

# **Diseño audiovisual Resalte Hidráulico**

**Jose Dionicio Arias Hoyos**

**Corporación Universitaria Minuto de Dios**

**Facultad de Ingeniería**

**Ingeniería Civil**

**Girardot Cundinamarca**

**2015**

# **Diseño audiovisual Resalte Hidráulico**

**Jose Dionicio Arias Hoyos**

**“Una guía Interactiva diseñado por un software civil, para demostrar eficazmente el cambio violento del régimen de flujo de supercrítico a subcrítico en un canal de tipo rectangular”**

**Corporación Universitaria Minuto de Dios**

**Facultad de Ingeniería**

**Ingeniería Civil**

**Girardot Cundinamarca**

**2015**

# Contenido

Contenido	> 4
Dedicatoria	> 5
Agradecimientos	> 6
Glosario	> 8
Introducción	> 18
<b>1,0 Problemática</b>	<b>&gt;21</b>
1,01 Línea	> 21
1,02 Titulo	> 21
1,03 Descripción del Problema	> 21
1,04 Justificación	> 22
1,05 Justificación	> 22
<b>2,0 Objetivos</b>	<b>&gt;23</b>
2,01 Generales	>23
2,02 Específicos	>23
<b>3,0 Marco Preferencial</b>	<b>&gt;25</b>
3,01 Marco Teórico	>25
3,02 Canales Abiertos en Girardot y la Región	>26
3,021 Rio Magdalena	>26
3,022 Caño de Girardot	>26
3,023 Canal de Transporte del Acueducto de Ibagué	>27
3,03 Tipo de Flujo	>28
3,04 Secciones Canales Abiertos	>30
3,05 Secciones Comunes en canales Prismáticos	>31

3,06 Sketchup	>32
3,061 Características	>33
3,062 Historia	>33
3,063 Aplicabilidad	>33
3,07 Adobe Premier Pro	>33
3,08 Resalto Hidráulico	>32
3,081 Aplicaciones	>35
3,09 Canales Rectangulares	>36
3,10 Tipo de Resalto Hidráulico	>36
3,11 Características básicas del resaltos hidráulico	>37
3,12 Perdida de Energía	>38
3,13 La Eficiencia	>38
3,14 Ejemplos de Resalto Hidráulico	>39
3,141 Resalto Hidráulico en Corrientes hidráulicas	>39
3,142 Resalto Hidráulico con Flujo Super Critico	>40
3,143 Resalto Hidráulico	>41
<b>4,0 Resalto Hidráulico en Pruebas de Laboratorio</b>	<b>&gt;42</b>
<b>5,0 Diseños en 3D modelo escala canal abierto Resalto Hidráulico</b>	<b>&gt;43</b>
5,01 Paso 1	>43
5,02 Paso 2	>43
5,03 paso 3	>44
5,04 paso 4	>44
5,05 paso 5	>45
<b>6,0 Conclusiones</b>	<b>&gt;46</b>

<b>7,0 Recomendaciones</b>	<b>&gt;47</b>
<b>8,0 Bibliografía</b>	<b>&gt;48</b>
<b>9,0 Anexos</b>	<b>&gt;49</b>

## Dedicatoria

Existe un verso que dice, “Dios escogió lo despreciado por el mundo —lo que se considera como nada— y lo usó para convertir en nada lo que el mundo considera importante.” (1 Corint. 1-28) bien, así de igualmanera es mi situación en cuanto a porque realmente estoy tan agradecido con Él ya que antes yo no era lo que ahora si yo soy.

Cada logro inmerso en mi trasegar de la vida es justamente enarbolada para Dios, esta es mi dedicación para con él.

## Agradecimientos

Puede que este un tanto enfocado con una antítesis respecto a mi familia ya que sus proyecciones han sido ancladas a la zona rural, agrónoma y comercial, aun así, mis enteros agradecimientos a estos personajes que engalanan mi pedestal:

A mi padre Jose Dionicio Arias Reyes (QEPD) por infundir me incondicionalmente sus áreas de trabajo duro y con amor, teniendo presente el bienestar de sus adyacentes, nunca lo olvidaré Padre!

A mi madre Maria Ofelia Hoyos que a pesar de que la vida al principio no le sonrió, con su esfuerzo y ternura al cuidarme, me demostró que siempre vale la pena luchar por lo que queremos a pesar de..., Gracias Mamá!

A mi abuela Mariela Reyes Hernandez por su astucia en la independencia sabiendo que no tenía el apoyo de nadie más para conquistar lo que ahora tiene , además de esto, por su colaboración genuina en introducirme a estudios de pregrado. Eres la mejor Abuela!

A mis hermanos, Sebastian Arias, Camila Hoyos, Jhon Arias, Juan David y Jose Daniel que a pesar de que nuestros caminos no son símiles, siempre fueron incrustaciones de fuerza en mi carrera estudiantil. Gracias Chicos!

A mis Tios, primos, sobrinos y familiares que aún no he conocido pero que saben ellos que yo estoy presente para servir con lo que he logrado aprender. Gracias Familia mia!

A la Familia CaviedesMarquez por enseñarme la forma de salir adelante a pesar de las situaciones tan emergentes que lograron pasar, son la familia más inspiracional que he conocido sin importar si no existe cosas en común, sino Dios, la Ingeniería y el Fútbol, bueno. ¿Para qué más? Gracias amigos!

A Juan Carlos Santacruz Peña, Yordin Gonzalesy Oscar Amortegui por apoyarme en mi crecimiento en competencias sin importar las diferencias estudiantiles, gracias amigos de guerra!

Al Ingeniero Ramón Eduardo Sepúlveda por ser ese personaje que dejo un legado en mi vida partiendo de la excelencia y con su abismal frase que lo ha ayudado a estar donde esta “Las cosas grandes se hacen con cosas simples dejando a un lado la mediocridad”

A cada uno de mis profesores de la Corporación Universitaria Minuto de Dios; desde Calculo diferencial hasta Construcción de vías por tenerle paciencia a mi mente y crecimiento académico, Nunca los olvidaré!

Y finalmente a la Corporación Universitaria Minuto de Dios por abrir sus puertas y permitirme demostrar de lo que estoy hecho realmente, Mis Generación nunca los olvidará; Mil Gracias!



## Glosario

A continuación se presentará la terminología aplicada en este proyecto para dar por entendido cualquier actividad a realizar por cualquiera que lo desee aplicar para sus competencias, básicamente es un guía de Hidráulica de Canales y un software de diseño para interpretarlo con claridad:

**AFLUJO:** elevación del nivel del agua por encima del nivel normal (es decir, nivel natural de la creciente) en el lado aguas arriba de una alcantarilla o una obstrucción en un canal.

**AGUA:** nombre común aplicado al estado líquido de la combinación hidrógeno oxígeno. A pesar de que la estructura molecular del agua es simple, las propiedades físicas y químicas del agua son inusualmente complicadas. El agua es un líquido incoloro, insaboro e inodoro a la temperatura ambiente. Una de las propiedades más importantes del agua es su habilidad para disolver muchas otras sustancias. El agua se conoce con frecuencia como el solvente universal. Bajo presión atmosférica estándar, el punto de congelamiento del agua es 0 grados centígrados o 273.16 grados kelvin, y su punto de ebullición es 100 grados centígrados o 373.16 grados kelvin.

**ANCHO SUPERFICIAL:** el ancho superficial de un canal es el ancho de la sección del canal en la superficie libre del agua.

**AREA HIDRAULICA:** el área hidráulica es el área de la sección transversal del flujo, tomada normal a la dirección del flujo.

**ÁREA MOJADA:** en canales abiertos el término de área mojada se refiere al área superficial en contacto con el líquido que fluye.

**ASPERSION:** pequeñas gotas de agua que vuelan o caen a través del aire.

**ATAGUIA:** estructura temporal que contiene toda o parte del área de construcción

de tal manera que la construcción pueda proceder en condiciones secas .una ataguía de desviación desvía una corriente hacia una tubería o un canal.

**BASALTO:** Roca volcánica, por lo común de color negro o verdoso, de grano fino, muy dura, compuesta principalmente de feldespato y piroxena o augita, y a veces de estructura prismática.

**BAZIN:** Henry Emile Bazin, ingeniero e hidráulico francés (1829-1917) miembro del corps des ponts et chaussées francés y después de la academia de Ciencias de París .Al principio de su carrera trabajo como asistente de Henry P. G. Darcy.

**BERNOULLI:** Daniel Bernoulli (1700-1782), matemático, físico y botánico suizo que desarrollo la ecuación de Bernoulli en su Hydrodynamica, de Viribus et Motibus Fluidorum (primer borrador en 1733, primera publicación en 1738, Estrasburgo).

**BOUSSINESQ:** Joseph Valentin Boussinesq (1842-1929), hidrodinámico y profesor francés en la Universidad de la Sorbona (París). Su tratado Essai sur la Theorie des Eaux Courantes (Boussinesq, 1877) permanece como una contribución extraordinaria en la literatura hidráulica.

**CAÍDA HIDRÁULICA:** caída abrupta de agua sobre un precipicio caracterizado por una napa de agua en caída libre.

**CANAL:** el termino canal se refiere a un gran conducto abierto de pendiente suave. Estos conductos abiertos pueden ser no revestidos o revestidos con concreto, pasto, madera, materiales bituminosos, o una membrana artificial.

**CANALES PRISMÁTICOS:** un canal prismático es el que tiene constantes tanto la forma transversal como la pendiente del fondo. Los canales que no entran en este criterio son llamados no prismáticos

**CAUDAL:** volumen de agua corriente que discurre por un cauce.

**CAUDAL UNITARIO:** un caudal unitario se puede definir.

**CAVITACION:** formación de burbujas de vapor y paquetes de vapor dentro de un líquido homogéneo causado por el esfuerzo excesivo (Franc et al. 1995). La cavitación modifica las características hidráulicas de un sistema y

estacaracterizada por erosión dañina, ruido adicional, vibraciones y disipación deenergía.

COEFICIENTE DE BOUSSINESQ: coeficiente de de corrección de momentum en honor a J.V Boussinesq quien lo propuso por primera vez (1877).

COEFICIENTE DE CORIOLIS: coeficiente de corrección de energía cinética enhonor a G.G Coriolis quien introdujo por primera vez este coeficiente de corrección(1836).

COEFICIENTE DE CHEZY: coeficiente de resistencia para el flujo en canalesabiertos introducido por primera vez por A. Chezy. A pesar de que se pensó queera constante, el coeficiente es una función de la rugosidad relativa y del númerode Reynolds.

COMPUERTAS: válvula o sistema para controlar el paso de un fluido. En canalesabiertos, los dos tipos mas comunes de compuerta son la compuerta de flujointerior y la de rebose.

CORIOLIS: GustaveGaspardCoriolis (17921843),matemático e ingenierofrancés del „Cuerpo de de Puentes y Caminos““ quien describió por primera vez lafuerza de coriolis, es decir, el efecto del movimiento sobre un cuerpo que rota.

CRESTA DE REBOSADERO: parte superior del vertedero. El termino (cresta depresa) se refiere a la parte superior de un vertedero no controlado.

CRIBA: marco de alambres o vigas que se llena con piedras, cantos rodados omaterial de relleno y se hunde como cimentación o muro de retención.

CHEZY: AntonieChezy (17171798),Ingeniero francés y miembro del „Cuerpo dePuentes y Caminos““, quien diseño canales para el suministro de aguas de laciudad de Paris. En 1768 propuso una formula para la resistencia al flujo encanales abiertos conocida como la ecuación de Chezy. En 1798, se convirtió endirector de la Escuela Nacional Superior de Puentes y Caminos después deenseñar allí por muchos años.

DARCY: Henri PhilibertGaspardDarcy (18051858),ingeniero civil francés quienllevo a cabo numerosos experimentos sobre la resistencia al flujo en tuberías(Darcy 1858). Y en canales abiertos (Darcy y Bazin 1865), y del flujo en

mediosporosos (Darcy 1856). Dio su nombre al factor de fricción de DarcyWeisbach y a la ley de Darcy en medios porosos.

**DIAMETRO HIDRAULICO:** se define como el diámetro equivalente de tubería: es decir, cuatro veces el área de la sección transversal dividida por el perímetro mojado. Este concepto fue expresado por primera vez por el francés P.L.G.DuBuat (Buat, 1779).

**ENERGIA ESPECIFICA:** cantidad proporcional a la energía por la unidad de masa, masa medida atizando el fondo del canal como elevación de referencia y expresada en metros de agua. El concepto de energía específica, desarrollado por

primera vez por B.A.Bakhmeteff en 1912, se utiliza por lo común para el flujo de canales abiertos.

**EROSION:** Desgaste o destrucción producidos en la superficie de un cuerpo por la fricción continua o violenta de otro o Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento.

**FACTOR DE FRICCIÓN DE DARCYWEISBACH:** parámetro adimensional que caracteriza la pérdida por fricción en un flujo. Bautizado por el francés H.P.G.Darcy y el alemán J.Weisbach.

**FENÓMENO LOCAL:** en los canales abiertos a menudo ocurren cambios en el estado de flujo subcrítico a supercrítico, y viceversa. Tales cambios se manifiestan

con un correspondiente cambio en la profundidad de flujo de una profundidad alta a una profundidad baja, o viceversa. Si el cambio ocurre con rapidez a lo largo de una distancia relativamente corta, el flujo es rápidamente variado y se conoce como fenómeno local.

**FUERZA TRACTIVA:** cuando el agua fluye en un canal, se desarrolla una fuerza que actúa sobre el lecho de este en la dirección del flujo. Esta fuerza, la cual es simplemente el empuje del agua sobre el área mojada, se conoce como fuerza atractiva. También conocida como fuerza cortante, fuerza de arrastre o fuerza tangencial.

**FLUCTUAR:** Dicho de un cuerpo: Vacilar sobre las aguas por el movimiento agitado de ellas

**FLUIDO IDEAL:** fluido sin fricción e imcompresible. Un fluido ideal tiene viscosidad cero, es decir, no puede soportar esfuerzo cortante en ningún flujo.

**FLUJO GRADUALMENTE VARIADO:** se caracteriza por pequeños cambios relativos en las distribuciones de velocidad y presión a lo largo de varias distancias.

**FLUJO NO PERMANENTE:** las propiedades del flujo cambian con el tiempo.

**FLUJO PERMANENTE:** ocurre cuando las condiciones en cualquier punto de un fluido no cambian con el tiempo.

**FLUJO UNIFORME:** se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad de flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo.

**FLUJO UNIFORME NO PERMANENTE:** El flujo uniforme no permanente el criterio que se toma para considerarlo como flujo uniforme no permanente es el espacio. Se dice que se presenta un flujo uniforme no permanente cuando los parámetros hidráulicos del flujo (velocidad, profundidad) se mantienen constantes en el espacio pero no en el tiempo. Para que se presente flujo uniforme y no permanente se necesita que la superficie del líquido este cambiando o fluctuando de tiempo en tiempo mientras permanece paralela al fondo del canal. Este comportamiento es poco probable encontrarlo en la naturaleza, esto se debe a que estos cambios en el tiempo tendrían que suceder a lo largo del canal pero a su vez permanecer constantes la profundidad y la velocidad del flujo.

**FLUJO UNIFORME PERMANENTE:** es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad de flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal.

**FLUJO PERMANENTE:** se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si

la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

**FLUJO VARIADO:** puede clasificarse además como rápidamente variado o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas; de otro modo es gradualmente variado. Un flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local; algunos ejemplos son el resalto hidráulico y la caída hidráulica. **FLUJO NO PERMANENTE:** el flujo es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes.

**FLUJO LAMINAR:** se caracteriza por partículas fluidas que se mueven a lo largo de trayectorias suaves en láminas o capas, con una capa deslizándose suavemente sobre la capa adyacente. Los flujos laminares están regidos por la ley de viscosidad de Newton, la cual relaciona el esfuerzo cortante con la tasa de deformación angular. Número de Reynolds ( $R \leq 500$ ).

**FLUJO TURBULENTO:** en flujos turbulentos, las partículas de fluido se mueven en trayectorias muy irregulares, causando un intercambio de momentum de una porción del fluido a la otra. Los flujos turbulentos tienen un gran potencial de mezcla e involucran un amplio rango de escalas longitudinales de remolinos. Número de Reynolds ( $12500 \leq R$ ).

**FLUJO TRANSICIÓN:** un flujo de transición es aquel clasificado ni como laminar ni como turbulento. Número de Reynolds ( $500 \leq R \leq 12500$ ).

**FLUJO CRÍTICO:** el estado crítico del flujo se ha definido como la condición para la cual el número de Froude es igual a la unidad o también se podría decir que es

el estado de flujo para el cual la energía específica es mínima para un caudal determinado.

**FLUJO SUBCRÍTICO:** en canales abiertos, el flujo se define como subcrítico si su

profundidad es mayor que la profundidad del flujo crítico. En la práctica, los flujos subcríticos se controlan por las condiciones de flujo aguas abajo.

**FLUJO SUPERCRÍTICO:** en un canal abierto, cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad del flujo crítico, el flujo es supercrítico y el número de Froude es mayor que 1. Los flujos supercríticos se controlan desde aguas arriba.  
**FUERZA TRACTIVA:** Cuando el agua fluye en un canal, se desarrolla una fuerza

que actúa sobre el lecho de este en la dirección del flujo. Esta fuerza, la cual es simplemente el empuje del agua sobre el área mojada, se conoce como fuerza tractiva.

**FUERZAS INERCIALES:** son las fuerzas generadas debido al movimiento del fluido ya que todos los cuerpos tienden a no modificar su estado de reposo o movimiento si no es debido a esta fuerza.

**FROUDE:** William Froude (1810-1879), arquitecto naval e hidrodinámico inglés que inventó el dinamómetro lo utilizó para la prueba de modelos navales en tanques de remolque. Fue ayudado por su hijo Robert Edmund Froude quien, después de la muerte de su padre, continuó con algunos de sus trabajos. En 1868, utilizó la ley de similitud de Reech para estudiar la resistencia en modelos navales.

**GEOMORFOLOGÍA:** Estudio de las características propias de la corteza terrestre.  
**INFILTRACION:** movimiento intersticial de agua que puede ocurrir a través de una presa, su cimentación o sus estribos.

**LA CAÍDA HIDRÁULICA:** la caída es similar a la rápida que es un canal que tiene altas pendientes, pero el cambio en elevación se efectúa en una distancia corta.

**LEY DE DARCY:** ley para el movimiento del flujo de aguas subterráneas, la cual establece que el flujo infiltrado es proporcional a la relación entre la pérdida de energía a lo largo de la longitud de la trayectoria del flujo. Fue descubierta por H.P.G. Darcy (1856) quien estableció que, para el flujo de un líquido a través de un medio poroso, el caudal es directamente proporcional a la diferencia de

presiones. LINEA DE ENERGIA: es la representación grafica de la energía total que hay en un flujo entre dos puntos.

MANNING: Robert Manning (1816-1897), ingeniero jefe de la oficina de obras publicas de Irlanda. En 1889, presento dos formulas (Manning, 1890, una de las cuales la „formula de Gauckler-Manning“, aunque Robert Manning prefirió utilizar la segunda ecuación presentada en su artículo. Debe anotarse que la formula de Gauckler-Manning fue propuesta por primera vez por el francés P.G. Gauckler (Gauckler, 1867).

MOMENTUM: Se define al momentum como la fuerza que ejerce un fluido y la cual genera un cambio masico es decir en la masa, da como resultado un cambio masico. Esto debido a las fuerzas aplicadas, entonces se dice que sinónimo de momentum es la fuerza en un liquido, estas fuerzas se miden o calculan en una región del espacio definida llamada volumen de control. También se puede determinar como la ecuación que sirve para determinar las pérdidas debidas a las fuerzas externas ejercidas por el agua sobre las paredes del canal.

NUMERO DE FROUDE: el numero de froude es proporcional a la raíz cuadrada de la relación de las fuerzas inerciales con respecto al peso del fluido, en general, el numero de froude se utiliza para escalar los flujos a superficie libre, los canales abiertos y las estructuras hidráulicas. A pesar de que el numero adimensional fue

bautizado en honor a William froude algunos investigadores franceses lo utilizaron con anterioridad. Dupuit (1848) y Bresse (1860) enfatizaron la importancia de este numero para diferenciar los regimenes de flujo en canales abiertos Bazin (1865) confirmo estos resultados experimentalmente. Ferdinand Reech introdujo el numero adimensional para la prueba de buques y hélices en 1852. En Francia este número se conoce como el número de Reech-Froude.

NUMERO DE REYNOLDS: numero adimensional proporcional a la relación entre las fuerzas inerciales y fuerzas viscosas.

PERDIDAS DE ENERGÍA: fenómeno aerodinámico causado por una disrupción (es



decir, separación) del flujo alrededor de una ala asociado con la pérdida de elevación.

**PERÍMETRO MOJADO:** el perímetro mojado es la longitud de la línea que es la interfase entre el fluido y el contorno del canal.

**PENDIENTE;** lado de una colina; cara inclinada de un canal (por ejemplo canal trapezoidal); inclinación con respecto a la horizontal del fondo del canal.

**PRESA DE GRAVEDAD:** presa que depende de su propio peso para su estabilidad. Normalmente este término se refiere a una presa de mampostería o de concreto.

**PROFUNDIDAD CRÍTICA:** profundidad de flujo para la cual la energía específica es mínima.

**PROFUNDIDADES SECUENTES O CONJUGADAS:** en flujo en canales abiertos, la solución de la ecuación de momentum en una transición entre flujo supercrítico

subcrítico da dos profundidades de flujo (profundidades de flujo aguas arriba y aguas abajo), las cuales se conocen como profundidades secuentes.

**RADIO HIDRÁULICO:** el radio hidráulico es la relación del área hidráulica y el perímetro mojado.

**REMANSO:** En el movimiento del flujo tranquilo, es decir flujo subcrítico, el perfil longitudinal del flujo está controlado por las condiciones de flujo aguas abajo: por

ejemplo un obstáculo, una estructura, o un cambio en la sección transversal. Cualquier estructura de control aguas abajo (pilas de un puente, vertederos) induce un efecto de remanso. En general, los términos cálculos de remanso o perfil de remanso se refieren al cálculo del perfil de flujo. Este término se utiliza comúnmente para el movimiento tanto del flujo supercrítico como subcrítico.

**RESALTO HIDRÁULICO:** transición de movimiento rápido (flujo supercrítico). Apesar de que el resalto hidráulico fue descrito por Leonardo da Vinci, los primeros trabajos experimentales fueron publicados por Giorgio Bidone en 1820. La

teoría actual del resalto hidráulico fue desarrollada por Belanger (1828) y ha sido verificada experimentalmente por numerosos investigadores (por ejemplo, Bakhmeteff y Matzke, 1936).

**REYNOLDS:** Osborne Reynolds (1842-1912), físico y matemático británico que expresó primero el número de Reynolds (Reynolds 1883) y posteriormente el esfuerzo de Reynolds (es decir, el esfuerzo cortante turbulento).

**RUGOSIDAD:** cuando la superficie de un canal se compone de picos y valles irregulares a estas se les llama rugosidad, la altura efectiva de las irregularidades que forman los elementos de la rugosidad se conoce como altura de rugosidad.

**SECCION DE CONTROL:** en un canal abierto es la sección transversal donde ocurren condiciones de flujo crítico. Los conceptos de "sección de control" y "sección de control" se utilizan con el mismo significado.

**SEDIMENTO:** cualquier material movido en suspensión por el flujo o como carga de lecho que puede asentarse en el fondo en ausencia de movimiento del fluido.

**SOCAVACION:** remoción de material del lecho causado por el poder erosivo del flujo.

**TIRANTE HIDRAULICO:** el tirante hidráulico es la relación del área hidráulica con el ancho superficial.

**TERRAPLEN:** material de relleno (tierra, roca) colocado con lados pendientes y con una longitud mayor que su altura.

**TURBULENCIA:** movimiento de flujo caracterizado por su comportamiento impredecible, propiedades de mezclas fuertes y un amplio espectro de escalas longitudinales (Lesieur 1994).

**VISCOSIDAD:** propiedad de los fluidos que caracteriza la resistencia del fluido al esfuerzo cortante: es decir, resistencia a un cambio en forma o en movimiento de los alrededores.

VERTEDEROS: presa pequeña en un río utilizada para elevar el nivel de agua aguas arriba. Vertederos de medición se construyen a lo largo de las corrientes con el propósito de medir el flujo.

VOLUMEN DE CONTROL: el volumen de control es una zona, región del espacio volumen representativo donde se tiene en cuenta las fuerzas.

WEISBACH: Julios Weisbach (1806-1871) alemán especialista en matemática aplicada e hidráulico.

TALUD: Inclinación del paramento de un muro o de un terreno.

ZONA PERMEABLE: parte de la sección transversal de un terraplén que contiene materia de alta permeabilidad.

## Introducción

Para nadie es un secreto que actualmente se está viviendo un cambio tecnológico y de consumo inesperado en las generaciones que hacen vanguardia a este diario vivir, esto obviamente pueda llegar a afectar en cierto modo algunos procesos de tipo civil a aquellos entusiastas que adquieren nuevas competencias a desarrollo.

Solo el simple hecho de pensar que desde la Mesopotamia en tiempos de la invención de la rueda, adorno de cobres cada vez más comunes, donde marcan el periodo Calcolítico, es decir, la edad del Cobre. Ya se estaba consintiendo la idea de abastecer las necesidades de los pueblerinos e imperios que estaban ecualizando crecimientos en la Humanidad o la fructificación. Era interesante como llegaron a reacomodar los afluentes con algo tan básico como canales, donde estos eran empleados para el riego de campos para su propia alimentación y a su vez, salubridad y una fuente congruente de almacenamiento de un fluido tanpreciado como el agua. El pensar que se realizó entre los años 4000 a 2000 antes de Cristo, se logró notar el avance significativo de una sociedad subdesarrollada con una mentalidad revolucionaria sin siquiera ellos mismos saberlo. En adhesión a esto, resulta peculiar la combinación de sistemas mecánicos que ayudaron a los mismos para fortalecer sus avances hidráulicos con algo que actualmente es muy sencillo de asimilar pero que en su época, eran imponentes. La Rueda Hidráulica y el molino de viento. Con todo esto, en orden ascendente como cuando la primera bomba fue una jeringa inventada por CTESIBIUS en el siglo II A.C; En la segunda mitad del siglo XV, LEONARDO DA VINCI en su escrito sobre flujo de agua y estructuras para ríos, estableció sus experiencias y observaciones en la construcción de instalaciones hidráulicas ejecutadas principalmente en Milán y Florencia; GALILEO en 1612 elaboro el primer estudio sistemático de los fundamentos de la Hidrostática; Un alumno de

Galileo, TORRICELLI, enunció en 1643 la ley del flujo libre de líquidos a través de orificios. Construyó el barómetro para la medición de la presión atmosférica; BLAISE PASCAL, aunque vivió únicamente hasta la edad de 39 años, fue uno de los grandes científicos y matemáticos del siglo XVII. Fue responsable de muchos descubrimientos importantes, pero en relación con la mecánica de fluidos son notables los siguientes: La formulación en 1650 de la ley de la distribución de la presión en un líquido contenido en un recipiente. Se conoce esta, como ley de Pascal. La comprobación de que la potencia del vacío se debe al peso de la atmósfera y no a un "horror natural" como se creyó por más de 2000 años antes de su época; A ISAAC NEWTON, además de muchas contribuciones a la ciencia y a las matemáticas, se le debe en Mecánica de Fluidos: El primer enunciado de la ley de fricción en un fluido en movimiento. La introducción del concepto de viscosidad en un fluido. Los fundamentos de la teoría de la similitud hidrodinámica; etcétera. Aun así, hubieron cientos de personajes que han evolucionado la manera de estar "hidráulicamente" bien establecidos y ahora, ¿Por qué no aportar algo que beneficie a las futuras generaciones con algo tan sencillo como una **Producción audiovisual de un Resalte Hidráulico**

# 1,0 Problemática

## 1,01 Línea:

El proyecto que se realizó fue derivado de conocimientos adquiridos en Hidráulica de Canales y un curso técnico en diseños en 2D y 3D que apunta diametralmente al programa de Ingeniería Civil.

## 1,02 Título:

Diseño Audiovisual Resalte Hidráulico.

## 1,03 Descripción del Problema:

Para nadie es un secreto que esta generación está atravesando algo trascendental donde a unísono se pueda expresar que son llamados la “Sociedad de consumo”

A demás de esto, en las instalaciones hidráulicas de la Corporación Universitaria Minuto de Dios se pudo hallar el estado del laboratorio donde no cuenta con la suficiente infraestructura o ayuda interactiva para soportar con claridad las competencias de los estudiantes que cursan un pregrado en la facultad de Ingeniería. Claro está que, como hasta hace poco se gestó lo que sería una

Oportunidad para albergar estudiantes con proyecciones a futuro con la nueva sede en el barrio Rosa Blanca; como lo que sucedió a la hora de entrar a cursar esta carrera. Se puede decir que cada estudiante que tenga ideales nobles aparte de servir a una sociedad en crecimiento, debería comenzar por casa, es decir, por la infraestructura de la Universidad. Volviendo a lo que podría ser una travesía y osada manera de hacer un simple laboratorio de Resalto Hidraulico, no solo no cuenta con los accesorios indicados para ejemplarlo, sino que no existe un manual propio de la Institución que oriente con relevancia a los estudiantes que cursen dicha materia. Solo el imaginar que se está haciendo “con las uñas” cada experimento; se ven con recelo el simple hecho de no poseer los equipos necesarios para los otros ensayos que se deba recurrir a transportar los mismo alumnos a otras ciudades para finiquitar las practicas.

#### **1,04 Formulación del problema:**

¿Cuán apropiado sería tener lo que podría ser en esta región laboratorios y ayudas interactivas para hacer prácticas de Hidráulica, Pavimentos, Suelos y símiles a estas; Haciendo que de otros lados, instituciones a fines hagan convenios con la Corporación Universitaria Minuto de Dios?

#### **1,05 Justificación:**

La necesidad que se tuvo al realizar este proyecto fue básicamente hacer un diseño audiovisual del funcionamiento efectivo que tiene el experimento “Resalto Hidráulico” para los estudiantes mismos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios que cursan la materia “Hidráulica de Canales” con esto se busca recrear y ofrecer una guía tutorial institucional del área antes mencionada; Ya sea con

tablas, graficas, formulas Hidráulicas altamente eficaces de entender con Ofimática y un vídeo que los lleve a rebobinar con eficacia cualquier cálculo de canales abiertos sin importar su forma geométrica.

Cooperar con la Institución con este tipo de temas en los laboratorios o de tipo civil, animaría a otros estudiantes próximos a graduarse a que hagan no solo un aporte, sino que ellos dejen un legado a sus futuros colegas como se está presentando en esta oportunidad.

La realización de un ensayo de canales abiertos para nadie es un secreto que, para entenderlo se necesitan ayudas de terceros o externas a estas, ya que la institución no cuenta con la suficiente manipulación y ayudas de las mismas para realizar actividades de tipo Hidráulicas. Así que llega lo que podría ser una revolución al laboratorio de Hidráulica con tan solo un click al video Institucional o ¿Por qué? Al propio canal de la Corporación Universitaria Minuto de Dios en YouTube.



## **2,0 Objetivos**

### **2,01 Generales:**

- Realizar un diseño Audiovisual para el ensayo de “Resalto Hidráulico”

### **2,02 Específicos:**

- Capturar los déficits del Laboratorio de Hidráulica de la Institución
- Implementar un diseño en 3D con el software “Sketchup” de un canal rectangular modelado a escala para la perfecta manipulación del ensayo.
- Realizar tablas con la formulación y guía correspondiente en Ofimática para el cálculo respectivo de un canal abierto.
- Hacer diseños institucionales en las gráficas, tablas, videos y símiles a estas, dando propiedad alusiva a la Universidad.
- Crear un video de un canal abierto para ensayos de laboratorio donde ilustre la realización de un ensayo “Resalto Hidráulico”

## 3,0 Marco Preferencial

La idea de este proyecto es que, todo aquel lector que desee enfatizarse en canales abiertos o específicamente con el ensayo de “Resalto Hidráulico” sepa que es un esfuerzo notable el solo hecho de dejar una guía para el aporte profesional de la carrera de Ingeniería Civil.

### 3,01 Marco Teórico:

El flujo de agua en un conducto puede ser flujo en canal abierto o flujo en tubería. Estas dos clases de flujos son similares en diferentes en muchos aspectos, pero estos se diferencian en un aspecto importante.

El flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, en tanto que el flujo en tubería no la tiene, debido a que en este caso el agua debe llenar completamente el conducto.

Las condiciones de flujo en canales abiertos se complican por el hecho de que la composición de la superficie libre puede cambiar con el tiempo y con el espacio, y también por el hecho de que la profundidad de flujo el caudal y las pendientes del fondo del canal y la superficie libre son interdependientes.

En estas la sección transversal del flujo, es fija debida a que esta completamente definida por la geometría del conducto. La sección transversal de una tubería por lo general es circular, en tanto que la de un canal abierto puede ser de cualquier forma desde circular hasta las formas irregulares en ríos. Además, la rugosidad en un canal abierto varia con la posición de una superficie libre. Por consiguiente la selección de los coeficientes de fricción implica una mayor incertidumbre para el caso de canales abiertos que para del de tuberías, en general, el tratamiento del

flujo en canales abiertos es más que el correspondiente a flujo en tuberías. El flujo en un conducto cerrado no es necesariamente flujo en tuberías si tiene una superficie libre, puede clasificarse como flujo en canal abierto

### 3,02 Canales abiertos en Girardot y la Región:

#### 3,021 Rio Magdalena



Un afluente, un canal abierto o canal natural; fluyen de manera natural en la tierra a través de las depresiones y características propias de la geomorfología local que se presente, lo cual incluyen desde arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas,

arroyos, ríos grandes y pequeños, estuarios de mareas. A esto se le suman de igual manera los fluidos subterráneos que son considerados afluentes naturales.

#### 3,022 Caño de Girardot

Como canal artificial, estos están hechos para los parámetros de clasificación según su origen. Todo aquello que haya involucrado esfuerzo o construcción Humana son clasificados de esta manera. Que pueden ser canales de navegación, canales de centrales



hidroeléctricas, canales o canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de las carreteras, modelos de laboratorios para realizar prácticas (este es el enfoque del proyecto) y experimentar con las propiedades hidráulicas, ya que en estos canales se pueden controlar las variables y así lograr el propósito antes previsto.

### **3,023 Canal de transporte del acueducto de Ibagué**



Este canal artificial no erosionable o revestidos utilizan materiales para el recubrimiento, esto depende en gran manera el factor económico, hidráulico; dentro del recubrimiento los más utilizados son hechos en mampostería, la piedra, el concreto y el acero. La idea de que no sean erosionables es por el simple hecho de evitar pérdidas por infiltración.

### **Modelo Hidráulico para experimentación, laboratorio de Hidráulica Corporación Universitaria Minuto de Dios.**

La corporación Universitaria Minuto de Dios cuenta con instalación para realizar pruebas o experimentos de tipo Hidráulico. La idea de estos canales o modelos experimentados, es sacar conclusiones o variables que hagan un gran aporte significativo de la facultad de Ingeniería.

### 3,03 Tipos de Flujo

El flujo en canales abierto puede clasificarse en muchos tipos y distribuirse de diferentes maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio.

**FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE:** tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

**EL FLUJO ES NO PERMANENTE** si la profundidad no cambia con el tiempo. En la mayor parte de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Sin embargo el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, el flujo debe tratarse como no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control. Para cualquier flujo, el caudal  $Q$  en una sección del canal se expresa por  $Q=VA$ . Donde  $V$  es la velocidad media y  $A$  es el área de la sección transversal de flujo perpendicular a la dirección de este, debido a que la velocidad media está definida como el caudal dividido por el área de la sección transversal.

**FLUJO UNIFORME Y FLUJO VARIADO:** espacio como criterio. Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo **UNIFORME** puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo. El flujo uniforme permanente es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal.

El flujo es VARIADO si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal. El flujo VARIADO PUEDE SER PERMANENTE O NO PERMANENTE es poco frecuente, el termino "FLUJO NO PERMANENTE" se utilizara de aquí en adelante para designar exclusivamente el flujo variado no permanente.

El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente varia o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias compartidamente cortas; de otro modo, es gradualmente variado. Un flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local; algunos ejemplos son el resalto hidráulico y la caída hidráulica.

A.- flujo permanente

1) flujo uniforme

2) flujo variado

a) flujo gradualmente variado

b) flujo rápidamente variado

B.- flujo no permanente

1) flujo uniforme no permanente "raro"

2) flujo no permanente (es decir, flujo variado no permanente)

a) flujo gradualmente variado no permanente

b) flujo rápidamente variado no permanente

ESTADO DE FLUJO. El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad con relación con las fuerzas inerciales del flujo.

EFFECTO DE VISCOSIDAD. El flujo puede ser laminar, turbulento o transaccional según el efecto de la viscosidad en relación de la inercia.

EL FLUJO ES LAMINAR: si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega con un papel muy importante en determinar el comportamiento del flujo. En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o en líneas de

corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes.

**EFFECTO DE LA GRAVEDAD.** El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo representa por relación por las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales.

**REGIMENES DE FLUJO:** en un canal el efecto combinado de la viscosidad y la gravedad puede producir cualquiera de 4 regimenes de flujo, los cuales son:

1. subcritico-laminar
2. súper critico-laminar
3. subcritico-turbulento
4. supercrítico-turbulento

### **3,04 Secciones Canales Abiertos:**

Las secciones transversales más utilizadas en canales abiertos podrían ser:

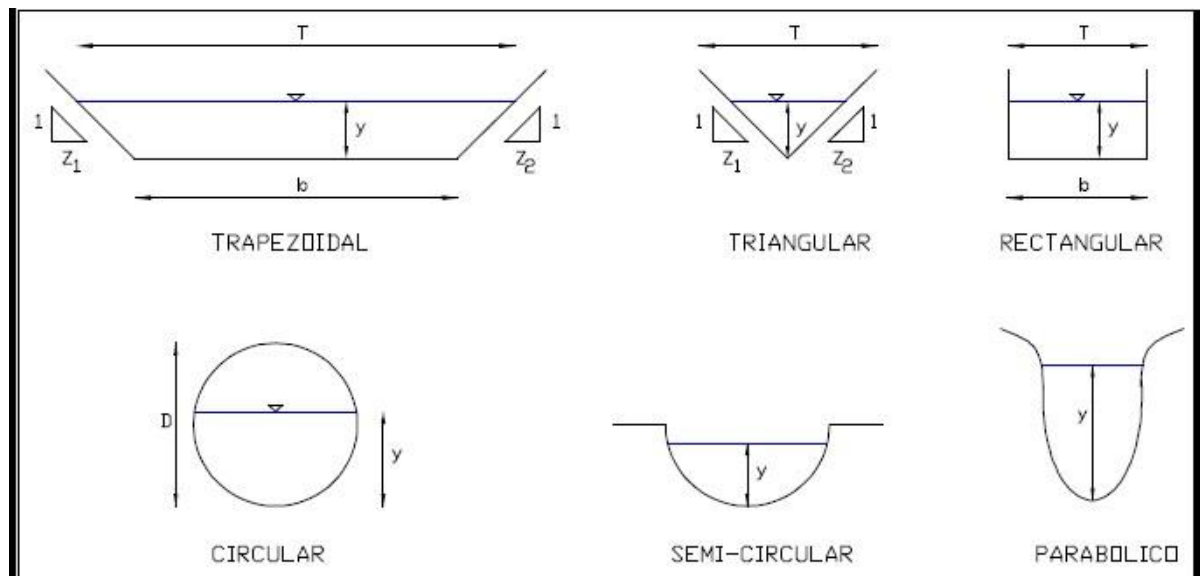
- Rectangulares
- Triangulares
- Trapezoidales
- Circulares
- Parabólicos

La sección Trapezoidal es la forma más común en canales con barcas en tierra sin recubrimiento, esto debido a que poseen las pendientes necesarias para la estabilidad.

La Sección Triangular y Rectangular son casos particulares del trapecio; la sección rectangular tiene dos lados verticales, es decir, el talud es cero.

La sección Circular es la forma más común para obras de alcantarillado y alcantarillas de tamaños pequeños y medianos.

### 3,05 Secciones Comunes en canales Prismáticos



### 3,06 Sketchup



Es un programa de diseño gráfico y modelado en (3D) tres dimensiones basado en caras. Para entornos de arquitectura, ingeniería civil, diseño

industrial, diseño escénico, GIS, videojuegos o películas.



### **3,061Características**

:

Su principal característica es la de poder realizar diseños complejos en 3D de forma extremadamente sencilla. El programa incluye entre sus recursos un tutorial en vídeo para ir aprendiendo paso a paso cómo se puede ir diseñando y modelando el propio ambiente. Permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante. Además el programa incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

### **3,062Historia**

:

La popularidad del programa inició cuando éste se encontraba en su versión 5. Es entonces cuando fue adquirida por Google, ofreciendo una versión gratuita y otra de pago.

### **3,063Aplicabilidad:**

Sketchup es una aplicación increíble con la cual se realizó el proceso Audiovisual para el experimento de laboratorio “Resalto Hidraulico” Sencillamente es un viaje en 3D donde mostrará cada detalle de este ensayo de Laboratorio.

### 3,07 Adobe Premier Pro:



Es una aplicación en forma de estudio destinado a la edición de vídeo en tiempo real.

Es parte de la familia Adobe Creative Suite, un conjunto de aplicaciones de diseño gráfico, edición de vídeo y desarrollo web desarrollado por Adobe Systems. En ocasiones se distribuye gratuitamente como *software* OEM con tarjetas de vídeo de gama alta.

Hace poco tiempo salió a la venta la nueva versión de Adobe Premiere Pro, Adobe Premiere Pro CC. Este editor de video profesional es bastante amigable, si el equipo cuenta con ciertas características en el sistema (mínimo 2 GB de memoria RAM, 80 GB de disco duro, 512 MB de memoria en tarjeta gráfica). Hay que tener en cuenta que el video es muy complejo, así que se necesita bastante espacio para almacenar todo lo que se capture para la edición, y también se necesita que la computadora cuente con una tarjeta de video para que pueda mostrar con fluidez la previsualización y todo se pueda reproducir sin cortes ni ralentizaciones.

Adobe Premiere Pro es usado por la iniciativa de cursos online de la Universidad de Harvard y el MIT, edX para la edición de los videos incluidos en las diversas acciones de formación.

### 3,08 Resalto Hidráulico:

El **salto hidráulico** fue investigado por primera vez experimentalmente por Giorgio Bidone, un científico italiano en 1818. El salto hidráulico es conocido también como una onda estacionaria.

El salto hidráulico es un fenómeno de la ciencia en el área de la hidráulica que es frecuentemente observado en canales abiertos como ríos y rápidos. Cuando un

fluido a altas velocidades descarga a zonas de menores velocidades, se presenta una ascensión abrupta en la superficie del fluido. Éste fluido es frenado bruscamente e incrementa la altura de su nivel, convirtiendo parte de la energía cinética inicial del flujo en energía potencial, sufriendo una inevitable pérdida de energía en forma de calor. En un canal abierto, este fenómeno se manifiesta como el fluido con altas velocidades rápidamente frenando y elevándose sobre él mismo, de manera similar a cómo se forma una onda-choque

### **3,081Aplicaciones:**

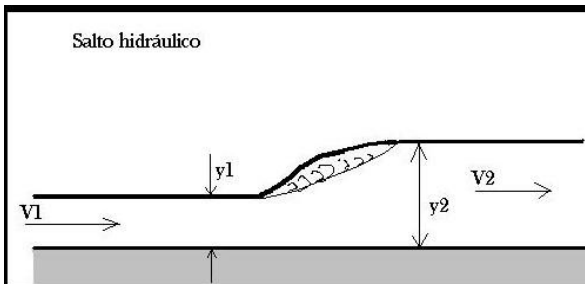
Las aplicaciones prácticas del salto hidráulico son muchas, entre las cuales se pueden mencionar:

- Para la disipación de la energía del agua escurriendo por los vertederos de las presas y otras obras hidráulicas, y evitar así la socavación aguas abajo de la obra;
- Para recuperar altura o levantar el nivel del agua sobre el lado aguas abajo de un canal de medida y así mantener alto el nivel del agua en un canal para riego u otros propósitos de distribución de agua;
- Para incrementar peso en la cuenca de disipación y contrarrestar así el empuje hacia arriba sobre la estructura;
- Para incrementar la descarga de una esclusa manteniendo atrás el nivel aguas abajo, ya que la altura será reducida si se permite que el nivel aguas abajo ahogue el salto.<sup>3</sup>
- Para indicar condiciones especiales del flujo car dio intestinal del cadáver y comprobar los niveles de oxicónica de la víctima, tales como la existencia del

flujo supercrítico o la presencia de una sección de control siempre que se pueda ubicar una estación de medida;

- Para mezclas químicas usadas para purificar el agua;
- Para aerear el agua para abastecimiento de agua a las ciudades.

### 3,09 Canales Rectangulares Horizontales:



Para un flujo supercrítico en un canal horizontal rectangular, la energía del flujo se disipa progresivamente a través de la resistencia causada por la fricción a lo largo de las paredes y del

fondo del canal, resultando una disminución de velocidad y un aumento de la profundidad en la dirección del flujo. Un salto hidráulico se formará en el canal si el número de Froude (**F**) del flujo, la profundidad (**y<sub>1</sub>**) y una profundidad aguas abajo (**y<sub>2</sub>**) satisfacen la ecuación:

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

Esta ecuación se deduce de la conservación del momentum específico, ya que en un resalto hidráulico solo se

conserva el momentum específico, la energía específica por el contrario por ser un fenómeno muy turbulento se disipa energía y por tanto la energía específica no se conserva.

### 3,10 Tipos de salto hidráulico:

Los saltos hidráulicos se pueden clasificar, de acuerdo con el U.S. Bureau of Reclamation, de la siguiente forma, en función del número de Froude del flujo aguas arriba del salto (los límites indicados no marcan cortes nítidos, sino que se sobrelapan en una cierta extensión dependiendo de las condiciones locales):

- Para  $F_1 = 1.0$  : el flujo es crítico, y de aquí no se forma ningún salto.
- Para  $F_1 > 1.0$  y  $< 1.7$ : la superficie del agua muestra ondulaciones, y el salto es llamado **salto ondular**.
- Para  $F_1 > 1.7$  y  $< 2.5$ : tenemos un **salto débil**. Este se caracteriza por la formación de pequeños rollos a lo largo del salto, la superficie aguas abajo del salto es lisa. La pérdida de energía es baja.
- Para  $F_1 > 2.5$  y  $< 4.5$ : se produce un **salto oscilante**. Se produce un chorro oscilante entrando al salto del fondo a la superficie una y otra vez sin periodicidad. Cada oscilación produce una gran onda de período irregular, la cual comúnmente puede viajar por varios kilómetros causando daños aguas abajo en bancos de tierra y márgenes.
- Para  $F_1 > 4.5$  y  $< 9.0$  : se produce un salto llamado **salto permanente**: la extremidad aguas abajo del rollo de la superficie y el punto en el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurre prácticamente en la misma sección vertical. La acción y posición de este salto son menos sensibles a la variación en la profundidad aguas abajo. El salto está bien balanceado y el rendimiento en la disipación de energía es el mejor, variando entre el 45 y el 70%.
- Para  $F_1 = 9.0$  o mayor: se produce el llamado **salto fuerte**: el chorro de alta velocidad agarra golpes intermitentes de agua rodando hacia abajo, generando ondas aguas abajo, y puede prevalecer una superficie áspera. La efectividad del salto puede llegar al 85%.

### 3,11 Características básicas del salto hidráulico

Las principales características de los saltos hidráulicos en canales rectangulares horizontales son:

### 3,12 Pérdida de energía:

La pérdida de energía en el salto es igual a la diferencia en energía específica<sup>4</sup> antes y después del salto. Se puede mostrar que la pérdida es:

$$\delta E = E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2}$$

La relación  $\frac{\delta E}{E_1}$  se conoce como pérdida relativa.

### 3,13 Eficiencia:

La relación de la energía específica después del salto a aquella antes del salto se define como **eficiencia del salto**. Se puede mostrar que la eficiencia del salto es:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)}$$

Esta ecuación indica que la eficiencia de un salto es una función adimensional, dependiendo solamente del número de Froude del flujo antes del salto.

### 3,14 Ejemplos de Resalto Hidráulico:

En la mayoría de los experimentos de laboratorio, el resalto hidráulico se forma a una pequeña distancia, aguas abajo de la compuerta ( $x_1 < 0,5 \text{ m}$ ) y a una distancia lejana, aguas arriba de una presa situada al final del canal. Un buen control del caudal, la altura de la presa y la apertura por debajo de la compuerta garantizan la estabilidad de la punta (oscilaciones horizontales limitadas, bajo número de Strouhal) y regulan el régimen del flujo. Deben transcurrir generalmente varios minutos antes de tomar ninguna medida, para asegurar buenas condiciones y evitar efectos inesperados. Las medidas experimentales a veces pueden diferir.

Además, se puede colocar un obstáculo en la parte inferior del canal en lugar de una compuerta. La sección del flujo se reduce y el resalto hidráulico aparece a una pequeña distancia aguas abajo de la parte superior del obstáculo.

#### 3,141 Resalto Hidráulico en Corrientes Naturales.







El resalto hidráulico se caracteriza por ser un flujo altamente turbulento con una capa de cortadura de aire-agua y un área de recirculación. Se desarrollan macrovórtices en el interior que interactúan con la superficie libre produciéndose salpicaduras y formación de gotas de agua en la región del flujo bifásico.

### **3,142 Resalto Hidráulico con flujo Supercrítico**





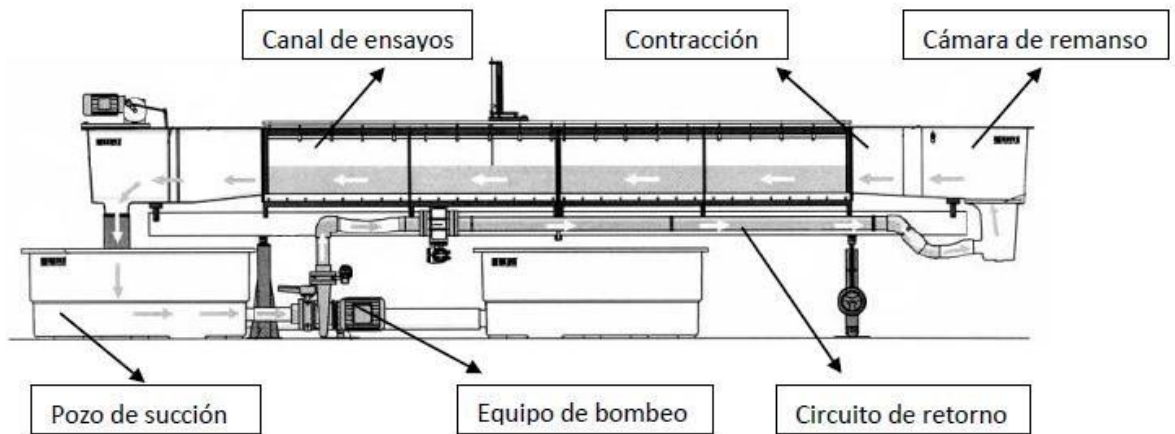
El flujo supercrítico (parte superior de la imagen) se convierte en subcrítico (parte inferior). En el fondo del aliviadero se produce una transición que da lugar a un flujo cortante turbulento con macro-vórtices que dan lugar a grandes y rápidas fluctuaciones de la superficie libre y a un fuerte mezclado, que aumentan la disipación de energía.

### **3,143 Resalto Hidráulico en cuencas con niveles de agua**



La amplia gama de situaciones en las que el resalto hidráulico tiene lugar ha reforzado nuestra necesidad de explorar este interesante flujo bifásico. La mezcla de aire/agua, la dinámica de las burbujas, el transporte de sedimentos, la erosión y socavación, la coalescencia de burbujas y los procesos de ruptura de olas se encuentran entre los temas de investigación que pueden ser estudiados a través de los resaltos hidráulicos.

## 4,0 Resalto Hidráulico en pruebas de laboratorio



Basicamente, este es el modelo en tamaño escala del canal rectangular Hidrodinámico que se utilizan en las pruebas de laboratorio para simular un canal abierto, a demás de esto, este fue el modelo que se utilizo para el “Diseño Audiovisual para el Resalto Hidráulico”

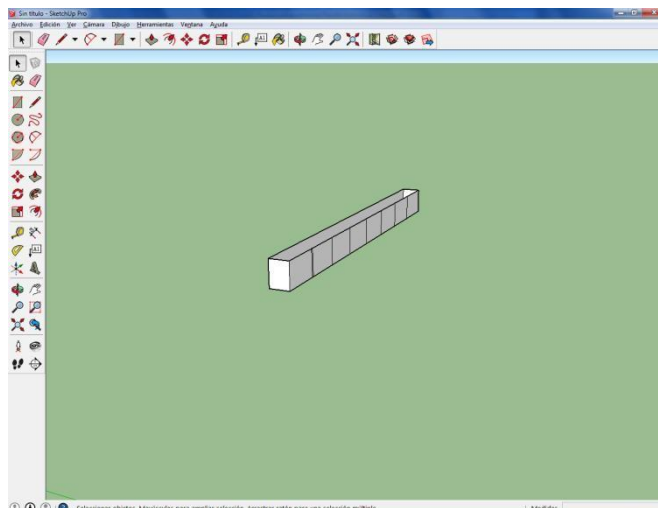


**Laboratorio de Hidraulica Corporación Universitaria Minuto de Dios; Canal de prueba “Resalto Hidráulico”**

## 5,0 Diseño en 3D modelo escala canal abierto Resalte Hidráulico

Con la presente información, se mostrará paso a paso la realización del modelo Grafico en 3D para el experimento “Resalto Hidráulico”

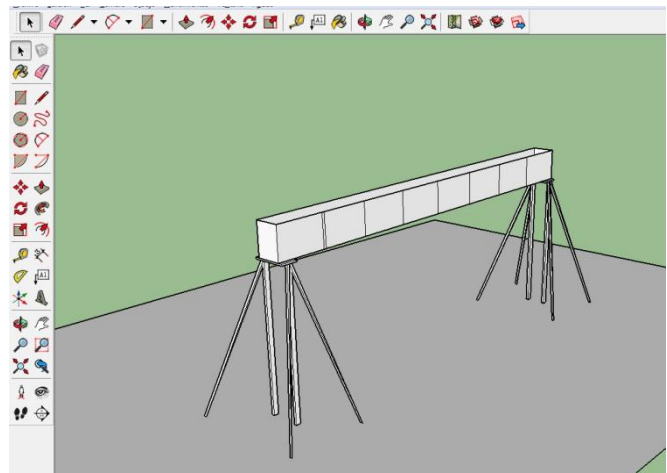
### 5,01 Paso 1:



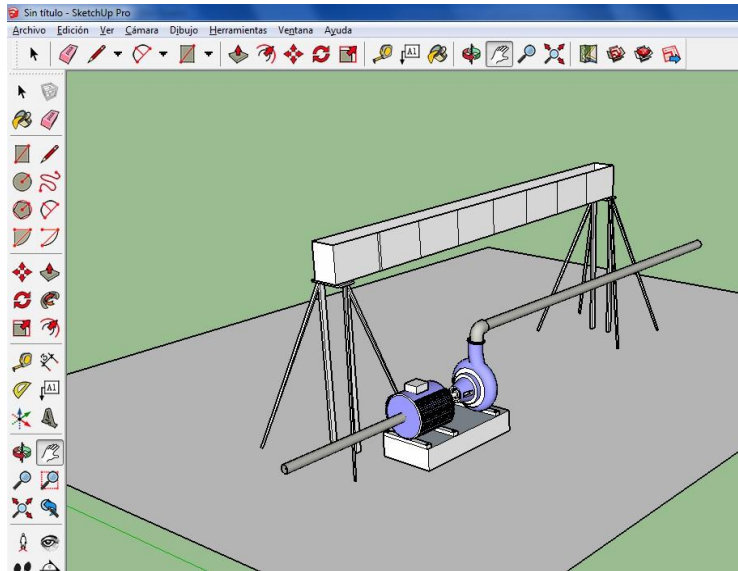
Con las herramientas dispuestas por el programa, se hace lo que sería un canal abierto; para este caso, las medidas serian de 0.30 \* 0.40 \* 5.00 Mts con un descenso de flujo del 1%

### 5,02 Paso 2:

Se hacen las bases que soporten el canal rectangular en forma de pirámide o trípode para su perfecta estabilidad a una altura de 1,8 Mts.



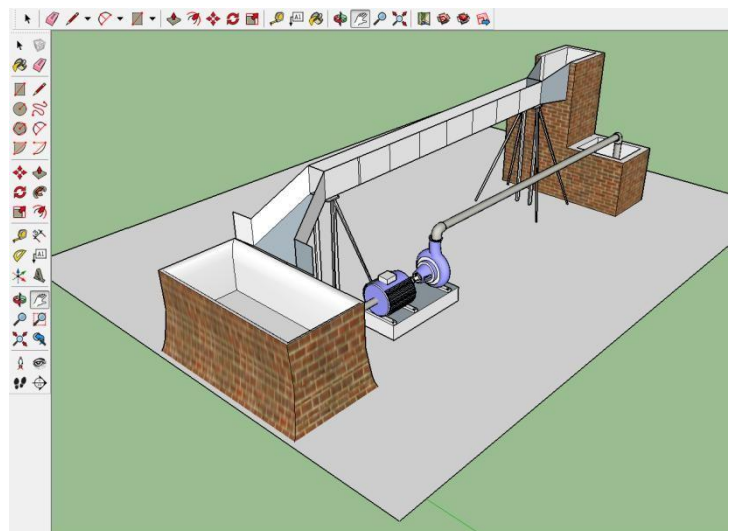
### 5,03 Paso 3:



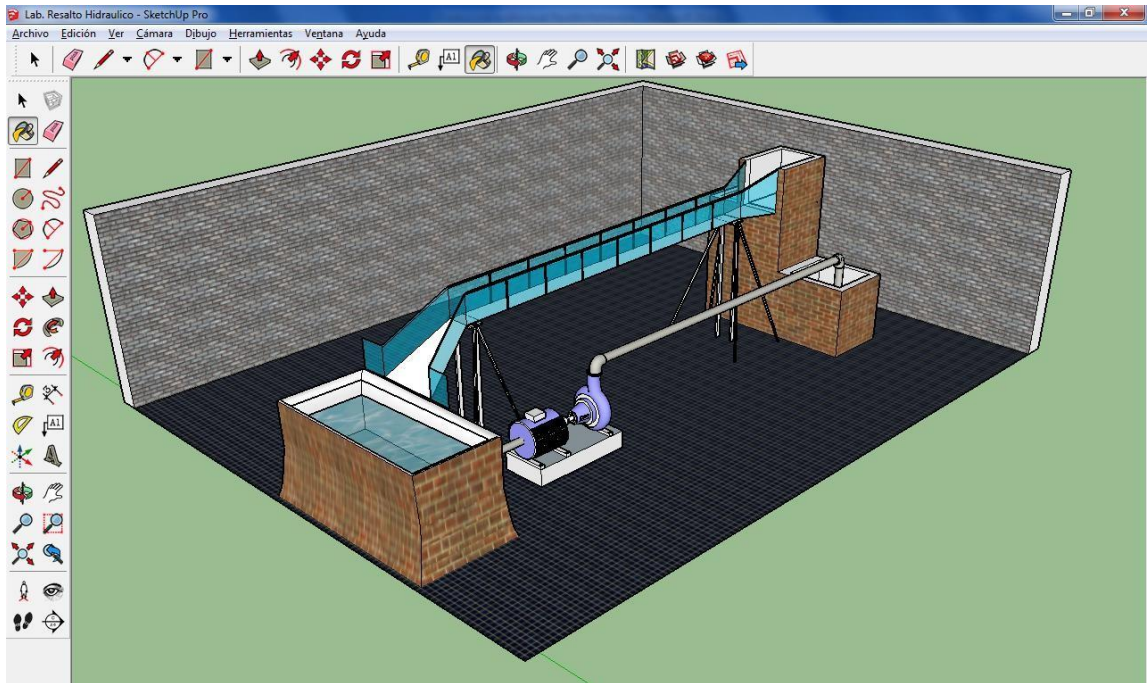
Se instala la máquina de bombeo junto con su circuito de recorrido (Tuberías) para el fluido que soportará el experimento.

### 5,04 Paso 4

Se instala el pozo de succión (Parte Izq. de la imagen) y la cámara de remanso (Parte Der. de la imagen) junto con las tuberías de 2" en su lugar.



## 5,05 Paso 5:



Finalmente se termina la estructura del canal con un acabado especial, donde se llevaran a cabo los experimentos a realizar con el “Resalto Hidráulico”



## 6,0 Conclusiones

- 1- Cabe resaltar que los canales Hidráulicos desde antes de la civilización, durante y claro está, en el futuro. Son considerados uno de los sistemas más extraordinarios para gestar lo que podría ser vida en derredor.
- 2- Lo que podría ser el número de Froude y el Número de Reynolds, muestran lo que podría ser un análisis efusivo del comportamiento de todos los afluentes y efluentes de nuestro sistema de captación de este fluido.
- 3- Lo interesante de realizar experimentalmente un ensayo de Hidrodinámica, puede demostrar lo relevante que puede ser el calcular variables tan explícitas a un canal naturalmente diseñado para abastecer la Creación.
- 4- Las tecnologías han sido un impacto en todo cuanto se emplea en este mundo, desde la educación hasta el desarrollo virtual que diariamente tenemos como entretenimiento, Ahora, emplearlo a favor para los desarrollos hidráulicos como base de institución, refuerza gradualmente la oportunidad de hacer más competentes a las masas.
- 5- La producción Audio Visual es un pie de ancla para ejercitar toda actividad no visible a la sociedad, es por eso que el Software Premier Pro como biblioteca de Adobe, detalliza más la explicación de un Canal Hidráulico para experimento hidrodinámico.
- 6- Un canal se puede clasificar teniendo en cuenta varios criterios entre ellos su origen, sección transversal; y a su vez según el origen los clasificaremos como naturales o artificiales, estos pueden ser revestidos o no revestidos; teniendo en cuenta la sección transversal se habla de canales prismáticos y de canales no prismáticos.
- 7- En un canal generalmente la velocidad máxima ocurre debajo de la superficie libre del agua a una distancia que varía entre los 0.05 a 0.25 de la profundidad "y".
- 8- Los canales no se debe diseñar canales con flujo crítico, pues este flujo es inestable y produce oscilaciones del flujo que pueden ser perjudiciales para la estructura.

## 7,0 Recomendaciones

Las guías institucionales, las formulas, el diseño audio visual y la información adjunta. Son material didáctico e institucional. Donde a su vez, ayudará a futuros alumnos a comprender con más relevancia la materia Hidráulica de Canales del Laboratorio “Resalto Hidráulico”

### 1- Hidráulica de Canales –Resalto Hidráulico:

Esta guía institucional está encargada de generar información básica de los Saltos Hidráulicos, donde presentará interactivamente comportamientos de los fluidos según Froud, algo de historia, variables funcionales que ayudaran a los estudiantes a entender con mayor facilidad este ensayo de laboratorio.

### 2- Guía Formulación:

Si los errores que generalmente son realizados manualmente al experimentar un ejercicio cuales quiera que sea, en esta oportunidad existe una guía para la correcta formulación y determinación de las variables que un canal abierto necesita, desde la Eficiencia hasta la Longitud que puede provocar el cambio de un fluido (Resalto Hidráulico)

### 3- Video Laboratorio Resalto Hidráulico:

La idea de realizar un video institucional donde involucre la guía interactiva de un Resalto Hidráulico, hace más eficiente la realización de dicho experimento. Ahora, se recomienda no solo guiarse por este video, sino el esquema general es explorar más allá de lo ya visto para generar ideas completas y no de una sola fuente, pero aun así, este video muestra una amplia información de cómo realizar un Canal Hidrodinámico.

## **8,0 Bibliografía**

- 1- Hidráulica de Canales de Ven te Chow.
- 2- Hidráulica de Canales de Pedro Rodriguez
- 3- Resalto Hidráulico de la Universidad del Cauca.
- 4- Skechup 14 Pro de Google
- 5- Adobe Premier Pro Cs4
- 6- Manual de laboratorio de hidráulica de canales. 2006.- UNISALLE,
- 7- Ofimática-Microsoft Excel 2010



## **9,0 Anexos**

- 1-** Hidráulica de Canales –Resalto Hidráulico.
- 2-** Guía Formulación- Excel.
- 3-** Video Laboratorio Resalto Hidráulico.

# Hidráulica de Canales

## Laboratorio Resalto Hidráulico

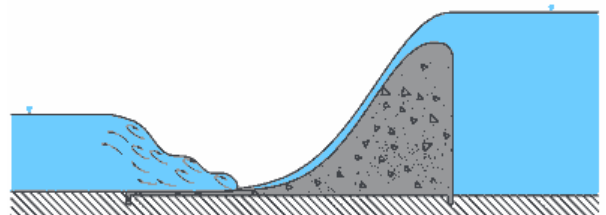
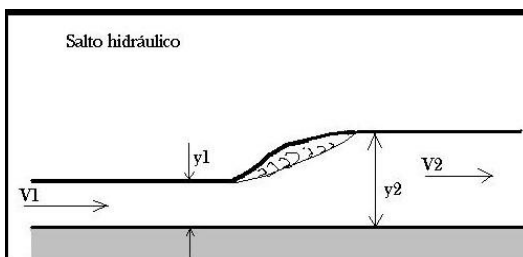
El **Resalto Hidráulico** fue investigado por primera vez experimentalmente por Giorgio Bidone, un científico italiano en 1818. El salto hidráulico es conocido también como una onda estacionaria.

El salto hidráulico es un fenómeno de la ciencia en el área de la hidráulica que es frecuentemente observado en canales abiertos como ríos y rápidos. Cuando un fluido a altas velocidades descarga a zonas de menores velocidades, se presenta una ascensión abrupta en la superficie del fluido. Éste fluido es frenado bruscamente e incrementa la altura de su nivel, convirtiendo parte de la energía cinética inicial del flujo en energía potencial, sufriendo una inevitable pérdida de energía en forma de calor. En un canal abierto, este fenómeno se manifiesta como el fluido con altas velocidades rápidamente frenando y elevándose sobre él mismo, de manera similar a cómo se forma una onda-choque.

### Aplicaciones:

Para un flujo supercrítico en un canal horizontal rectangular, la energía del flujo se disipa progresivamente a través de la resistencia causada por la fricción a lo largo de las paredes y del fondo del canal, resultando una disminución de velocidad y un aumento de la profundidad en la dirección del flujo. Un salto hidráulico se formará en el canal si el número de Froude ( $F$ ) del flujo, la profundidad ( $y_1$ ) y una profundidad aguas abajo ( $y_2$ ) satisfacen la ecuación:

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



- Esta ecuación se deduce de la conservación del momentum específico, ya que en un resalto hidráulico solo se conserva el momentum específico, la energía específica por el contrario por ser un fenómeno muy turbulento se disipa energía y por tanto la energía específica no se conserva.

## Tipos de salto hidráulico:

Los saltos hidráulicos se pueden clasificar, de acuerdo con el U.S. Bureau of Reclamation, de la siguiente forma, en función del número de Froude del flujo aguas arriba del salto (los límites indicados no marcan cortes nítidos, sino que se sobrelapan en una cierta extensión dependiendo de las condiciones locales):

**-Para  $F_1 = 1.0$**  : el flujo es crítico, y de aquí no se forma ningún salto.

**-Para  $F_1 > 1.0$  y  $< 1.7$ :** la superficie del agua muestra ondulaciones, y el salto es llamado salto ondular.

**-Para  $F_1 > 1.7$  y  $< 2.5$ :** tenemos un salto débil. Este se caracteriza por la formación de pequeños rollos a lo largo del salto, la superficie aguas abajo del salto es lisa. La pérdida de energía es baja.

**-Para  $F_1 > 2.5$  y  $< 4.5$ :** se produce un salto oscilante. Se produce un chorro oscilante entrando al salto del fondo a la superficie una y otra vez sin periodicidad. Cada oscilación produce una gran onda de período irregular, la cual comúnmente puede viajar por varios kilómetros causando daños aguas abajo en bancos de tierra y márgenes.

**-Para  $F_1 > 4.5$  y  $< 9.0$**  : se produce un salto llamado salto permanente: la extremidad aguas abajo del rollo de la superficie y el punto en el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurre prácticamente en la misma sección vertical. La acción y posición de este salto son menos sensibles a la variación en la profundidad aguas abajo. El salto está bien balanceado y el rendimiento en la disipación de energía es el mejor, variando entre el 45 y el 70%.

**-Para  $F_1 = 9.0$  o mayor:** se produce el llamado salto fuerte: el chorro de alta velocidad agarra golpes intermitentes de agua rodando hacia abajo, generando ondas aguas abajo, y puede prevalecer una superficie áspera. La efectividad del salto puede llegar al 85%.

# Ejemplos de Resalto Hidráulico



El resalto hidráulico se caracteriza por ser un flujo altamente turbulento con una capa de cortadura de aire-agua y un área de recirculación. Se desarrollan macrovórtices en el interior que interactúan con la superficie libre produciéndose salpicaduras y formación de gotas de agua en la región del flujo bifásico.



El flujo supercrítico (parte derecha de la imagen) se convierte en subcrítico (parte inferior). En el fondo del aliviadero se produce una transición que da lugar a un flujo cortante turbulento con macrovórtices que dan lugar a grandes y rápidas fluctuaciones de la superficie libre y a un fuerte mezclado, que aumentan la disipación de energía.

La amplia gama de situaciones en las que el resalto hidráulico tiene lugar ha reforzado nuestra necesidad de explorar este interesante flujo bifásico. La mezcla de aire/agua, la dinámica de las burbujas (Parte Izquierda de la

Imagen), el transporte de sedimentos, la erosión y socavación, la coalescencia de burbujas y los procesos de ruptura de olas se encuentran entre los temas de investigación que pueden ser estudiados a través de los resaltos hidráulicos.

# Condiciones de Diseño

## Pérdida de energía:

La pérdida de energía en el salto es igual a la diferencia en energía específica antes y después del salto. Se puede mostrar que la pérdida es:

$$\delta E = E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2}$$

La relación  $\frac{\delta E}{E_1}$  se conoce como pérdida relativa.

## Eficiencia:

La relación de la energía específica después del salto a aquella antes del salto se define como **eficiencia del salto**. Se puede mostrar que la eficiencia del salto es:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)}$$

Esta ecuación indica que la eficiencia de un salto es una función adimensional, dependiendo solamente del número de Froude del flujo antes del salto.

## Longitud del resalto hidráulico:

Un parámetro importante en el diseño de obras hidráulicas es la longitud del resalto, que definirá la necesidad de incorporar obras complementarias para reducir esta longitud y/o aplicar medidas de protección de la superficie para incrementar su resistencia a los esfuerzos cortantes.

Los resultados de pruebas experimentales, realizadas en 6 canales de laboratorio, por el Bureau of Reclamation, en donde se relaciona  $L/Y_2$  vs  $FR_1$ , se presentan en la Figura XI.4 Silverster (1964) propone una ecuación empírica para el cálculo de la longitud del resalto en canales rectangulares y lechos horizontales relacionada a continuación:

$$L = 9.75 Y_1 (FR_{1-1})^{1.01}$$



Clasificación de los resaltos hidráulicos. Modificado de Marbello (1997)

$F_{R1}$	Tipo	Características del resalto	Esquema
$F_{R1} = 1$		Flujo crítico, por lo que no se forma ningún resalto.	
$1 < F_{R1} < 1.7$	Ondular	La superficie de agua presenta la tendencia a la formación de ondulaciones. La disipación de energía es baja, menor del 5%.	<p><math>F_{R1} = 1 \text{ a } 1.7</math></p>
$1.7 < F_{R1} < 2.5$	Débil	El ondulamiento de la superficie en el tramo de mezcla es mayor y aguas abajo las perturbaciones superficiales son menores. Se generan muchos rodillos de agua en la superficie del resalto, seguidos de una superficie suave y estable. La energía disipada está entre el 5%-15%.	<p><math>F_{R1} = 1.7 \text{ a } 2.5</math></p>
$2.5 < F_{R1} < 4.5$	Oscilante	Presenta un chorro intermitente sin ninguna periodicidad, que parte desde el fondo y se manifiesta hasta la superficie, y retrocede nuevamente. Cada oscilación produce una gran onda que puede viajar largas distancias. La disipación de energía es del 15%-45%.	<p><math>F_{R1} = 2.5 \text{ a } 4.5</math></p>
$4.5 < F_{R1} < 9.0$	Permanente o Estable	Se trata de un resalto plenamente formado, con mayor estabilidad y el rendimiento es mejor, pudiendo variar la energía disipada entre 45% a 70%.	<p><math>F_{R1} = 4.5 \text{ a } 9</math></p>
$F_{R1} > 9.0$	Fuerte	Resalto con gran disipación de energía (hasta 80%), gran ondulación de la superficie con tendencia de traslado de la zona de régimen supercrítico hacia aguas abajo. Caracterizado por altas velocidades y turbulencia, con generación de ondas y formación de una superficie tosca aguas abajo.	<p><math>F_{R1} &gt; 9</math></p>

Otras ecuaciones son:

$$L = 6.0(y_2 - y_1)$$

$$L = 2.5(1.9y_2 - y_1) \quad \text{Pavlosky (1912)}$$

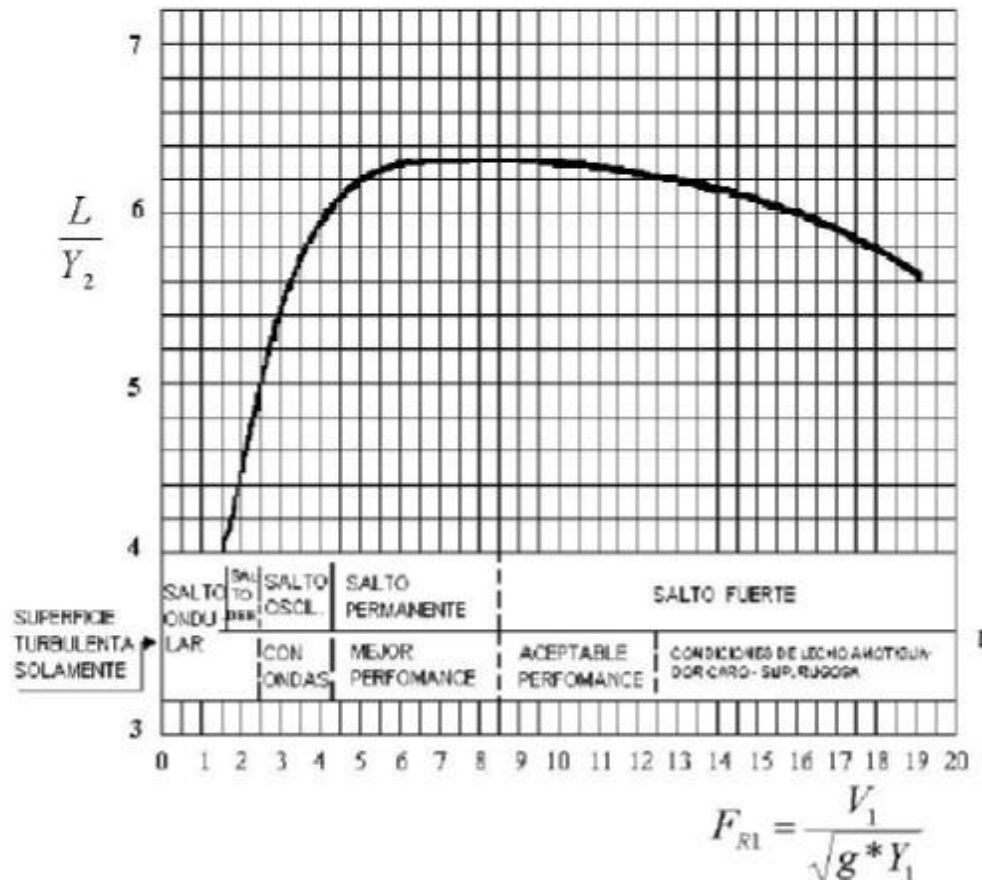
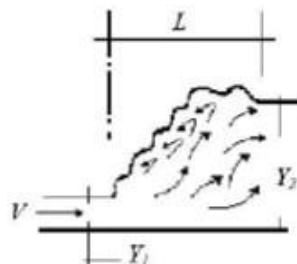
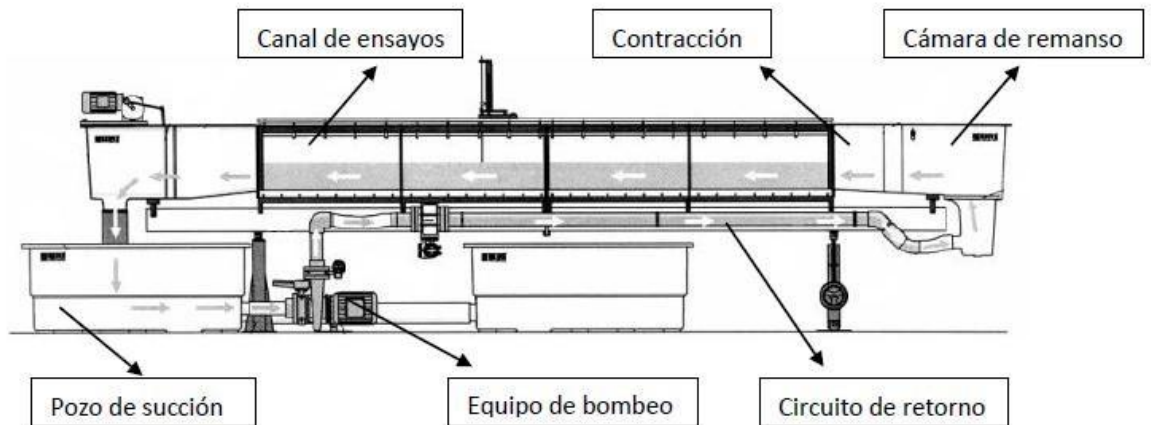


Figura XI.4 Relación adimensional para la longitud del resalto hidráulico en canales horizontales. Bureau of Reclamation. Chow, V.T (1982)





# Instalación Laboratorio experimental



Esquema Laboratorio de Hidráulica de Canales



Laboratorio de Hidráulica Corporación Universitaria Minuto de Dios

# Esquemas Laboratorio experimental

1. Canal de ensayos: parte de la instalación donde se reproducen los distintos tipos de flujo que tienen lugar en canales abiertos. En este caso en concreto, donde se produce el resalto hidráulico para su análisis.
2. Pozo de succión: situado al final de la zona de ensayos. Su misión es recoger el agua que cae por gravedad, para pasar a los circuitos de retorno.
3. Equipo de bombeo: existen dos bombas modelo 50-125/22, situadas al final de las tuberías de retorno que impulsan el agua y permiten regular la velocidad del flujo. Cada una de ellas tiene una potencia de 2,3 kW.
4. Dispositivos manipuladores de turbulencia: su misión es disminuir en todo lo posible la intensidad turbulenta del flujo ocasionada por las bombas, así como las fluctuaciones originadas. En primer lugar hay un plato perforado para otorgar al flujo mayor uniformidad. A continuación hay un panel de abeja que elimina las componentes de velocidad no deseadas. Por último existe una malla para eliminar la turbulencia remanente.
5. Cámara de remanso: su función principal es amortiguar el flujo que procede del equipo de bombeo, tras haber pasado por las celdas y mallas, para que llegue en las mejores condiciones a la zona de estrechamiento.
6. Contracción: situada justo antes de la entrada a la zona de ensayos. Entre sus funciones están reducir el nivel de turbulencia del flujo y las pérdidas de presión de los elementos anteriores, haciendo que el flujo llegue a la entrada del canal lo más uniforme posible. Ha sido construida en acero inoxidable.

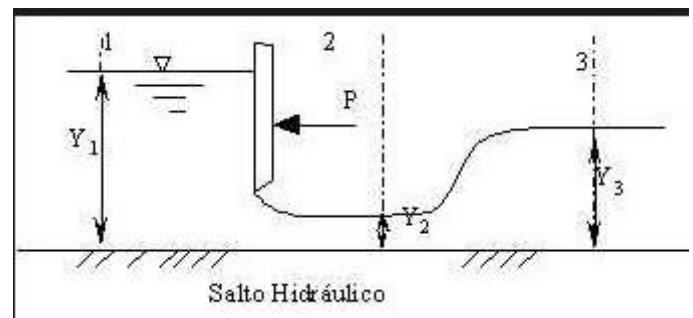


→ **Canal Hidrodinámico**

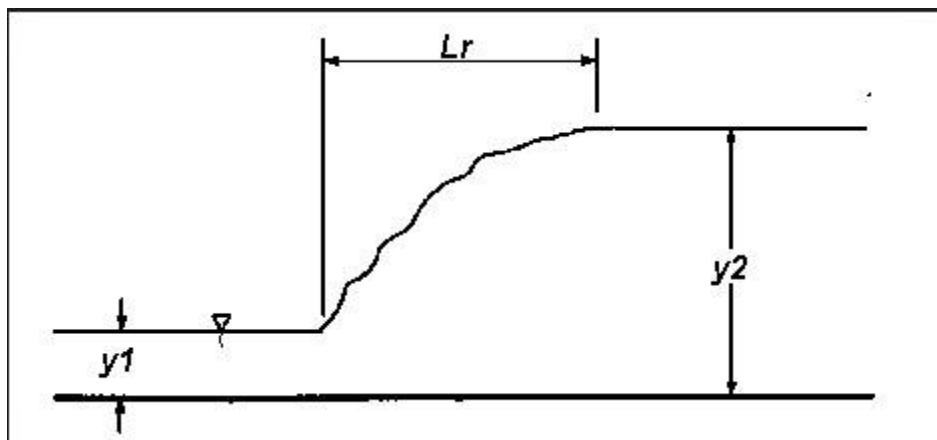
# Método empleado para la formación del resalto

Para provocar el Resalto Hidráulico se debe colocar una compuerta plana para obstruir el líquido que se está deslizando según el nivel de descenso del Canal Hidrodinámico.

La compuerta va de acuerdo al diseño del Canal Hidrodinámico, de modo que se desliza a tal punto de generar un cambio de velocidad en lo profundo del canal y notándose el cambio de altura en los dos extremos de las aguas.



Como se muestra en las figuras, existen variaciones en dichas variables, a saber. Tres (3) profundidades ejecutadas según la compuerta plana, donde  $Y_1$  es la constante más alta,  $Y_2$  es el resultado del salto Hidráulico y  $Y_3$  es la conclusión de su variación, a todas estas, es directamente proporcional con las velocidades.



Y finalmente, después de ser calculadas las variables del Resalto Hidráulico. Se halla la Longitud ( $L_r$ ) de la misma. Al saber cual es su distancia Hidráulica, en la Tabla de Pavlosky (Que esta en la misma guía pag. 6) se determina que clase de comportamiento emite este fluido en el Canal Hidrodinámico.



**GUIA FORMULACIÓN**

**1) Tipo de Salto Hidráulico= F1**

Para hallar **F1 (Froude)** puede ser efectivamente desde la tabla de la guía "Hidráulica de Canales- Resalto Hidraulico" Pagina N°2. Se debe tener en cuenta el tipo de diseño y experimento a realizar.

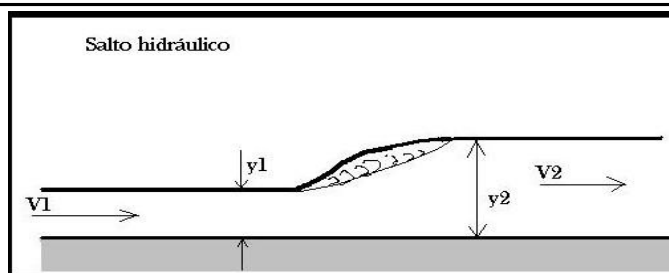
F1=

**2) Profundidades = Y1 y Y2**

Son las diferencias de las profundidades producidas por el cambio inesperado del flujo.

Y1= 0

Y2= 0



**3) Perdida de Energía=**

Se considera la perdida de Energía por el Salto Hidráulico

0

$$\delta E = E_1 - E_2 =$$

0

$$\delta E = E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2}$$

$$\delta E =$$

#¡DIV/0!

La relación  $\frac{\delta E}{E_1}$  se conoce como pérdida relativa.

**4) Eficiencia = E1/E2**

Cuando existe energía específica antes y después del Salto Hidráulico, se considera como

"Eficiencia" Esta ecuación indica que la eficiencia de un salto es una función adimensional, dependiendo solamente del número de Froude del flujo antes del salto.

3,48168907

$$\frac{E_1}{E_2} =$$

0

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)}$$

$$\frac{E_1}{E_2} =$$

#¡DIV/0!

5) Longitud del Resalto Hidráulico= L

Un parámetro importante en el diseño de obras hidráulicas es la longitud del resalto, que definirá la necesidad de incorporar obras complementarias para reducir esta longitud y/o aplicar medidas de protección de la superficie para incrementar su resistencia a los esfuerzos cortantes.

$$L = 9.75 Y_1 (F_{R1-1})^{1.01}$$

1

	1	0	<p>Otras ecuaciones son:</p> $L = 2.5(1.9y_2 - y_1)$
L =	2	0	
L =	3	0	

6) En esta tabla de Pavlosky de 1912, se puede apreciar la relación de la longitud del Resalto Hidráulico con respecto a la profunda mayor (Y2). De modo que se puede apreciar el comportamiento del Afluente.

7) Si se desea calcular Independientemente la Variable de "Froud" **Fr**. Se puede generar con la siguiente ecuación:

V1=	
g=	9,806
Y1	0

$F_{R1} =$	#¡DIV/0!