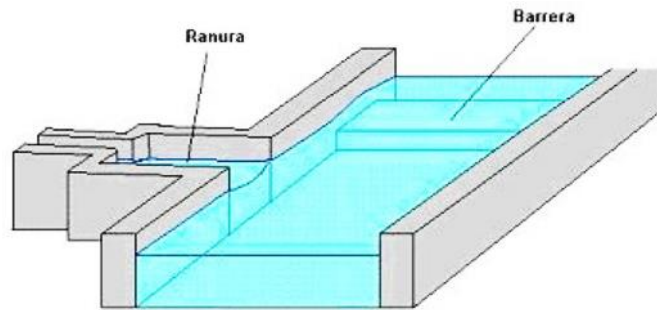


Figura 10. Marco partidor de ranura lateral. Fuente: Obras hidráulicas, partidores. (p. 20), por Rodríguez, E. (2013).

Para determinar la descarga del canal principal de los partidores descritos anteriormente excepto el partidor móvil, se utiliza la siguiente ecuación descrita por Kraatz, (1976):

$$Q = C B_{(t)} \sqrt{2g} H_1^{3/2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- C = Coeficiente que varía entre 0.38 para un extremo agudo y 0.41 para un extremo redondeado (5 – 10 cm de radio).
- $B_t$  = Anchura de la sección de regulación (transversal al eje de la corriente) [m]
- $H_1$  = Carga sobre el umbral [m]

Por otro lado, para determinar la descarga del partidor móvil se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = 1,235 * L * H_1^{1,5} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- L = Radio de la hoja [m]
- $H_1$  = Altura del nivel del agua aguas arriba sobre la coronación [m]



### 5.3. Principios de Hidráulica

Para realizar el diseño un vertedero de cresta larga y un partidor proporcional es necesario entender ciertos conceptos de hidráulica y mecánica de fluidos, los cuales se definirán a continuación.

#### a. Principio de Bernoulli - energía específica

La ecuación de Bernoulli toma su nombre en honor al matemático suizo Daniel Bernoulli, quien desarrolló la ecuación en su libro de texto *hydrodynamic de viribus et motivus fluidorum* publicado en 1738. (Chanson, 2002).

La ecuación de Bernoulli (Ecuación 4), describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Expresa un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado y la energía que posee el fluido la cual permanece constante a lo largo de su recorrido:

$$H = \frac{v^2 \alpha}{2g} + z + \frac{P}{\gamma} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- $v$  = Velocidad media de flujo [m/s]
- $P$  = Presión hidrostática [N/m<sup>2</sup>]
- $g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]
- $\gamma$  = Peso específico del agua [N/m<sup>3</sup>]
- $z$  = Altitud con respecto a un nivel de referencia [m]
- $\alpha$  = Coeficiente de Coriolis

Reemplazando en la Ecuación 4, la presión hidrostática por  $P = \gamma y * \cos(\theta)$ , donde  $\theta$  es el ángulo medido a partir de la pendiente del canal respecto a la horizontal, se obtiene la ecuación de la energía de Bernoulli (Ecuación 5) para canales abiertos:

$$H = \frac{v^2 \alpha}{2g} + z + y * \cos^2(\theta) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- $y$  = Altura de la lámina de agua o tirante [m]

Además, si la pendiente de inclinación es menor a  $6^\circ$  se puede asumir que  $\cos^2(\theta) = 1$  y dado que se considera un flujo paralelo, el coeficiente de Coriolis ( $\alpha$ ) es igual a uno. (Ramírez, 2018).

Así la Ecuación 5 se transforma en:

$$H = \frac{v^2}{2g} + z + y \quad \text{Ecuación 6}$$

Ahora bien, si se toma como nivel de referencia el fondo del canal ( $z = 0$ ), se puede calcular la energía contenida en la sección transversal del flujo, la cual se conoce como energía específica ( $E$ ). Según Rodríguez (2008), la energía específica (Ecuación 7) se define como la cantidad de energía por unidad de peso, es decir, por kilogramo de agua que fluye a través de la sección de canal (p 124).

$$E = y + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 7}$$

La Ecuación 7 también puede reescribirse en función del caudal y el área del canal, así:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

### b. Ecuación de Manning

Es una fórmula empleada para determinar la velocidad (Ecuación 9) o el caudal (Ecuación 10) a través de una sección transversal de un canal.

$$v = \frac{R^{2/3} * S_0^{1/2}}{n} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Q = \frac{AR^{2/3} * S_0^{1/2}}{n}$$

Ecuación 10

Donde:

- R = Radio hidráulico [m]
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning
- $S_0$  = Pendiente de fondo en forma de decimal
- A = Área hidráulica [m<sup>2</sup>]

En las Figura 11 y 12 se ilustran las secciones transversales de canales de forma rectangular y trapezoidal respectivamente; al igual que los elementos geométricos de las mismas.

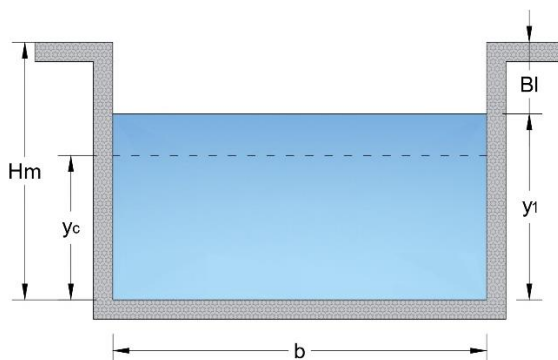


Figura 11. Sección transversal de un canal rectangular. Fuente: Elaboración propia.

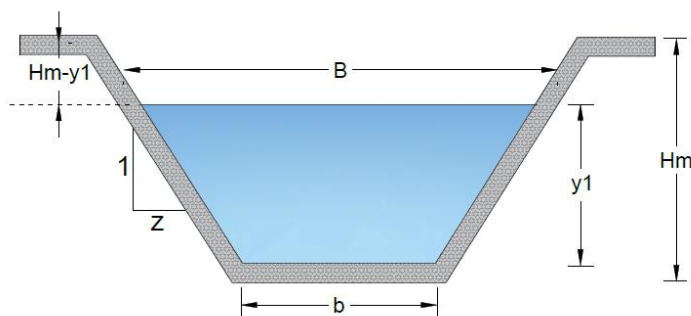


Figura 12. Sección transversal de un canal trapezoidal. Fuente: Elaboración propia.

En la Ecuación 11 y 12 se describe el área y el perímetro mojado para un canal trapezoidal. Cuando el talud es igual a cero ( $z = 0$ ), se obtendrán estas características para un canal rectangular.

$$A = (b + zy)y \quad \text{Ecuación 11}$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

## 6. METODOLOGÍA

El desarrollo de la herramienta computacional para el diseño de las estructuras hidráulicas se llevó a cabo en las siguientes fases:

1. Recopilación y análisis de información
2. Análisis y diseños hidráulicos
3. Desarrollo de la herramienta computacional
4. Verificación de la herramienta implementada

A continuación, se detalla cada fase:

### 6.1. Recopilación y análisis de información

Se realizó una exhaustiva revisión de literatura, consultando en la biblioteca de la Universidad del Valle, libros electrónicos y físicos, notas de clase de hidráulica entre otros, todo lo relacionado a la hidráulica de canales y al diseño del vertedero de cresta larga y partidor proporcional, se analizó y recopiló la información encontrada, extrayendo los datos necesarios y relevantes para el adecuado desarrollo del diseño de las estructuras.

## 6.2. Análisis y diseños hidráulicos

Se identificaron las variables de entrada, las cuales son conocidas y digitadas por el usuario, tanto para los cálculos de parámetros en canales abiertos como para las estructuras, los datos de salida y el proceso para convertir las entradas en los resultados requeridos, por medio de ecuaciones y métodos hallados en la revisión de literatura.

A continuación, se presenta el desarrollo de los diseños hidráulicos del vertedero de cresta larga y partidor proporcional.

### 6.2.1. Diseño del vertedero de cresta larga

Se inicia el diseño hallando los parámetros del canal de aproximación tales como tirante normal, tirante crítico, velocidad, borde libre, número de Froude y energía específica aguas arriba del canal donde se desea instalar la estructura.

En la Tabla 1, se observan los datos de entrada y de salida de dichos parámetros, con sus respectivas nomenclaturas y sistema de medición (SI, sistema internacional de unidades).

*Tabla 1. Datos de entrada y salida para el cálculo de parámetros de canales abiertos.*

Datos de entrada	Datos de salida
Qd = Caudal de diseño [m <sup>3</sup> /s] b = Base del canal [m] z = Talud n = Rugosidad s = Pendiente del canal Hm = Altura de muros [m]	y <sub>1</sub> = Tirante normal [m] y <sub>c</sub> = Tirante crítico [m] V = Velocidad [m] Bl = Borde libre [m] #F = Número de Froude E1 = Energía específica aguas arriba [m·kg/kg]

### Proceso

El cálculo del tirante normal  $y_1$  se realizó por medio de la ecuación de Manning para flujo uniforme, el tirante crítico  $y_c$  se calculó a partir de la condición de flujo crítico, para el cual la cual el número de Froude es igual a 1.

Tomando la Ecuación 10 y despejando a un lado los parámetros geométricos e hidráulicos del canal se obtiene la Ecuación 13, la cual se utiliza para calcular  $y_1$ .

A continuación, se presentan las ecuaciones empleadas para determinar los datos de salida de la Tabla 1:

$$y_1 = \frac{Q_d * n}{s^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$y_c = \left( \frac{\left( \frac{Q_d}{b} \right)^2}{g} \right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 14}$$

para canal rectangular

$$\frac{Q_d}{\sqrt{g}} = \frac{(y_c * b + z * y_c^2)^{3/2}}{(b + 2 * z * y_c)^{1/2}} \quad \text{Ecuación 15}$$

para canal trapezoidal

$$Bl = Hm - y_1 \quad \text{Ecuación 16}$$

$$V = \frac{Q_d}{A} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\#F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \quad \text{Ecuación 18}$$

para canal rectangular  $D = y_1$

Donde:

- $A$  = Área de la sección transversal del canal [m]
- $P$  = Perímetro mojado [m]
- $g$  = valor de gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Ramírez (2018) menciona que, no es posible despejar el tirante crítico directamente de la expresión de canal trapezoidal, pero se puede resolver empleando alguno de los tres siguientes métodos:

1. Método por tanteo
2. Método gráfico
3. Método numérico (Newton- Raphson, bisección, etc.)

Para la resolución del tirante normal y tirante crítico para canal trapezoidal, se usó el método numérico de Newton-Raphson.

Este método es muy conocido para la solución de ecuaciones en una variable, en el que se utiliza la interpretación geométrica de la derivada de una función. (Fuentes, 1998). Además, este método numérico proporciona una solución exacta cuando la tolerancia de error es mucho menor a los errores que se obtienen cuando se utiliza otro método o ecuación. (Guerrero, Arreguín y Moreno, 2005).

Una vez obtenidos los parámetros del canal, se procede con el diseño del vertedero de cresta larga. En la Tabla 2, se presentan los datos de entrada necesarios para los cálculos y los datos de salida obtenidos.

Tabla 2. Datos de entrada y salida para el diseño del vertedero de cresta larga.

Datos de entrada	Datos de salida
$y_1$ , Qd, b, n, s $\Delta H$ = Carga Hidráulica [m] C = Coeficiente de descarga Cota A	$\theta$ = Angulo Hv = Altura del vertedero [m] Lt = Longitud total [m] L1 = Longitud lateral [m] L2 =Extremo de coronación [m] L3 =Longitud L3 [m] T = Ancho de entrada y2 = Tirante final [m] $\Delta Z$ = Desnivel [m] Qv = Caudal del vertedero [m <sup>3</sup> /s] Vv = Velocidad en vertedero [m <sup>3</sup> /s] Cota B Cota C Cota D

### Proceso

Se inicia el diseño asumiendo un valor de carga hidráulica, llamado también decremento. Entre más pequeño sea el decremento, la longitud de la cresta debe ser más grande. Usualmente los decrementos están en el rango (0,05 - 0,10 m), pero ellos dependen de requerimientos de nivel de los reguladores de descarga en las entregas. (ANKUM, 1995). Por ello, se da al usuario el rango de escogencia (0,05 - 0,10 m).

El procedimiento de cálculo que figura a continuación procede del manual “Les ouvrages d’ un petit reseau d’ irrigation”, creado por la Societé Geénérale des Techniques hydro- Agricoles (SOGUETHA) y publicado dentro de la serie “Techniques Rurales en Afrique” por el gobierno de Francia en 1970. (Kraatz, 1976).

De la Figura 13 se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- El extremo de la coronación del vertedero de cresta larga  $L_2$ , se fija en 0,4 m con independencia de la anchura que tenga el canal de fondo.
- El ancho o espesor ( $e$ ) mínimo de las paredes del vertedero debe ser de 0,15 m.



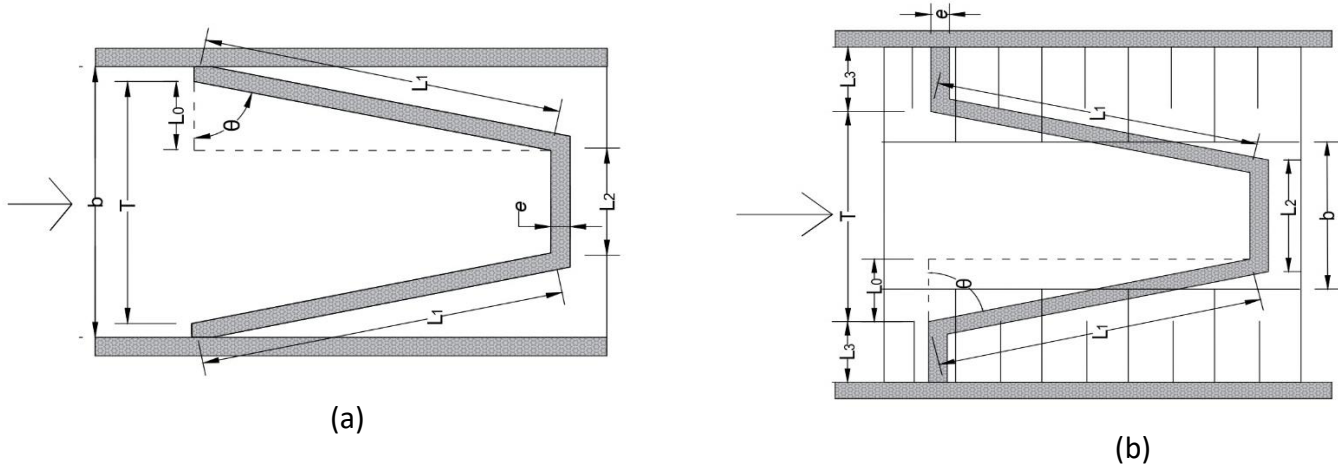


Figura 13. Parámetros vertedero de cresta larga para: (a) canal rectangular (b) canal trapezoidal. Vista en planta. Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el caudal unitario con la ecuación potencial obtenida del Anexo 1, descarga (L/s) por metro de longitud de la coronación, para un coeficiente “m” de 0,36 que corresponde a una coronación redondeada aguas arriba. La ecuación se muestra a continuación:

$$\Delta H \text{ (cm)} = 0,7246 * q^{0,6704} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

- $q$  = Caudal unitario (L/s)

A partir del caudal unitario  $q$ , se calcula la longitud total de la cresta del vertedero  $L_t$  por medio de la siguiente ecuación:

$$L_t = (Qd) / (q * 0,001) \quad \text{Ecuación 20}$$

Ahora, se halla la altura de la cresta del vertedero  $H_v$ , la longitud de entrada al vertedero  $T$ , la longitud lateral del vertedero  $L_1$ , la longitud  $L_3$  y el ángulo  $\theta$  (Figura 13), por medio de las siguientes ecuaciones:

$$Hv = y1 - \Delta H \quad \text{Ecuación 21}$$

$$T = b + 2 * z * Hv \quad \text{Ecuación 22}$$

$$L1 = (Lt - L2)/2 \quad \text{Ecuación 23}$$

$$L3 = (Lt - L2 - 2L1)/2 \quad \text{Ecuación 24}$$

$$\theta = \text{arc cos} (L0/L1) \quad \text{Ecuación 25}$$

Se observa que, cuando el canal es rectangular,  $L3$  es muy pequeño lo cual se considera como  $L3 = 0$  (Figura 13a)

Condiciones de diseño:

- El ángulo del vertedero debe estar entre  $45^\circ$  y  $70^\circ$ . Si el ángulo es inferior a  $45^\circ$ , se aconseja por razones de economía, la utilización de un azud inclinado. Para valores superiores a  $45^\circ$  y hasta  $70^\circ$  es preferible el empleo de un azud pico de pato. (Kraatz, 1976).
- La velocidad del vertedero debe ser menor o igual a 1 m/s.

Restricciones:

- Para canales de sección rectangular, el caudal debe ser mayor e igual a  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  (50 L/s), con base mayor e igual a 0,72 m.
- Para canales trapezoidales, el caudal debe ser mayor e igual a  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$  (30 L/s), con base correspondiente mayor e igual a 0,7 m.

Una vez obtenidos los parámetros geométricos del vertedero, se calcula el caudal, la velocidad de flujo sobre la cresta del vertedero y el tirante final aguas abajo, con las siguientes ecuaciones:

$$Qv = C * Lt * \Delta H^{3/2} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$Vv = Qd/(\Delta H * LT) \quad \text{Ecuación 27}$$

$$\frac{(Qv * n)}{s^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad \text{Ecuación 28}$$

El valor del coeficiente  $C$ , depende de la forma de la coronación del vertedero, en este caso se usará  $C = 1,6$ , el cual corresponde a una coronación ancha con aristas redondeadas horizontal.

Para garantizar una descarga libre, es necesario un desnivel  $\Delta Z$ , solo sí: la energía específica aguas arriba del vertedero  $E1$ , menos la energía específica aguas abajo  $E2$  es menor a la carga hidráulica del vertedero. En este caso, el valor de  $\Delta Z$ , será igual a  $\Delta H$  (Canal hidráulica agrícola, 2016, 3m56m).

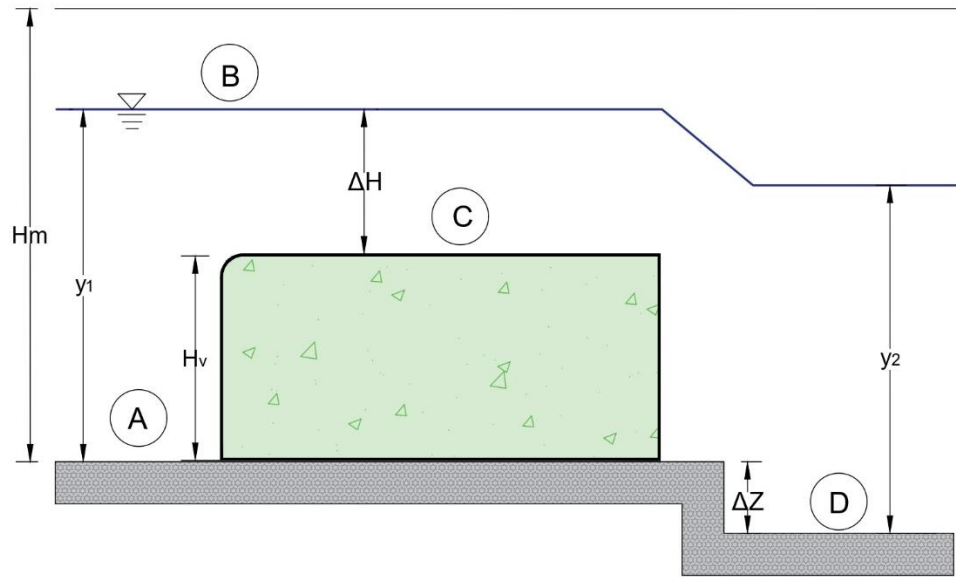
$$E1 - E2 < \Delta H$$

$$\left(y1 + \frac{Qd^2}{2 * g * A^2} - \left(y2 + \frac{Qv^2}{2 * g * A^2}\right) < \Delta H \quad \text{Ecuación 29}$$

Finalmente, se realiza el cuadro de cotas halladas geoméricamente, partiendo de la cota A conocida. (Figura 14).

*Tabla 3. Cuadro de cotas*

<b>Cuadro de cotas</b>	
COTA A	Valor asignado por el usuario
COTA B	$Cota A + Hv + \Delta H$
COTA C	$Cota A + Hv$
COTA D	$Cota A - \Delta Z$



*Figura 14. Parámetros y cotas del vertedero de cresta larga, vista de perfil. Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 15 se presenta el diagrama de flujo para el diseño del vertedero de cresta larga, donde se representa gráficamente los pasos a seguir para realizar el proceso descrito anteriormente.

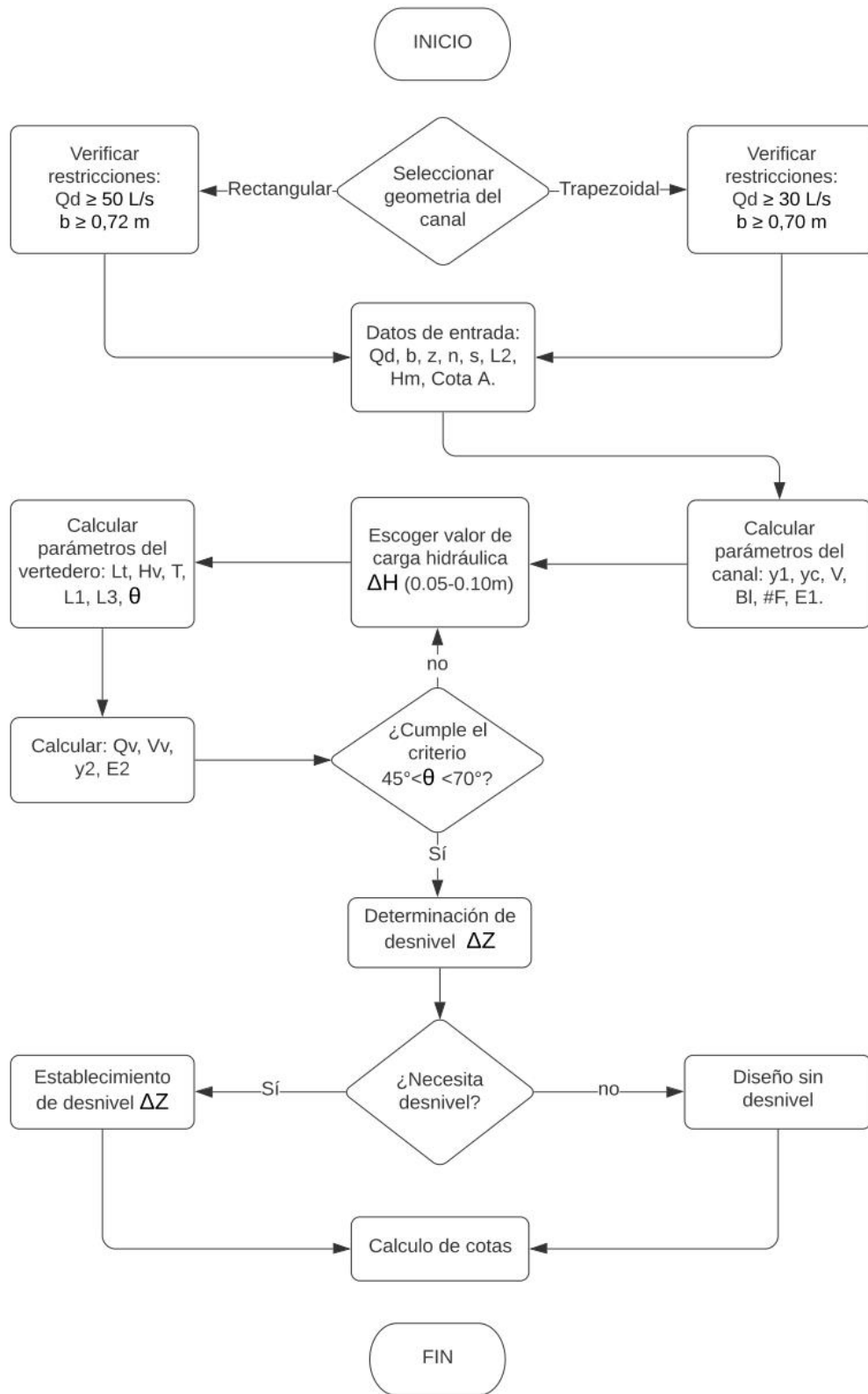


Figura 15. Diagrama de flujo para el diseño del vertedero de cresta larga. Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2. Diseño Partidor proporcional fijo

Se inicia el diseño determinando los parámetros del canal entrante ( $C_e$ ) según su sección transversal, entre estos parámetros se encuentran la velocidad, la energía específica, el tirante crítico, la energía crítica y el número de Froude. En la Tabla 4 se observan los datos de entrada necesarios para determinar dichos parámetros.

Tabla 4. Datos de entrada y salida para el canal entrante.

Datos de entrada	Datos de salida
$Q_e$ = Caudal entrante [m <sup>3</sup> /s] $y$ = Tirante [m] $b$ = Base del canal [m] $z$ = Talud $n$ = Rugosidad $s$ = pendiente del canal Cota A [m] *Ángulo de transición [°]	$y_c$ = Tirante crítico [m] $V$ = Velocidad [m] #F = Número de Froude $E$ = Energía específica [m] $E_{crt}$ = Energía crítica [m] * $y_p$ = Tirante partidor [m] * $L_t$ = Longitud de transición [m]

\*Estos datos solo se solicitan y se determinan cuando la sección transversal del canal es trapezoidal.

#### Proceso

Para determinar el tirante crítico, la velocidad y el número de Froude se utilizan las ecuaciones descritas en el índice 7.2.1 (Ecuación 14, 15 17 y 18). Por otro lado, para determinar la energía específica se utiliza la Ecuación 8.

Para los datos de salida restantes se emplean las siguientes ecuaciones:

$$E_{crt} = \left(\frac{3}{2}\right)y_c \quad \text{Ecuación 30}$$

Por otro lado, la estructura del partidor está compuesta por un vertedero de cresta ancha y una lámina de acero, la cual debe tener un espesor de 6 mm. Estos componentes deben de ir ubicados en un canal rectangular, para el caso en que se presente un canal trapezoidal se debe

determinar la longitud de la transición a partir de un ángulo  $\theta$  dado, para esto se emplea la Ecuación 31, tomada de Villón (2003).

Posteriormente, se debe determinar el tirante formado después de la transición, para esto se aplica el principio de continuidad antes y después de la transición, lo que resulta en una ecuación cúbica (ver Ecuación 32), de esta ecuación se obtendrán tres raíces de las cuales se elige la mayor, ya que es la que garantiza que se presente flujo subcrítico.

$$L_t = \left( \frac{T_1 - T_2}{2 * \tan \theta} \right) \quad \text{Ecuación 31}$$

$$y_p = y_2^3 - E_1 * y_2^2 + \frac{Q^2}{2 * g * b_2^2} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

- $y_2$  es la solución correspondiente a  $y_p$
- $T_1$  = Espejo de agua del canal [m] (del canal trapezoidal)
- $T_2$  = Espejo de agua del canal [m] (del canal rectangular)
- $\theta$  = Ángulo entre 12.5° - 22.5°

Posteriormente se calculan los parámetros de los dos canales restantes. En la Tabla 5 se observan los datos de entrada necesarios para realizar los cálculos en el canal pasante (Cp), canal saliente (Cs) y en el centro de la estructura donde se ubicará el vertedero antes de llegar a la división del caudal entrante (Qe).

Tabla 5. Datos de entrada y salida para el diseño del partidor.

Datos de entrada	Datos de salida
$Q_p$ = Caudal pasante [ $m^3/s$ ] $y_p$ = Tirante [m] $b_p$ = Base del canal [m] $z_p$ = Talud Cota B [m]	$*L_{tp}$ = Longitud transición pasante [m] $*L_{ts}$ = Longitud transición saliente [m] $\Delta v$ = Altura del vertedero [m] $H_1$ = Carga hidráulica en el vertedero [m] $e$ = Ancho o espesor del vertedero [m] $L_v$ = Longitud máxima del vertedero [m]
$Q_s$ = Caudal pasante [ $m^3/s$ ] $y_s$ = Tirante [m] $b_s$ = Base del canal [m] $z_s$ = Talud Cota C [m]	$b_2$ = Ancho para $Q_p$ [m] $b_3$ = Ancho para $Q_s$ [m] $\Delta z$ = Profundidad del colchón [m] $L_c$ = Longitud del colchón [m] $H_p$ = Carga hidráulica en el Cp [m] $H_s$ = Carga hidráulica en el Cs [m]

\* Estos datos solo se determinan cuando la sección transversal del canal es trapezoidal.

En la Figura 16, se observan las tres partes del partidor (Ce, Cp Cs), y algunos de los parámetros de entrada requeridos para determinar los parámetros de salida.

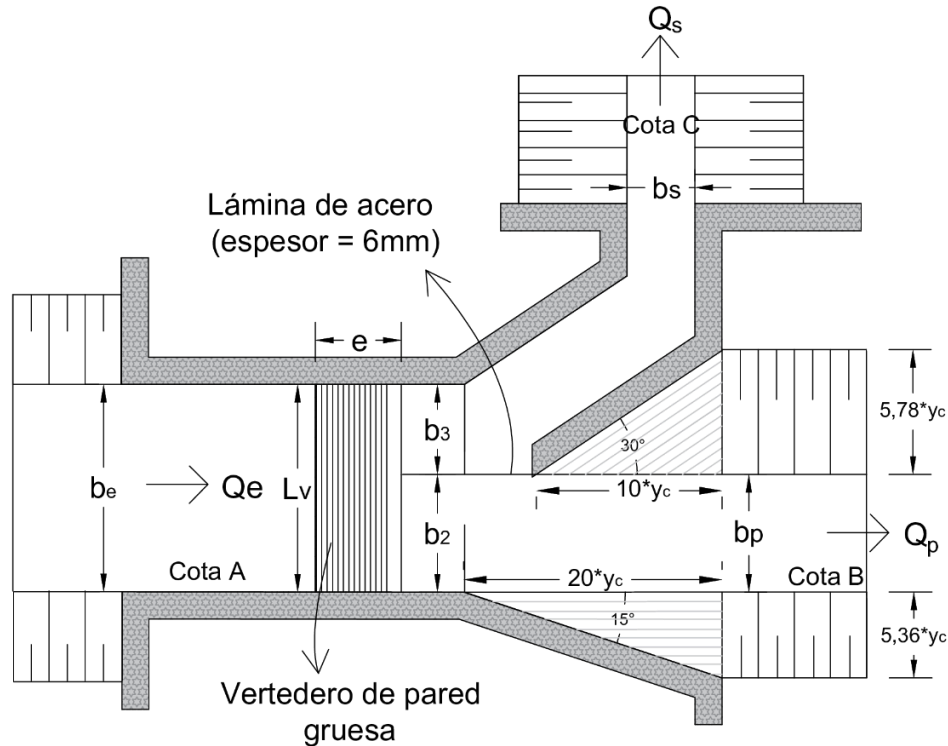


Figura 16. Parámetros del partidor proporcional fijo, vista en planta. Fuente: Elaboración propia.



### Proceso

Los datos de longitud de transición del canal pasante y el canal saliente, también se determinan con la Ecuación 31 y se toma el mismo ángulo  $\theta$  que se tomo para el canal entrante.

A continuación, se presentan todas las ecuaciones empleadas para determinar los parámetros de la Tabla 5, obtenidas del libro de la FAO (Kraatz, 1976), Domínguez (1999) y DEHIDRO (2017):

$$\Delta_v = E - E_{crt} \quad \text{Ecuación 33}$$

$$H_1 = 1,5 * y_c \quad \text{Ecuación 34}$$

$$e = 3,5 * y_c \quad \text{Ecuación 35}$$

$$L_v = 10 * y_c \quad \text{Ecuación 36}$$

$$b_2 = b_3 = \frac{Q}{Q_e} * b \quad \text{Ecuación 37}$$

$$H_p = H_s = E \quad \text{Ecuación 38}$$

En la Ecuación 37 el caudal  $Q$  se reemplaza por el caudal que se desea repartir, es decir,  $Q_p$  o  $Q_s$  según corresponda. Por otro lado, la Ecuación 38, se aplica en ambas salidas del caudal derivado, es decir, con los datos de los canales  $C_p$  y el  $C_s$ .

Según DEHIDRO (2017), para el diseño de un colchón amortiguador después de una caída, que para este caso se presenta después de un vertedero, si el vertedero tiene una  $H_v > 30cm$ , se debe calcular la profundidad (Ecuación 39) y la longitud del colchón amortiguador (Ecuación 45).

A continuación, se presentan las ecuaciones empleadas para determinar estos dos parámetros, estas se obtuvieron de Villón (2003):

$$\Delta_z = \frac{H_v}{3} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$D = \frac{Q^2}{b^2 * g * H_v} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$L_D = 4,30 * H_v * D^{0,27} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$y_1 = 0,54 * H_v * D^{0,425} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$y_2 = 1,66 * H_v * D^{0,27} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$L = 5 * (y_2 - y_1) \quad \text{Ecuación 44}$$

$$L_c = L_D + L \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

- $D$  = Número de caída [adimensional]
- $y_1$  = Tirante después de la caída [m]
- $y_2$  = Tirante después del salto [m]

Por otro lado, se debe asegurar flujo libre después de la división del caudal, según DEHIDRO (2017). Cuando la  $E$  del  $C_e$  es mayor a la  $E$  en los canales  $C_p$  y  $C_s$  se presenta esta condición, además, existe la siguiente condición para flujo libre:

$$\frac{H_1}{H_p \text{ ó } H_s} < 0,8 \quad \text{Ecuación 46}$$

Restricciones de diseño:

- En caso de que no se cumpla la Ecuación 46, se debe modificar los parámetros de entrada de los canales bien sea el tirante, solera del canal o los caudales a derivar.
- Esta estructura se diseña para caudales de entrada de hasta 0,5 m<sup>3</sup>/s
- En la cresta del vertedero se debe asegurar flujo critico ( $\#F = 1$ ), para que no afecte las condiciones de la derivación del caudal.

- El espesor de los muros del canal debe estar entre 15 -25 cm, para canales revestidos en hormigón (ver Anexo 2), mientras que para el espesor del muro divisor este debe ser de 10 cm. (Kraatz, 1976).
- El espesor del suelo debe estar entre 10 – 15 cm, para canales revestidos en hormigón (ver Anexo 3), mientras que la solera del canal debe tener un espesor de dos veces el espesor del suelo. (Kraatz, 1976).
- El espesor de la lámina de acero debe ser de 6mm. (Kraatz, 1976).

Finalmente, en la Tabla 6 se observan las cotas calculadas a partir de las cotas A, B y C.

Tabla 6. Cotas para el partidor proporcional

Cuadro de cotas	
COTA A, B, C	Valores asignados por el usuario
COTA 1	$Cota A + \Delta_v + H_1$
COTA 2	$Cota A + \Delta_v + y_c$
COTA 3	$Cota A - \Delta_z$
COTA 4	$Cota B + H_p$
COTA 5	$Cota C - H_s$

En la Figura 17, se observan los parámetros de entrada faltantes para realizar los cálculos ya mencionados.

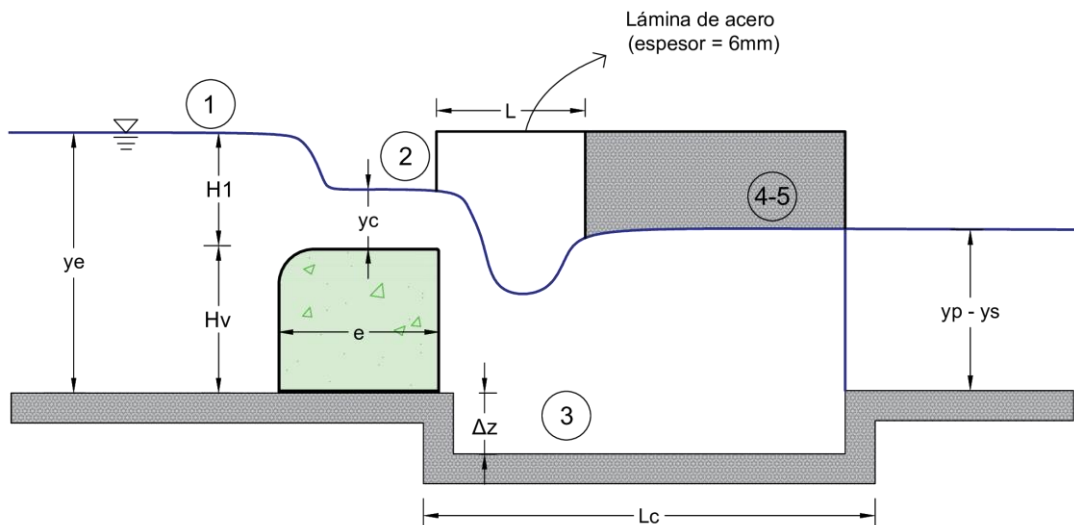


Figura 17. Parámetros del partidor proporcional, vista en perfil. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18, se presenta el diagrama de flujo para el diseño del partidor proporcional, donde se representa gráficamente cada paso a seguir para realizar el proceso descrito anteriormente.

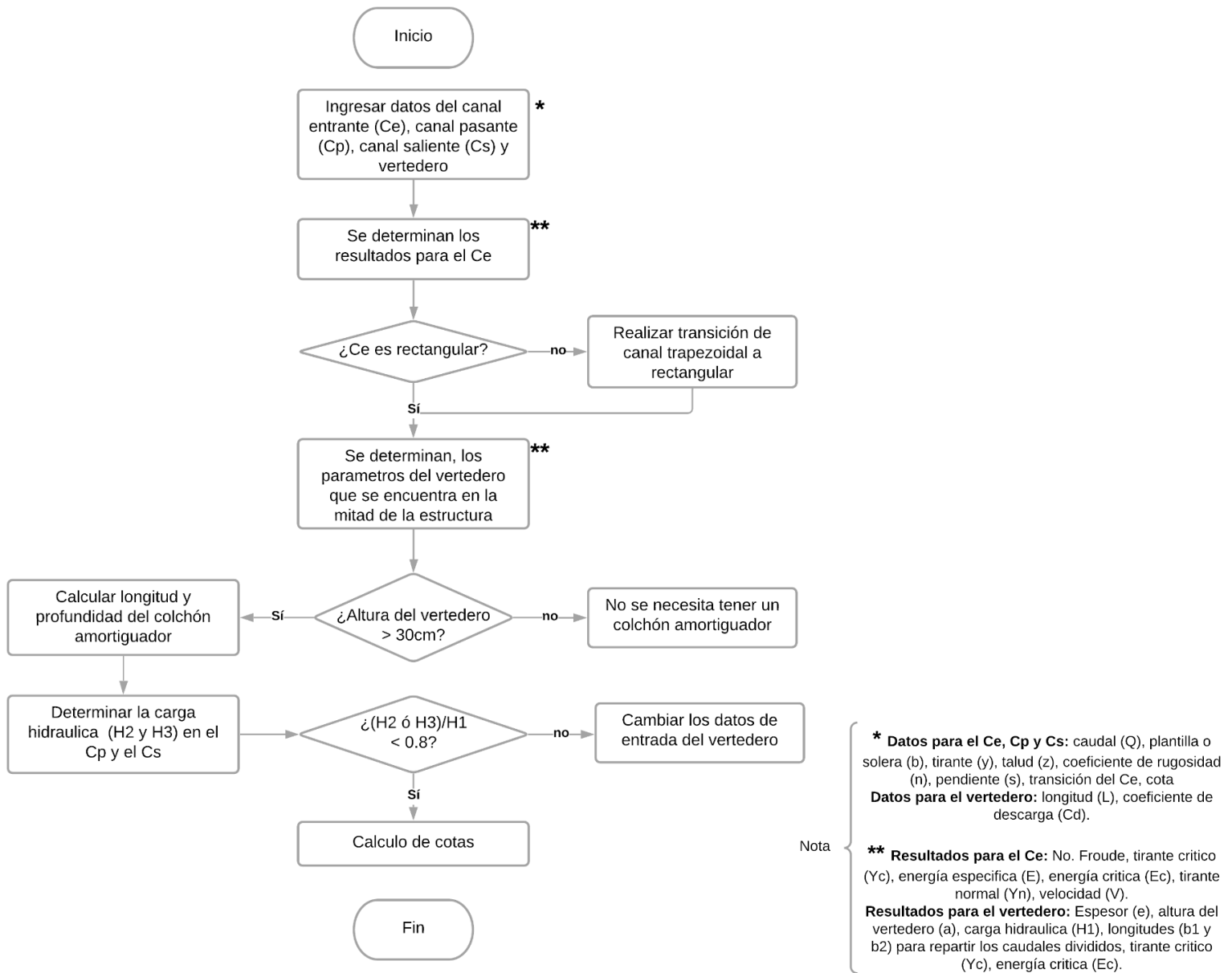


Figura 18. Diagrama de flujo para el diseño del partidor proporcional. Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.3. Diseño partidor proporcional móvil

Este diseño sigue el mismo procedimiento que se desarrolló en el ítem 6.2.2, adicionalmente se determina un ángulo de inclinación  $\alpha$  de la lámina de acero (ver Ecuación 47). Esta lámina debe de ir ubicada en la mitad del ancho del canal como se muestra en la Figura 19.

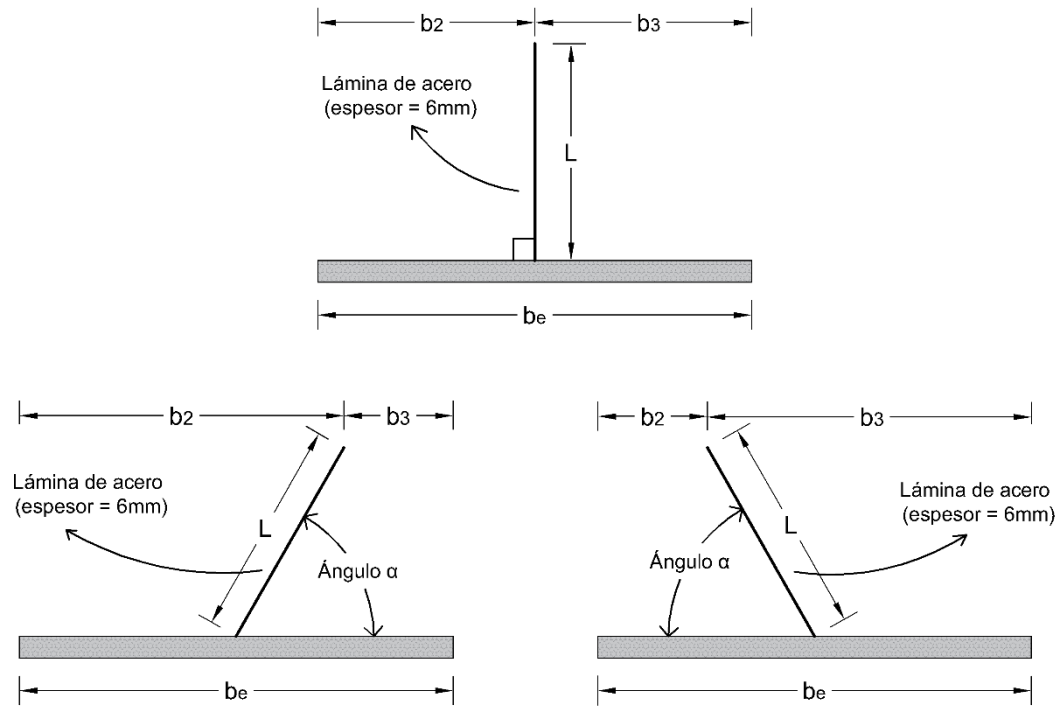
$$\alpha = 90^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{c}{L}\right) \quad \text{Ecuación 47}$$

$$L = 10 * y_c \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

- $c$  = Longitud del cateto opuesto [m]
- $L$  = Longitud de la lámina de acero [m]

En la Figura 19, se observan las tres posibles inclinaciones que pueden existir en el diseño de la estructura. Según esta figura si el mayor caudal se deriva para el  $C_p$  el ángulo debe de tomarse con respecto a la horizontal del lado derecho y en el caso contrario el ángulo se toma con respecto a la horizontal izquierda, en el tercer caso se presentaría un ángulo de  $90^\circ$  en el que la lámina no presentaría inclinación.



*Figura 19. Inclinación de la lámina de división del caudal para el partidor proporcional móvil.  
Fuente: Elaboración propia.*

Para determinar la carga sobre el vertedero ( $H_1$ ) se despeja la Ecuación 3 y se obtiene lo siguiente:

$$H_1 = \left( \frac{Q}{1,235 * L} \right)^{2/3} \quad \text{Ecuación 49}$$

Por último, este partidor está compuesto por una platina la cual se ubica perpendicularmente a la dirección del flujo, esta permite realizar el movimiento de la lámina de acero al ángulo deseado, a su vez esta tiene un tornillo que permite dejar fija la lámina cuando está ubicada en dicho ángulo.

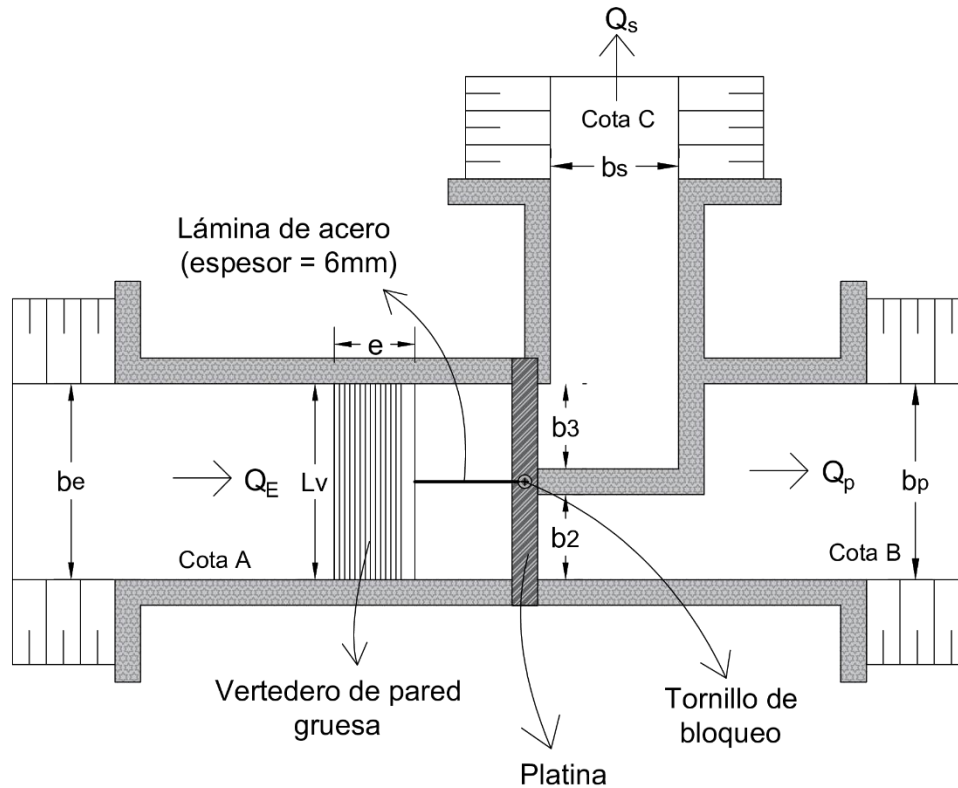


Figura 20. Parámetros del partidor proporcional móvil, vista en planta. Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que, este partidor solamente puede aplicarse para pequeños caudales debido a que la lámina orientable tiene limitaciones estructurales para grandes caudales, según Kraatz (1976) estos caudales varían entre  $0,054 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $0,625 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 6.3. Desarrollo de la herramienta computacional

Para llevar a cabo el desarrollo de la herramienta computacional, se inició por tener claro los cálculos que se iban a realizar según el tipo de estructura, para una vez bien organizados, realizar la programación de estos mediante funciones en el lenguaje seleccionado. Se elaboraron las pruebas necesarias, para comprobar que los cálculos se realizaran de forma correcta y posteriormente se implementó la primera versión de la interfaz. Una vez finalizada e integrada con los cálculos, se encontró que, debido a las limitaciones y dificultades de uso presentadas durante el desarrollo de la versión de escritorio, era necesaria la realización de una interfaz más

amigable y sencilla de utilizar por el usuario final. Entre las diferentes opciones se eligió la realización de una aplicación web, la cual se desarrolló con apoyo de un estudiante de ingeniería de sistemas.

A continuación, se muestran todos los lineamientos que se siguieron para obtener la herramienta computacional completamente funcional.

### **6.3.1. Diseño del algoritmo en pseudocódigo**

Una vez obtenido los diseños, se transcribieron en un lenguaje simplificado que no corresponde a ningún lenguaje de programación (pseudocódigo), esto para representar de forma más sencilla la estructura de los diseños y así facilitar el trabajo al momento de evaluar los errores que puedan presentarse durante la codificación.

### **6.3.2. Elección y codificación del algoritmo con lenguaje de programación**

Para realizar la codificación se escogió el lenguaje de programación llamado Python debido a que según González (2011), su sintaxis es simple, clara y sencilla; el tipado dinámico, el gestor de memoria, la gran cantidad de librerías disponibles y la potencia del lenguaje, entre otros, hacen que desarrollar una aplicación en Python sea sencillo y muy rápido. Para ello, se usó el editor de código fuente de Microsoft llamado Visual Studio Code, este editor tiene la ventaja de autocompletar y corregir errores en el código a medida que se va escribiendo, lo cual permite acelerar un poco el proceso de programación.

El desarrollo la aplicación que permitió el cálculo de los parámetros de las estructuras hidráulicas, se inició a partir del algoritmo en pseudocódigo. Iniciando por el desarrollo de las funciones para el vertedero de cresta larga, esta estructura cuenta con seis funciones de las cuales: dos sirven para determinar los parámetros iniciales del canal principal según su sección transversal, una de ellas sirve para determinar los parámetros para diseñar el vertedero, las otras dos sirven para determinar los parámetros que se encuentran después del vertedero, y por último una función para determinar las cotas en cada una de las secciones de la estructura y el canal.



Por otro lado, para el desarrollo del diseño del partidador proporcional, se realizaron dos funciones: una para el partidador proporcional fijo y otra para el partidador proporcional móvil.

En el primer caso, la función determina los parámetros iniciales del canal principal en donde se llevará a cabo la construcción de la estructura, evaluando el tipo de sección transversal de dicho canal y determinando los parámetros de salida. Seguidamente se calculan: los parámetros sobre el vertedero de cresta ancha, ubicado en la mitad de la estructura, los parámetros que se presentan justo donde se hace la división del caudal, los parámetros que hay en cada canal donde se dividió el caudal principal y finalmente las cotas en cada una de las secciones de la estructura y los canales.

Para la segunda función, se realiza el mismo proceso que en el partidador proporcional fijo, pero aplicando diferentes métodos para el cálculo de algunos parámetros y determinando un parámetro adicional, el cual es el ángulo de inclinación que se debe aplicar para dividir el caudal principal en dos.

### **6.3.3. Diseño y desarrollo de la aplicación de escritorio**

Una aplicación de escritorio es aquella que solo se ejecutará en el computador o sistema de almacenamiento (USB) en el que se encuentre instalado el programa, esto limita un poco su uso, ya que en algunas ocasiones se necesita de softwares externos para su correcto funcionamiento o se requiere que el computador cumpla con una serie de características (memoria, procesador, memoria, etc.) para que se pueda ejecutar el programa, sin embargo, presenta la ventaja de que funciona sin necesidad de tener conexión a internet.

Para permitir la interacción del usuario con el programa y así diseñar las estructuras hidráulicas, se realizó una interfaz gráfica haciendo uso también del lenguaje Python, por medio de una librería llamada *Tkinter*, la cual provee las herramientas para desarrollar estas interfaces para aplicaciones de escritorio.

La estructura de la aplicación de escritorio consta de tres módulos independientes para facilitar su desarrollo. El módulo de los cálculos del vertedero de cresta larga, el módulo de los cálculos del partidador proporcional y el módulo de la interfaz. El módulo de la interfaz cuenta con cuatro funciones, de las cuales dos son para cada tipo de estructura. Otra función define y

organiza en una ventana los parámetros de entrada y salida, y la última realiza la integración de los otros módulos con este.

#### **6.3.4. Diseño del aplicativo web**

Debido a que la aplicación de escritorio presenta ciertas limitaciones a la hora de presentar y validar la información, así como de almacenarla, se decidió que era necesario desarrollar un nuevo aplicativo más completo y sencillo de utilizar.

Para el desarrollo de éste, lo primero que se realizó, fue recibir la asesoría del estudiante de ingeniería de sistemas, para decidir qué tipo de aplicación se debería desarrollar, que pudiera suplir las deficiencias de la aplicación de escritorio. Se analizaron las opciones de realizar una aplicación móvil o una aplicación web, decidiéndose finalmente por la última opción, debido a que su costo de desarrollo sería menor y a que esta opción se podría utilizar sin inconvenientes en celulares.

Un aplicativo web permite al usuario ingresar a él por medio de cualquier dispositivo que tenga conexión a internet por medio de un navegador web, como Chrome. De esta forma el aplicativo no ocupa espacio en la memoria del computador y así disminuyan los requerimientos para su correcto funcionamiento. La gran ventaja de este tipo de aplicativos es que reduce los problemas técnicos que puedan presentarse, además que siempre están actualizadas con la última versión desarrollada.

Para el desarrollo del aplicativo se siguieron las siguientes etapas:

- Diseño, en la cual se concretaron los requerimientos funcionales que se necesitaban del aplicativo como, el cálculo de los resultados, las validaciones de estos, el almacenamiento de datos y el control de usuarios.
- Prototipado, en la cual se definió la estructura que se tendría dentro del aplicativo, es decir, la forma visual en la que se presentarían cada uno de los requerimientos definidos en el diseño.

- Desarrollo, en la cual se encuentra la codificación que se realizó para implementar el diseño y el prototipado y presentarla al usuario. Esta fase estuvo a cargo del estudiante de ingeniería de sistemas.

La estructura de las aplicaciones web se divide (i) en backend, la cual realiza la conexión y manejo de la base de datos y que se realizó utilizando el lenguaje de programación Python mediante la librería Flask y (ii) en frontend, que maneja toda la lógica de la interfaz y se desarrolló utilizando HTML5, CSS3 y JavaScript mediante el framework Bootstrap.

Dado que las funciones en Python que realizan los cálculos de las estructuras se desarrollaron de módulos independientes, se integraron en la nueva aplicación sin necesidad de implementarse nuevamente.

#### **6.4. Verificación de la herramienta implementada**

Para comprobar el correcto funcionamiento tanto del aplicativo web como el de escritorio se realizaron pruebas, utilizando datos reales registrados en la literatura y verificando que este cumpliera con los criterios de salida esperados tanto para el vertedero de cresta larga como para el partidador proporcional. En el siguiente ítem (RESULTADOS), se exponen algunos ejemplos con los datos verificados.

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. Generalidades**

Hidra VP es una herramienta computacional, desarrollada tanto en una aplicación para escritorio como en un aplicativo web, de acceso libre y sin costo la cual permite el diseño de dos estructuras hidráulicas: el vertedero de cresta larga o pico de pato y el partidador proporcional fijo o móvil.

La aplicación de escritorio consta de dos ventanas: la primera es la ventana de selección de estructura sobre la que se requiere hacer el cálculo y la segunda contiene los datos requeridos

para hacer el diseño del vertedero de cresta larga o del partidor proporcional, para ambas estructuras se presentan sus esquemas representativos, facilitando así la interpretación de los resultados. Para esta aplicación se proporciona un manual de usuario, en donde se mostrará la instalación y uso del programa de forma correcta.

Por otro lado, el aplicativo web consta de tres ventanas: la primera es la de ventana de ingreso, la segunda contiene un menú con las opciones de diseño y un historial que permite visualizar los antecedentes sobre los diseños que ha realizado el usuario y la última contiene los datos requeridos para realizar el diseño de las estructuras mencionadas, cada estructura contiene sus respectivos esquemas los cuales facilitan la interpretación de resultados.

Se dispone de un manual de usuario el cual explica de forma detallada y sencilla el uso del aplicativo web, sus componentes, las opciones de ingreso a la plataforma y la forma adecuada de insertar los datos de entrada para un diseño óptimo de las estructuras. A su vez, expone las ecuaciones usadas en Hidra VP para el desarrollo de los diseños.

El nombre Hidra VP hace referencia a Hidra= Hidráulica y VP = Vertedero de cresta larga y Partidor proporcional.

## **7.2. Descripción detallada de la aplicación de escritorio**

Para obtener el diseño hidráulico del vertedero de cresta larga, el usuario debe contar con los datos de entrada del canal tales como caudal, base o plantilla, rugosidad, pendiente y altura de muro; mientras que, para el diseño del partidor proporcional se debe contar con datos de caudal principal, caudales a derivarse, tirantes, bases, rugosidad, pendiente, talud, tipo de transición y cotas.

### **7.2.1. Ventana inicial**

En esta ventana se presentan las dos estructuras hidráulicas que se pueden diseñar, el usuario elige el diseño que desea, dando clic en el botón con el nombre de la estructura.



Figura 21. Ventana inicial de la aplicación de escritorio. Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.2. Diseño hidráulico del vertedero de cresta larga o pico de pato

Si el usuario selecciona la estructura “vertedero pico de pato”, aparecerá la ventana donde se deben ingresar todos los datos de entrada para este diseño. En la Figura 22, se observan varios campos en los que se divide la ventana. Desde el inicio del diseño se debe especificar qué tipo de sección transversal presenta el canal sobre el que se va a construir el vertedero (1), luego se observa un campo de datos de entrada (2) y resultados (3), los cuales cuentan con una nomenclatura apropiada seguido de su sistema de medidas. Al final de la ventana se observa una serie de condiciones de diseño que se deben cumplir (4).

Diseño vertedero pico de pato

**SECCIÓN TRANSVERSAL** 1

Rectangular  Trapezoidal

**DATOS DE ENTRADA** 2

Caudal de diseño [Qd, m <sup>3</sup> /s]	0.0
Base del canal [b, m]	0.0
Talud [z]	0.0
Rugosidad [n]	0.0
Pendiente [s]	0.0
Altura muros [Hm, m]	0.0

Cota A: 0.0  
Carga Hidráulica [ΔH, 0.05-0.10m]: 0.0

Calcular

**ESQUEMA**

**SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL**

**RESULTADOS** 3

Tirante normal [y1, m]	0.0
Tirante crítico [yc, m]	0.0
* Velocidad [V, m/s]	0.0
Borde libre [Bl, m]	0.0
Número de froude [F]	0.0
Energía Especifica [E1] [m·kg/kg]	0.0
* Ángulo [θ]	0.0
Altura vertedero [Hv, m]	0.0
Longitud total [Lt, m]	0.0
Longitud 1 [L1, m]	0.0
Longitud 2 [L2, m]	0.0
Longitud 3 [L3, m]	0.0
Ancho de entrada [T, m]	0.0
Tirante final [y2, m]	0.0
Desnivel [ΔZ, m]	0.0
Caudal [Qv, m <sup>3</sup> /s]	0.0
Velocidad [Vv, m/s]	0.0
Cota A	0.0
Cota B	0.0
Cota C	0.0
Cota D	0.0

**\* Condiciones de diseño:**  
V ≤ 1.0 m/s  
45° < θ < 70°

En caso de no cumplirse, verificar relación entre Qd y b, y/o modificar ΔH

4

**ESQUEMAS**

**VERTEDERO PICO DE PATO VISTA PLANTA**

**VERTEDERO PICO DE PATO VISTA PERFIL**

Figura 22. Ventana del diseño hidráulico del vertedero de cresta larga o pico de pato. Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la sección transversal del canal y luego de haber insertado los datos de entrada, se da clic en el botón calcular y se obtiene inmediatamente los resultados para este diseño, en la parte derecha de la Figura 22 se observa que aparecen los esquemas del vertedero junto con la nomenclatura utilizada para diseñar la estructura.

En la Figura 23 se presenta un ejemplo de diseño para una canal rectangular. Tener en cuenta, que siempre se deben de verificar las condiciones de diseño para la velocidad  $V$  y el ángulo  $\theta$ .

**SECCIÓN TRANSVERSAL**

Rectangular     Trapezoidal

---

**DATOS DE ENTRADA**

Caudal de diseño [Qd, m <sup>3</sup> /s]	0.3
Base del canal [b, m]	2.5
Talud [z]	0.0
Rugosidad [n]	0.013
Pendiente [s]	0.001
Altura muros [Hm, m]	1

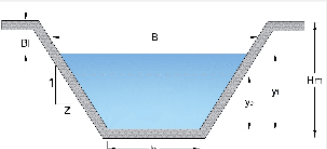
Cota A

Carga Hidráulica   
[ΔH, 0.05-0.10m]

**Calcular**

**ESQUEMA**

**SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL**



**RESULTADOS**

Tirante normal [y1, m]	0.1731
Tirante crítico [yc, m]	0.1136
* Velocidad [V, m/s]	0.6930
Borde libre [Bl, m]	0.8268
Número de froude [F]	0.5317
Energía Específica [E1]	0.1976
[m-kg/kg]	

---

* Ángulo [θ]	67.895
Altura vertedero[Hv, m]	0.073
Longitud total [Lt, m]	5.981
Longitud 1 [L1, m]	2.79
Longitud 2 [L2, m]	0.4
Longitud 3 [L3, m]	0.0
Ancho de entrada[T, m]	2.5
Tirante final [y2, m]	0.174
Desnivel [ΔZ, m]	0.1
Caudal [Qv, m <sup>3</sup> /s]	0.303
Velocidad [Vv, m/s]	0.502
Cota A	1.0
Cota B	1.173
Cota C	1.073
Cota D	0.9

**Condiciones de diseño:**

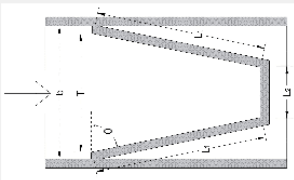
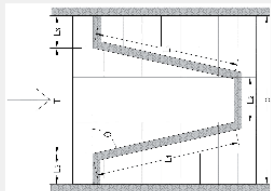
**V ≤ 1.0 m/s**

**45° < θ < 70°**

En caso de no cumplirse, verificar relación entre Qd y b, y/o modificar ΔH

**ESQUEMAS**

**VERTEDERO PICO DE PATO VISTA PLANTA**

sección rectangular      sección trapezoidal

**VERTEDERO PICO DE PATO VISTA PERFIL**

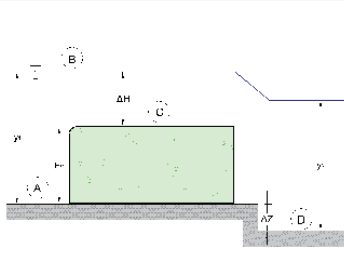


Figura 23. Ejemplo de diseño del vertedero de cresta larga o pico de pato. Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3. Diseño hidráulico partidor proporcional

Si el usuario selecciona la estructura “partidor proporcional” en la ventana inicial, aparece la ventana donde se deben ingresar todos los datos de entrada para este diseño. En la Figura 24, se observan varios campos en los que se divide la ventana. Desde el inicio del diseño se debe especificar qué tipo de sección transversal presenta el canal sobre el que se va a construir el partidor de caudales (1), además se debe escoger un tipo de partidor (2). Luego se observan diferentes campos de datos de entrada (3) y resultados (4), los cuales cuentan con una nomenclatura apropiada seguido de su sistema de medidas. Al lado derecho de la figura se observa una serie de condiciones de diseño que se deben cumplir (5).

Diseño partidor proporcional

1

2

SECCIÓN TRANSVERSAL

TIPO DE PARTIDOR

Rectangular

Trapezooidal

Fijo

Móvil

3

DATOS CANAL ENTRANTE

Caudal entrante [Qe, m <sup>3</sup> /s]	0.0
Tirante [y, m]	0.0
Base del canal [b, m]	0.0
Talud [z]	0.0
Longitud vertedero [Lv, m]	0.0
Ángulo de transición	0.0
Rugosidad [n]	0.0
Pendiente [s]	0.0
Cota A	0.0

3

DATOS CANAL PASANTE

Caudal [Qp, m <sup>3</sup> /s]	0.0
Tirante [yp, m]	0.0
Base del canal [bp, m]	0.0
Talud [zp]	0.0
Cota B	0.0

3

DATOS CANAL SALIENTE

Caudal [Qs, m <sup>3</sup> /s]	0.0
Tirante [ys, m]	0.0
Base del canal [bs, m]	0.0
Talud [zs]	0.0
Cota C	0.0

RESULTADOS CANAL ENTRANTE TRAPEZOIDAL

Velocidad [V, m/s]	0.0
Energía específica [E, m]	0.0
Tirante crítico [yc, m]	0.0
Energía crítica [Ecrit, m]	0.0
Tirante partidor [yp, m]	0.0
Longitud transición [Lt, m]	0.0
Longitud transición pasante [Ltp, m]	0.0
Longitud transición saliente [Lts, m]	0.0

RESULTADOS PARTIDOR

Ángulo de inclinación [°]	0.0
Altura vertedero [Hv, m]	0.0
Carga hidráulica [Hcrt, m]	0.0
Ancho vertedero [Wv, m]	0.0
Longitud Máxima vertedero [Lv, m]	0.0
Ancho para Qp [b2, m]	0.0
Ancho para Qs [b3, m]	0.0
Profundidad del colchón [Δz, m]	0.0
Longitud del colchón [Lc, m]	0.0
Carga hidráulica [Hp, m]	0.0
Cota 1 [m]	0.0
Cota 2 [m]	0.0
Cota 3 [m]	0.0
Cota 4 [m]	0.0
Cota 5 [m]	0.0

RESULTADOS CANAL ENTRANTE RECTANGULAR

Velocidad [V, m/s]	0.0
Energía específica [E, m]	0.0
Tirante crítico [yc, m]	0.0
Energía crítica [Ecrit, m]	0.0
No. Froude [F]	0.0

4

VISTA DE PERFIL Y PLANTA DEL PARTIDOR

5

**CONDICIONES DE DISEÑO**

- ✓ No. Froude < 0.45 → Para garantizar flujo subcrítico antes de la división de caudal
- ✓ H1 + H2 < 0.8 → Existe flujo libre en el canal pasante
- ✓ H1 + H3 < 0.8 → Existe flujo libre en el canal saliente
- ✓ Hv < 0.3 → No es necesario determinar Lc y espesor del colchón amortiguador ya que Av es menor a 0.3 cm

\* Cuando se elija un sección trasversal trapezooidal aquí aparecerá la información para el vertedero

**Nota:** Los esquemas de las secciones transversales se encuentran en el respectivo manual de usuario

Calcular

Figura 24. Ventana del diseño hidráulico del partidor proporcional. Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la sección transversal del canal y el tipo de partidor, se ingresan los datos de entrada y se da clic en el botón calcular, inmediatamente se presentarán los resultados para este diseño, en la parte inferior de la Figura 24 se observa que aparecen los esquemas en planta y perfil del partidor junto con la nomenclatura utilizada para diseñar la estructura.

En la Figura 25 se presenta un ejemplo de diseño para una canal rectangular con un partidor móvil. Tener en cuenta, que siempre se deben de verificar las condiciones de diseño para el número de Froude y que se garantice flujo libre en los canales que fueron divididos.



**SECCIÓN TRANSVERSAL**

Rectangular   
  Trapezoidal

**TIPO DE PARTIDOR**

Fijo   
  Móvil

---

**DATOS CANAL ENTRANTE**

Caudal entrante [Qe, m³/s]	0.25
Tirante [y, m]	0.818
Base del canal [b, m]	1
Talud [z]	0.0
Longitud vertedero [Lv, m]	1
Ángulo de transición	0.0
Rugosidad [n]	0.015
Pendiente [s]	0.001
Cota A	100

**RESULTADOS CANAL ENTRANTE TRAPEZOIDAL**

Velocidad [V, m/s]	0.0
Energía específica [E, m]	0.0
Tirante crítico [yc, m]	0.0
Energía crítica [Ecrit, m]	0.0
Tirante partidor [yp, m]	0.0
Longitud transición [Lt, m]	0.0
Longitud transición pasante [Ltp, m]	0.0
Longitud transición saliente [Lts, m]	0.0

**RESULTADOS PARTIDOR**

Ángulo de inclinación [°]	86.908
Altura vertedero [Hv, m]	0.545
Carga hidráulica [Hcrt, m]	0.228
Ancho vertedero [Wv, m]	0.649
Longitud Máxima vertedero [Lv, m]	1.854
Ancho para Qp [b2, m]	0.6
Ancho para Qs [b3, m]	0.4
Profundidad del colchón [Δz, m]	0.182
Longitud del colchón [Lc, m]	2.495
Carga hidráulica [Hp, m]	0.704
Carga hidráulica [Hs, m]	0.709
Cota 1 [m]	100.82
Cota 2 [m]	100.73
Cota 3 [m]	99.818
Cota 4 [m]	100.70
Cota 5 [m]	100.70

**\* RESULTADOS CANAL ENTRANTE RECTANGULAR**

Velocidad [V, m/s]	0.306
Energía específica [E, m]	0.823
Tirante crítico [yc, m]	0.185
Energía crítica [Ecrit, m]	0.278
No. Froude [F]	0.108

**CONDICIONES DE DISEÑO**

- ✓ No. Froude < 0.45 → Para garantizar flujo subcrítico antes de la división de caudal
- ✓  $H1 + H2 < 0.8$  → Existe flujo libre en el canal pasante
- ✓  $H1 + H3 < 0.8$  → Existe flujo libre en el canal saliente
- ✓  $Hv < 0.3$  → No es necesario determinar Lc y espesor del colchón amortiguador ya que Av es menor a 0.3 cm

\* Cuando se elija un sección transversal trapezoidal aquí aparecerá la información para el vertedero

Nota: Los esquemas de las secciones transversales se encuentran en el respectivo manual de usuario

**DATOS CANAL PASANTE**

Caudal [Qp, m³/s]	0.15
Tirante [yp, m]	0.7
Base del canal [bp, m]	0.8
Talud [zp]	0.0
Cota B	100

**DATOS CANAL SALIENTE**

Caudal [Qs, m³/s]	0.1
Tirante [ys, m]	0.706
Base del canal [bs, m]	0.6
Talud [zs]	0.0
Cota C	100

Calcular

**VISTA DE PERFIL Y PLANTA DEL PARTIDOR**

Figura 25. Ejemplo diseño del partidor proporcional. Fuente: Elaboración propia.

En el manual de usuario para esta aplicación, se muestran todos los esquemas de las dos estructuras de una forma más clara y teniendo en cuenta cada escenario de diseño que se puede presentar.

### 7.3. Descripción detallada del aplicativo web

Al igual que en la aplicación de escritorio el usuario debe contar con toda la información de entrada que se necesita para realizar el diseño hidráulico. A continuación, se presenta el funcionamiento de Hidra VP por medio de ejemplos, junto con la descripción del aplicativo.

#### 7.3.1. Acceso al aplicativo

El primer paso para usar Hidra VP es acceder al enlace: <https://hidravp.herokuapp.com/> por medio del navegador.

### 7.3.2. Página de ingreso

Una vez el usuario ha accedido al enlace se presenta la ventana de ingreso, la cual tiene tres opciones de ingreso: Ingreso con cuenta registrada, registro de la cuenta e ingresar sin cuenta, el usuario escogerá la opción que más se adapte a sus necesidades.

Se tiene en cuenta que, las primeras dos opciones (opción 1 y opción 2) permiten almacenar los datos suministrados en una base de datos y permite al usuario acceder a ellos en cualquier momento. Por otro lado, la opción 3 no almacena los resultados obtenidos de los diseños creados.

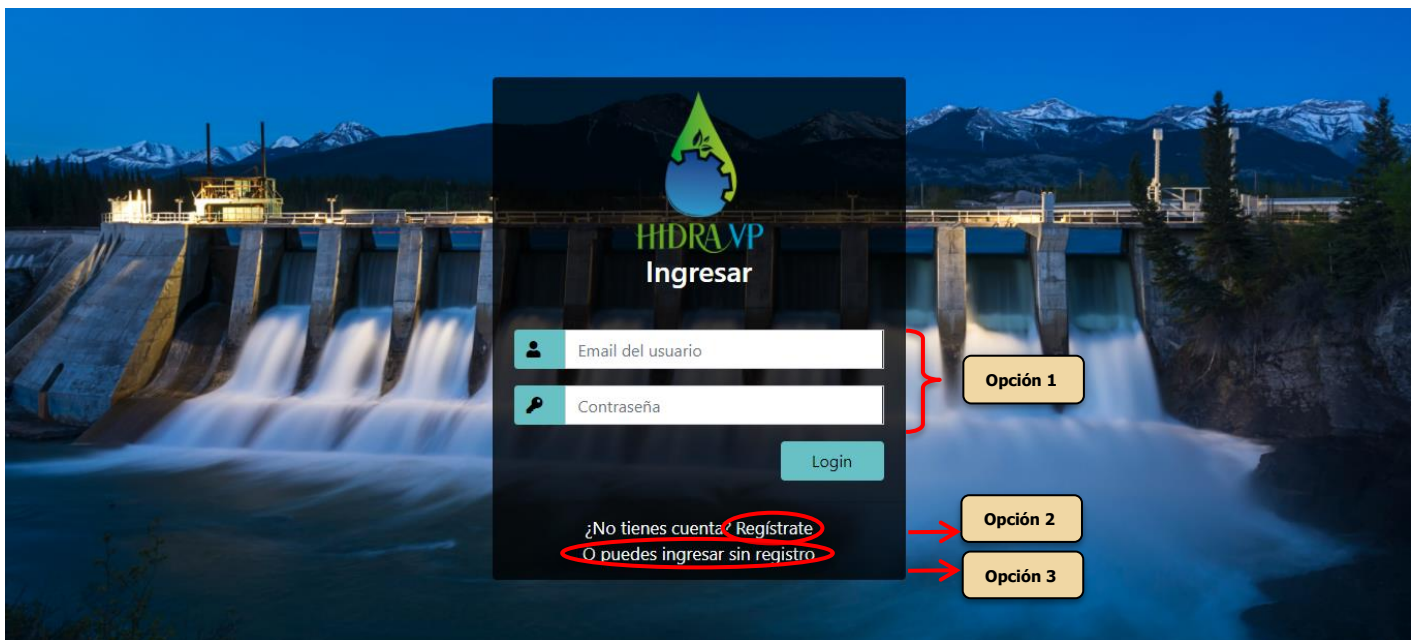


Figura 26. Página de ingreso de aplicativo web. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.3. Página principal

La página principal cuenta con un menú plegable (ver parte izquierda de Figura 27), en el cual se presenta el tipo de calculo que se requiere hacer según la estructura hidráulica. Para iniciar el diseño, se debe escoger el tipo de estructura que se desea diseñar.



Figura 27. Página principal del aplicativo web. Fuente: Elaboración propia.

#### 7.3.4. Diseño hidráulico vertedero de cresta larga o pico de pato

Se inicia seleccionando el tipo de sección transversal del canal donde se instalará el vertedero (1). Luego se muestra las restricciones para el caudal de diseño y para la base del canal, también se verifica que los demás parámetros de entrada (2) sean válidos para realizar el cálculo, (ver Figura 28).

**Sección Transversal del Canal**

Seleccione el tipo de sección  Rectangular  Trapezoidal **1**

**Datos de Entrada**

Caudal de diseño  $Q_d$  ( $m^3/s$ )  Base del canal  $b$  (m)  Rugosidad  **2**


Pendiente del canal  Altura muros  $H_m$  (m)  Cota A (m)  Carga hidráulica  $\Delta H(m)$  [0.05 - 0.10 m]  **3**

**Calcular**

Sección transversal del canal rectangular

Figura 28. Página del diseño del vertedero de cresta larga. Fuente: Elaboración propia.

Se ingresan los datos de entrada y se da clic en el botón calcular, se presentan inmediatamente los esquemas representativos de la sección transversal que se haya escogido, como se observa en la Figura 29 las nomenclaturas de estos esquemas corresponden a las usadas en los parámetros de entrada y resultados del diseño. A continuación, se presenta un ejemplo de diseño.



MENU

Calculos

Historial

Usuario: Ana María Ramos Orozco

Salir

## Vertedero de Cresta Larga

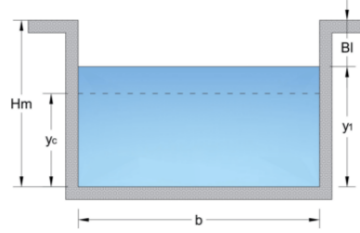
### Sección Transversal del Canal

Seleccione el tipo de sección  Rectangular  Trapezooidal

#### Datos de Entrada

Caudal de diseño Qd (m³/s)	Base del canal b (m)	Rugosidad	
0.3 ✓	2.5 ✓	0.013 ✓	
Pendiente del canal	Altura muros Hm (m)	Cota A (m)	Carga hidráulica ΔH(m) [0.05 - 0.10 m]
0.001 ✓	1 ✓	1 ✓	0.1 ✓

Calcular



Sección transversal del canal rectangular

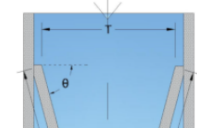



Figura 29. Ejemplo de diseño del vertedero de cresta larga. Fuente: Elaboración propia.

Se arrojan los resultados del diseño, cuyo sistema de medidas se encuentra al lado del nombre del parámetro. Siempre se deben verificar las condiciones de diseño de velocidad  $V$  y el ángulo  $\theta$ , (ver Figura 30).



MENU

Calculos

Historial

Usuario: Ana María Ramos Orozco

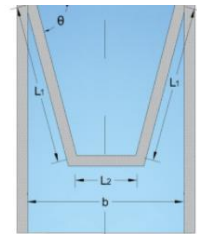
Salir

### Resultados del diseño

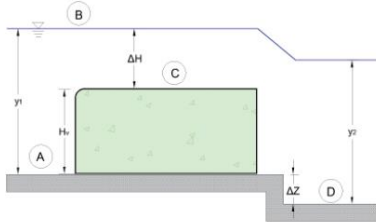
Tirante normal [y1, m]	Tirante crítico [yc, m]	*Velocidad [V, m/s]	Borde libre [BI, m]
0.173	0.114	0.693	0.827
Número de Froude [F]	Energía específica [E1, m]		
0.532	0.198		
Ángulo [θ]	Altura vertedero [Hv, m]	Ancho entrada [T, m]	Tirante final [y2, m]
67.895	0.073	2.5	0.174
Longitud total [Lt, m]	Longitud 1 [L1, m]	Longitud 2 [L2, m]	Longitud 3 [L3, m]
5.981	2.79	0.4	0.0
Desnivel [ΔZ, m]	Caudal [Qv, m³/s]	Velocidad vertedero [Vv, m/s]	
0.1	0.303	0.502	
Cota A	Cota B	Cota C	Cota D
1.0	1.173	1.073	0.9

\*Condiciones de Diseño:  
 $V \leq 1.0 \text{ m/s}$   
 $45^\circ < \theta < 70^\circ$

En caso de no cumplirse, verificar relación entre Qd y b y/o modificar ΔH



Parámetros vertedero. Vista en planta



Parámetros vertedero. Vista en perfil

Figura 30. Ejemplo de diseño del vertedero de cresta larga. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.5. Diseño hidráulico partidor proporcional

Se inicia seleccionando el tipo de sección transversal del canal donde se instalará el partidor proporcional (1), luego se selecciona el tipo de partidor que se desea diseñar (2). Después se muestra la restricción para el caudal de diseño teniendo en cuenta que el tipo de partidor, también se verifica que los demás parámetros de entrada (3) sean válidos para realizar el cálculo (ver Figura 31).

The image shows a software interface for designing a proportional divider. The interface is divided into a left sidebar with a menu, a main form area, and a right sidebar with diagrams. The main form area is titled 'Partidor Proporcional' and contains sections for 'Sección Transversal del Canal', 'Canal Entrante (Ce)', 'Canal Pasante (Cp)', and 'Canal Saliente (Cs)'. In the 'Sección Transversal del Canal' section, 'Rectangular' and 'Fijo' are selected and circled in red, with a '1' and '2' in boxes next to them. The 'Canal Entrante (Ce)' section has 'Qe [≤ 0.5]' circled in red, with a '3' in a box next to it. A 'Calcular' button is at the bottom of the form. The right sidebar shows three diagrams: 'Sección transversal del canal rectangular', 'Parametros partidor. Vista en planta', and 'Parametros partidor. Vista en perfil'. The 'Vista en planta' diagram shows a plan view of the divider with dimensions like  $Q_e$ ,  $Q_p$ ,  $Q_s$ , Cota A, Cota B, Cota C,  $b$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $e$ , and angles of  $30^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , and  $10^\circ$ . The 'Vista en perfil' diagram shows a cross-section with dimensions like  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$ ,  $H_5$ ,  $H_6$ ,  $H_7$ ,  $H_8$ ,  $H_9$ ,  $H_{10}$ ,  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{13}$ ,  $H_{14}$ ,  $H_{15}$ ,  $H_{16}$ ,  $H_{17}$ ,  $H_{18}$ ,  $H_{19}$ ,  $H_{20}$ ,  $H_{21}$ ,  $H_{22}$ ,  $H_{23}$ ,  $H_{24}$ ,  $H_{25}$ ,  $H_{26}$ ,  $H_{27}$ ,  $H_{28}$ ,  $H_{29}$ ,  $H_{30}$ ,  $H_{31}$ ,  $H_{32}$ ,  $H_{33}$ ,  $H_{34}$ ,  $H_{35}$ ,  $H_{36}$ ,  $H_{37}$ ,  $H_{38}$ ,  $H_{39}$ ,  $H_{40}$ ,  $H_{41}$ ,  $H_{42}$ ,  $H_{43}$ ,  $H_{44}$ ,  $H_{45}$ ,  $H_{46}$ ,  $H_{47}$ ,  $H_{48}$ ,  $H_{49}$ ,  $H_{50}$ ,  $H_{51}$ ,  $H_{52}$ ,  $H_{53}$ ,  $H_{54}$ ,  $H_{55}$ ,  $H_{56}$ ,  $H_{57}$ ,  $H_{58}$ ,  $H_{59}$ ,  $H_{60}$ ,  $H_{61}$ ,  $H_{62}$ ,  $H_{63}$ ,  $H_{64}$ ,  $H_{65}$ ,  $H_{66}$ ,  $H_{67}$ ,  $H_{68}$ ,  $H_{69}$ ,  $H_{70}$ ,  $H_{71}$ ,  $H_{72}$ ,  $H_{73}$ ,  $H_{74}$ ,  $H_{75}$ ,  $H_{76}$ ,  $H_{77}$ ,  $H_{78}$ ,  $H_{79}$ ,  $H_{80}$ ,  $H_{81}$ ,  $H_{82}$ ,  $H_{83}$ ,  $H_{84}$ ,  $H_{85}$ ,  $H_{86}$ ,  $H_{87}$ ,  $H_{88}$ ,  $H_{89}$ ,  $H_{90}$ ,  $H_{91}$ ,  $H_{92}$ ,  $H_{93}$ ,  $H_{94}$ ,  $H_{95}$ ,  $H_{96}$ ,  $H_{97}$ ,  $H_{98}$ ,  $H_{99}$ ,  $H_{100}$ .

Figura 31. Página del diseño del partidor proporcional. Fuente: Elaboración propia.

Una vez se ingresan los datos de entrada y se da clic en el botón calcular se presentan inmediatamente los esquemas representativos de la sección transversal y el tipo de partidor que

se haya escogido, como se observa en la Figura 31 y Figura 32 las nomenclaturas de estos esquemas corresponden a las usadas en los parámetros de entrada y resultados del diseño. A continuación, se presenta un ejemplo de diseño.

**Canal Entrante (Ce)**

Caudal $Q_e$ ( $m^3/s$ )	Base del canal $b_e$ (m)	Tirante $y_e$ (m)	Pendiente $s$
0.25 ✓	1 ✓	0.818 ✓	0.001 ✓

Rugosidad  $n$ : 0.013 ✓

Longitud vertedero  $L_v$  (m): 1

Cota A (m): 100 ✓

**Canal Pasante (Cp)**

Caudal $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Base del canal $b_p$ (m)	Tirante $y_p$ (m)	Cota B (m)
0.15 ✓	0.8 ✓	0.7 ✓	100 ✓

**Canal Saliente (Cs)**

Caudal $Q_s$ ( $m^3/s$ )	Base del canal $b_s$ (m)	Tirante $y_s$ (m)	Cota C (m)
0.10 ✓	0.6 ✓	0.706 ✓	100 ✓

**Diagramas:**

- Sección transversal del canal rectangular: Muestra un canal de ancho  $b$ .
- Parametros partidor: Vista en planta: Muestra un vertedero de pared gruesa con láminas de acero (espesor = 6mm) que dividen el flujo en tres canales. Se indican cotas A, B y C, y anchos  $b_e$ ,  $b_p$ ,  $b_s$ . Se muestran también los tirantes  $y_e$ ,  $y_p$ ,  $y_s$  y la longitud del vertedero  $L_v$ .
- Diagrama de flujo: Muestra el flujo de agua desde un punto 1 hacia un punto 2, pasando por un vertedero (4.5) que divide el flujo en tres canales.

Figura 32. Ejemplo de diseño del partidor proporcional. Fuente: Elaboración propia.

Se arrojan los resultados del diseño, y al igual que el diseño del vertedero de cresta larga este también cuenta con el sistema internacional de medidas (SI), el cual se encuentra al lado del nombre del parámetro. Siempre se deben verificar las condiciones de diseño del número de Froude, la altura del vertedero y la existencia de flujo libre en los canales divididos (ver Figura 33).

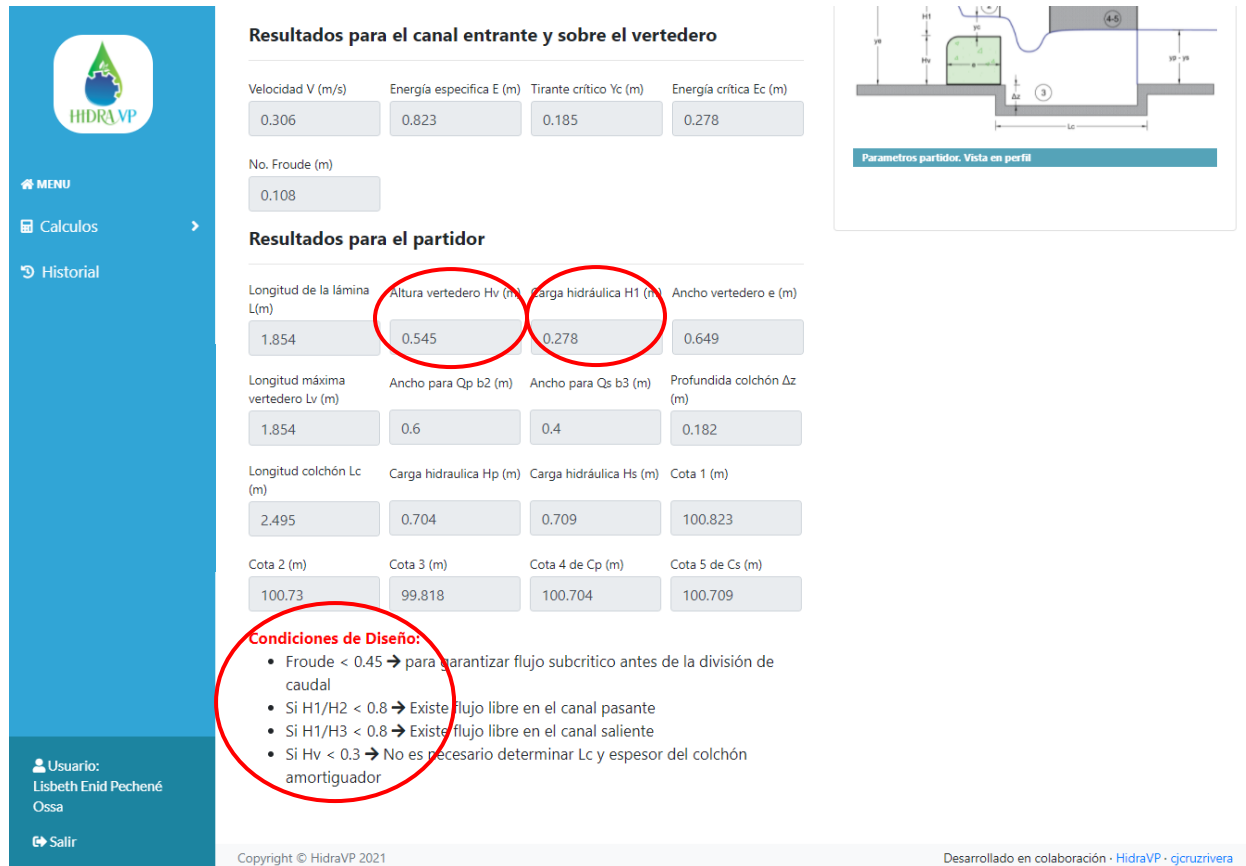


Figura 33. Ejemplo de diseño del partidor proporcional. Fuente: Elaboración propia.

## 8. CONCLUSIONES

- Hidra VP es una herramienta computacional de acceso libre y sin costo, la cual fue desarrollada en dos aplicativos, uno de escritorio y otro web, este último se encuentra en un servidor web y puede ejecutarse desde cualquier navegador web.
- Hidra VP les permite a los usuarios realizar un diseño sencillo, rápido, confiable y útil para asegurar la correcta elaboración de las dos estructuras hidráulicas: vertedero de cresta larga y partidor proporcional.
- Se creó una interfaz de usuario interactiva y versátil de fácil manejo la cual, permite la visualización e interpretación de los resultados.
- Hidra VP cuenta con dos manuales de usuario claros y consistentes, uno para el aplicativo de escritorio y el otro para el aplicativo web, que sirven de soporte para manejar eficientemente la herramienta computacional, donde se especifica paso a paso el uso de



esta con sus requerimientos básicos y a su vez se describen las ecuaciones utilizadas en los diseños.

- La utilización de la herramienta permite realizar el proceso de diseño en tiempos muy cortos si se cuenta con los datos de entrada y el conocimiento del proceso descrito en el manual, generando resultados casi instantáneos. Este tiempo es mucho menor al tiempo que toma realizar el proceso con ayuda de hojas de cálculo o de manera manual.
- Hidra VP es una herramienta computacional que puede ser usado en cualquier lugar del mundo, con acceso a internet e idioma español. Adicionalmente Hidra VP permite realizar iteraciones con variaciones en los parámetros de manera rápida y eficiente de acuerdo con la necesidad del usuario.

## 9. RECOMENDACIONES

- Para la creación de herramientas computacionales sobre el diseño de estructuras hidráulicas, se recomienda desarrollar de manera secuencial y ordenada los pasos mencionados en la metodología para obtener resultados satisfactorios y disminuir el tiempo en los procesos.
- Se recomienda para el desarrollo de cualquier tipo de diseño, sistematizarlo en herramientas digitales tales como aplicaciones para el celular, aplicativos web o software de acceso libre, aprovechando que el acceso a un celular o a internet es cada día más asequible.
- El diseño de las estructuras hidráulicas presentadas en este trabajo presenta restricciones de caudal, las cuales, se deben tener en cuenta antes de realizar el diseño, se debe ser minucioso en el ingreso de datos al programa para no incurrir en errores. Los resultados del proceso de cálculo dependen de igual manera de la calidad de los datos de entrada al proceso.
- Se recomienda mejorar la versión actual adicionando otras estructuras de regulación y medición de caudales, tales como, canaleta Parshall, vertederos de pared delgada y ancha, compuertas, otros tipos de partidores, entre otros.

- Se recomienda a la escuela EIDENAR impulsar la creación de un banco de herramientas computacionales ya sean software o aplicativos webs, donde se recopilen los programas que han sido diseñados por los estudiantes, incluyendo los manuales de usuario, con el fin de contar con herramientas de apoyo en diferentes áreas de estudio, con el fin de motivar a los estudiantes en la mejora o actualización de alguno de ellos y en la nueva creación de herramientas.

## 10. REFERENCIAS

- Cabrera, Racines (2015). *Aplicación de software libre para el diseño y modelación de las obras hidráulicas a flujo libre de una pequeña central hidroeléctrica en el río Zarapullo ubicado en la provincia de Sto. domingo de los Tsáchilas*. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Canal hidráulica agrícola. (2016). *Vertedero de cresta larga o pico de pato*. [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=LYqmcBt03B4>
- Canal hidráulica agrícola. (2016). *Partidor caudales*. [Archivo de video]. YouTube. <https://youtu.be/DQSDmRkeytE>
- Chanson, H. (2002). *Hidráulica de flujo*. Australia. McGraw Hill.
- DEHIDRO. (2017). *Software DEHIDRO*. Recuperado el 17 de agosto de 2019 de: <http://tierradehidro.com/software-dehidro/>
- Domínguez, J. 1999. *Hidráulica*. Edit. Universitaria.
- Espinosa, Gaitán. (2018). *Desarrollo de software para el diseño hidráulico de canaleta Parshall como estructura para mezcla rápida en el tratamiento del agua – caso aplicativo en municipios de la provincia del Alto Magdalena*. (tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia. Girardot, Colombia.
- FAO. (2002). *Agua y cultivos*. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/y3918s/Y3918S.pdf>
- Fuentes, O, M. (1988). *Introducción a los métodos numéricos aplicados a la hidráulica*. Instituto mexicano de tecnología del agua.

- González, R, D. (2011). *Python para todos*. Licencia Creative Commons Reconocimiento 2.5 España
- Guerrero, J. Arreguín, F y Moreno, M. (2005). *Ecuaciones explícitas para calcular el tirante normal en canales rectangulares y trapeciales*. Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
- Kraatz, D. (1976). *Pequeñas obras hidráulicas Vol. 1 y 2*. FAO.
- Pérez, R. *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia.
- Poiree M, Ollier C. *El regadío: Redes, teoría, técnica y economía de los riegos*. 4o Ed. Eyrolles, Editeur - Paris.
- Quispe (2015). *Modelización numérica de partidores de caudales en canales*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú.
- Ramírez, C. (2018). *Hidráulica 1.ed*. Cali - Valle del Cauca. Universidad del Valle.
- Rodríguez, E. (2013). *Obras hidráulicas, partidores*. Cusco, Perú. Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco.
- Rodríguez, P. (2008). *Hidráulica II*. México.
- Rodríguez, M, A. (2015). *Metodología para el diseño hidráulico de vertedores de laberinto*. (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F, México.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F, México. Editorial: McGraw-Hill Interamericana.
- Villón, M. (2003). *Diseño de Estructuras Hidráulicas*. Lima, Perú. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

## 11. ANEXOS

Anexo 1. Gráfica para determinar la descarga sobre el vertedero de cresta larga.

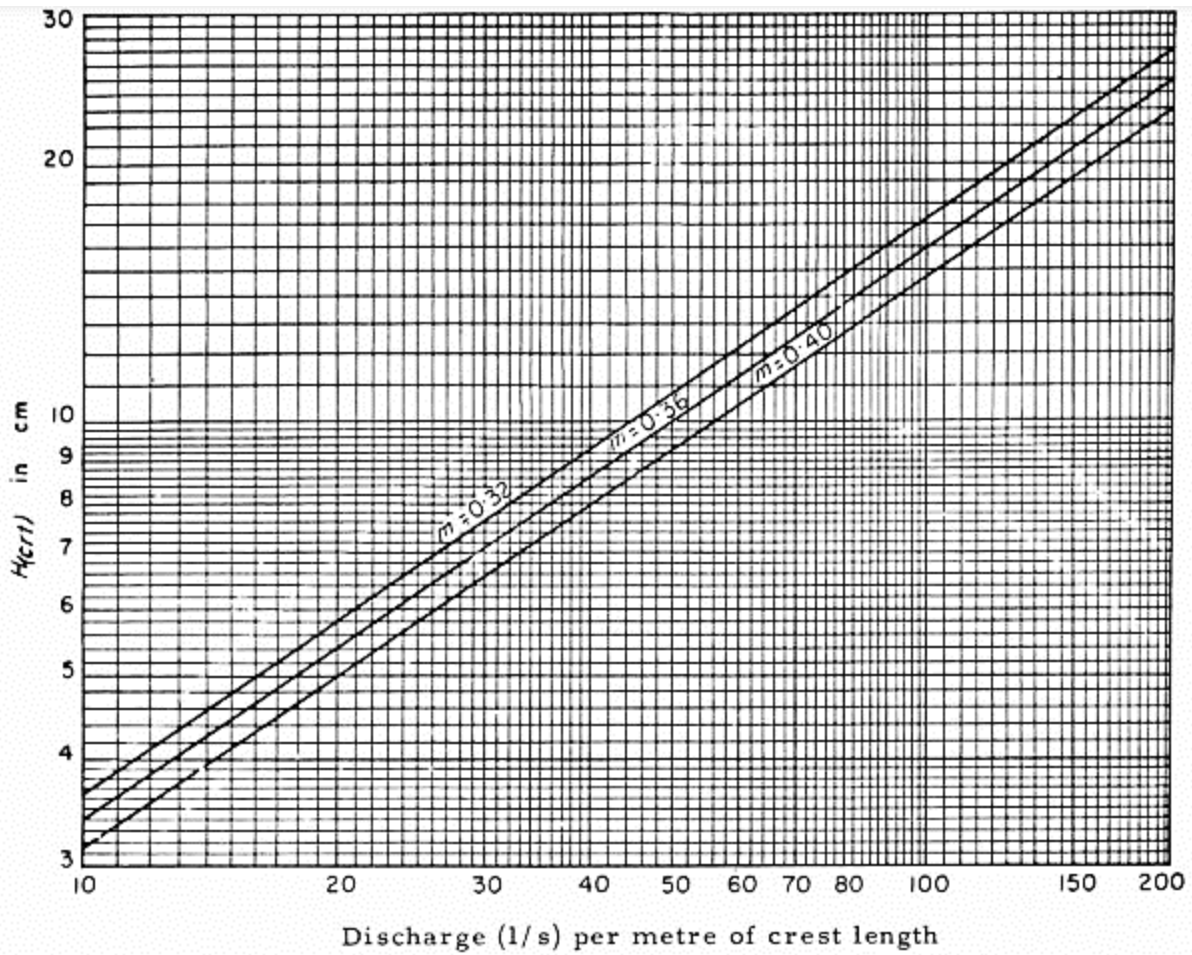


FIGURE 6-7. - Graph for determination of discharge over diagonal, duckbill, or Z-type weirs (84).

Anexo 2. Espesor de los muros para los canales saliente y pasante.

Q en l/s	Espesor en cm	
	Hormigón	Mampostería
10 – 80	15	30
80 – 200	20	30
>200	25	30

*Anexo 3. Espesor del suelo.*

Q en l/s	Espesor en cm	
	Hormigón	Mampostería
10	10	15
29	10	15
59	12	15
103	12	15
162	15	20
239	15	20
283	15	20
333	15	20