

**DISEÑO DE LA NUEVA PLATAFORMA CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y
DOCENTE DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**



RICARDO ALONSO SANTAELLA OJEDA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2007**

**DISEÑO DE LA NUEVA PLATAFORMA CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y
DOCENTE DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**



RICARDO ALONSO SANTAELLA OJEDA



**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

Leonardo David Donado Garzón



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2007**

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración recibida a aquellos que hicieron posible de este proyecto y en especial a:

A mi director de proyecto, el ingeniero Leonardo David Donado Garzón por su apoyo al colaborarame y guiarme para el buen desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Jorge Guzmán, cuyo apoyo e impulso fue clave en el adelanto de este proyecto.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil por ayudarme a convertirme en Ingeniero Civil.

A mis compañeros, y sobre todo a aquellas personas que me acompañaron durante toda la carrera, y que compartieron conmigo todas las gratas experiencias que ofrece la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

0	Resumen	11
1	Introducción.....	12
2	Descripción del Laboratorio	14
3	Nuevas estrategias de mediación mediante modelado.....	15
4	Nueva guía de modelado en Hidráulica.....	23
5	Discusión (Análisis, Conclusiones, Sugerencias)	24
6	Referencias	25
	ANEXOS.....	26

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – Ubicación del Laboratorio de hidráulica en el campus universitario UIS	14
Fig. 2 – Obstáculos en acrílico para el canal de vidrio.....	18
Fig. 3 – Instalación de perfiles de acero inoxidable.	19
Fig. 4 – Vertederos de cresta aguda instalados en el canal de vidrio.	21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Áreas del edificio del laboratorio de hidráulica..	14
---	----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Instalación de perfiles de acero en el canal de vidrio.	23
ANEXO B – Obstáculos para el canal de vidrio.	26
ANEXO C – Construcción de vertederos de cresta aguda.	28
ANEXO D – Instalación y funcionamiento de los obstáculos y vertederos.	34
ANEXO E – Curvas de calibración para los vertederos.	39
ANEXO F – Guía de prácticas para el Laboratorio de hidráulica.*	49
ANEXO G – Guía de iniciación del Software HEC-RAS v.3.1.3.*	90

*Este material de Soporte se encuentra también en la carpeta de anexos, junto con la guía multimedia en Flash del laboratorio que se encuentra en la carpeta Hidráulica UIS.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE LA NUEVA PLATAFORMA CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y DOCENTE DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA.*

AUTOR:

SANTAELLA OJEDA, Ricardo Alonso**

PALABRAS CLAVES:

Aprendizaje significativo, Laboratorio, Hidráulica, HEC-RAS, vertederos.

DESCRIPCIÓN:

Por medio de esta plataforma, se quiere despertar el ánimo y el gusto por la formación de un aprendizaje significativo, basado en el conocimiento creado y reforzado por cada individuo, se trata de conseguir, que nazca un interés propio para que cada estudiante se impregne del conocimiento y de los conceptos, aplicados específicamente a la hidráulica, por su propia cuenta y sea capaz de desarrollar él mismo, conclusiones a partir de lo observado.

Se propone una guía con cinco prácticas que abarcan las principales afectaciones del flujo de agua en canales y en cursos de aguas naturales tales como la pendiente, sección transversal, rugosidad de la superficie, el régimen de flujo y la presencia de obstáculos. No puede faltar el uso de la tecnología, en la cual se deberán apoyar los alumnos para facilitar el procesamiento de datos, ya que urge y es de vital importancia que desde ya, se familiaricen con el uso de hojas electrónicas como las del programa Microsoft Excel®. Para completar las nuevas propuestas y el soporte tecnológico para el laboratorio se implementará el uso de HEC-RAS, un programa de simulación y análisis fluvial.

Durante la remodelación y formulación de nuevas alternativas, fue necesario diseñar y elaborar nuevos obstáculos y vertederos, a fin de crear un ambiente propicio para el desarrollo de las prácticas generando unas condiciones de observación más directa, didáctica y sobre todo personal de cada estudiante, quien individualmente debe lograr interpretar los cambios y fenómenos presentes en cada situación propuesta en las prácticas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisco Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. DONADO GARZÓN, Leonardo David.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF THE NEW CIENTIFIC, TECHNOLOGIC AND TEACHING PLATFORM FOR THE HYDRAULICS LABORATORY.*

AUTHOR:

SANTAELLA OJEDA, Ricardo Alonso**

KEY WORDS:

Significant learning, Laboratory, Hydraulics, HEC-RAS, weirs.

DESCRIPTION:

Through this platform, It is wanted to raise spirit and likeness for the formation of a significant learning, based on the knowledge created and reinforced by each individual, What is intended is trying to get a born self-interest to permeate every student's and knowledge of the concepts, specifically applied to the hydraulic, on their own and be able to develop himself conclusions from observations.

It is proposed a five practicals guide covering the major effects of the flow of water in channels and courses of waters such as the slope, cross section, roughness of the surface, the flow regime and the presence of obstacles. Technology can't be discarded, and it should support the students to facilitate data processing, it is urgent and vital for the students to get familiar with the use of spreadsheets such as Microsoft Excel®. To complete the new proposals and technological support for the laboratory it will be implemented the use of HEC-RAS, a program for river simulation and analysis.

During the restructuring and development of the new alternatives, it was necessary to design and build new obstacles and weirs, in order to create an favourable environment conditions for the development of practices, generating more direct, didactic and specially a personal observation of each student, who individually must achieve to interpret the phenomenon changes and events in each situation proposed in the practicals.

* Project of degree

** Physic Mechanical Engineering Faculty, Civil Engineering School, Ing. DONADO GARZÓN, Leonardo David.

Diseño de la nueva plataforma científica, tecnológica y docente del laboratorio de hidráulica

0 Resumen

Por medio de esta plataforma, se quiere despertar el ánimo y el gusto por la formación de un aprendizaje significativo, basado en el conocimiento creado y reforzado por cada individuo y que pueda mejorar lo que por tantos años se ha venido llevando a cabo. Esto es precisamente lo que se trata de conseguir, que nazca un interés propio para que cada estudiante se impregne del conocimiento y de los conceptos, aplicados específicamente a la hidráulica, por su propia cuenta y sea capaz de desarrollar él mismo, conclusiones a partir de lo observado.

Lo que se ha propuesto es cambiar la filosofía de las prácticas complementarias que se realizan como parte de la asignatura Hidráulica Aplicada, dejar a un lado las ideas viejas; por tal motivo, se introdujeron nuevos modelos de prácticas, reforzadas con la implementación de prácticas con ayuda de programas computacionales y obviamente respaldadas por el docente de clase, quien nunca dejará de jugar un importante papel como guía en la vida de cualquier estudiante.

Se propone una guía con cinco prácticas que abarcan las principales afectaciones del flujo de agua en canales y en cursos de aguas naturales tales como la pendiente, sección transversal, rugosidad de la superficie, el régimen de flujo y la presencia de obstáculos. No puede faltar el uso de la tecnología, en la cual se deberán apoyar los alumnos para facilitar el procesamiento de datos, ya que urge y es de vital importancia que desde ya, se familiaricen con el uso de hojas electrónicas como las del programa Microsoft Excel®. Para completar las nuevas propuestas y el soporte tecnológico para el laboratorio se implementará el uso de HEC-RAS, un programa de simulación y análisis fluvial.

Durante la remodelación y formulación de nuevas alternativas, fue necesario diseñar y elaborar nuevos obstáculos y vertederos, a fin de crear un ambiente propicio para el desarrollo de las prácticas generando unas condiciones de observación más directa, didáctica y sobre todo personal de cada estudiante, quien individualmente debe lograr interpretar los cambios y fenómenos presentes en cada situación propuesta en las prácticas. Fue así como se construyó lo que hacía falta para dotar al laboratorio y se emplearon múltiples herramientas y materiales, teniendo en cuenta un respectivo y anticipado estudio de las recomendaciones, medidas y ubicación precisa para que el comportamiento resultado que se esperaba fuera el indicado.

Es así, como el diseño de la nueva plataforma científica, tecnológica y docente del laboratorio de hidráulica puede llegar a cambiar la manera de ver las cosas, reconsiderando antiguas metodologías, planteando y formulando nuevas, de forma tal que manteniendo los conceptos hidráulicos básicos, se logre entenderlos, explicarlos y comprenderlos, y que sobre todo, los estudiantes puedan llegar a ser capaces de argumentar y proponer hipótesis acerca de lo ocurrido ante cualquier situación que se presente en una corriente de agua.

1 Introducción

La situación actual, tanto en el país como en el mundo entero lleva demandando hace varios años un cambio en la metodología de la educación. Los nuevos retos generados por las necesidades de la humanidad y el avance de la tecnología exigen profesionales que analicen y comprendan de una forma profunda todos los problemas que se le presenten dentro de su campo de desempeño, esto puede lograrse por medio del desarrollo de competencias a través de las cuales los conocimientos básicos adquiridos en el transcurso de su vida académica pueden ser aplicados de manera óptima de forma que se reflejen de la mejor manera en el planteamiento de soluciones durante su vida profesional.

Estas competencias deben ser desarrolladas por cada estudiante, motivado por un cambio de actitud hacia la forma de asimilar, comprender, y por ende, aprender nuevos conceptos y teorías. Aun así, parte de este cambio actitudinal debe estar apoyado también por la labor docente, la cual debe ser solo una guía hacia el conocimiento (*Barragán, 2007*), pero que debe propender por el desarrollo de prácticas tanto en laboratorio como en campo procurando generar en los estudiantes un mayor interés hacia el estudio de los fenómenos que ocurren en el área que se esté enseñando.

En Colombia la formación por competencias se han venido extendiendo desde hace algún tiempo, desde los niveles más básicos de educación hasta los más avanzados (*Tobón, 2006*); sin embargo su implementación se ha realizado principalmente en forma de plantear exámenes (SABER, ICFES, ECAES), mientras que no se ha hecho muy palpable en el cambio de metodologías a la hora de enseñar.

Existen diversas estrategias de enseñanza – aprendizaje, algunas de ellas orientadas hacia el propósito de lograr un aprendizaje significativo. Cuando se aprende significativamente, se emplean conceptos que se tienen almacenados para comprender y asimilar la información nueva. De esta manera, el estudiante se apropia de la información y queda almacenada en su memoria a largo plazo (*Acevedo, 2007*). De acuerdo a *Corredor (2006)*, algunas de las estrategias pueden ser el uso de: las redes semánticas, los mapas conceptuales, la resolución de problemas y los mapas mentales. El uso de estas estrategias está en auge y su aplicación es cada vez más notoria en los diversos niveles de educación.

Aun así, y considerando que el aprendizaje significativo puede generarse a través de un aprendizaje por construcción (*Gómez & Molina, 2005*), cabe destacar que el desarrollo de modelos es también un medio por el cual se facilita el aprendizaje. La observación, análisis e interpretación de modelos tanto físicos como matemáticos proporcionan al estudiante una forma más para apropiarse de los conceptos que como guía le imparte el docente.

Este contexto general se ha querido aplicar este método específicamente en la materia Hidráulica Aplicada I, la cual forma parte del plan de estudios de la carrera de pregrado en ingeniería civil de

la Universidad Industrial de Santander. Partiendo de lo expuesto anteriormente se decidió cambiar la estructura de las prácticas del laboratorio de hidráulica. Se tenía claro que se necesitaban prácticas mucho más productivas, en donde el eje de las mismas no fuera la toma de una gran cantidad de datos que luego debían ser procesados por medio de cálculos repetitivos, sino que más bien lo fuera el análisis y comprensión a fondo de los fenómenos hidráulicos que se presentan en determinadas situaciones específicas creadas en el laboratorio que pueden ser extrapoladas, basándose en un correcto juicio y razonamiento, a una situación real mucho mas general.

Así pues se plantearon 5 prácticas a desarrollar: *Práctica N°1 - Aforo en campo con ADV*, *Práctica N°2 - Leyes de conservación y Fuerza Específica*, *Práctica N°3 - Flujo Uniforme y Flujo Gradualmente Variado*, *Práctica N°4 - Estructuras de Medición y control*, *Práctica N°5 - Resalto Hidráulico* las cuales procuraron cubrir los mismos temas que se venían desarrollando pero abarcándolos de una forma mucho más analítica y agregando algunos conceptos más que se consideraron necesarios. Además se plantea el desarrollo de prácticas mediante modelado con herramientas computacionales, para lo cual se creó una guía de iniciación para el software de simulación hidráulica HEC-RAS.

2 Descripción del Laboratorio

El edificio actual del laboratorio de hidráulica de la Universidad industrial de Santander fue construido en 1999 y está ubicado en el noroccidente del campus universitario.

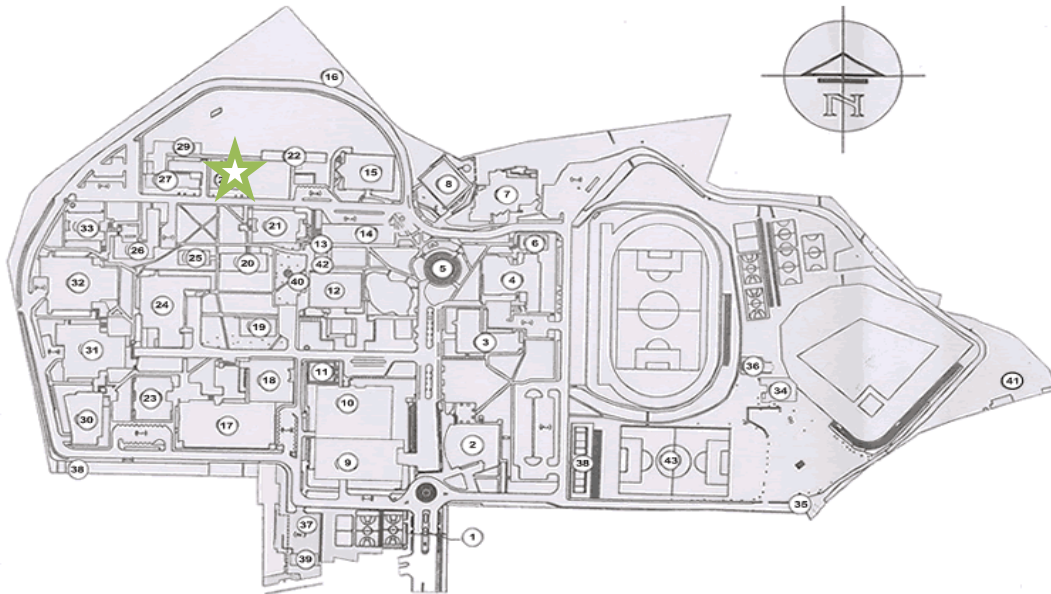


Fig. 1 – Ubicación del Laboratorio de hidráulica en el campus universitario UIS

Las instalaciones del laboratorio cubren un área de 752 m² distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 1 – Áreas del edificio del laboratorio de hidráulica.

Área m ²	Uso
193	Patio de modelos
172	Aulas de clase
153	Zonas Comunes
147	Canal de vidrio con pendiente variable
40	Zonas de servicios
25	Estación de bombeo
22	Tanques de almacenamiento

Las partes fundamentales del laboratorio son el canal de vidrio con pendiente variable, el canal perimetral de concreto y el tanque de modelos. La mayoría de prácticas se realizan en el canal de vidrio, ya que este reúne las condiciones necesarias para observar de la mejor forma posible los el comportamiento y la variación del nivel de agua ante las diversas situaciones que se pueden presentar en dicho canal (pendientes suaves, pendientes fuertes, compuertas y obstáculos).

Una descripción detallada de todos los equipos y partes del laboratorio se presenta en el anexo F.

3 Nuevas estrategias de mediación mediante modelado

En el desarrollo de las competencias cognitivas básicas, las cuales son la plataforma actual de la educación colombiana (Tobón, 2006), es necesario el correcto uso de las estrategias de mediación, una de estas y la que tiene una relevancia significativa para el caso que se plantea desarrollar a continuación es el modelado. Modelar es hacer una representación, bien sea física o matemática, de un fenómeno observable que se desee estudiar. El modelamiento es, según Guzmán et al. (1997), el primer paso para poder luego interpretar, comprender y por ende entender ese algo que se estudia.

Como se mencionó anteriormente, el modelado puede ser físico o matemático. El modelado físico puede verse como la representación de fenómenos a escala en un laboratorio o entorno controlado, así como la observación misma de los fenómenos en campo. Mientras tanto el modelado matemático se relaciona con procesos analíticos en los que se plantean formulas y teorías, componente que normalmente se desarrolla en un salón de clases, pero que no es suficiente para lograr una buena comprensión y una apropiación de los conceptos por parte de los estudiantes (Gómez & Molina, 2005); por otro lado el modelado matemático también encierra los modelos numéricos, los cuales se desarrollan por medio de herramientas computacionales y el uso de software.

A fin de destacar un poco más la importancia de las estrategias de mediación como herramienta fundamental en el proceso de aprendizaje significativo es destacable la estadística presentada por SBarato et al. (2003), según la cual: “Una clase expositiva oral se fija en un 20%, una clase gráfica con técnicas visuales si fija en un 30%, una clase con medios audiovisuales se fija en un 50% y una clase experimental se fija en un 90%”.

Tomando como base lo anteriormente dicho y recalcando la importancia que tiene el desarrollo de modelos físicos y numéricos como parte de un aprendizaje dinámico y constructivo, se determinó modificar la forma y el fondo de la manera como se realizan las actividades prácticas que hacen parte del desarrollo de la asignatura Hidráulica Aplicada I, la cual se cursa en el sexto semestre de la carrera de pregrado Ingeniería Civil en la Universidad Industrial de Santander. La metodología utilizada en esta materia consta de clases teóricas y el desarrollo de prácticas en laboratorio de hidráulica de la Universidad; sin embargo con el pasar de los años se llegó a la conclusión que el enfoque que se le daba a las prácticas no era correcto, las practicas estaban formuladas de forma tal que llevaban a un procedimiento de cálculos repetitivos en donde en muy pocas ocasiones los estudiantes realmente llegaban a analizar los fenómenos que se intentaban estudiar, lo cual conducía a que las prácticas no favorecieran el aprendizaje, sino a que fueran solo vistas como una labor extra a las clases que era necesaria hacer para obtener una nota. Además se encontró que el número de prácticas que se realizaban junto con los temas desarrollados en las mismas, hacían que por motivos de tiempo el estudio de los temas en clase no correspondiera con los que se requerían para un correcto aprovechamiento de las prácticas.

El esquema de prácticas que se venía utilizando, según *Gavilán (2002)*, era el siguiente:

- Práctica N°1: Aforo por molinete en el laboratorio.
- Práctica N°2: Derivación de la ecuación de la Energía Específica.
- Práctica N°3: Transición en Flujo Subcrítico.
- Práctica N°4: Resalto hidráulico.
- Práctica N°5: Coeficiente de Manning.
- Práctica N°6: Flujo Gradualmente Variado (Perfil M-2).
- Práctica N°7: Compuertas de admisión Inferior.
- Práctica N°8: Calibración de Vertederos.
- Práctica N°9: Canaleta Parshall.

Se consideró entonces implementar nuevas prácticas, desarrolladas algunas en campo y otras en laboratorio, así como también proveer al estudiante de herramientas para el desarrollo de modelos numéricos por medios computacionales, buscando lograr que el estudiante cuente con todos los recursos necesarios para que forme, por medio del desarrollo de competencias, una estructura sólida de conocimientos en el campo de la hidráulica.

Las nuevas prácticas a desarrollar junto con sus principales características se describen a continuación:

- **Práctica N°1. Aforo en campo con ADV:** La principal modificación de esta práctica consiste en que se realiza en campo, ya no con un molinete sino por medio de un dispositivo de alta tecnología como lo es un ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter* – Velocímetro Acústico por efecto Doppler). Por medio de esta práctica se espera que el estudiante desarrolle las habilidades que son necesarias para realizar de forma correcta el aforo o medición de caudal de corriente natural de agua, y que de la misma manera se concientice de las dificultades que pueden presentarse en un procedimiento de este tipo.
- **Práctica N°2. Leyes de conservación y Fuerza Específica:** Esta práctica contempla 2 partes. En la primera parte se establece, en el canal de vidrio y con ayuda de la compuerta deslizante, una situación en la cual el estudiante debe aplicar los conceptos de fuerza específica, conservación de energía específica y conservación de cantidad de movimiento, debe observar muy bien los fenómenos que ocurren para así tomar los datos que son necesarios para realizar unos cálculos que le corroboren la teoría que se le impartió en clase o que por el contrario le sirvan como base para establecer fuentes de error y detalles que se obvian en los conceptos teóricos.

En la segunda parte de la práctica, se introduce en el canal de vidrio un obstáculo triangular que genera un cambio de nivel en el fondo del canal, este obstáculo tiene una altura tal que induce un cambio en el régimen de flujo del agua. Con esta situación se pretende ahondar un poco más en la comprensión de lo que representa la energía

específica y la curva que esta describe reuniendo allí mismo los conceptos de energía crítica, flujo subcrítico y flujo supercrítico.

- **Práctica N°3. Flujo Uniforme y Flujo Gradualmente Variado:** En esta práctica se establecen situaciones en donde el estudiante debe registrar la altura del nivel del agua a lo largo del canal, identificando las zonas de flujo uniforme y las zonas donde existen variaciones de nivel. Con el desarrollo de esta práctica se espera que los estudiantes comprendan los conceptos de altura normal de flujo (y_{normal}), altura crítica de flujo (y_c) y la relación que estas guardan tanto en una pendiente fuerte como en una pendiente suave. Se busca también que se aplique de manera correcta la ecuación de Manning para determinar el coeficiente de rugosidad “n” para un material, que este caso es el vidrio templado conforma las paredes del canal. Por último se espera que se identifiquen y diferencien las zonas donde se presenta flujo gradualmente estableciendo los tipos de perfil que se presentan.
- **Práctica N°4. Estructuras de Medición y control:** Con el desarrollo de esta práctica se estudiarán todos los fenómenos hidráulicos que ocurren en estructuras de medición y control hidráulico, como lo son: compuertas verticales deslizantes, vertederos y la canaleta Parshall. Se analizarán las condiciones de flujo libre y flujo ahogado en el comportamiento del paso de agua por una compuerta, así como también se estimarán los coeficientes de descarga para las diferentes estructuras que se pueden utilizar para aforar. Se observará el comportamiento del flujo de agua a través de diferentes tipos de vertederos con diversas formas de cresta y se determinarán las ventajas y desventajas en el uso de las diferentes estructuras de aforo.
- **Práctica N°5. Resalto Hidráulico:** Por medio de esta práctica se analizarán todos los aspectos de un fenómeno hidráulico tan importante como lo es el resalto hidráulico. En la práctica a desarrollar es la misma a la que se ha venido desarrollando, en donde con ayuda de las compuertas deslizantes del canal se generan distintos tipos de resalto siendo de interés determinar las alturas conjugadas, qué tipo de resalto se tiene, cual es la longitud del mismo y qué tanta energía disipa. Además de esto se incorpora el estudio de la situación de un resalto hidráulico con pendiente fuerte, en donde el estudiante debe deducir y aplicar la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento considerando que el ángulo de inclinación del canal tiene un valor significativo y no puede ser despreciado.

Con estas prácticas planteadas fue necesario diseñar y construir algunas estructuras que hacían falta en el laboratorio a fin que la mayoría de las prácticas puedan ser realizadas en el canal de vidrio, que es el lugar en donde se reúnen las mejores condiciones para observar todos los fenómenos hidráulicos que se presentan y de esta manera poder medir los parámetros y niveles de agua que se consideren necesarios.

Se diseñaron 2 obstáculos, el primero de ellos es el obstáculo triangular usado para la práctica de energía específica; como se mencionó previamente el propósito de este obstáculo es inducir un cambio en el régimen de flujo, para ello el ascenso de nivel se diseñó de forma tal que tuviera una altura mayor a la altura máxima de transición lo cual lleva a que se induzca la altura crítica de flujo sobre la cresta del obstáculo, originando régimen subcrítico aguas arriba y régimen supercrítico aguas abajo.

El otro obstáculo es un cubo, que cumple la función de vertedero de pared gruesa, la altura de este vertedero y su longitud fueron diseñados de tal forma que la carga hidráulica sobre el mismo no sobrepasara el nivel a que se encuentran los apoyos de las compuertas del canal, además se diseñó con la arista aguas arriba redondeada lo cual reduce la contracción en la entrada de la estructura, aumentando así la capacidad de descarga de la misma. Una estructura de este tipo ya existía en el laboratorio, pero estaba ubicada en el canal de concreto lo cual dificultaba la observación de los fenómenos que generaba, además el sitio en donde se encuentra no posee las condiciones adecuadas para medir la carga hidráulica sobre el vertedero.

Los 2 obstáculos anteriormente descritos se realizaron en acrílico de calibre 5 mm y se rellenaron con arena húmeda de forma tal que por peso propio no fueran arrastrados por la fuerza del agua cuando el canal está trabajando a caudal máximo (32 L/s). El ancho de ambos obstáculos corresponde al ancho del fondo del canal de vidrio, que es de 40.7 cm, de esta manera la fricción entre el acrílico y las paredes de vidrio también ayuda a mantener las estructuras en su sitio. El hecho que estos obstáculos se mantengan por peso propio y por fricción es muy importante, ya que además de ser removibles no fue necesario agregarle al canal ningún tipo de accesorio que pudiera llegar a afectar el desarrollo de las prácticas en donde no se requieren estos obstáculos.

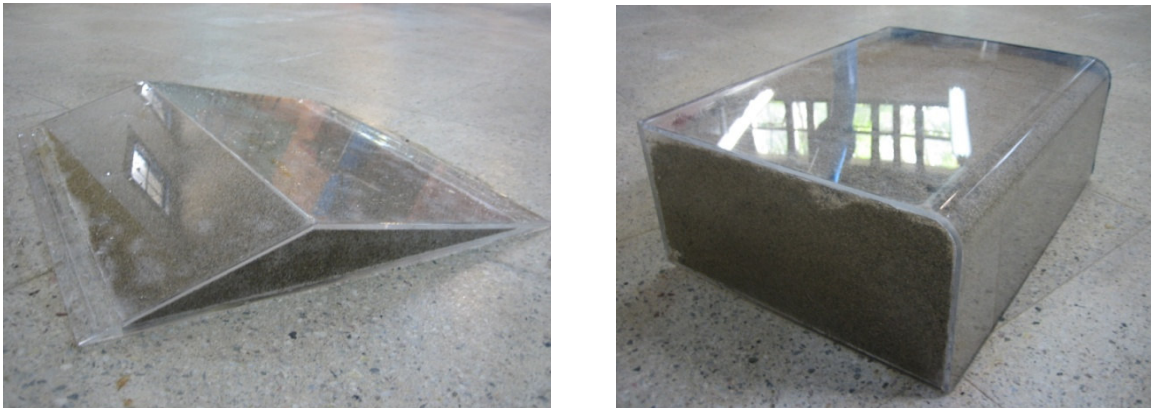


Fig. 2 – Obstáculos en acrílico para el canal de vidrio.

Se diseñaron también 5 vertederos de pared delgada: uno rectangular sin contracción, uno rectangular contraído, un trapezoidal, un triangular y uno proporcional suto. Teniendo como base el trabajo realizado por Sáenz (2003), el lugar más apropiado para instalar estas estructuras era al final del canal de vidrio, de acuerdo a esto se decidió instalar 3 perfiles de acero inoxidable de 2"x1/4" en dicha sección del canal, adheridos en una de sus almas al canal de vidrio, a fin que los

vertederos se colocaran en este sitio por medio de tuercas y roscas que permitieran un fácil montaje y posterior desmonte de los mismos.

Considerando la fuerza hidrostática que podía realizar el agua sobre la superficie de los vertederos se optó por abrir orificios para las tuercas cada 7 cm en los perfiles laterales y cada 10 cm en el perfil inferior. Estos orificios se perforaron con un taladro de árbol, teniendo en cuenta que se dispuso utilizar tuercas en acero inoxidable de 3/8" diámetro y 1½" de largo con su respectiva tuerca y arandela.

Perforados los perfiles era necesario adherirlos a la superficie de vidrio del canal, para ello se consultó con un asesor de SIKA® quien recomendó utilizar el producto Sikaflex-256, el cual, según su experiencia, proporcionaría una muy buena adherencia entre vidrio templado y el acero inoxidable. Se recomendó también que antes de utilizar el producto, las superficies a unir debían ser limpiadas y se les debía aplicar un activador y un imprimante, para luego si utilizar el producto y así pegar dichas superficies. Una vez se fijaron los perfiles, se aseguraron con unas prensas pequeñas hasta que el sellante adhesivo cumpliera su tiempo de curado y por ende desarrollara su mayor resistencia al desprendimiento y alargamiento por tensión.



Fig. 3 – Instalación de perfiles de acero inoxidable.

Una vez fueron instalados los perfiles se procedió a construir los vertederos de cresta aguda que se habían diseñado con base en el trabajo realizado por Sáenz (2003), es de resaltar que para diseño de los vertederos se consideró que la carga hidráulica no debía superar la altura de los apoyos de las compuertas (ubicados a 30 cm medidos desde el fondo del canal) y que de acuerdo a esto el diseño contempló un caudal máximo para las estructuras de aproximadamente 25 L/s.

Los vertederos se construyeron en el taller de diseño de la Universidad Industrial de Santander, se utilizaron laminas de acrílico de calibre 10mm a fin de evitar que las estructuras se flectaran por acción de la fuerza ejercida por el agua. El primer paso para construir los vertederos fue hacerle dos ranuras al acrílico, por medio de un taladro de árbol y utilizando un escareador de 3.8 mm

de diámetro, que limitaran el sitio en donde se abrirían los orificios para las tuercas, en dichas ranuras se colocarían O-rings de 3.5 mm a fin de evitar el escape de agua cuando los vertederos se instalaran en el canal.

El paso siguiente fue cortar el acrílico para darle la forma a cada una de las crestas de los vertederos, este corte se hizo con una cinta sin-fin de 3/8" y de 14 dientes/pulg, la cual se consideró era la más apta para cortar el material que se estaba utilizando. Una vez realizados los cortes fue necesario suavizar la superficie cortada por medio de una lijadora y luego biselar la cresta de los vertederos.

La biselada es muy importante para el correcto funcionamiento de estas estructuras, ya que los 10 mm del acrílico no aseguraban el comportamiento como un vertedero de cresta aguda; según el estudio realizado por Sáenz (2003), la cresta debe tener un ancho de entre 1 mm – 2 mm para un óptimo desempeño. En la realización de este bisel se utilizó un fresa que proporcionaba un corte a 45°, esta fue instalada y posteriormente utilizada en la ruteadora del taller, el bisel obtenido proporcionaba una cresta mínima de 2.7 mm, un poco mayor al óptimo recomendado, pero que por limitantes de la máquina no podía ser reducido, por lo cual se optó por dejarlo de esta magnitud.

Posteriormente se realizó la perforación de los agujeros, los cuales debían coincidir con los de los perfiles instalados en el canal. Las láminas de acrílico se llevaron al canal y se marcó el lugar donde debían ir todos los huecos, a continuación en el taladro de árbol se realizaron las perforaciones respectivas con el diámetro adecuado. Por último se pegaron los O-rings de 3.5 mm en las ranuras de los vertederos con un pegante instantáneo.

Debido a que los vertederos se construyeron de forma tal que se adecuaron a las condiciones del canal de vidrio del laboratorio, fue necesario calibrarlos, obteniendo así la ecuación y la gráfica que relaciona el caudal con la carga hidráulica para cada uno de los vertederos. De esta manera se pudo calcular también el coeficiente de descarga para cada una de las estructuras (Ver anexo E). Los resultados obtenidos se ajustaron a lo que se tenía previsto, con unos coeficientes de descarga un poco más bajos que los recomendados, lo cual es atribuible al tamaño de la cresta y la dimensión del canal respecto a la dimensión del vertedero; sin embargo y aun considerando lo anterior el comportamiento de los vertederos fue satisfactorio y cumplieron con las expectativas generadas desde un comienzo.



Fig. 4 – Vertederos de cresta aguda instalados en el canal de vidrio.

Adicional a las prácticas a realizar tanto en campo como en laboratorio, se piensa implementar el desarrollo de modelos computacionales por medio del software de simulación hidráulica HEC-RAS, el cual es de distribución gratuita. Sobre este software existe mucha documentación, pero la gran mayoría se encuentra en inglés, por tal motivo se creó la “Guía de iniciación del software HEC-RAS” (ver anexo G) en esta guía se explica de forma sencilla las utilidades principales del programa

y algunos aspectos que se deben tener en cuenta acerca de la forma en que el software realiza los cálculos.

La guía tiene como propósito familiarizar al estudiante con el programa, mostrando la forma en que se deben definir los aspectos principales para poder llevar a cabo una simulación. Es una guía que tiene como intención generar interés acerca de la simulación hidráulica por medio del programa HEC-RAS, llevando al estudiante a comprender las capacidades y limitaciones del programa, para que de esta manera utilice el programa de forma correcta y sea capaz de interpretar los resultados que arroja.

Además como parte del curso de hidráulica Aplicada I, se decidió complementar las actividades en el salón de clases con el desarrollo de talleres con el software Microsoft EXCEL® por medio del desarrollo de ejercicios básicos y prácticos en hojas electrónicas de cálculo, que tienen como propósito fomentar en el estudiante el desarrollo de modelos numéricos que le ayuden a interpretar los fenómenos hidráulicos que se estudian en el curso.

4 Nueva guía de modelado en Hidráulica

El nuevo formato de prácticas en campo y laboratorio se implementará de forma completa a partir del segundo semestre del año 2007. Semestre en cual se contará con una guía (Ver anexo F) donde se establecen de forma clara los objetivos y procedimientos para el desarrollo de las prácticas. Esta guía cuenta con un soporte multimedia, a través del cual se muestra por medio de una interfaz todas las características de las prácticas por medio de fotos y videos ilustrativos, así como también las características y operación del laboratorio.

Con el nuevo esquema de prácticas los laboratorios se realizan en grupos con un máximo de 5 estudiantes, y la duración de los mismos se limita a 1 hora, anteriormente las prácticas se realizaban en grupos de 10 estudiantes durante franjas de 2 horas. Este tiempo se consideró justo para realizar la observación de los fenómenos y la toma de datos respectiva para cada una de las prácticas; sin embargo la práctica N°4 es bastante extensa, ya que cubre diversos tipos de estructuras y por las condiciones que presenta el laboratorio no se pueden trabajar de forma simultánea, razón por la cual debe realizarse en 2 o 3 jornadas dependiendo de la forma en que se disponga del tiempo. Es muy importante destacar que el correcto desarrollo de las prácticas y el buen aprovechamiento de las mismas por parte de los estudiantes depende en gran parte del estudio de los conceptos que debe realizarse en las horas teóricas de clase, durante las cuales surgen dudas y se plantean inquietudes que pueden ser solucionadas o esclarecidas dentro del laboratorio, logrando de esta forma una mejor comprensión de los temas abarcados en el transcurso de la materia.

La nueva metodología en el desarrollo de las prácticas se ve reflejada en la manera que deben presentarse los informes. La presentación de estos tiene una estructura definida de forma tal que fomenta las competencias interpretativa, argumentativa y propositiva en los estudiantes. Los informes deben presentarse con formato de artículo para revista, por lo cual debe tenerse en cuenta la estructura básica de los mismos:

- ◇ *Introducción:* En esta primera parte del informe el estudiante debe escribir con sus propias palabras los fenómenos observados en el laboratorio y el marco teórico que los describe según lo estudiado en clase.
- ◇ *Cuerpo del informe:* Con los datos tomados en el laboratorio se deben realizar algunos cálculos y además se deben hacer todas las observaciones que se consideren necesarias para que sirvan de soporte a lo expuesto en la introducción.
- ◇ *Conclusiones:* Planteada la introducción y con los cálculos realizados, el estudiante debe concluir que tanto se ajusta la teoría al comportamiento real de los fenómenos hidráulicos en estudio, se espera que así mismo describa la aplicabilidad de los fenómenos observados y se encuentre en capacidad de establecer fuentes de error en el laboratorio y plantear formas de disminuirlos.

5 Discusión (Análisis, Conclusiones, Sugerencias)

Los laboratorios son los espacios propicios en los que el estudiante puede conseguir formar, fortalecer y apropiarse nuevos conceptos y teorías, son espacios que deben procurar ser actualizados constantemente, tanto en su fondo como en su forma para que siempre mantengan en los estudiantes el interés por la investigación. El desarrollo de prácticas en laboratorio, así como las salidas a campo y el uso de herramientas computacionales son medios válidos que buscan siempre favorecer el proceso de aprendizaje en los estudiantes.

La guía de prácticas para el laboratorio de hidráulica, la guía de iniciación del software HEC-RAS, así como los obstáculos y vertederos diseñados y construidos para utilizar en el canal de vidrio del laboratorio de hidráulica, han sido producto del esfuerzo y el interés de mejorar las condiciones y el ambiente en el que día a día los estudiantes de Ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander se dedican a estudiar y comprender nuevos conceptos, aplicados en este caso a la hidráulica, que luego aplicaran a lo largo de su vida profesional. Todo este material creado es solo una herramienta, que teniendo como guía una correcta y efectiva labor docente, debe llevar al estudiante hacia un aprendizaje significativo, el cual puede generarse de forma más sencilla en la medida que el estudiante tenga una actitud dinámica y autodidacta, lo cual a su vez le facilitará el desarrollo de las competencias cognitivas básicas que exige la educación actual.

El diseño y construcción tanto de los obstáculos como de los vertederos para el canal de vidrio deben tomarse como el punto de partida para seguir diseñando y construyendo mas modelos hidráulicos, que estimulen la investigación y el análisis en los estudiantes, y que sean la base para que en un futuro no muy lejano, la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander pueda implementar la conformación y utilización del patio de modelos hidráulicos a escala.

Un aspecto a tener en cuenta y a mejorar para el desarrollo de las prácticas en el laboratorio es la forma en que se miden las profundidades del agua, se debe procurar por instalar un sistema de medición que proporcione datos confiables (se podría pensar en medidores por ultrasonido que se desplacen a lo largo del canal), que sean significativos para tanto para la toma de datos con fines académicos como para datos que se tomen con fines investigativos.

Se recomienda que las guías creadas sean actualizadas periódicamente de acuerdo a los requerimientos de la asignatura, la creación de nuevos modelos hidráulicos debe llevar a la formulación de nuevas prácticas en el futuro. De la misma manera con la implementación del uso del software HEC-RAS se debe propender por robustecer la guía creada, anexándole situaciones de análisis más específicas que lleven a conformar en algún tiempo prudencial un manual en español muy completo para el uso del programa.

6 Referencias

- Acevedo, S. C. (2007). *Diseño de un plan de trabajo para el mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje d la asignatura construcción II empleando la estrategia de resolución de problemas*. Proyecto como requisito para optar al título de ingeniera civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Barragán, J. L. (2007). "El nivel de educación en Colombia es malo": Llinas [Versión electrónica]. *UN Periódico No. 104*.
- Corredor, M. V. (2006). *Estrategias de Enseñanza y Aprendizaje*. Bucaramanga: CEDEDUIS.
- Gavilán, G. E. (2002). *Guía de laboratorio de hidráulica de canales abiertos*: documento final. Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Gómez, J. P. & Molina, A. (2005). *Potenciar la capacidad de aprender y pensar*. Madrid: NARCEA, S.A. de ediciones. ISBN 84-277-1298-7
- Guzmán, O., Ramos, E. & Rodríguez, M. (1997, Julio – Agosto). *La naturaleza de la ciencia y viceversa: modelar, interpretar, entender*. UAM-Itzapalapa. ALEPHZERO (revista de divulgación científica y tecnológica) extraída el 20 de septiembre, 2007 de <http://hosting.udlap.mx/profesores/miguela.mendez/alephzero/archivo/historico/az10/modelar.html>
- SBarato, V., SBarato, R. & Ortega, J. (2003). *Teorías del conocimiento y enseñanza – aprendizaje ambiental*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Sáenz, L. M. (2003). *Diseño de estructuras hidráulicas a escala para ser instaladas en el laboratorio de hidráulica de la universidad industrial de Santander*. Proyecto como requisito para optar al título de ingeniera civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Tobón, S. (2006). *Formación basada en competencias* (2^{da} ed.).Bogotá: ECOE ediciones. ISBN 958-648-419-X.

ANEXOS

ANEXO A – Instalación de perfiles de acero en el canal de vidrio.	23
ANEXO B – Obstáculos para el canal de vidrio.	26
ANEXO C – Construcción de vertederos de cresta aguda.	28
ANEXO D – Instalación y funcionamiento de los obstáculos y vertederos.	34
ANEXO E – Curvas de calibración para los vertederos.	39
ANEXO F – Guía de prácticas para el Laboratorio de hidráulica.*	49
ANEXO G – Guía de iniciación del Software HEC-RAS v.3.1.3.*	90

*Este material de Soporte se encuentra también en la carpeta de anexos, junto con la guía multimedia en Flash del laboratorio que se encuentra en la carpeta Hidráulica UIS.

ANEXO A

INSTALACIÓN DE PERFILES DE ACERO EN EL CANAL DE VIDRIO

INSTALACIÓN DE PERFILES DE ACERO EN EL CANAL DE VIDRIO

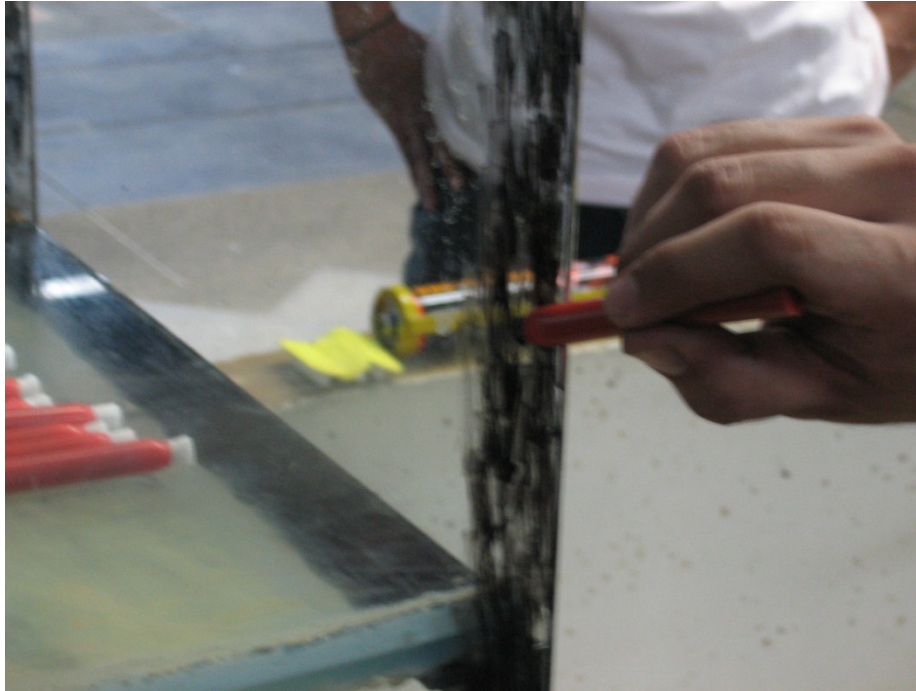


Foto 1 – Instalación de perfiles. Preparación superficie vidrio.



Foto 2 – Instalación de perfiles. Aplicación del Adhesivo Sikaflex®256.



Foto 3 – Instalación de perfiles. Perfiles sujetos al canal de vidrio.



Foto 4 – Instalación de perfiles. Productos utilizados para la instalación (Limpiador, imprimante y adhesivo).

ANEXO B

OBSTACULOS PARA EL CANAL DE VIDRIO

OBSTÁCULOS PARA EL CANAL DE VIDRIO



Foto 5 – Obstáculos para el canal. Obstáculo rectangular con arista redondeada.



Foto 6 – Obstáculos para el canal. Obstáculo triangular.

ANEXO C

CONSTRUCCIÓN DE VERTEDEROS DE CRESTA AGUDA

CONSTRUCCIÓN DE VERTEDEROS DE CRESTA AGUDA



Foto 7 – Construcción de vertederos. Elaboración de ranuras para los O-Rings.



Foto 8 – Construcción de vertederos. Corte de la forma para las crestas de los vertederos.



Foto 9 – Construcción de vertederos. Lijado de la cresta del vertedero.



Foto 10 – Construcción de vertederos. Biselado de la cresta del vertedero.

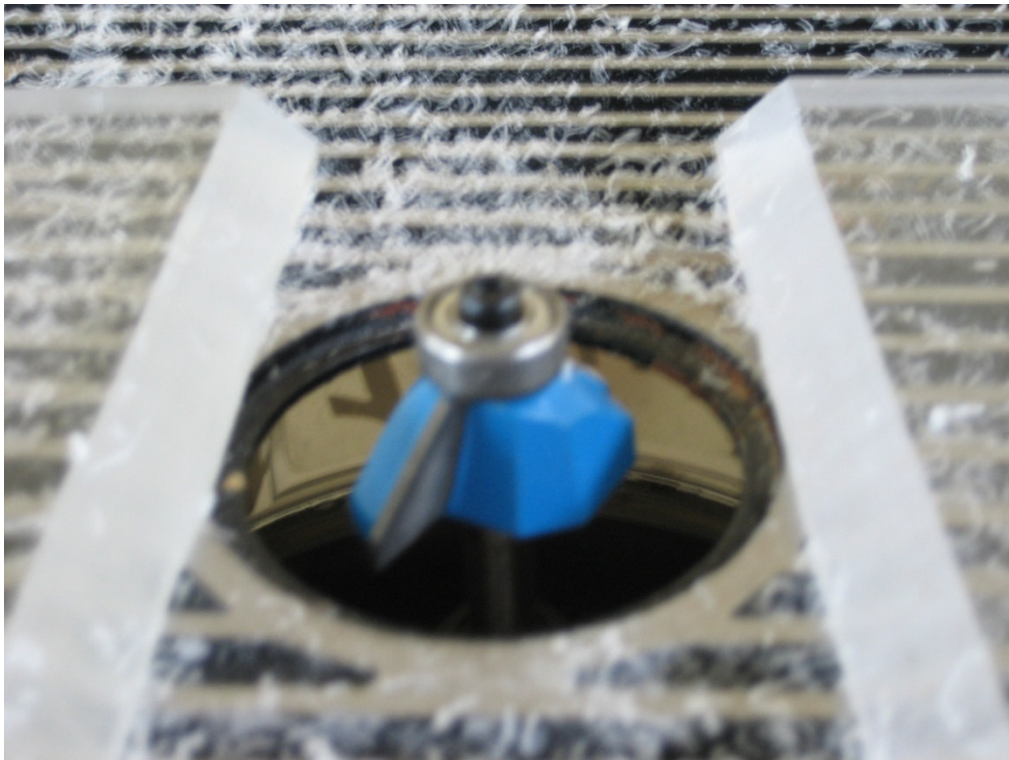


Foto 11 – Construcción de vertederos. Detalle del bisel en la cresta del vertedero.



Foto 12 – Construcción de vertederos. Instalación de los O-rings de 3.5mm.



Foto 13 – Construcción de vertederos. Detalle instalación de O-rings de 3.5mm.

ANEXO D

INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS OBSTÁCULOS Y VERTEDEROS

INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS OBSTÁCULOS Y VERTEDEROS



Foto 14 – Funcionamiento de obstáculo rectangular.



Foto 15 – Funcionamiento de obstáculo triangular.



Foto 16 – Funcionamiento y calibración de vertedero rectangular contraído.



Foto 17 – Funcionamiento del vertedero triangular.



Foto 18 – Funcionamiento del vertedero trapezoidal.



Foto 19 – Funcionamiento y calibración de vertedero proporcional sutro.

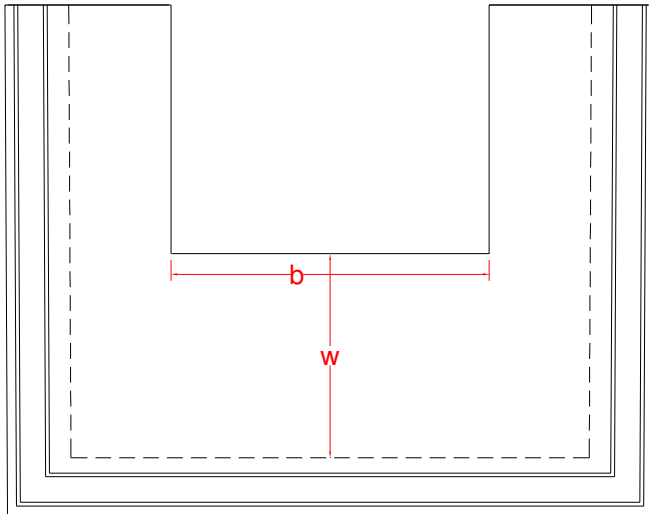


Foto 19 – Funcionamiento del vertedero de cresta aguda. Detalle de la descarga.

ANEXO E

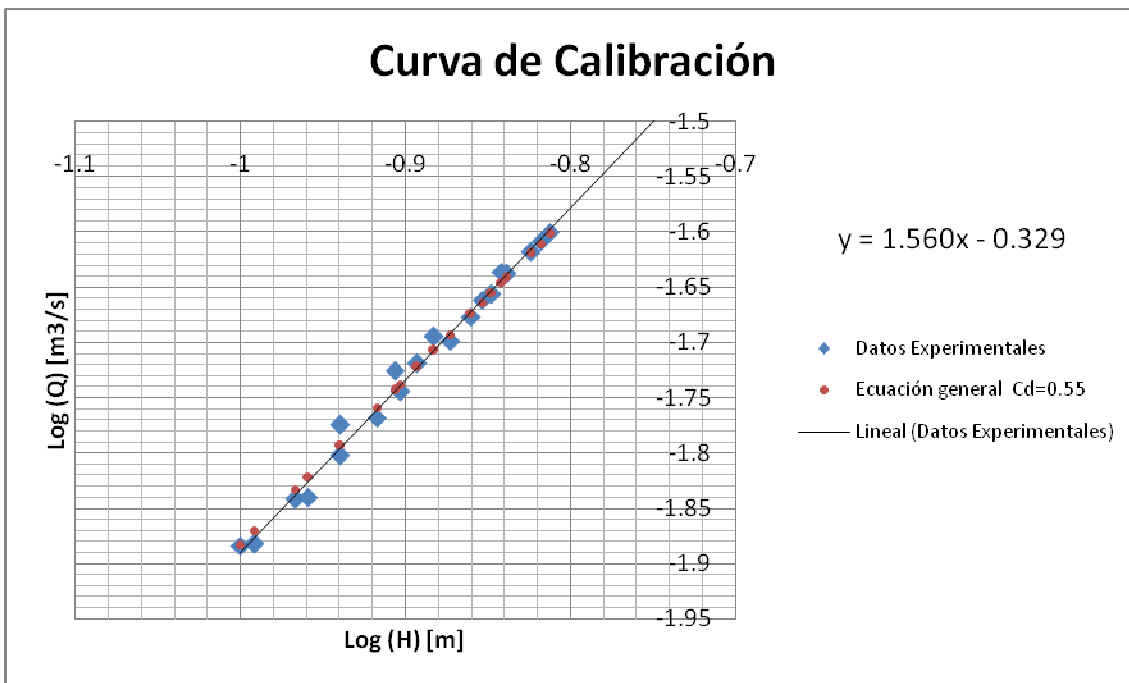
CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS VERTEDEROS

VERTEDERO RECTANGULAR CONTRAIDO



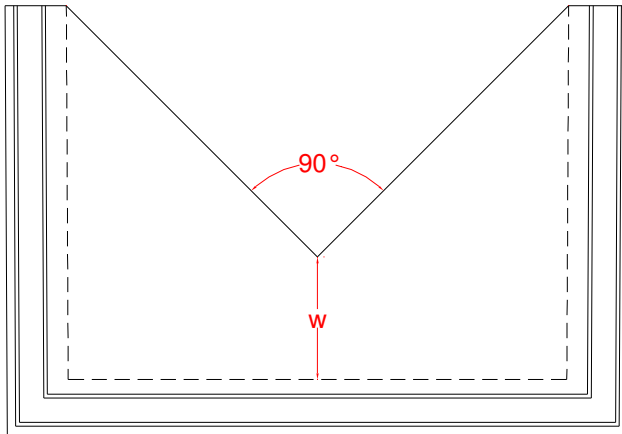
$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot b \cdot h^{3/2}$$

b (cm):	25
w (cm):	15.5



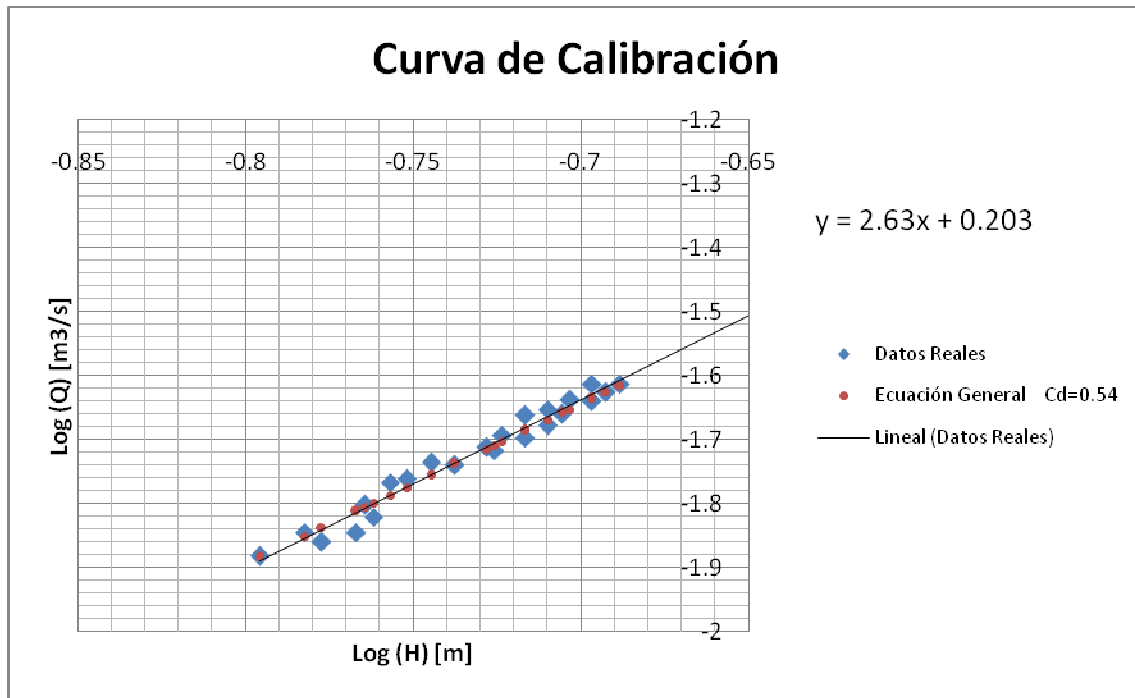
$$Q_R = 0.4688 \cdot h^{1.56}$$

VERTEDERO TRIANGULAR



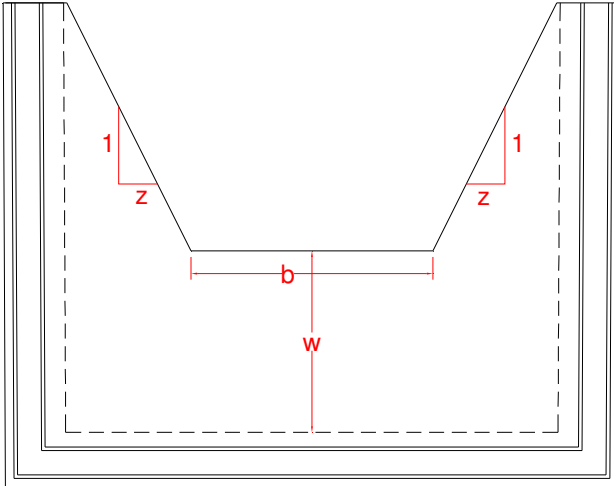
$$Q_T = \frac{8}{15} \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot \tan(\theta / 2) \cdot h^{5/2}$$

θ (grados):	90
w (cm):	9.3



$$Q_R = 1.5959 \cdot h^{2.63}$$

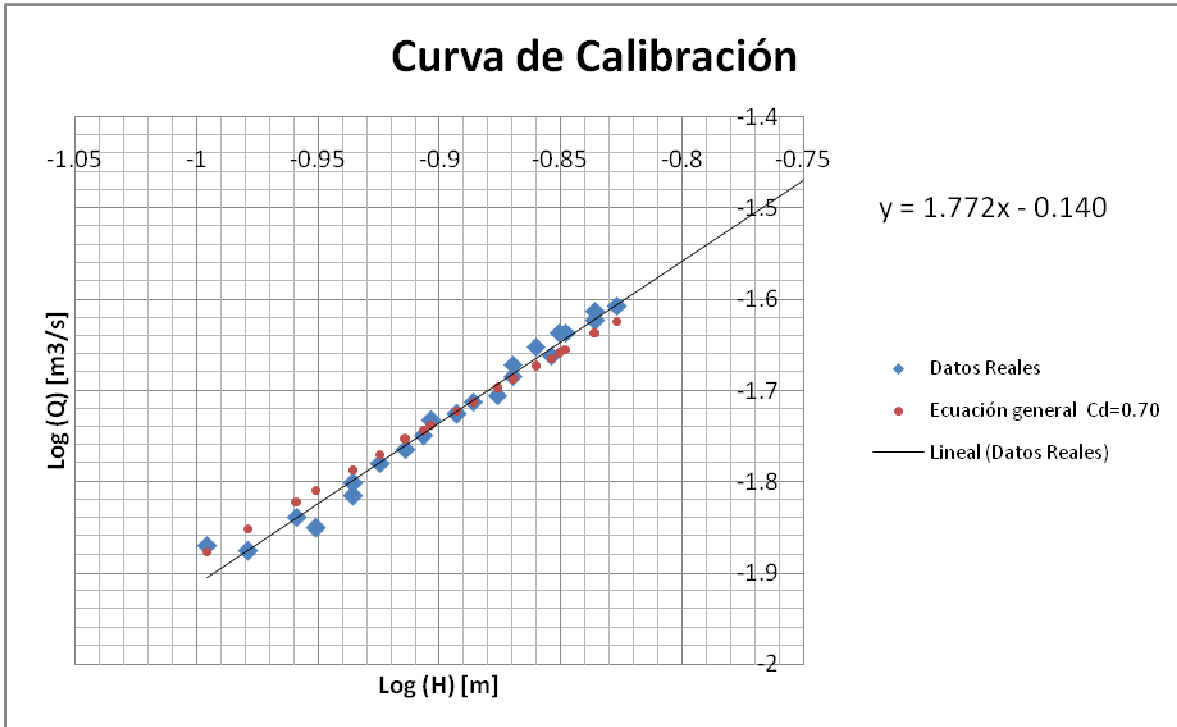
VERTEDERO TRAPEZOIDAL



$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \cdot b \cdot h^{3/2} \cdot \left(Cd_1 + \frac{4}{5} \cdot Cd_2 \cdot \tan(\theta/2) \cdot \frac{h}{b} \right)$$

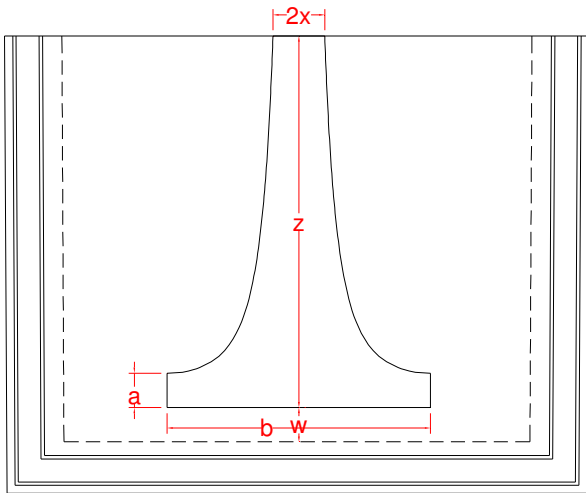
$$Cd = Cd_1 + \frac{4}{5} \cdot Cd_2 \cdot \tan(\theta/2) \cdot \frac{h}{b}$$

z:	0.5
w (cm):	14.2
b (cm):	20



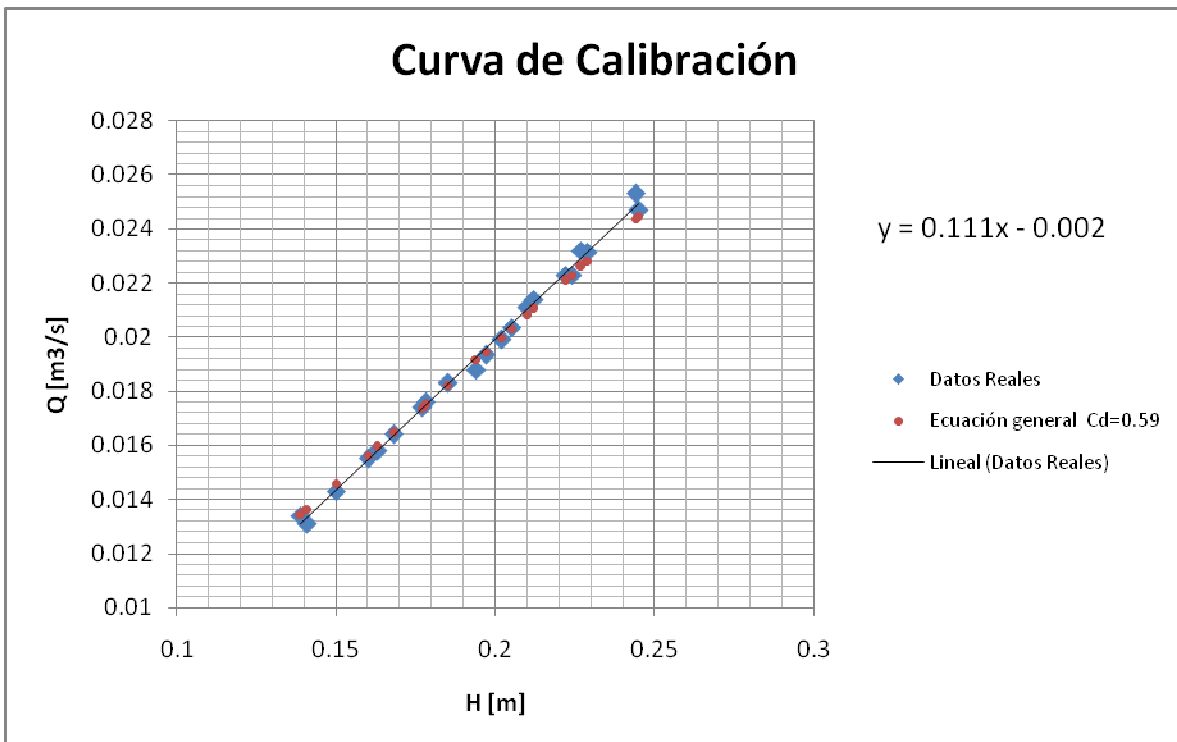
$$Q_R = 0.7244 \cdot h^{1.772}$$

VERTEDERO PROPORCIONAL SUTRO



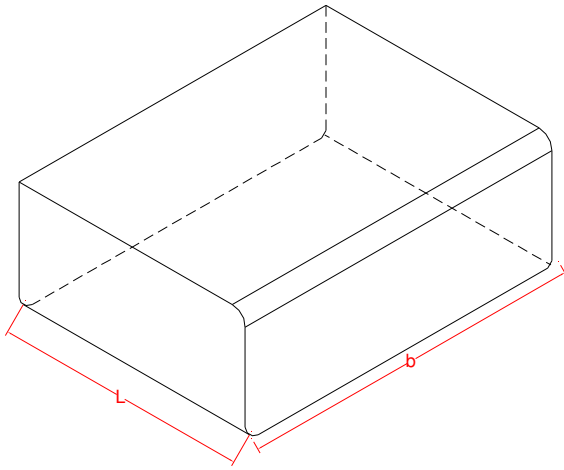
$$Q = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot a} \cdot \left(h - \frac{a}{3} \right)$$

b (cm):	23
a (cm):	3
w (cm):	2.5



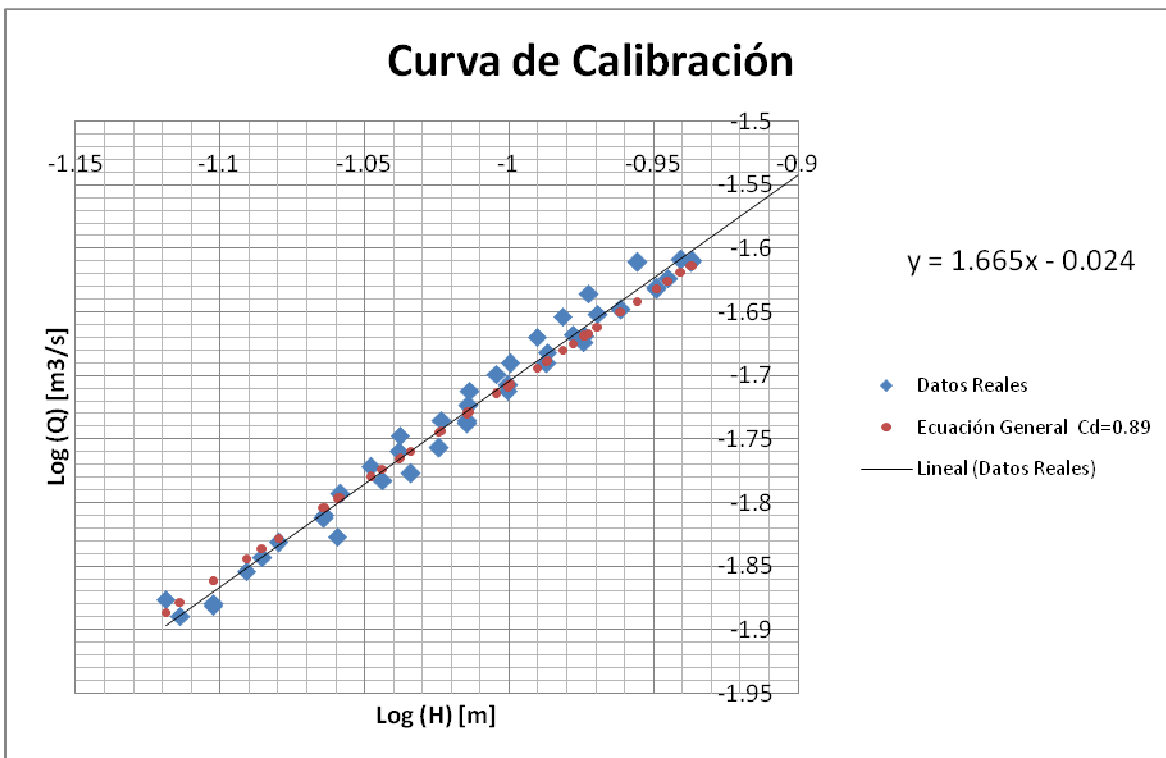
$$Q_R = 0.111h - 0.002$$

VERTEDERO CRESTA ANCHA



$$Q_T = 1.705 \cdot C_d \cdot b \cdot H^{3/2}$$

b (cm):	40.8
w (cm):	15
L (cm):	27.5



$$Q_R = 0.9462 \cdot h^{1.665}$$

ANEXO F

GUIA DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Tabla de contenido

1. Descripción del Laboratorio	3
1.1. Tuberías	3
1.1.1. Red de impulsión	3
1.1.2. Red de conducción o distribución	4
1.1.3. Red de desagües	4
1.2. Equipos	4
1.2.1. Tanque subterráneo.....	4
1.2.2. Bombas de impulsión	4
1.2.3. Bomba de limpieza	5
1.2.4. Tanque elevado.....	6
1.2.5. Válvulas	7
1.2.6. Medidor de flujo electromagnético	7
1.2.7. Manómetros	7
1.2.8. Canal Perimetral	8
1.2.9. Canal de pendiente variable.....	9
2. Práctica N°1.....	10
AFORO DE CORRIENTES EN CAMPO – FlowTracker (ADV)	10
2.1. Objetivos	10
2.2. Justificación	10
2.3. Marco Conceptual.....	10
2.3.1. Descripción del Equipo	10
2.3.2. Funcionamiento del Equipo.....	11
2.3.3. Distribución de velocidades en la sección de un canal.....	12
2.3.4. Métodos para aforar corrientes	13
2.4. Procedimiento	15
2.5. Análisis	15
3. Práctica N°2.....	16
LEYES DE CONSERVACIÓN Y FUERZA ESPECÍFICA.	16
3.1. Objetivos	16
3.2. Justificación	16
3.3. Marco Conceptual.....	16
3.3.1. Ecuación de la Energía Específica.....	17
3.3.2. Curva de Energía Específica.....	18
3.3.3. Ecuación de cantidad de Movimiento	18
3.3.4. Fuerza sobre una Superficie	19
3.4. Procedimiento	19
3.5. Análisis	20
4. Práctica N°3.....	21
FLUJO UNIFORME Y FLUJO GRADUALMENTE VARIADO.....	21

4.1. Objetivos	21
4.2. Justificación	21
4.3. Marco Conceptual.....	21
4.3.1. Flujo Uniforme	21
4.3.2. Flujo Gradualmente Variado	22
4.4. Procedimiento	23
4.5. Análisis	23
5. Práctica N°4.....	24
ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN Y CONTROL (Compuertas, Vertederos y Canaleta Parshall).....	
5.1. Objetivos	24
5.2. Justificación	24
5.3. Marco Conceptual.....	24
5.3.1. Coeficiente de Descarga	25
5.3.2. Flujo a través de Compuertas	25
5.3.3. Vertederos de cresta ancha y cresta aguda	27
5.3.4. Canaleta Parshall	31
5.4. Procedimiento	32
5.5. Análisis	34
6. Práctica N°5.....	35
RESALTO HIDRÁULICO	
6.1. Objetivos	35
6.2. Justificación	35
6.3. Marco Conceptual.....	35
6.3.1. Resalto hidráulico	36
6.3.2. Tipos de resalto hidráulico:	37
6.3.3. Longitud del resalto hidráulico:.....	38
6.4. Procedimiento	38
6.5. Análisis	39
7. Bibliografía.....	40

1. Descripción del Laboratorio

El edificio actual del Laboratorio de hidráulica de la Universidad industrial de Santander fue construido en 1999 y está ubicado en el noroccidente del campus universitario. Las instalaciones del laboratorio cubren un área de 752 m² distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 1 – Áreas del edificio del laboratorio de hidráulica.

Área m ²	Uso
193	Patio de modelos
172	Aulas de clase
153	Zonas Comunes
147	Canal de vidrio con pendiente variable
40	Zonas de servicios
25	Estación de bombeo
22	Tanques de almacenamiento



Foto 1 – Edificio del Laboratorio de hidráulica UIS.

1.1. Tuberías

1.1.1. Red de impulsión: La red de impulsión está conformada por tramos de tubería de acero de 6" de diámetro con uniones por medio de bridas, va desde el tanque subterráneo hasta el tanque elevado y su color distintivo es azul oscuro.

1.1.2. Red de conducción o distribución: La red de conducción está conformada una tubería de acero de 6" de diámetro con uniones por medio de bridas, va desde el tanque elevado hacia el canal de pendiente variable y hacia el tanque de modelos. Su color distintivo es azul claro.

1.1.3. Red de desagües: La red de desagües son tuberías de PVC, las cuales controlan el rebose de los tanques del laboratorio. Su color distintivo es rojo.

1.2. Equipos

1.2.1. Tanque subterráneo: Este tanque es un receptáculo construido en concreto y ubicado en la parte baja del edificio del laboratorio que dispone de un volumen de 34.5m^3 para la alimentación hidráulica del laboratorio. El llenado inicial del tanque es realizado a través de la red principal de acueducto de la universidad, en un tiempo aproximado de 3 horas.

El tanque tiene un rebose a un altura de 1.90 m del piso de fondo y sirve de depósito tanto para la impulsión al tanque elevado, como para la recolección del agua que fluye por las diferentes estructuras del laboratorio.



Foto 2 – Tanque Subterráneo.

1.2.2. Bombas de impulsión: Son dos máquinas con mecanismo de succión positiva, cada una de 29 lps, con un peso de 44.5 Kg, una potencia de 9 HP y una frecuencia de 3520 rpm. Las 2 bombas trabajando en paralelo impulsan un caudal de 48 lps. Cada bomba se encuentra conectada a una válvula de compuerta hacia la tubería

de succión de 4" de diámetro y a una válvula de mariposa hacia la tubería de impulsión de 6" de diámetro, las cuales permiten el desmonte independiente para su mantenimiento o reparación.

Las dos bombas están ubicadas sobre unos pedestales de concreto, al lado del taque de almacenamiento y se encargan de impulsar el agua almacenada en el tanque subterráneo hacia el tanque elevado. El encendido y apagado de las bombas se puede realizar desde el panel principal ubicado al lado del canal de pendiente variable o también desde el panel ubicado en el cuarto de bombas.



Foto 3 – Bombas centrifugas

1.2.3. Bomba de limpieza: Es un dispositivo de succión de agua con una capacidad de 5 lps y se encuentra instalada en un pozo por debajo del nivel del piso, dentro del cuarto de bombas y junto al tanque de almacenamiento. Tiene un mecanismo de encendido y apagado automático que actúa por medio de un flotador.

La bomba de limpieza cumple la doble función de:

- ✓ Realizar el desagüe del tanque de almacenamiento cuando es necesario hacer su limpieza y mantenimiento.
- ✓ Evacuar el agua que cae en las rejillas ubicadas en el piso.



Foto 4 – Bomba de limpieza

1.2.4. Tanque elevado: Es una estructura construida en concreto que tiene una capacidad de 6m^3 y en él se almacena temporalmente el agua impulsada por las bombas centrifugas, para posteriormente distribuir el caudal con una cabeza de presión constante a las estructuras del laboratorio.

Para garantizar la distribución con cabeza constante, se ha diseñado el sistema de manera tal que el caudal de impulsión sea mayor que el caudal requerido por el laboratorio, por esta razón se ha provisto de un sistema de rebose al tanque elevado, constituido por un vertedero perimetral con un canal rectangular, que conduce el agua a dos tubos de PVC de 3" de diámetro que llevan el flujo hasta el canal perimetral fabricado en concreto que se encarga de retornar el agua al tanque subterráneo de almacenamiento.



Foto 5– Tanque Elevado.

1.2.5. Válvulas: Cada una de las diferentes estructuras que posee el laboratorio puede ser operada de manera independiente, esto gracias a las siguientes válvulas con que cuenta el sistema de conducción y distribución.

- **De retención o check:** Instalada en la tubería de acero de 6" de diámetro, evita el retorno del agua a las bombas de impulsión cuando deja de funcionar la impulsión.
- **De Globo:** Este tipo de válvula es de cierre lento, en el laboratorio hay 2 de estas válvulas, una ubicada debajo de la válvula check, cumple la función de regular el caudal impulsando desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque elevado y otra instalada en la tubería de distribución que baja del tanque alto hacia el patio de modelos, que permite alimentar los futuros modelos que se instalen en este espacio.
- **De compuerta:** Es también una válvula de cierre lento, dentro del laboratorio hay 4 de estas válvulas, una de estas regula la entrada de caudal al canal de pendiente variable, y la otra que controla el caudal de entrada al tanque de modelos. Además están las dos que conectan el tanque enterrado con las bombas de impulsión.
- **De Mariposa:** Esta es una válvula de cierre rápido, en el laboratorio hay dos de estas válvulas, y son las que conectan las bombas centrífugas con la tubería de impulsión.
- **De Bola:** Es una válvula de cierre rápido, en el laboratorio hay 4 de estas válvulas, la primera de ellas es la que permite el llenado del tanque subterráneo, las otras tres permiten purgar las estructuras del laboratorio como lo son: el tanque subterráneo, el tanque de modelos y el vertedero de cresta ancha ubicado en el canal de concreto.

1.2.6. Medidor de flujo electromagnético: Es un instrumento de alta precisión, está instalado en la tubería de acero de 6" que distribuye el agua desde el tanque elevado. Su función es medir el caudal y la velocidad del agua que pase por el tramo de tubería donde está colocado. Debido a la posición como se encuentra instalado el caudal mínimo que puede medir es de 12.9 lps.

1.2.7. Manómetros: En el laboratorio hay 2 manómetros tipo Bourdon, uno de ellos ubicado al comienzo de la tubería de impulsión de 6" y el otro ubicado en la tubería de distribución antes del medidor electromagnético.

1.2.8. Canal Perimetral: Es una estructura construida en concreto, con sección transversal rectangular, que tiene 50 cm de ancho en su mayor parte, 15 cm de alto en su parte inicial, 50 cm de alto en su parte final y una longitud de 42 m.

La primera entrada al canal perimetral, corresponde al rebose del tanque elevado, el cual es realizado por medio de 2 tubos de 3" que desembocan en un vertedero de cresta gruesa, que puede ser utilizado como estructura hidráulica de medición del caudal que baja por rebose. Además, el fondo del canal perimetral posee diferentes pendientes a lo largo de su recorrido por el laboratorio para facilitar la recolección del agua de las diferentes estructuras.

Siguiendo el recorrido por el canal perimetral, el flujo encuentra otra estructura de medición, la canaleta Parshall, para posteriormente recibir el caudal del canal de pendiente variable que pasa por una pantalla de disipación de energía, ubicada en la estructura de pruebas o tanque de modelos.

Posteriormente el flujo realiza un giro de 90° por medio de una transición de sección variable cuyo propósito es disipar la energía que lleva el flujo en ese punto de transición y finalmente tiene una reducción en la sección transversal, que complementada con una pendiente fuerte, permite que el flujo entre al tanque subterráneo y de esta forma completar el ciclo del flujo del agua por el laboratorio.



Foto 6– Canal perimetral de concreto

1.2.9. Canal de pendiente variable: Es una estructura que tiene un sección transversal rectangular con una ancho promedio de 41.2 cm por 60 cm de alto y 9.50 m de longitud. Esta construido en vidrio templado, por ser este un material que cumple con 2 características necesarias para apreciar el comportamiento del flujo de agua en un canal de máxima transparencia, que se puede mantener con el paso de los años y es de mayor rigidez que otros materiales transparentes como el acrílico.

El canal de vidrio, se encuentra apoyado sobre una estructura de acero, la cual tiene en el extremo final un pasador y en la entrada un mecanismo de elevación compuesto por un gato hidráulico y un sistema de pasadores, lo que permite elevar el canal hasta una pendiente del 6%. La alimentación del canal de pendiente variable se realiza por medio de un tanque metálico, en cuya parte inicial penetran 3 tubos flexibles provenientes de un tubo de PVC de 4", que está conectado a una válvula de compuerta y empalmado a la derivación de la tubería de alimentación de 6". Con las 2 bombas que actualmente se encuentran instaladas el caudal máximo que pasa por el canal es de 32 lps.

Dentro del canal se cuenta con 2 compuertas verticales deslizantes y en el extremo del mismo se encuentran ubicados unos ángulos en acero inoxidable de 2"x2"x1/4", en los cuales se instalan por medio de tuercas y roscas de 3/8" de diámetro los vertederos de cresta aguda que dispone el laboratorio.



Foto 7– Canal de vidrio pendiente Variable

2. Práctica N°1.

AFORO DE CORRIENTES EN CAMPO – FlowTracker (ADV)

2.1. Objetivos

- Entender la forma en que funciona un ADV (Acoustic Doppler Velocimeter).
- Aprender a manejar de forma ágil y segura un dispositivo de alta tecnología para el aforo de corrientes.
- Determinar el perfil de velocidad del agua en una corriente natural, midiendo velocidades a diferentes alturas.
- Identificar posibles fuentes de error en la toma de datos.

2.2. Justificación

Por medio de esta práctica se espera que el estudiante desarrolle las habilidades que son necesarias para realizar de forma correcta el aforo o medición de caudal de corriente natural de agua utilizando un ADV, y que de la misma manera se concientice de las dificultades que pueden presentarse en un procedimiento de este tipo, logrando así tener las bases necesarias para plantear soluciones útiles y efectivas cuando se requiera aforar un río o canal.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Descripción del Equipo

El equipo a utilizar en esta práctica se denomina ADV (Acoustic Doppler Velocimeter). Este equipo consta de una sonda y un control manual los cuales se instalan en un soporte que sirve de apoyo al momento de realizar mediciones.

Este ADV mide velocidades desde 0.001 m/s hasta 4.5 m/s. El equipo puede ser utilizado para calcular el caudal total que pasa por la sección de un río o canal.



Fig. 1.1 – Partes del ADV

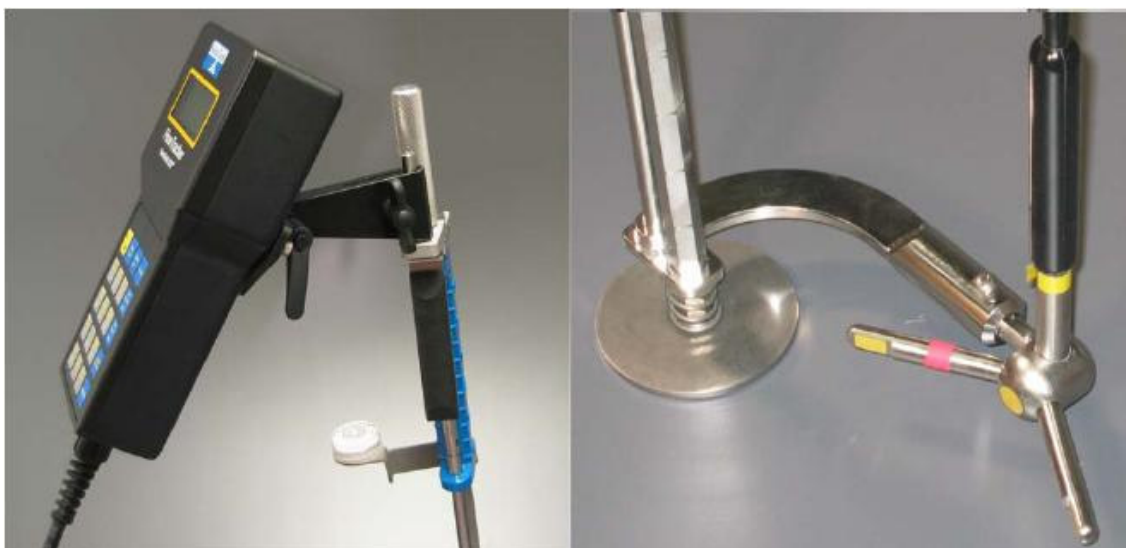


Fig. 1.2 – Montaje del control manual y la sonda en el soporte..

4.3.2. Funcionamiento del Equipo

El ADV del que se dispone para realizar la práctica mide velocidades en 2D, es decir, mide la velocidad en la dirección paralela al flujo y en la dirección transversal en planta a este. La sonda del ADV consta de un transmisor y 2 receptores entre los cuales se ubica el punto de medición, localizado a 10 cm del transmisor, lo cual evita que el equipo interfiera en el flujo al momento de realizar la medición.

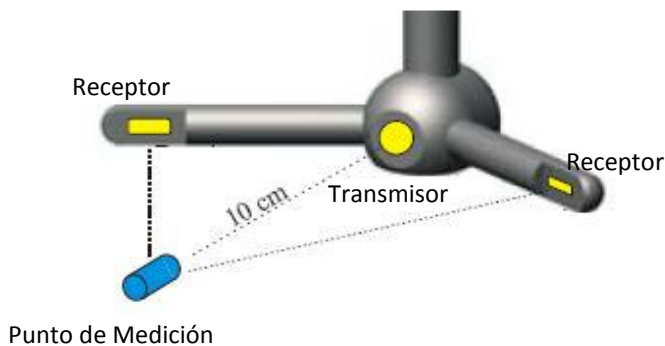


Fig. 1.3 – Punto en donde la sonda realiza la medición.

El equipo utiliza el principio del efecto doppler, según el cual si la fuente de un sonido se mueve relativa al receptor, la frecuencia del sonido en el receptor es diferente a la frecuencia de transmisión. El ADV mide este cambio de frecuencia en el sonido que reflejan las partículas de agua logrando así medir la velocidad del flujo. Este dispositivo tiene la capacidad de realizar mediciones instantáneas en la velocidad del flujo cada segundo.

La sonda tiene un sistema coordinado por defecto, esta sonda tiene una marca de color rojo, la cual debe quedar aguas abajo para que los datos de velocidad queden registrados de forma correcta. Además de esto para una correcta medición la sonda debe ubicarse dentro del flujo a medir, de forma que el eje X de la misma quede paralelo a la dirección principal del flujo.

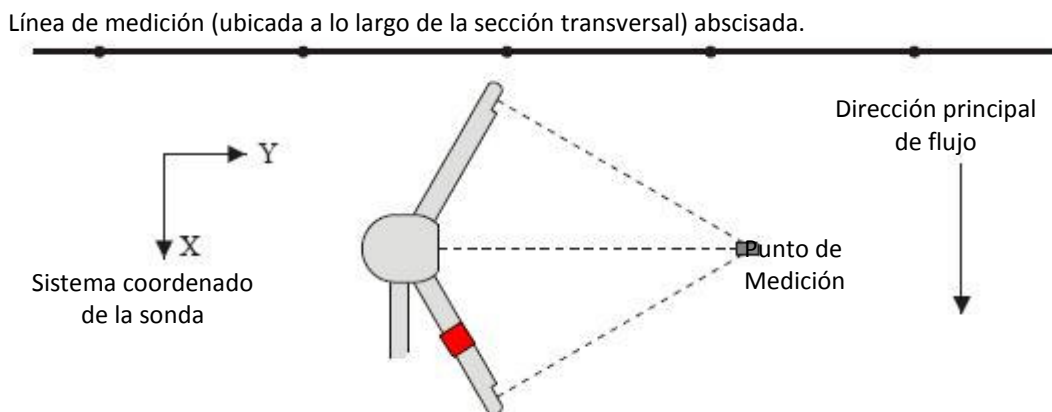


Fig. 1.4 – Orientación de la sonda respecto al flujo de la corriente.

4.3.3. Distribución de velocidades en la sección de un canal

Debido a la presencia de la superficie libre y la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en la sección. Normalmente la velocidad máxima medida en canales está por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad de flujo. La distribución de velocidades en una sección del canal depende de factores como la forma de la sección transversal, la rugosidad del canal y la presencia de curvas. La rugosidad del canal

causa un incremento en la curvatura de la línea de distribución vertical de velocidades, mientras que en los cambio de dirección de un fluido, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo de la curva debido a la acción centrífuga del flujo.

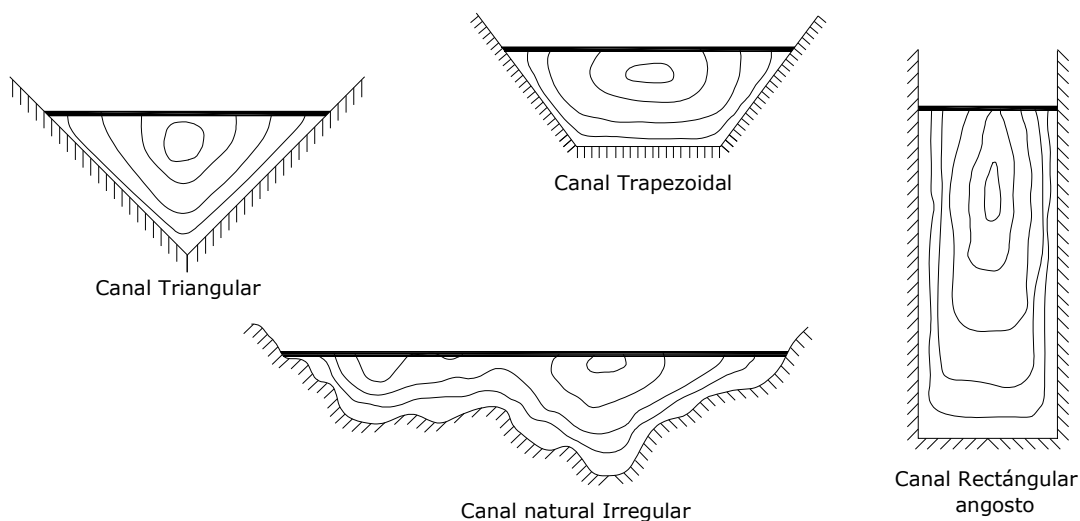


Fig. 1.5 – Distribución de velocidades para distintos tipos de canales.

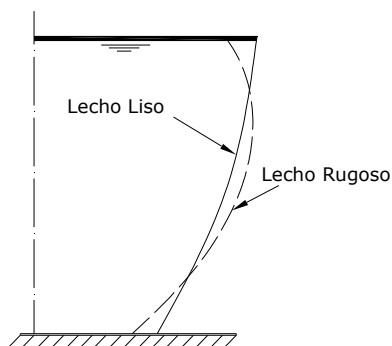


Fig. 1.6 – Efecto de la rugosidad de un canal en la distribución vertical de velocidad.

4.3.4. Métodos para aforar corrientes

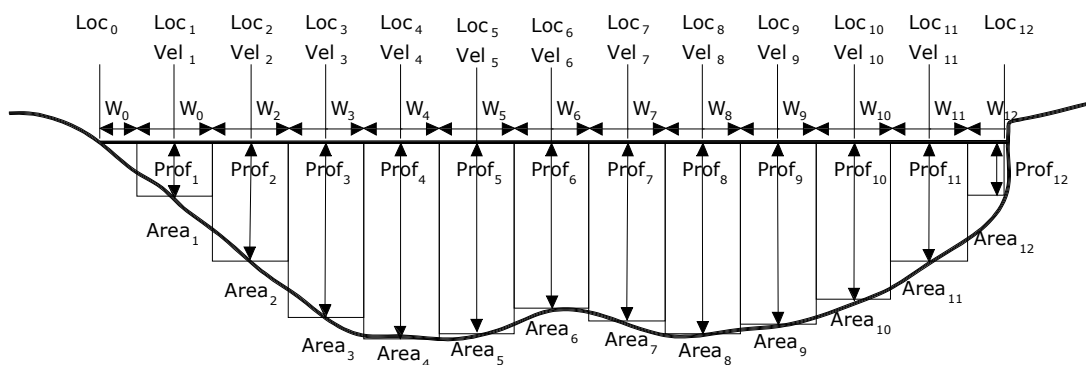
Dependiendo de las condiciones que se tengan en el canal por donde pasa el flujo a medir, existen diversos métodos para calcular la velocidad media del mismo en cada una de las estaciones que se marcan en la línea de medición ubicada a lo largo de la sección transversal que se desea aforar. Los métodos van desde un solo punto de medición hasta la toma de cuando puntos se consideren necesarios a lo largo del nivel de agua.

Método	Ubicación de las medidas	Ecuación de velocidad promedio
0.6	0.6 * profundidad	$V_{prom}=V_{0.6}$
0.2/0.8 0.8/0.2	0.2/0.8 * profundidad	$V_{prom}=(V_{0.2} + V_{0.8})/2$
0.2/0.6/0.8 0.8/0.6/0.2	0.2/0.6/0.8 * profundidad	$V_{prom}=(V_{0.2} + 2*V_{0.6} + V_{0.8})/4$
5 puntos + 5 puntos -	0.0 (cerca de la superficie) 0.2/0.6/0.8 * profundidad 1.0 (cerca al fondo)	$V_{prom}=(V_{0.0} + 3*V_{0.2} + 3*V_{0.6} + 3*V_{0.8} + V_{1.0})/10$
Multi pt	Cualquier numero de puntos en la profundidad que el usuario especifica	Promedio de la velocidad integrada
None	No se toma medida de velocidad	$V_{prom}=CF*V_{adyacente}$
Input V	Usuario Ingresa velocidad	$V_{prom}=V_{ingresada}$

Fig. 1.6 – Métodos en el ADV para calcular la velocidad media de una estación.

El número de puntos en que se debe medir la velocidad en cada estación depende principalmente de la profundidad del nivel de agua y de las condiciones de flujo que se observen en el campo. Usualmente se recomienda tomar 2 o 3 medidas, siendo así los métodos más comunes: 0.2/0.8 y 0.2/0.6/0.8. Cuando el nivel de agua no es muy significativo se considera correcto tomar un solo punto de medición, ubicado al 60% de la altura de nivel de agua medido desde el fondo del canal, ya que se considera que en este punto se registra la velocidad media del flujo.

Una vez se registra la velocidad media de todas las estaciones a lo ancho de la sección transversal, el ADV tiene 3 formas de calcular el caudal. La ecuación de la sección media es la que por defecto se utiliza; sin embargo también está la ecuación japonesa y la ecuación de la sección promedio.



Calculos de borde

$i =$ Estación borde ($Loc_i, Prof_i$)

$j =$ Estación adyacente con velocidad ($Loc_j, Prof_j, Vel_j$)

Ancho Borde = $W_i = (Loc_j - Loc_i) / 2$

Área Borde = $Área_i = W_i * Prof_i$

Velocidad Borde = $CF_i * Vel_j$

Caudal Borde = $Q_i = Area_i * Vel_j$

Calculos intermedios

Ancho Estación = $W_i = (Loc_{i+1} - Loc_{i-1}) / 2$

Área Estación = $Área_i = W_i * Prof_i$

Velocidad Estación = Vel_j

Caudal Estación = $Q_i = Area_i * Vel_j$

CaudalTotal = Sumatoria(Q_i)

Fig. 1.7 – Método de la sección media para el cálculo de caudal en una sección.

2.4. Procedimiento

1. Se elige una sección transversal del cauce, la cual debe ser lo más homogénea posible y preferiblemente con un lecho uniforme.
2. Tensar una cuerda a lo ancho de la sección y definir las estaciones en donde se tomaran medidas.
3. Armar el ADV y configurar las opciones básicas del mismo: tiempo de medición y modo de uso.
4. Introducir la sonda dentro del agua y ubicarla paralela a la dirección de flujo.
5. Definir el método a usar para el cálculo de velocidades medias y según ello tomar los datos necesarios en cada una de las estaciones.
6. Determinar el Caudal aforado.

2.5. Análisis

- A partir de los datos obtenidos en campo, graficar el perfil de velocidad del agua de según la altura.
- Establecer un procedimiento que minimice los errores en la toma de datos con el ADV.

3. Práctica N°2.

LEYES DE CONSERVACIÓN Y FUERZA ESPECÍFICA.

3.1. *Objetivos*

- Comprobar la teoría que describe el flujo por debajo de una compuerta deslizante, con un resalto hidráulico aguas abajo del mismo.
- Aplicar las leyes de conservación de energía y cantidad de movimiento en un canal rectangular.
- Calcular la fuerza de empuje sobre una compuerta vertical.
- Establecer las características de la Curva de Energía específica.
- Evaluar las diferencias entre los valores teóricos y los datos reales medidos en el laboratorio.
- Identificar posibles fuentes de error y la forma de disminuirlos.

3.2. *Justificación*

Esta práctica contempla 2 partes. En la primera parte se establece, en el canal de vidrio y con ayuda de la compuerta deslizante, una situación en la cual el estudiante debe aplicar los conceptos de fuerza específica, conservación de energía específica y conservación de cantidad de movimiento, debe observar muy bien los fenómenos que ocurren para así tomar los datos que son necesarios para realizar unos cálculos que le corroboren la teoría estudiada o que por el contrario le sirvan como base para establecer fuentes de error y detalles que se obvian en los conceptos teóricos.

En la segunda parte de la práctica, se introduce en el canal de vidrio un obstáculo triangular que genera un cambio de nivel en el fondo del canal, este obstáculo tiene una altura tal que induce un cambio en el régimen de flujo del agua. Con esta situación se pretende ahondar un poco más en la comprensión de lo que representa la energía específica y la curva que esta describe reuniendo allí mismo los conceptos de energía crítica, flujo subcrítico y flujo supercrítico.

3.3. *Marco Conceptual*

Energía específica – Energía Crítica - Flujo Subcrítico – Flujo Supercrítico - Conservación de cantidad de movimiento – Fuerza sobre una superficie

3.3.1. Ecuación de la Energía Específica

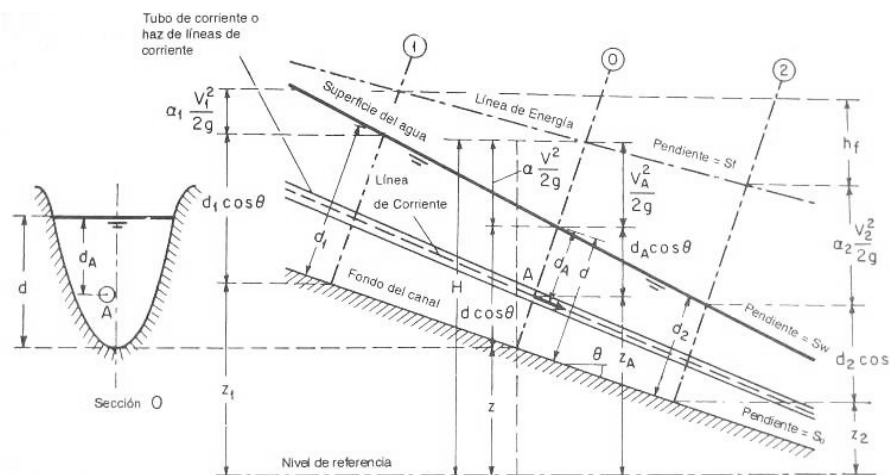


Fig. 2.1 – Derivación de la ecuación de energía específica.

La ecuación de la energía específica es simplemente una simplificación de la ecuación de Bernoulli, esta ecuación tiene 3 componentes: la carga potencial, la carga de presión y la carga de velocidad:

$$H = z + d \cdot \cos \theta + \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Considerando que los canales a flujo libre tienen pendientes generalmente pequeñas, el valor de θ se puede aproximar a cero y de la misma manera se puede despreciar la componente potencial de la ecuación de energía, quedando de esta forma definida la ecuación de conservación de la energía específica, la cual toma como nivel de referencia el fondo del canal y para la cual el valor de $\alpha=1$:

$$E = y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

3.3.2. Curva de Energía Específica

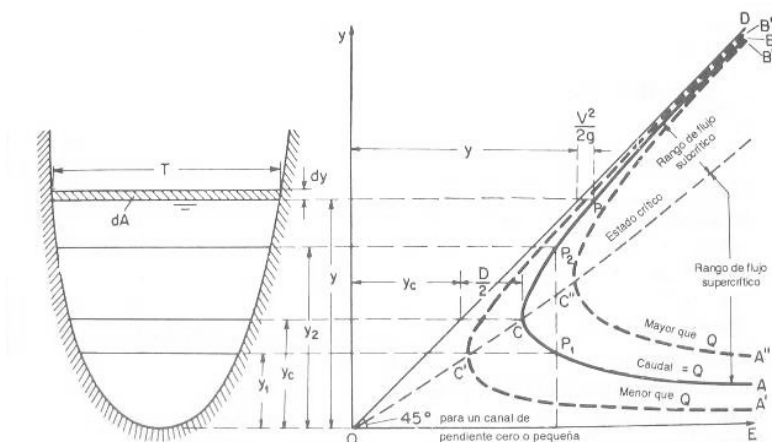


Fig. 2.2 – Curva típica de energía específica

Estado Crítico de flujo: Partiendo de la ecuación anterior se puede demostrar que:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2 \cdot T}{g \cdot A^3} = 1 - \frac{V^2}{g \cdot D} \quad \therefore \quad Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$$

El estado crítico de flujo se da cuando $dE/dy=0$. Lo cual indica que el estado crítico se presenta cuando el número adimensional Froude es igual a 1.

$$Fr^2 = \frac{V^2}{g \cdot D} = \frac{Q^2 \cdot T}{g \cdot A^3} = 1$$

Flujo Subcrítico: Estado de flujo caracterizado por presentar velocidades bajas y niveles de agua altos. Este tipo de flujo presenta $Fr^2 < 1.0$.

Flujo Supercrítico: Estado de flujo caracterizado por presentar velocidades altas y niveles de agua bajo. Este tipo de flujo presenta $Fr^2 > 1.0$

3.3.3. Ecuación de cantidad de Movimiento

$$F_2 - F_1 + W \cdot \text{Sen}\theta - F_f - F_o = \frac{\gamma}{g} \cdot Q \cdot (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1)$$

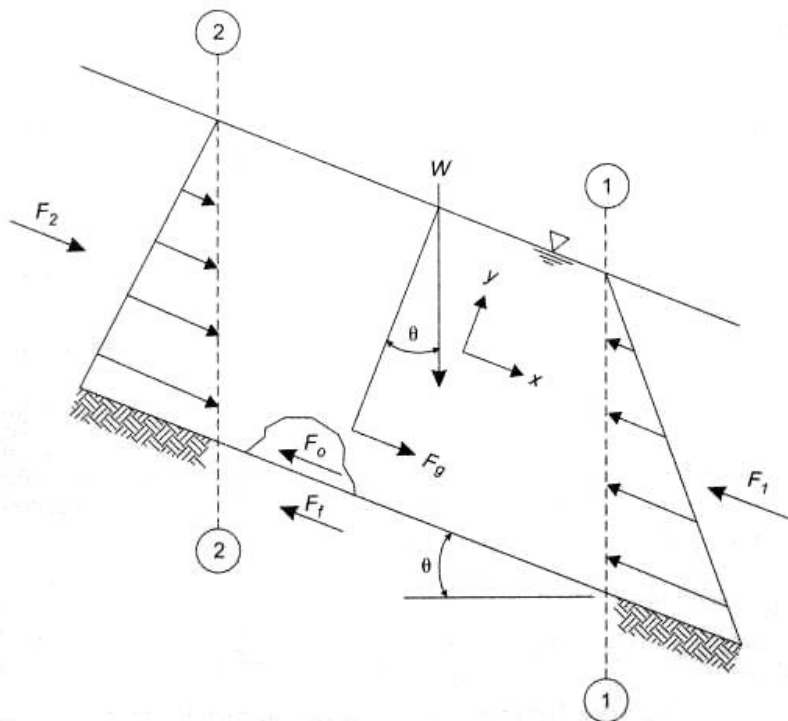


Fig. 2.2 – Fuerzas que intervienen en la ecuación de Cantidad de movimiento

Para flujos en canales de pendiente pequeña y que presenten condiciones de flujo uniforme las fuerzas F_1 y F_2 se consideran hidrostáticas y el coeficiente β se toma igual a 1.

3.3.4. Fuerza sobre una Superficie

$$F_R = \gamma \cdot h_c \cdot A$$

En donde: γ - Peso específico del líquido.
 h_c - Centroide de la superficie en contacto.
 A - Área de la superficie en contacto.

3.4. Procedimiento

Parte A:

1. Se enciende el sistema de bombeo y se ajusta el canal rectangular de vidrio en posición horizontal.
2. Establecer un caudal en el canal de vidrio y bajar la compuerta deslizante de forma que aguas debajo de la misma se genere un resalto hidráulico.
3. Esperar a que las condiciones de flujo sean estables.

4. Tomar los datos que considere necesarios para cumplir los objetivos de la práctica.
5. Cambiar el caudal y/o la altura de la compuerta y repetir los pasos 3-5.

Dependiendo del caudal y altura de la compuerta, puede ser necesario el uso de la compuerta localizada aguas abajo del canal.

Parte B:

1. Se enciende el sistema de bombeo y se ajusta el canal de vidrio en posición horizontal.
2. Introducir en el canal de vidrio el obstáculo triangular, ubicándolo de forma que quede bien ajustado y que la superficie más pequeña quede aguas arriba.
3. Permitir la entrada de agua al canal de vidrio y establecer un caudal (Q_1).
4. Esperar a que las condiciones de flujo sean estables.
5. Tomar los datos que se consideren necesarios para graficar la curva de energía.
6. Analizar que sucede con la curva de energía si se cambia el caudal.

3.5. Análisis

Parte A:

- Aplicar la ecuación de energía en el flujo a través de una compuerta y verificar su conservación. Calcular la profundidad teórica aguas debajo de la compuerta.
- Aplicar la ecuación de la cantidad de movimiento para calcular la fuerza ejercida sobre la compuerta y verificarla.
- Calcular la profundidad aguas debajo de un resalto aplicando la ecuación de la cantidad de movimiento.
- ¿Se cumple la ecuación de conservación de energía en el resalto hidráulico? De no ser así explique por qué.

Parte B:

- Analizar por qué el obstáculo introducido genera un cambio en el régimen de flujo.
- Definir las 3 partes principales de la curva de energía: Subcrítico, supercrítico y energía mínima.
- Comprender la utilidad de la curva de energía específica.

4. Práctica N°3.

FLUJO UNIFORME Y FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

4.1. Objetivos

- Identificar condiciones de flujo uniforme y flujo no uniforme en canal rectangular de vidrio.
- Identificar variaciones en el flujo que correspondan a perfiles de flujo gradualmente variado.
- Estimar el coeficiente de resistencia n de Manning para un canal de vidrio.
- Identificar las condiciones normales de flujo para pendientes suaves y fuertes.
- Identificar posibles fuentes de error y la forma de disminuirlos.

4.2. Justificación

En esta práctica se establecen situaciones en donde el estudiante debe registrar la altura del nivel del agua a lo largo del canal, identificando las zonas de flujo uniforme y las zonas donde existen variaciones de nivel. Con el desarrollo de esta práctica se espera que los estudiantes comprendan los conceptos de altura normal de flujo (y_{normal}), altura crítica de flujo (y_c) y la relación que estas guardan tanto en una pendiente fuerte como en una pendiente suave. Se busca también que se aplique de manera correcta la ecuación de Manning para determinar el coeficiente de rugosidad “ n ” para un material, que este caso es el vidrio templado conforma las paredes del canal. Por último se espera que se identifiquen y diferencien las zonas donde se presenta flujo gradualmente estableciendo los tipos de perfil que se presentan.

4.3. Marco Conceptual

Flujo uniforme, Ecuación de Chezy y ecuación de Manning – Flujo Gradualmente Variado – Perfiles S y M.

4.3.1. Flujo Uniforme

Se considera flujo uniforme aquel flujo en donde para un instante de tiempo la velocidad es constante a lo largo de la distancia en un canal, esto genera que el nivel de agua tampoco cambie. Para que esto suceda las características hidráulicas del canal deben permanecer constantes De forma matemática puede expresarse:

$$\frac{dV}{dx} = 0 \quad \frac{dy}{dx} = 0$$

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluye aguas abajo. Esta resistencia suele ser contrarrestada por las componentes de fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento. El flujo uniforme se desarrolla cuando la resistencia es balanceada por las fuerzas gravitacionales.

La profundidad de agua que tiene un flujo uniforme se denomina profundidad normal de flujo (y_n). La ecuación de Chezy y la ecuación de Manning definen la velocidad promedio en un canal con flujo uniforme:

Ecuación de Chezy (1789):

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot S_0}$$

C – Coeficiente de Chezy

Ecuación de Manning (1889):

$$V = \frac{\phi}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2}$$

n – Coeficiente de Manning, $\phi = 1$ para SI

4.3.2. Flujo Gradualmente Variado

El flujo gradualmente variado se refiere a un flujo permanente cuya profundidad varía gradualmente en la dirección del canal, de tal manera que las líneas de corriente son rectas y prácticamente paralelas y por lo mismo, la distribución hidrostática de presiones prevalece en cada sección. Los perfiles se clasifican según el tipo de pendiente donde se encuentren, los perfiles más comunes son aquellos que se presentan en pendientes suaves (M) y en pendientes fuertes (S); sin embargo también hay una clasificación para perfiles en pendientes horizontales (H), adversas (A) y críticas (C).

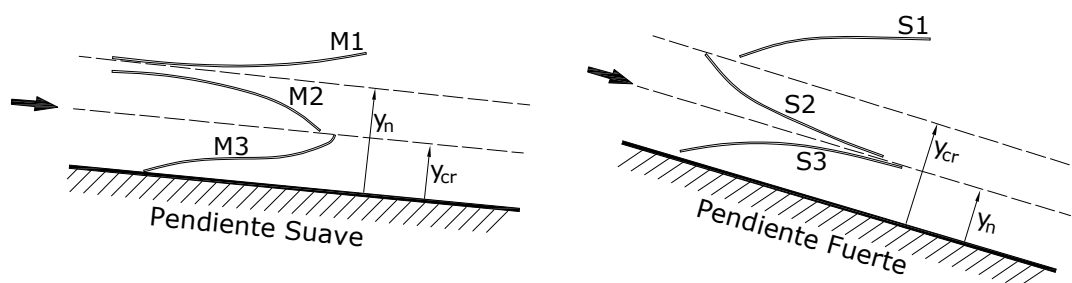


Fig. 3.1 – Perfiles de flujo en pendientes suaves y en pendientes fuertes.

4.4. Procedimiento

1. Se enciende el sistema de bombeo.
2. Establecer un caudal Q en el canal de vidrio.
3. Abscisar el canal de forma que se puedan medir de forma uniforme las variaciones de altura en la lámina de agua.

Se analizarán 3 situaciones

- a) Ajustar el canal con una pendiente suave y subir las compuertas deslizantes de forma que no interfieran con el flujo de agua en el canal.
- b) Manteniendo la pendiente suave, bajar la compuerta aguas arriba del canal de forma que se genere un resalto hidráulico dentro del mismo.
- c) Ahora se debe ajustar una pendiente fuerte, levantar la compuerta deslizante y establecer un nuevo caudal.

Para cada una de las situaciones y dependiendo del tiempo disponible para la práctica, se puede tomar más de un caudal a fin de generar una mayor cantidad de datos.

Con pendientes suaves el nivel de agua tiende a presenta oscilaciones debido a las bajas velocidades, cuando la pendiente es fuerte la velocidad del flujo aumenta considerablemente y por tanto el nivel de agua tiende a ser mucho más estable.

4.5. Análisis

- Determinar para cada una de las situaciones el valor de y_n y calcular el valor y_c . Con estos dos valores se conoce se analiza si la pendiente es suave o fuerte.
- Graficar la variación en la profundidad del agua a lo largo del canal para cada una de las situaciones generadas para de esta manera, y teniendo como referencia los valores de y_n y y_c , determinar donde se presentan condiciones de FGV.
- Con el valor de y_n , el caudal, la pendiente y la sección del canal, se calcula con la ecuación de Manning el valor experimental del coeficiente de rugosidad “n” para el vidrio.

5. Práctica N°4.

ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN Y CONTROL (Compuertas, Vertederos y Canaleta Parshall)

5.1. Objetivos

- Analizar el comportamiento del flujo de agua a través de las distintas estructuras de control y medición hidráulicas.
- Corroborar la teoría de flujo libre y flujo ahogado a través de una compuerta de admisión inferior.
- Determinar la ecuación de calibración de caudal y carga hidráulica para vertederos tanto de cresta ancha como de cresta delgada.
- Calcular los coeficientes de descarga para cada una de las estructuras según su ecuación teórica.
- Determinar la ecuación de calibración de caudal y nivel de agua para la canaleta Parshall.
- Establecer las ventajas y desventajas de compuertas, vertederos y canaleta Parshall como estructuras de aforo.

5.2. Justificación

Con el desarrollo de esta práctica se estudiarán todos los fenómenos hidráulicos que ocurren en estructuras de medición y control hidráulico, como lo son: compuertas verticales deslizantes, vertederos y la canaleta Parshall. Se analizarán las condiciones de flujo libre y flujo ahogado en el comportamiento del paso de agua por una compuerta, así como también se estimarán los coeficientes de descarga para las diferentes estructuras que se pueden utilizar para aforar. Se observará el comportamiento del flujo de agua a través de diferentes tipos de vertederos con diversas formas de cresta y se determinarán las ventajas y desventajas en el uso de las diferentes estructuras de aforo.

5.3. Marco Conceptual

Coefficiente de descarga - Flujo a través de compuertas - Ecuación general vertederos – calibración de vertederos - Ecuaciones teóricas para los diferentes tipos de vertederos – Canaleta parshall.

5.3.1. Coeficiente de Descarga

El coeficiente de descarga es la relación que existe entre el caudal que realmente puede pasar por un orificio o estructura y el que teóricamente podría pasar. El coeficiente de descarga es producto de los efectos producidos por las pérdidas por contracción (C_c) y perdidas por velocidad (C_v).

$$C_d = \frac{Q_R}{Q_T} = C_c \cdot C_v$$

5.3.2. Flujo a través de Compuertas

Las compuertas son unas estructuras hidráulicas que cumplen principalmente una función de control, son estructuras utilizadas para regular caudales. Existen muchos tipos de compuertas donde las más comunes son las compuertas verticales y las compuertas radiales.

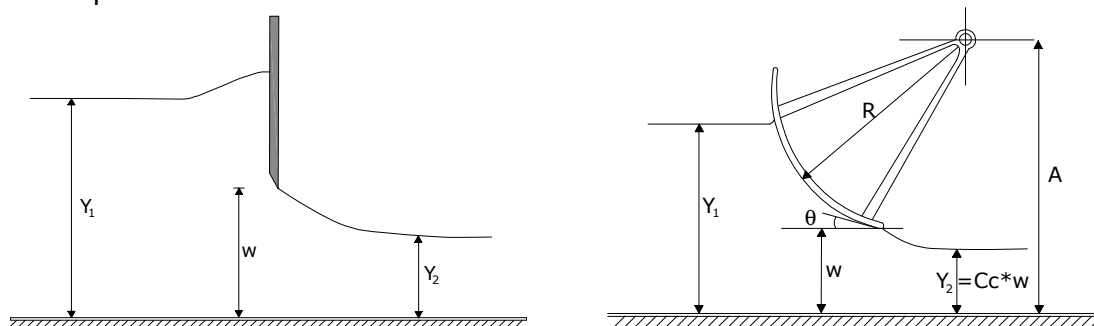


Fig. 4.1 – Esquema de una compuerta vertical y una compuerta radial

Flujo a Superficie Libre: Se produce cuando aguas abajo de la compuerta no hay ningún tipo de obstáculo o cambio en la sección hidráulica del canal, razón por la cual se desarrolla un flujo gradualmente variado hasta la formación de un resalto hidráulico.

Para este caso partiendo de la ecuación de conservación de energía se tiene:

$$q = C_c \cdot w \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot y_1}{1 + \frac{C_c \cdot w}{y_1}}} = C_d \cdot w \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot y_1}$$

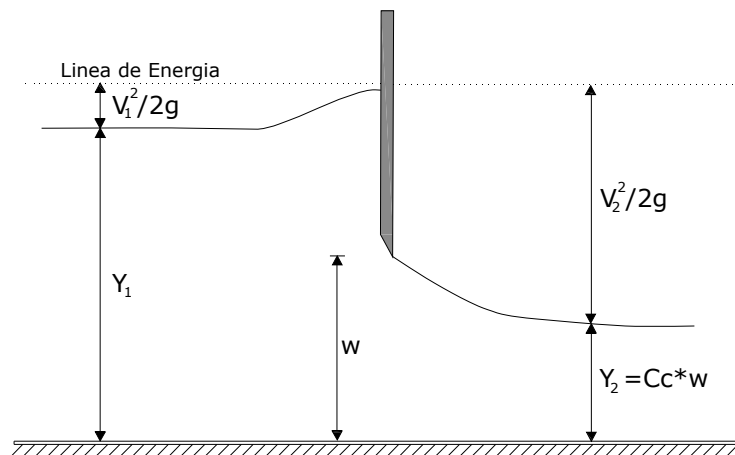


Fig. 4.2 – Compuerta vertical a flujo libre.

Flujo ahogado: En flujo ahogado en una compuerta se presenta cuando la altura conjugada supercrítica del resalto hidráulico es menor que $Cc \cdot w$, en este caso el resalto hidráulico ahoga la compuerta y no permite su comportamiento a flujo libre. Para este caso se plantea la conservación de energías y la conservación de cantidad de movimiento, obteniéndose:

$$Cc = \frac{1}{w} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (y_1 - y_s) + 1}{q^2} + \frac{1}{y_1^2}}}$$

$$\frac{y_s}{y_3} = \sqrt{1 + 2 \cdot Fr_3^2 \cdot \left(1 - \frac{y_3}{w}\right)}$$

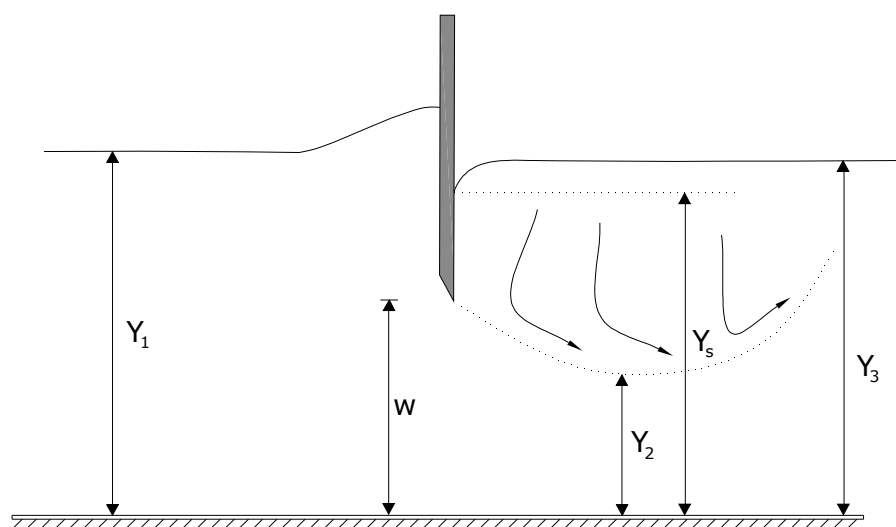


Fig. 4.3 – Compuerta vertical con flujo ahogado.

5.3.3. Vertederos de cresta ancha y cresta aguda

Los vertederos son estructuras transversales a la dirección de la corriente, que la obstaculizan y obligan a que todo el flujo pase sobre ellos. Dependiendo del espesor de su cresta pueden ser de cresta ancha o de cresta delgada dependiendo si la lamina de agua tiene un recorrido sobre la estructura o si la toca en solo un punto antes de la descarga.

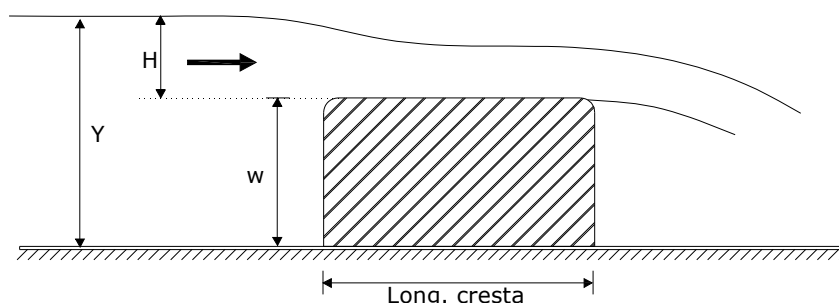


Fig. 4.4 – Vertedero de cresta ancha

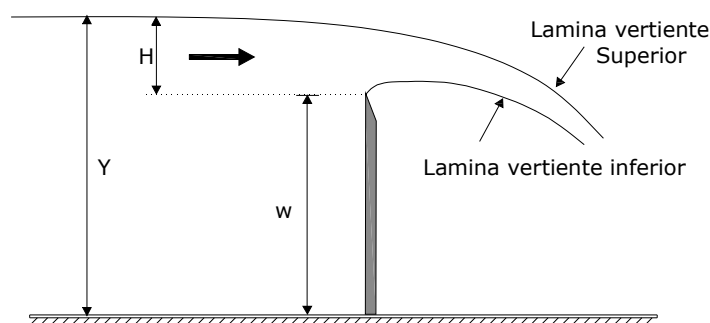


Fig. 4.5 – Vertedero de cresta aguda.

Los vertederos tienen una ecuación general que relaciona el caudal Q que pasa sobre la estructura y su carga hidráulica H , de acuerdo a la cual pueden calibrarse:

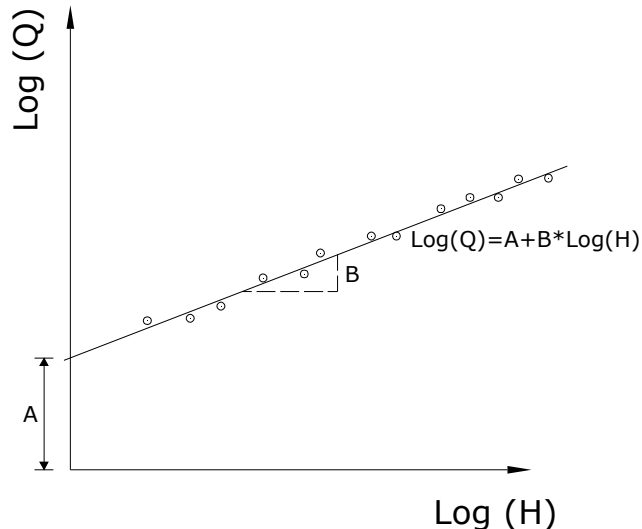
$$Q = C \cdot H^n$$

Calibración de Vertederos: La gran mayoría de vertederos pueden calibrarse de acuerdo a la ecuación anterior. Al calibrarlos lo que interesa es hallar los valores de C y n que relacionan de la mejor manera los valores de caudal y carga hidráulica. Para ello la ecuación anterior se linealiza y luego se aplica una regresión:

$$Q = C \cdot H^n$$

$$\text{Log}(Q) = \text{Log}(C \cdot H^n)$$

$$\text{Log}(Q) = \text{Log}(C) + n \cdot \text{Log}(H)$$



$$A = \text{Log}(C) \Rightarrow C = 10^A$$

$$B = n$$

De forma se pueden conocer las ecuaciones de calibración para los vertederos que cumplen con esta relación entre Q y H. Una vez conocidas las ecuaciones de calibración propias halladas en laboratorio pueden compararse con las ecuaciones teóricas desarrolladas para cada tipo de vertedero dependiendo de la forma de su cresta y así poder estimar los coeficientes de descarga.

a) *Vertedero Rectangular de cresta aguda:*

$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot b \cdot h^{3/2}$$

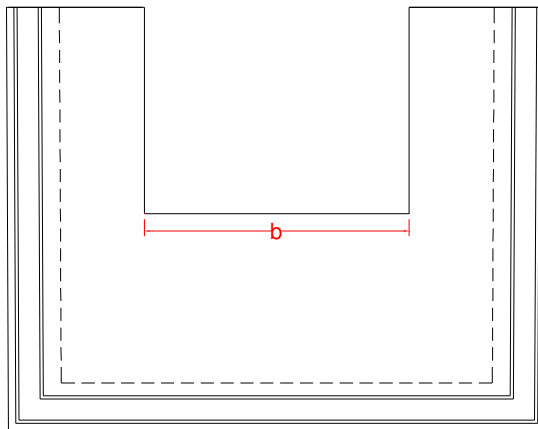


Fig. 4.6 – Esquema de vertedero rectangular contraído.

b) *Vertedero Triangular de cresta aguda:*

$$Q_T = \frac{8}{15} \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot \tan(\theta / 2) \cdot h^{5/2}$$

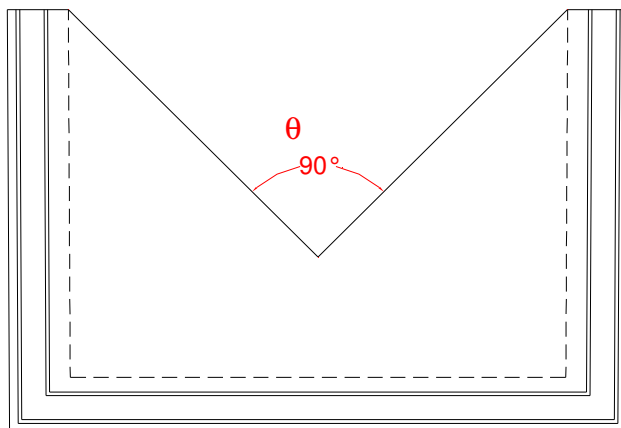


Fig. 4.7 – Esquema de vertedero triangular.

c) *Vertedero Trapezoidal de cresta aguda:*

$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_{d1} \cdot b \cdot h^{3/2} + \frac{8}{15} \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_{d2} \cdot \tan(\theta / 2) \cdot h^{5/2}$$

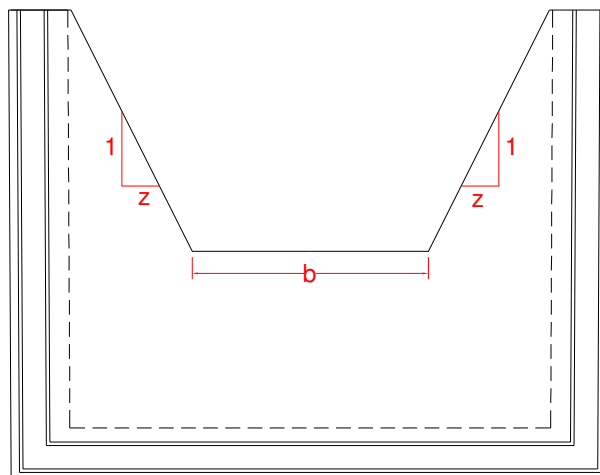


Fig. 4.8 – Esquema de vertedero trapezoidal.

d) *Vertedero Proporcional Sutor de cresta aguda:*

$$Q = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot a} \cdot \left(h_1 - \frac{a}{3} \right)$$

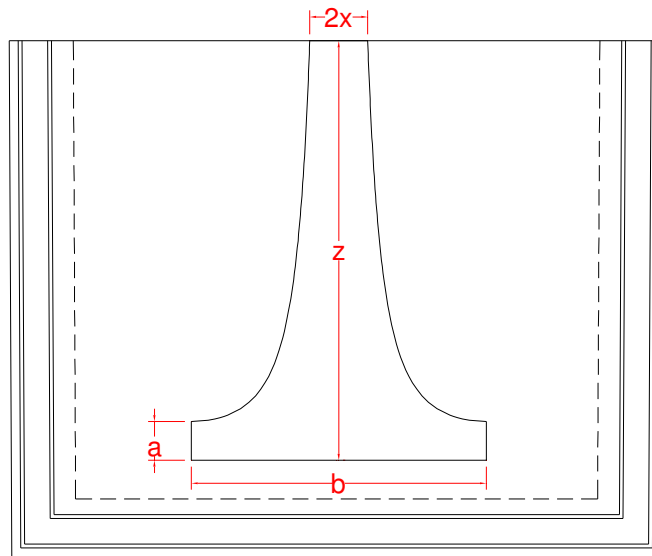


Fig. 4.9 – Esquema de vertedero proporcional Sutor

e) *Vertedero rectangular de cresta ancha:*

$$Q_T = 1.705 \cdot C_d \cdot b \cdot h^{3/2}$$

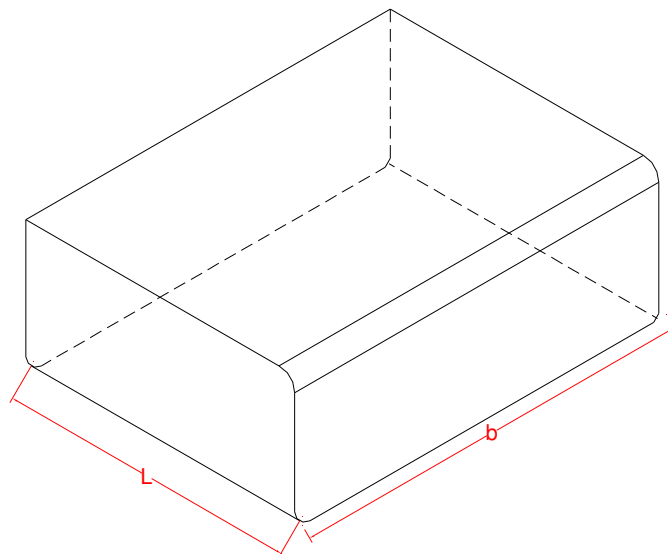


Fig. 4.10 – Esquema de vertedero rectangular de cresta ancha.

f) Vertedero tipo Spillway cresta ancha:

$$Q_T = C_d \cdot b \cdot h^{3/2}$$

5.3.4. Canaleta Parshall

La canaleta Parshall es una estructura de medición de caudales en canales abiertos. Esta estructura no tiene ninguna utilidad como estructura de control, se una estructura netamente aforadora. Está basada en la ocurrencia de un punto de control que permite el cálculo del caudal en el canal y fue desarrollada por Parshall en 1922. Consiste en una sección convergente con un piso a nivel, una sección de garganta con un piso inclinado hacia abajo y una sección divergente con un piso inclinado hacia arriba.

Las canaletas Parshall se calibran con base en la cabeza piezométrica H_a que se mide en una localización preestablecida en la sección convergente. Mientras que la sumergencia de la canaleta (H_b/H_a) se controla con la cabeza H_b que se mide en la garganta.

La ecuación general de calibración para las canaletas es:

$$Q = K \cdot H_a^u$$

Las canaletas se clasifican por el ancho de su garganta, cada una de estas mide un determinado rango de caudales y los valores de K y de u se encuentran definidos en los libros de hidráulica al igual que todas las dimensiones que debe tener la estructura.

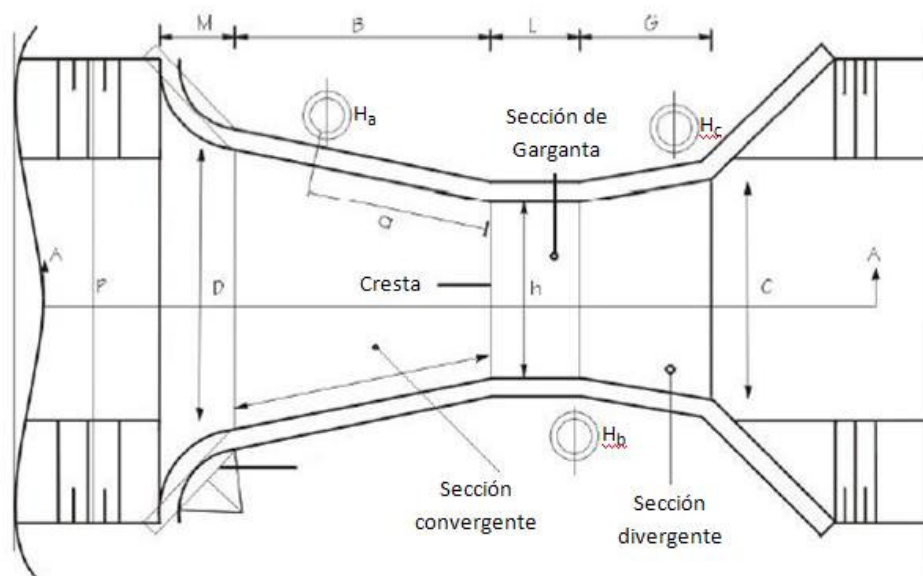


Fig. 4.11 – Dimensiones en planta para las Canaletas Parshall

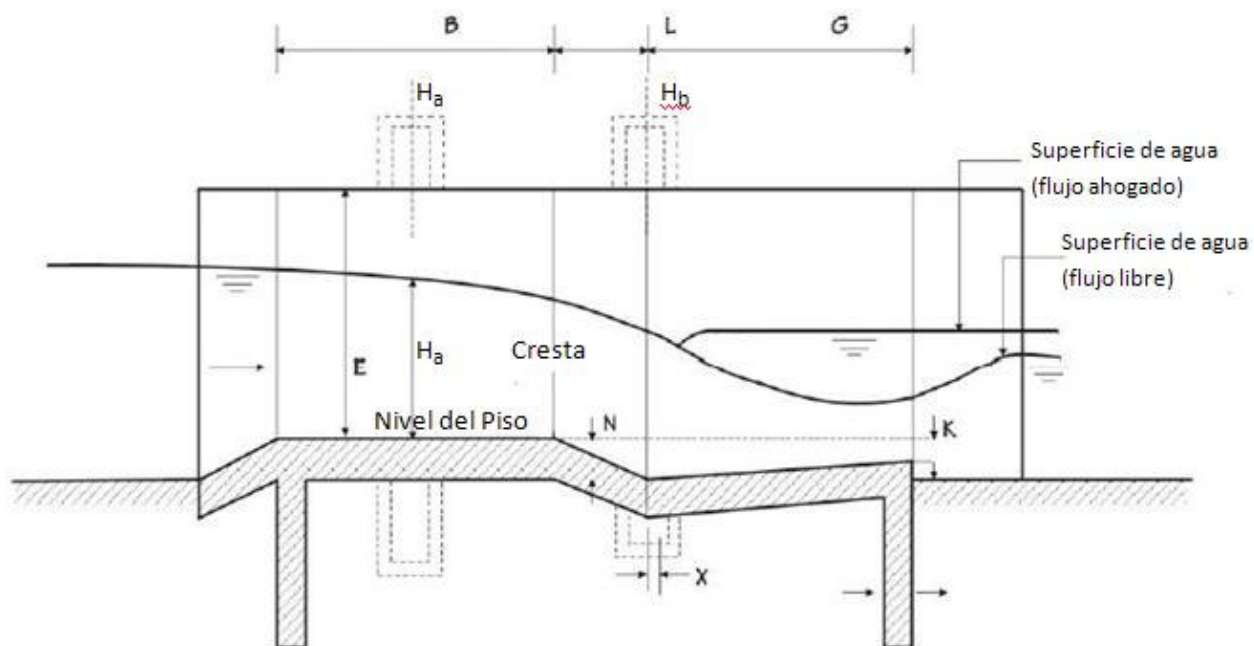


Fig. 4.12 – Dimensiones en perfil para las Canaletas Parshall

5.4. Procedimiento

Parte A: Compuertas Verticales

1. Se enciende el sistema de bombeo.
2. Establecer un caudal Q y ajustar el canal en posición horizontal.
3. Bajar la compuerta vertical ubicada al inicio del canal generando una condición de flujo libre.
4. Tomar los datos que se consideren necesarios para cumplir los objetivos de la práctica.
5. Bajar la segunda compuerta, la ubicada al final del canal, de forma que el flujo se ahogue en la primera compuerta y esperar a que las condiciones de flujo sean estables.
6. Tomar los datos que se consideren necesarios para cumplir los objetivos de la práctica.

Parte B: Vertederos Cresta Ancha

1. Se enciende el sistema de bombeo.
2. Ubicar el vertedero de cresta ancha dentro del canal en un lugar donde quede bien ajustado, colocando la arista redondeada en la cara aguas arriba.
3. Establecer un caudal Q y ajustar el canal en posición horizontal.
4. Tomar los datos necesarios para calibrar el vertedero y hallar el Coeficiente de descarga del vertedero.

5. Para el vertedero tipo Spillway ubicado en el tanque de modelos, tomar también los datos para calibrarlo y hallar su coeficiente de descarga.

Entre más caudales se tomen mejor calibrado quedará el vertedero. La toma de datos para los 2 vertederos de cresta ancha puede realizarse simultáneamente y de esta forma optimizar el uso del tiempo en el laboratorio.

Antes de tomar los datos para el vertedero tipo Spillway se debe verificar que la válvula de bola que purga este tanque de modelos se encuentre cerrada para que así todo el caudal que pasa por el canal este pasando sobre la cresta del vertedero.

Parte C: Vertederos Cresta Delgada

1. Se enciende el sistema de bombeo.
2. Instalar uno de los vertederos de cresta aguda en los perfiles que se encuentran al final del canal.
3. Ajustar el vertedero con las tuercas de forma que no haya filtraciones y todo el caudal pase sobre la cresta del vertedero.
4. Establecer un caudal Q y ajustar el canal en posición horizontal.
5. Tomar los datos necesarios para calibrar el vertedero y hallar el Coeficiente de descarga del vertedero.
6. Desmontar el vertedero e instalar alguno de los otros que se dispone.
7. Repetir el paso 5.

El número de vertederos a calibrar depende del tiempo que se disponga y del uso que se haga de este. En el laboratorio se dispone de 5 vertederos de cresta aguda: un vertedero rectangular son contracción, un vertedero rectangular contraído, un vertedero triangular con abertura de 90° , un vertedero trapezoidal con inclinación 1:0.5 y un vertedero proporcional Sutro.

Parte D: Canaleta Parshall

1. Se enciende el sistema de bombeo.
2. Mantener cerrada la válvula de compuerta que da acceso al agua al canal de vidrio, para que así no se interfiera con el funcionamiento de la canaleta Parshall.
3. Establecer un caudal Q por medio de la válvula de globo ubicada en la tubería de impulsión.
4. Tomar los datos necesarios para calibrar la canaleta Parshall.

Entre más caudales se tomen mejor calibrada quedará la canaleta. Para medir el caudal que pasa por la canaleta es recomendable utilizar el ADV.

5.5. Análisis

- ¿Qué tanto se ajustan las ecuaciones de calibración halladas con los datos de laboratorio a las ecuaciones teóricas?
- ¿Qué tan aplicable es la teoría de flujo libre y flujo ahogado a través de una compuerta de admisión inferior?
- Ajustando los datos en laboratorio a las ecuaciones teóricas, ¿Cuáles son los valores de los coeficientes de descarga C_d para las distintas estructuras?
- ¿Cómo son estos valores de C_d respecto a los valores recomendados? ¿A qué se deben las diferencias?
- ¿Qué tan precisas son las diferentes estructuras hidráulicas al usarse como estructuras de aforo?

6. Práctica N°5.

RESALTO HIDRÁULICO

6.1. *Objetivos*

- Observar el comportamiento de un resalto hidráulico generado por el paso de agua a través de una compuerta.
- Comprobar la ecuación de cantidad de movimiento aplicada a este fenómeno.
- Determinar el comportamiento de diferentes tipos de resaltos hidráulicos según el número de Froude y compararlos con el comportamiento teórico.
- Evaluar la disipación de energía que producen los diferentes tipos de resaltos hidráulicos.
- Aplicar la ecuación de cantidad de movimiento en un resalto hidráulico cuando este se presenta en un canal de pendiente fuerte.
- Identificar posibles fuentes de error y la forma de disminuirlos.

6.2. *Justificación*

Por medio de esta práctica se analizarán todos los aspectos de un fenómeno hidráulico tan importante como lo es el resalto hidráulico. Durante la práctica se utilizan las compuertas deslizantes del canal para generar distintos tipos de resalto siendo de interés determinar las alturas conjugadas, qué tipo de resalto se tiene, cual es la longitud del mismo y qué tanta energía disipa. Además de esto se incorpora el estudio de la situación de un resalto hidráulico con pendiente fuerte, en donde el estudiante debe deducir y aplicar la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento considerando que el ángulo de inclinación del canal tiene un valor significativo y no puede ser despreciado. El resalto hidráulico es un fenómeno de disipación de energía muy importante asociado principalmente a presas, vertederos y otros flujos supercríticos a superficie libre.

6.3. *Marco Conceptual*

Resalto Hidráulico – Tipos de Resalto hidráulico – Longitud del resalto (gráfica y fórmula)

6.3.1. Resalto hidráulico

Bajo condiciones apropiadas, una corriente de líquido que fluye rápidamente en un canal abierto cambia repentinamente a una corriente de flujo lento cuya área de sección transversal es mayor, sucediendo un alza repentina en la elevación de la superficie líquida. Este aumento abrupto en la profundidad de agua que circula con gran rapidez es lo que se conoce como resalto hidráulico. El flujo en el resalto hidráulico cambia de un régimen supercrítico a uno subcrítico, con pérdida de energía cinética, las alturas antes y después del resalto se denominan alturas secuentes o conjugadas.

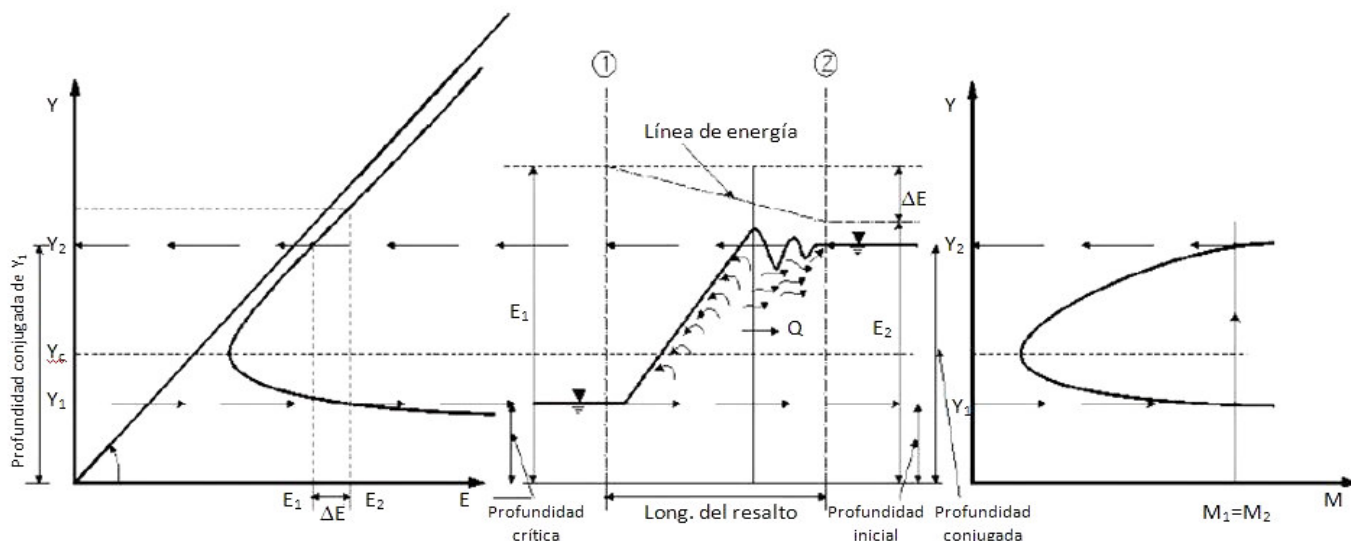


Fig. 5.1 – Resalto hidráulico.

$$E = y + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \qquad M = \bar{Y} \cdot A + \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

6.3.2. Tipos de resalto hidráulico:

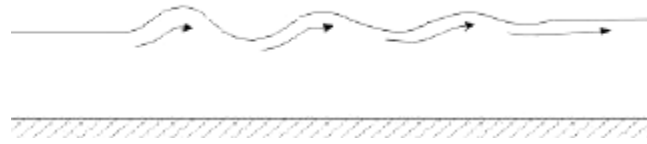


Fig. 5.2 – Resalto Ondular $1.0 < Fr < 1.7$.

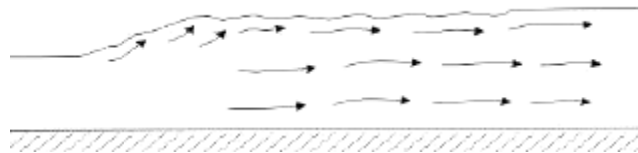


Fig. 5.3 – Resalto Débil $1.7 < Fr < 2.5$.

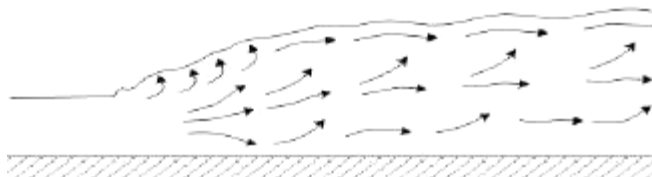


Fig. 5.4 – Resalto Oscilante $2.5 < Fr < 4.5$.

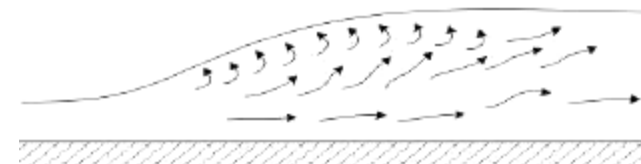


Fig. 5.5 – Resalto Estable o Permanente $4.5 < Fr < 9.0$.

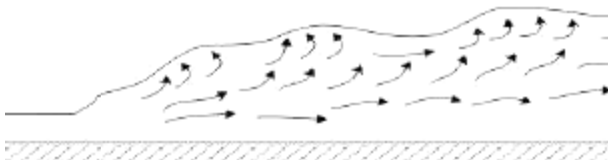
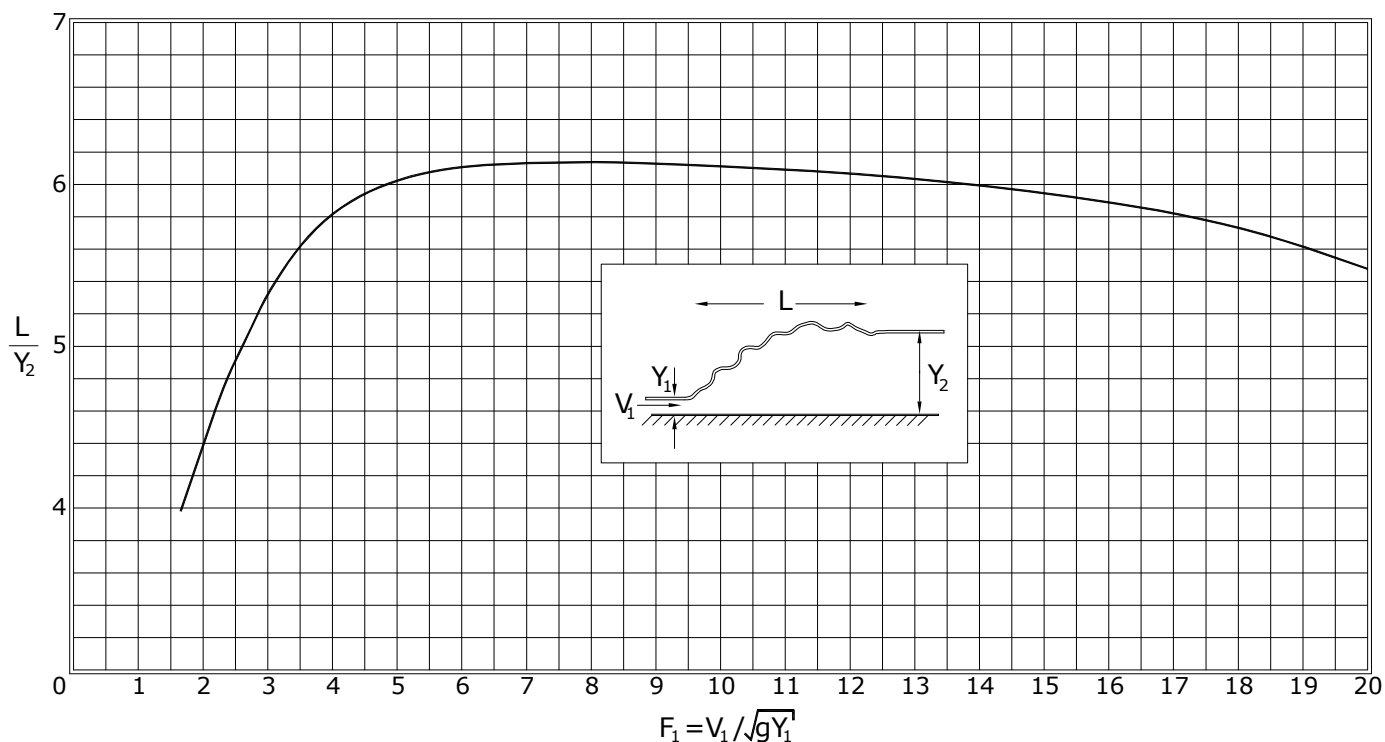


Fig. 5.6 – Resalto Fuerte $Fr > 9.0$.

6.3.3. Longitud del resalto hidráulico:

Existen diversas formulas empíricas para estimar la longitud de un resalto hidráulico. A continuación se presenta una gráfica y una fórmula obtenidas para canales rectangulares de baja pendiente.



Tomado de Chow (1994).

$$\frac{L}{Y_1} = 9.75 \cdot (Fr_1 - 1)^{1.01}$$

6.4. Procedimiento

1. Se enciende el sistema de bombeo y se ajusta el canal de forma horizontal.
2. Establecer un caudal Q en el canal de vidrio.
3. Bajar la compuerta que se encuentra al inicio del canal de forma que se forme un resalto hidráulico dentro del mismo.
4. Tomar los datos que se consideren necesarios para cumplir los objetivos de la práctica.
5. Generar distintos tipos de resalto. De ser necesario utilizar la compuerta ubicada al final del canal.
6. Para cada resalto generado tomar los datos que se consideren necesarios para cumplir los objetivos de la práctica.

7. Ajustar una pendiente fuerte para canal y establecer un caudal y una abertura de compuerta adecuados para evitar el rebose del canal.
8. Tomar los datos que se consideren necesarios para cumplir los objetivos de la práctica.

6.5. Análisis

- ¿Qué tipos de resalto pueden ser generados en el canal de vidrio con las condiciones de que se disponen en el laboratorio?
- Al calcular la altura conjugada de un resalto, qué se puede afirmar respecto a la altura medida en laboratorio.
- Que tanto se ajusta la longitud de resalto medida en laboratorio a las longitudes teóricas. ¿Por qué?
- Evalué la disipación de energía que producen los resaltos y su relación con la turbulencia de los mismos.
- ¿Qué diferencia existe en la ecuación de cantidad de movimiento cuando se tiene una pendiente fuerte respecto a la que se utiliza cuando la pendiente horizontal o suave?

7. Bibliografía

Chanson, H. (2002). *Hidraulica de flujo en canales abiertos*. Hubert Chanson. Editorial Mc Graw Hill. ISBN 958-41-0256-7

Chow, V. T., (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Editorial Mc Graw Hill.

Gavilán, G. E. (2002) *Guía de laboratorio de hidráulica de canales abiertos*: documento final. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Haestad Methods, Benn, J., Dyhouse G. & Hatchett, J. (2003). *FloodPlain Modeling using HEC-RAS*. USA: Haestad Press. ISBN 0-9714141-0-6

Henderson, F. M. (1966). *Open channel flow*. Editorial Mac Millan.

Naudascher E. (2001). *Hidráulica de Canales*. México: Editorial LIMUSA. ISBN 968-18-5891-3

Rodriguez, H. A. (2001). *Hidráulica experimental*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958-8060-17-6

Saenz, L. M. (2003). *Diseño de estructuras hidráulicas a escala para ser instaladas en el laboratorio de hidráulica de la universidad industrial de Santander*. Proyecto como requisito para optar al título de ingeniera civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

U.S. Geological Survey (1977). *National Handbook of Recommended Methods for Water-data Acquisition*, Office of Water Data Coordination, U.S. Geological Survey, Reston, VA.

ANEXO G

GUIA DE INICIACIÓN DEL SOFTWARE HEC-RAS v.3.1.3.

Tabla de contenido

1. Cómo funciona HEC-RAS?	2
1.1. ¿Qué es HEC-RAS?.....	2
1.2. ¿En que se fundamentan los cálculos realizados por HEC-RAS?	3
1.3. ¿En qué casos considerar flujo Permanente y en qué casos flujo no Permanente?.....	6
1.4. ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para definir la geometría del modelo?.....	7
1.4.1. Información necesaria para modelar las secciones transversales	8
2. Uso del Software HEC-RAS.....	10
2.1. Definir un nuevo Proyecto	13
2.2. Definir la geometría del modelo.....	13
2.2.1. Crear el esquema del Tramo a simular (River Reach / Junctions)	14
2.2.2. Crear y definir la geometría de las secciones transversales	16
2.2.3. Guardar la geometría del modelo	18
2.3. Análisis para Flujo Permanente.....	18
2.3.1 Datos necesarios para un análisis de flujo Permanente.....	18
2.3.2. Realización de la Simulación.....	20
2.4. Resultados	21
2.5. Funciones de Diseño Hidráulico.....	24
2.5.1. Flujo uniforme (<i>Uniform Flow</i>)	25
2.5.2. Diseño de Canal Estable (<i>Stable Channel Design</i>)	26
3. Bibliografía	30












Simulación Hidráulica

1. Cómo funciona HEC-RAS?

1.1. ¿Qué es HEC-RAS? (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System)

HEC-RAS es un programa de uso gratuito (free Software) usado en el análisis de sistemas fluviales, fue desarrollado por el US Army Corps of Engineering y su primera versión fue puesta en público en 1995. Es el programa mas ampliamente usado en el mundo para el modelamiento hidráulico de ríos y sus llanuras de inundación.

HEC-RAS esta diseñado para realizar cálculos hidráulicos en una dimensión para una red completa de canales naturales o construidos por el hombre. Las siguientes son algunas de las características y posibilidades de cálculo que ofrece el programa:

-  Desplegar gráficamente el sistema fluvial.
-  Calcular los perfiles de la superficie del agua basado en flujo permanente y no permanente, gradualmente variado para redes de canales, sistemas dendríticos o para simplemente el tramo de un río.
-  Predecir las perdidas de energía basado en los coeficientes de fricción de Manning, y en las perdidas por expansión y contracción.
-  Evaluar canales inundables (Floodways) para el estudio en la seguridad y manejo de llanuras de inundación.
-  Determinar cambios en el perfil de la superficie del agua debido a Diques, Puentes y estructuras de drenaje (culverts).
-  Manipular de forma automática condiciones de flujo rápidamente variado, tal como el resalto hidráulico y las contracciones en los puentes.
-  Incluir vertederos y aliviaderos con compuertas en el sistema del río.
-  Calcular socavación en pilas de puentes.
-  Utilizar la rutina WSPRO (FHWA) para el flujo bajo puentes. La rutina es utilizada principalmente en tramos cortos de ríos para analizar y diseñar la abertura del puente, y para evaluar los efectos generados por el puente en la superficie del agua aguas arriba del mismo.
-  Analizar estructuras de drenaje bajo regímenes con flujos supercríticos y mixtos, y en pendientes adversas.
-  Observar resultados tridimensionalmente con gráficas en perspectiva X-Y-Z.

1.2. ¿En que se fundamentan los cálculos realizados por HEC-RAS?

Siendo HEC-RAS un programa para cálculos primordialmente hidráulicos, sus rutinas de cálculo se basan en 4 ecuaciones desarrolladas hace más de 100 años: Ecuación conservación de masa, Ecuación de conservación de energía, Ecuación de conservación de cantidad de movimiento y Ecuación de Manning. A continuación se presentan las expresiones generales para cada una de estas ecuaciones:

- Ecuación de continuidad (conservación de masa):

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Q = Caudal (m³ / s)

A = Área de la Sección transversal (m²)

V = Velocidad promedio de la sección transversal (m/s)

- Ecuación de conservación de la Energía (ecuación de Bernoulli):

$$z_2 + y_2 + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = z_1 + y_1 + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_{L\ 1-2}$$

z = Elevación del fondo del canal (m)

y = Profundidad de Agua (m)

V = Velocidad promedio de la sección transversal (m/s)

α = Coeficiente de Velocidad o de Coriolis

- Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento:

$$F_2 - F_1 + W \cdot \text{Sen}\theta - F_f - F_o = \frac{\gamma}{g} \cdot Q \cdot (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1)$$

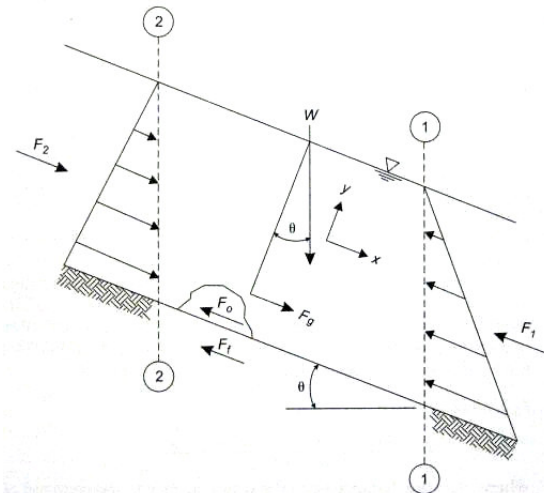


Fig. 1.1 - Fuerzas presentes en la ecuación de cantidad de movimiento. (Haestad methods, 2003)

F_1, F_2 = Fuerzas hidrostáticas en las fronteras del volumen de control (N)

$W \sin \theta$ = Componente del peso de la masa de agua en dirección del flujo (N)

F_f = Fuerza de fricción en la paredes y fondo del canal (N)

F_o = Fuerza de un obstáculo dentro del volumen de control (N)

β = Coeficiente de cantidad de movimiento o de boussinesq

- Ecuación de Manning:

$$V = \frac{k}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

$k = 1.486$ para unidades inglesas y 1.0 para sistema internacional

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

R_h = Radio hidráulico de la sección transversal (m)

S_o = Pendiente promedio del canal

Como se mencionó anteriormente, una de las capacidades que tiene HEC-RAS es determinar los perfiles de la superficie de agua. Para ello, el programa utiliza, cuando es debido, el método del paso estándar. Este método es aplicable para canales tanto prismáticos como no prismáticos, incluyendo las adyacentes llanuras de inundación.

- Método del paso Estándar:

La técnica es usada para calcular perfiles de superficie de agua en flujo permanente, en condiciones subcríticas y supercríticas. Este método utiliza las ecuaciones de continuidad, energía y Manning para calcular la profundidad o altura de la superficie del agua en determinados lugares a lo largo del cauce.

La ecuación base para este método es:

$$WSEL_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2 \cdot g} = WSEL_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2 \cdot g} + h_{L1-2}$$

$WSEL_{1,2}$ = Elevación de la superficie de agua ($z + y$) en cada punto (m).

h_{L1-2} = Pérdidas entre los 2 puntos (m).

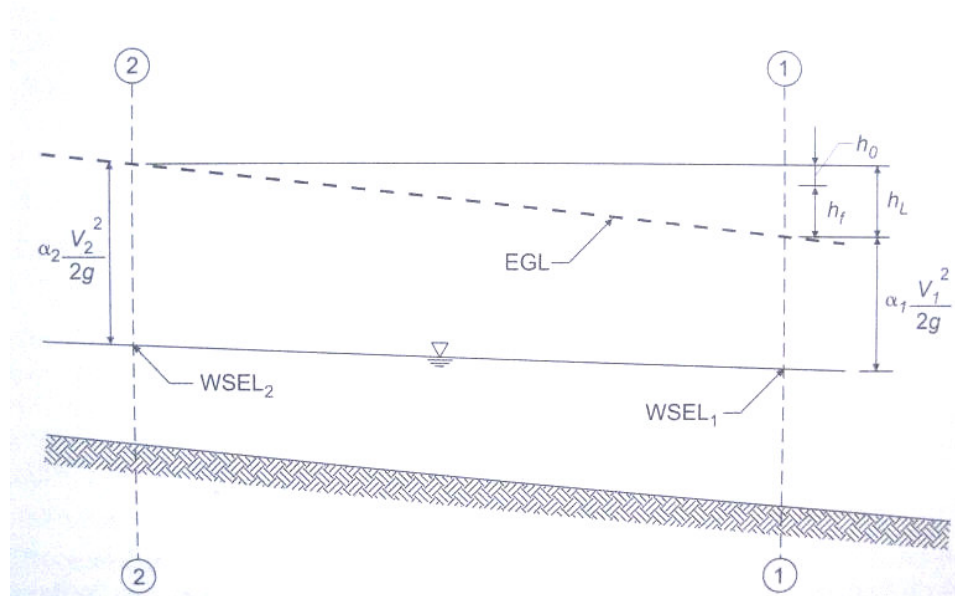


Fig. 1.2 - Variables usadas en el método del paso estándar. (Haestad methods, 2003)

El término de pérdidas incluye las pérdidas generadas por la fricción, así como las generadas por expansiones y contracciones en el canal entre dos puntos a evaluar. Así pues para las pérdidas se tiene:

$$h_{L1-2} = h_f + h_o$$

h_f = Pérdida de energía debida a la fricción entre los 2 puntos.(m).

h_o = Pérdidas debidas a expansión y contracción entre los 2 puntos.(m).

Las pérdidas por fricción son calculadas a partir de la ecuación de Manning, con la cual se puede calcular la pendiente media de la línea de energía entre los 2 puntos en estudio. La multiplicación de la distancia entre los puntos por esta pendiente da las pérdidas por fricción:

$$h_f = L \cdot \overline{S_f}$$

$\overline{S_f}$ = Pendiente media de la línea de energía entre los 2 puntos (m/m).

L = Longitud en el sentido del flujo entre los 2 puntos en estudio (m).

De la misma manera las pérdidas por expansión y contracción, que por lo general son pérdidas menores, se calculan así:

$$h_o = C_{c,e} \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2 \cdot g} \right|$$

$C_{c,e}$ = Coeficientes de contracción y de expansión

V_1 = Velocidad promedio en la sección aguas abajo (m/s)

V_2 = Velocidad promedio en la sección aguas arriba (m/s)

1.3. ¿En qué casos considerar flujo Permanente y en qué casos flujo no Permanente?

Por medio de HEC-RAS se realiza la simulación hidráulica de un tramo de una corriente de agua, esta simulación puede ser simple o compleja, dependiendo del tipo de análisis y de las condiciones que se deseen simular. Un punto clave es decidir si el estudio a realizar requiere condiciones de flujo permanente o no permanente, a continuación se describen las características propias de cada una de estas condiciones:

- **Flujo Permanente:** La suposición de un flujo permanente para realizar un estudio de tipo hidráulico debe satisfacer los siguientes criterios:
 - ✓ El caudal máximo no es afectado por almacenamiento en el sistema del río, es decir, no hay variación entre el caudal que entra al tramo de estudio y el caudal a la salida del mismo.
 - ✓ El caudal máximo y el máximo nivel de agua ocurren simultáneamente a lo largo del tramo en estudio. En flujo permanente se asume que el caudal pico ocurre al mismo tiempo en todos los puntos del tramo.

La condición de flujo permanente siempre conlleva a estimaciones en la profundidad de la superficie del agua más conservadoras (más altas) que cuando el mismo análisis se realiza en condiciones de flujo no permanente.

Los análisis que comúnmente se realizan en condiciones de flujo uniforme son:

- ✓ Cálculos simultáneos en flujo supercrítico y subcrítico, incluyendo la determinación del régimen de flujo.
- ✓ Análisis de modificación de canales.
- ✓ Modelamiento de diques.
- ✓ Análisis de socavación en debida a las pilas de los puentes.
- ✓ Análisis de canales de inundación.
- ✓ Compuertas y vertederos transversales y laterales.
- ✓ Análisis de tramos conectados.

- **Flujo no Permanente:** Existen situaciones en las que las suposiciones de flujo permanente no son lo suficientemente adecuadas. Se debe considerar flujo no uniforme cuando se presenta alguna de las siguientes situaciones:
 - ✓ Cambios rápidos en el caudal o altura del nivel de agua.
 - ✓ Cuando en sistemas complejos de corrientes de agua el caudal abandona el canal principal en varios lugares y luego regresa en sitios aguas abajo.
 - ✓ Cuando hay cauces con pendientes menores a 0.4m/Km en donde para un mismo caudal pueden presentarse 2 niveles distintos en la superficie del agua (looped rating curve). Esto suele ocurrir debido a variaciones en la velocidad del agua y lleva que la máxima elevación de agua pueda presentarse algún tiempo que se presentó el máximo caudal.
 - ✓ Cuando en la unión de diferentes corrientes de agua existe la posibilidad de un estancamiento de las aguas, esto ocurre cuando las corrientes tributarias tienen una pendiente muy baja ya que por esto altos caudales en el río principal generan un remanso en el punto de unión de los ríos (el flujo intenta entrar en la corriente tributaria).

Los análisis para flujo permanente o no permanente utilizan los mismo datos geométricos para las secciones transversales, pero las estimaciones de los perfiles de la superficie del agua normalmente son diferentes, esto se debe principalmente a la forma como se calculan las diferentes pérdidas (fricción, expansión, contracción y flujo a través obstáculos) para cada caso de análisis.

1.4. ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para definir la geometría del modelo?

El primer paso para poder realizar el modelo de una corriente de agua en HEC-RAS es tener un esquema de dicha corriente, en donde se indica los lugares donde hay o puede haber necesidad de tener datos de la sección transversal. Estas secciones transversales se identifican con números (pueden ser de acuerdo al abscisado de la corriente) que aumentan en dirección aguas arriba del flujo.

Con HEC-RAS la geometría de la sección transversal puede ser entrada directamente (con datos obtenidos en campo o a partir de fotos aéreas del lugar) o puede ser interpolada a partir de dos secciones conocidas.

Los lugares en donde debería haber secciones transversales siempre que sea posible son:

- Donde existan obstrucciones al flujo, como puentes y otras estructuras de drenaje.
- En sitio en donde se encuentren estaciones de aforo o donde hallan marcas de niveles máximos de agua.
- En donde existan Terraplenes debido a vías dentro de la llanura de inundación.
- En donde hallan aumentos o disminuciones en el ancho de la llanura de inundación.
- En donde hay cambios significativos en la geometría del canal.

- En donde hay cambios significativos en los valores del “n” de Manning en el canal o en las llanuras de inundación.
- En y cerca de diques o cualquier otra estructura destinada al control de inundaciones.
- Ubicaciones justo aguas arriba y aguas debajo de corrientes tributarias significativas.
- En las fronteras – ubicaciones que delimitan el tramo de la corriente de agua a estudiar.
- En donde hay cambios significativos en la pendiente del canal, en puntos de control donde puede presentarse la altura crítica de flujo como rápidos, estructuras de caída y presas.

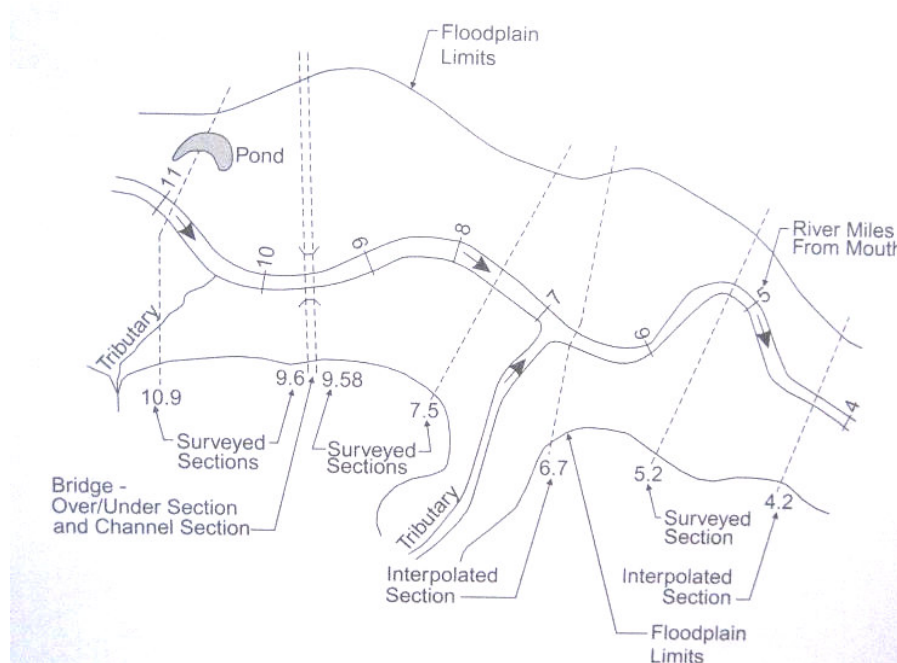


Fig. 1.3 - Lugares donde se necesitan secciones transversales. (Haestad Methods, 2003)

1.4.1. Información necesaria para modelar las secciones transversales

- ✓ **Bank Stations:** Son las estaciones a izquierda y derecha del canal principal que representan el lugar a partir del cual se definen las llanuras de inundación (overbank areas) a cada lado del canal. Cabe detallar que esta estación no la define el nivel hasta donde normalmente llega el agua en la corriente.
- ✓ **Roughness Values:** Estos valores normalmente se relacionan con el coeficiente “n” de Manning y representan la rugosidad en el área de inundación izquierda, en el canal principal y en el área de inundación derecha. Para cada una de estas áreas se debe ingresar al menos un valor de rugosidad, de ser necesario se pueden ingresar tantos como estaciones hallan.

- ✓ **Reach Lengths:** Es la distancia entre las áreas (inundación y canal principal) de una sección transversal y su adyacente aguas abajo. Estos valores se obtienen de mapas topográficos.
- ✓ **Expansion and contraction coefficients:** Estos coeficientes se aplican a la carga de velocidad dependiendo si esta aumenta o disminuye. Los valores típicos para expansión y contracción son 0.3 y 0.1 respectivamente. Durante los cálculos de HEC-RAS estos coeficientes se determinan correctamente. Sin embargo en los casos en que existen grandes contracciones (puentes o culverts) se deben estimar mejor estos coeficientes.

A continuación se presentan unos esquemas para esclarecer un poco mejor los conceptos anteriormente expuestos:

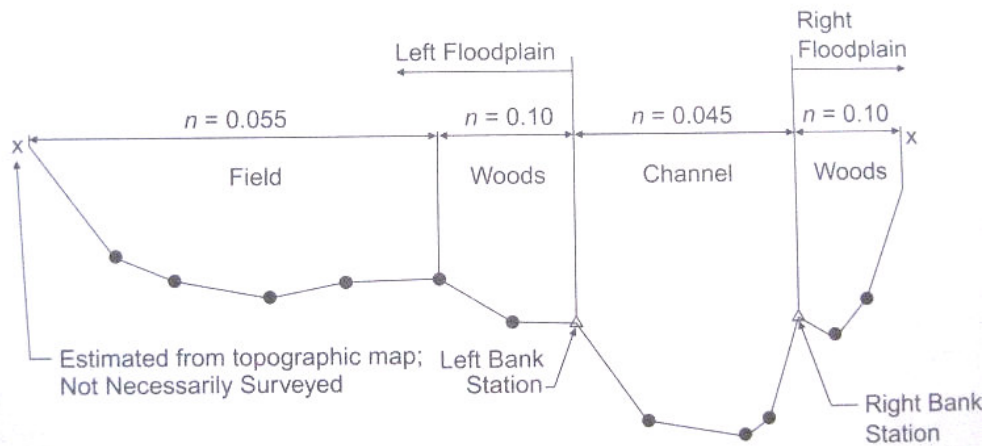


Fig. 1.4 - Sección transversal típica. (Haestad Methods, 2003)

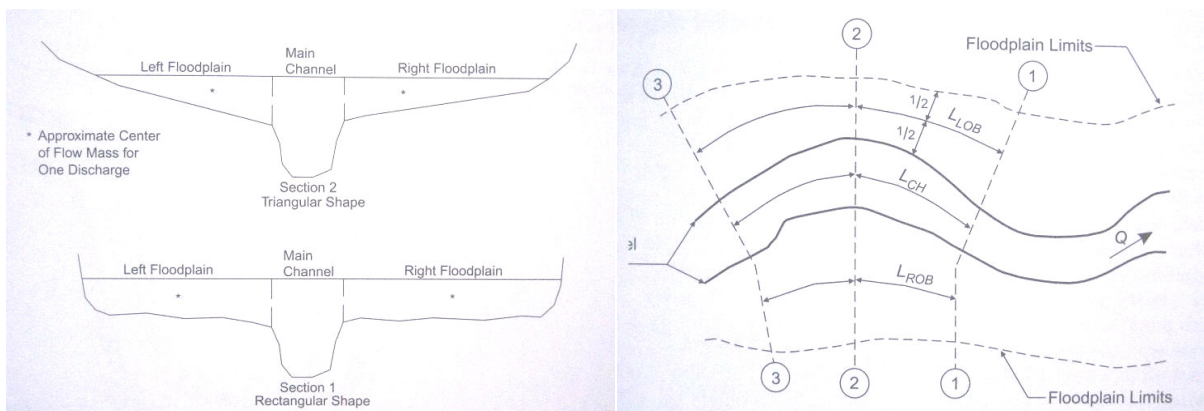


Fig. 1.5 - Distancias entre secciones transversales. (Haestad Methods, 2003)

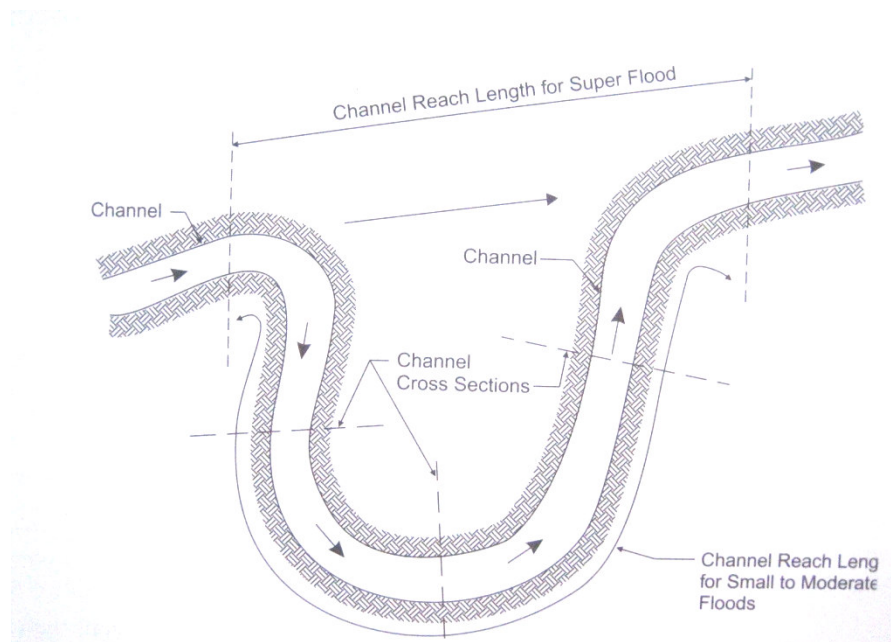


Fig. 1.6 - Consideraciones para definir las distancias entre secciones. (Haestad Methods, 2003)

2. Uso del Software HEC-RAS.

Primero que todo se debe abrir el programa haciendo doble clic en el icono de acceso directo:



O ir abrirlo desde la ubicación C:\Program Files\HEC\HEC-RAS\3.1.3\ras.exe

Se desplegará una ventana como la siguiente:

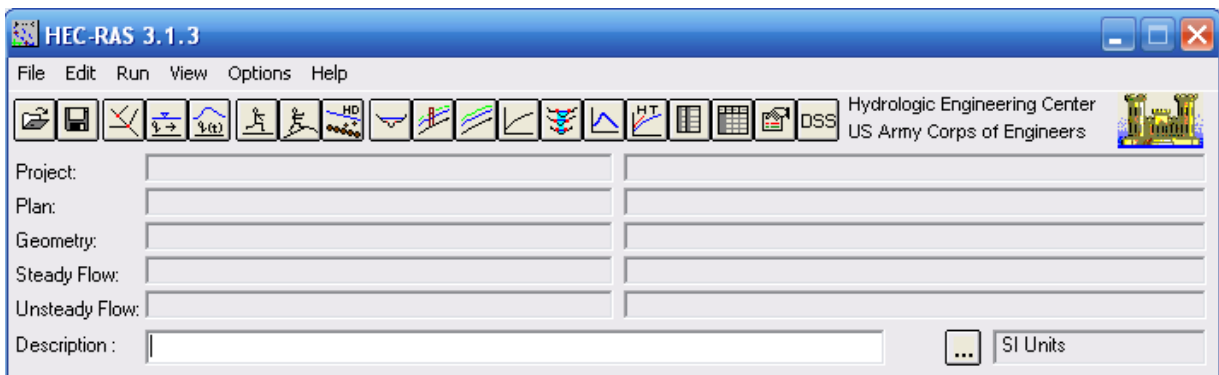


Fig. 2.1 - Ventana Principal de HEC-RAS.

Guía de iniciación del Software HEC-RAS

11

En la barra superior se encuentran las opciones principales para comenzar a crear o editar un proyecto:

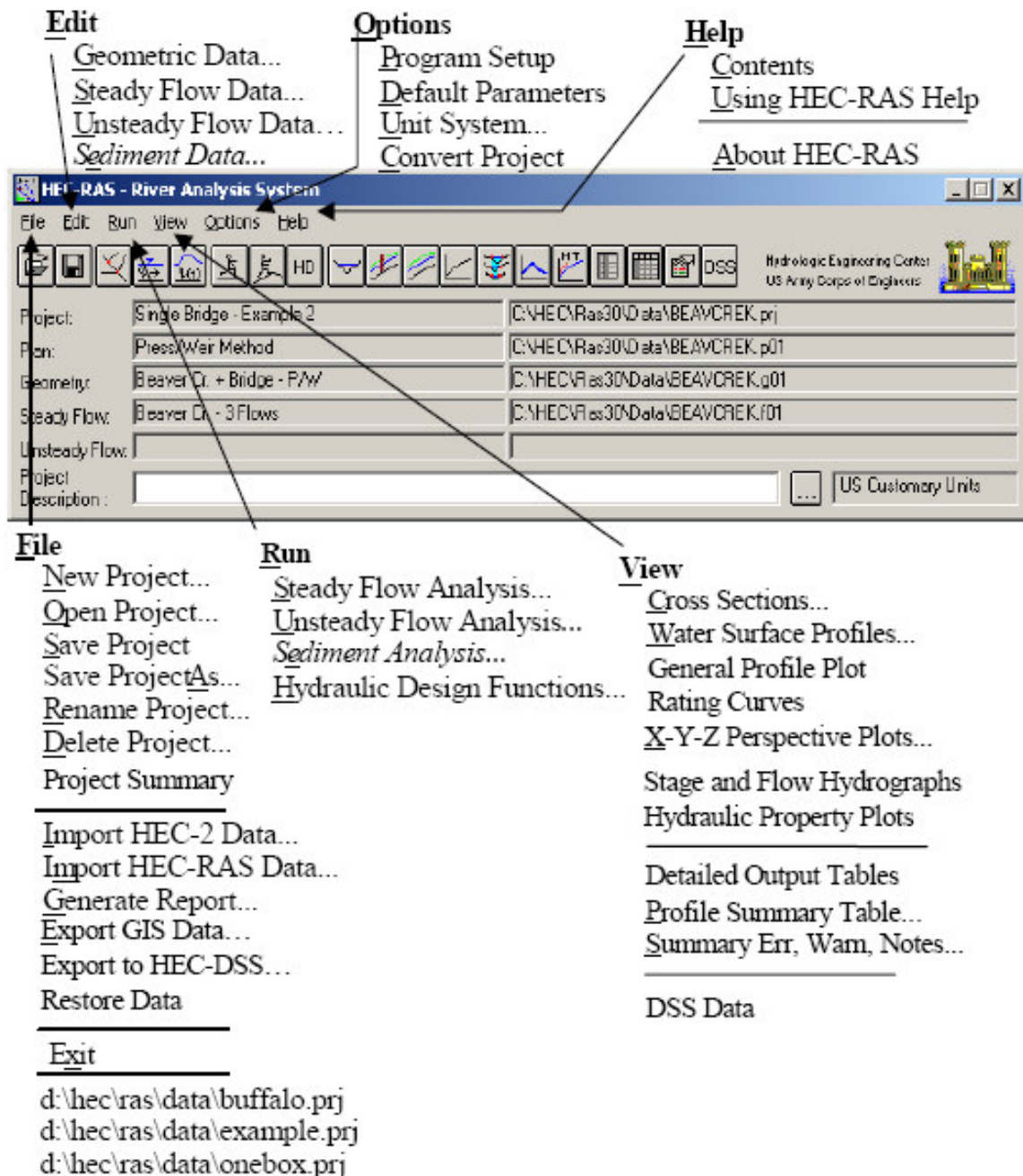


Fig. 2.2 - Opciones disponibles en la barra de menú de HEC-RAS. (US Army Corps, 2002)

Guía de iniciación del Software HEC-RAS

Debajo de este menú se encuentran los botones de acceso rápido para las principales funciones que tiene el programa:

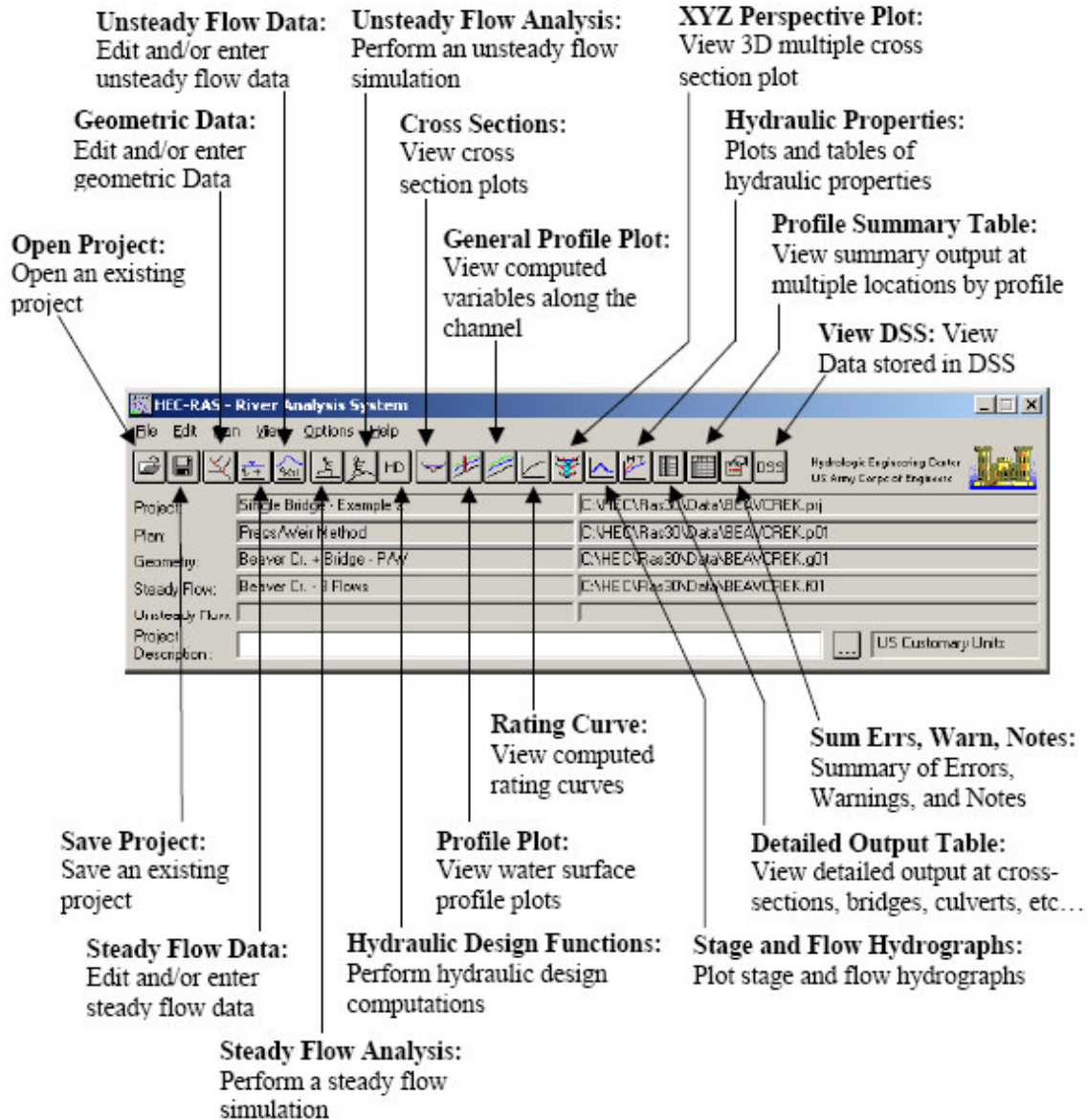


Fig. 2.3 - Barra de botones de HEC-RAS. (US Army corps, 2002)

2.1. Definir un nuevo Proyecto

El primer paso a realizar para crear un modelo hidráulico es definir un nuevo proyecto, esto se logra dando clic en File en la ventana principal de HEC-RAS y seleccionando la opción *New Project*. Se desplegará una ventana como la que se muestra a continuación, en donde en la parte izquierda de la ventana se selecciona el directorio donde se desee guardar el archivo y en la parte superior se le asigna un nombre al archivo y un título al proyecto.

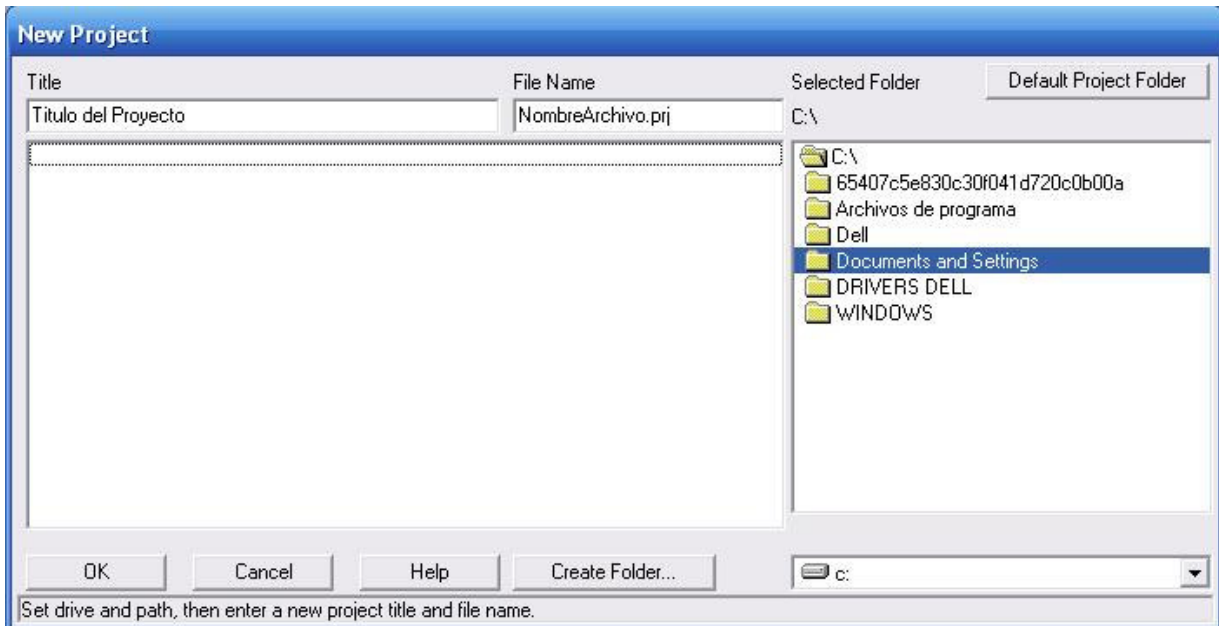


Fig. 2.4 - Definir un nuevo proyecto

2.2. Definir la geometría del modelo

Una vez se ha creado un nuevo proyecto, el siguiente paso a seguir es definir su geometría, esta se compone de 2 aspectos principales: un esquema general del tramo en estudio (vista en planta del tramo a estudiar – *River Reach*) y las secciones transversales (*Cross Sections*). Para definir estos aspectos, en la ventana principal de HEC-RAS se da clic en el menú *Edit* y se selecciona la opción *Geometric Data*. Al hacer esto aparece una ventana con todas las opciones necesarias para definir geoméricamente el modelo a simular, entre las opciones más utilizadas están:

- *River reach*: herramienta para dibujar por medio de una polilínea un esquema del tramo de río a simular.
- *Juntion*: Se utiliza para definir los puntos en donde se unen 2 o más corrientes de agua.
- *Cross Section*: Es el editor para definir las secciones trasversales del modelo, en este se agregan los valores de la superficie del terreno, los valores de rugosidad del mismo.
- *Bridge / Culvert*: Editor por medio del cual se asignan las propiedades que determinan las características de un puente o culvert que se encuentra dentro del tramo a simular.
- *Inline Structure*: Editor por medio del cual se asigna la localización y características de vertederos que se encuentren en el tramo a simular.

- Lateral Structure: Editor para agregar estructuras laterales al tramo en estudio, tal como rejillas, compuertas, culverts, etc.

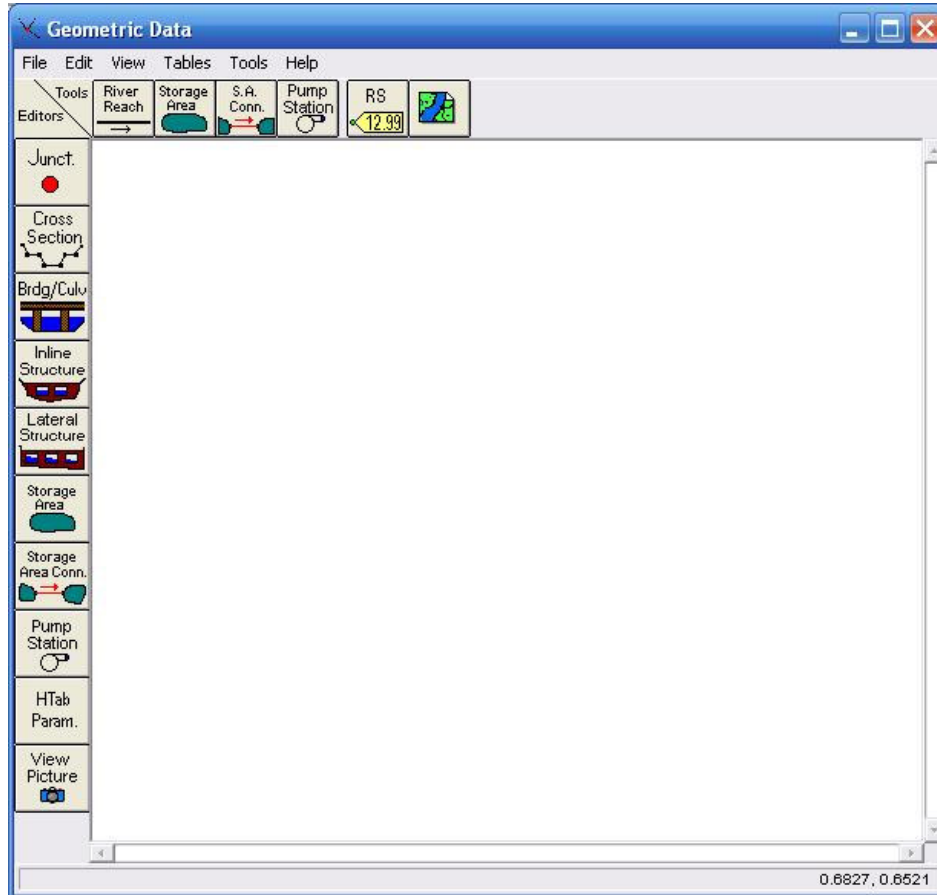


Fig. 2.5 - Editor geométrico de HEC-RAS.

2.2.1. Crear el esquema del Tramo a simular (River Reach / Junctions)

Dando clic en el botón *River Reach*, el editor permite dibujar una polilínea, por medio de la cual se define de una manera general el recorrido del tramo de corriente a simular, cuando se dibuja la polilínea, se debe procurar que los nodos vayan en sentido aguas abajo, es decir, el esquema de la corriente se dibuja en el mismo sentido en que fluye el agua. Cada vez que se da un clic se asigna un nuevo nodo para la polilínea, para terminar la polilínea, en el nodo final se da doble clic. De inmediato se despliega una ventana por medio de la cual se le asigna un nombre al Río y al tramo en estudio.



Fig. 2.6. Identificación del Tramo a simular

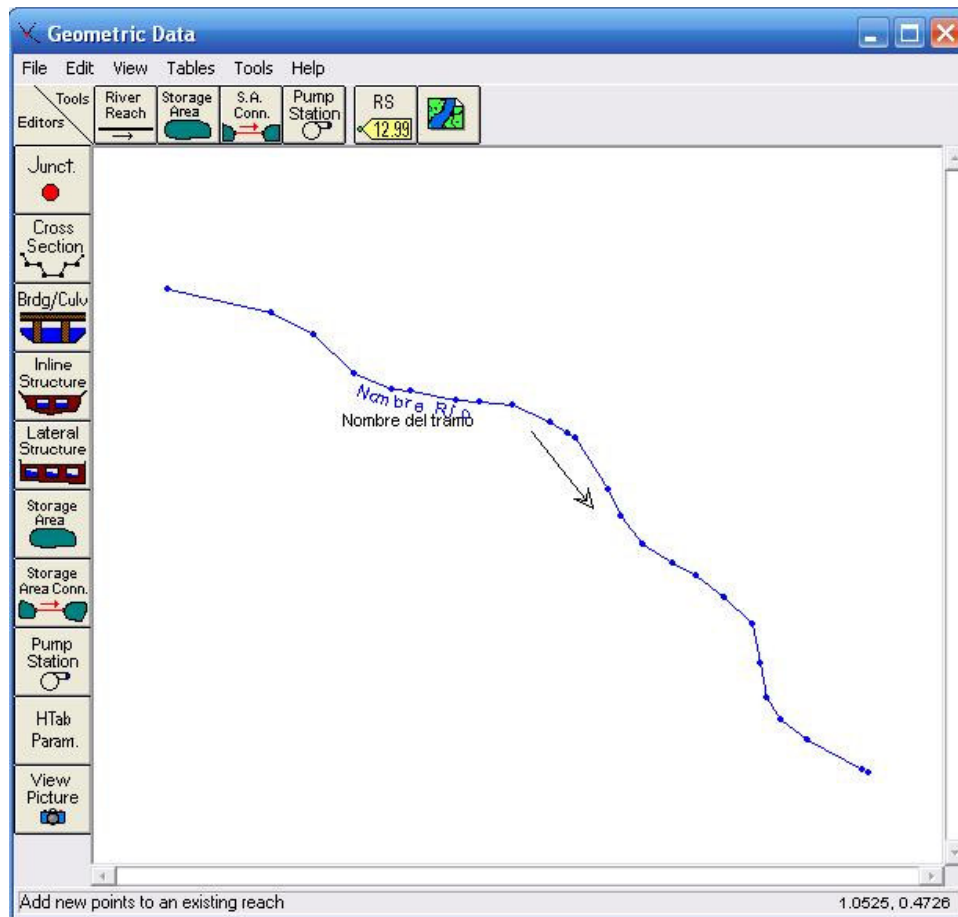


Fig. 2.7. Esquema general de un tramo a simular (*Schematic*)

Este esquema se dibuja en una escala unitaria que luego se ajustará a medida que se define el resto de geometría del modelo. Sin embargo si se quieren asignar coordenadas reales a los nodos se puede hacer, seleccionando la opción *Reach Schematic Lines* del menú *Edit* en el editor geométrico, además de esta opción, en este menú se encuentran todas las opciones que posibilitan modificar el esquema si este requiere se ajustado (Agregar nodos, mover nodos, borrar nodos, cambiar nombres, modificar símbolos y colores...).

Quando se quiere simular un tramo de un rio en el cual se presenta el aporte de una corriente tributaria se requiere generar una unión (*junction*). Esta es generada automáticamente por el programa cuando detecta la intersección de 2 *River Reach*.

Si se tiene un tramo como el de la figura 2.7 y se quiere agregar una corriente tributaria solo se necesita dar clic nuevamente en *River reach* y dibujar una polilinea que en su último nodo se intersece con el tramo ya creado, al terminar de dibujar saldrá una ventana para identificar el nuevo tramo. Al detectar esta unión el programa preguntará si se desea que el tramo creado inicialmente dibujado sea dividido a lo cual se le debe dar clic en "Yes" y de inmediato saldrá una ventana en la cual se pide la identificación para el tramo aguas debajo de la unión. A continuación otra ventana pide el nombre a asignar a la unión creada.

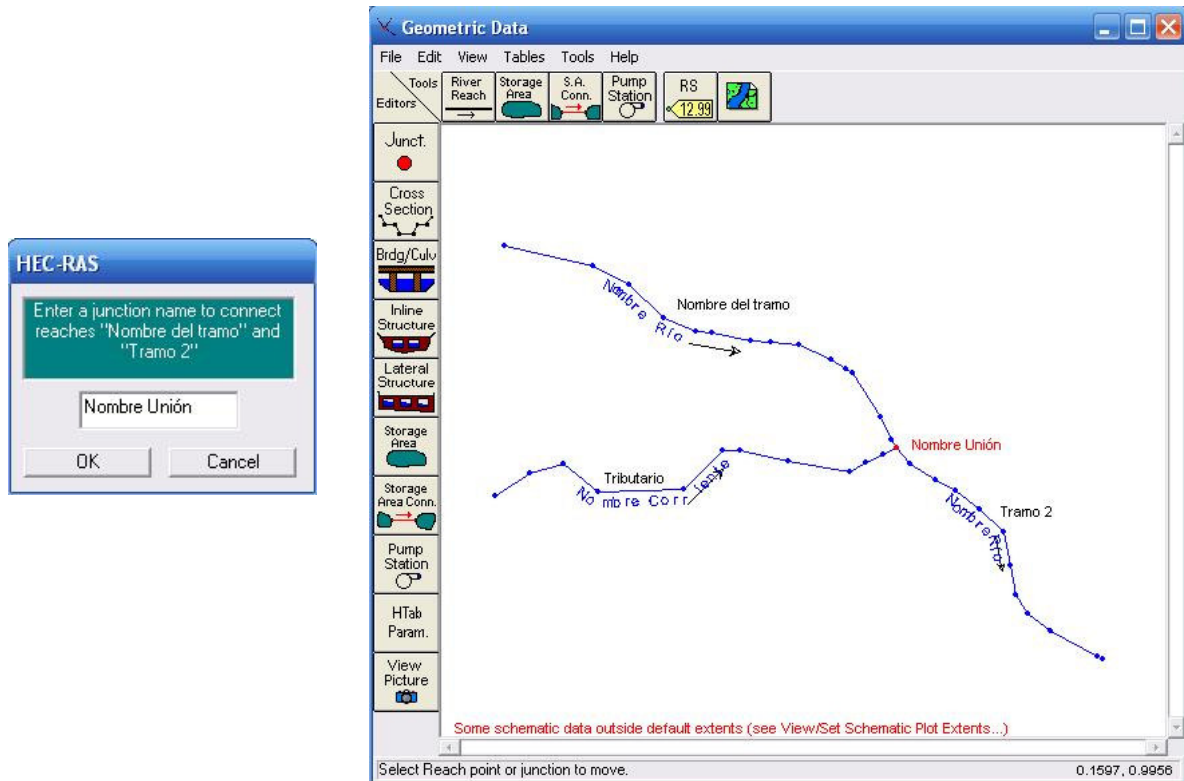


Fig. 2.8 - Asignación de una unión de 2 corrientes

Una vez sea creado la unión, en el editor geométrico se debe dar clic en el botón *Junction* a fin de definir las características de esta. En la ventana que aparece se pide definir las longitudes de la unión desde cada una de las corrientes. Además si se selecciona el método de cálculo con Momentum se deben dar los ángulos de cruce entre las corrientes.

2.2.2. Crear y definir la geometría de las secciones transversales

Una vez se tiene el esquema general del tramo a simular es necesario crear y definir la geometría de la sección trasversal de las corrientes a modelar. Como esta sección puede o no ser constante, se define una sección cada vez que sea necesario tal como se explico anteriormente. Lo mínimo que se debe crear es una sección en el borde aguas arriba y el borde aguas debajo de cada uno de los tramos creados.

Para crear las secciones, en el editor geométrico se da clic en el botón *Cross Sections* aparecerá una ventana en donde en la parte superior izquierda se debe seleccionar el río y el tramo al cual se le quiere definir su geometría transversal luego de esto en el menú de *Options* se selecciona la opción *Add New Cross Section*, al hacer esto aparece una ventana en la cual se pide identificar la estación que se va a crear. Esta identificación debe ser un valor numérico y valor más alto en cuanto la sección transversal a crear se encuentre mas aguas arriba (puede ser de acuerdo al abscisado de la corriente).

Según lo explicado anteriormente, se definen los valores que pide el editor: coordenadas X-Y de la sección transversal, distancias a secciones aguas abajo (*Downstream Reach Lengths*), valores de rugosidad, localización de las estaciones que definen el canal principal de flujo (*Main Channel Bank Stations*) y los coeficientes de expansión y contracción. Una vez definido todo esto se da clic en el botón *Apply Data*.

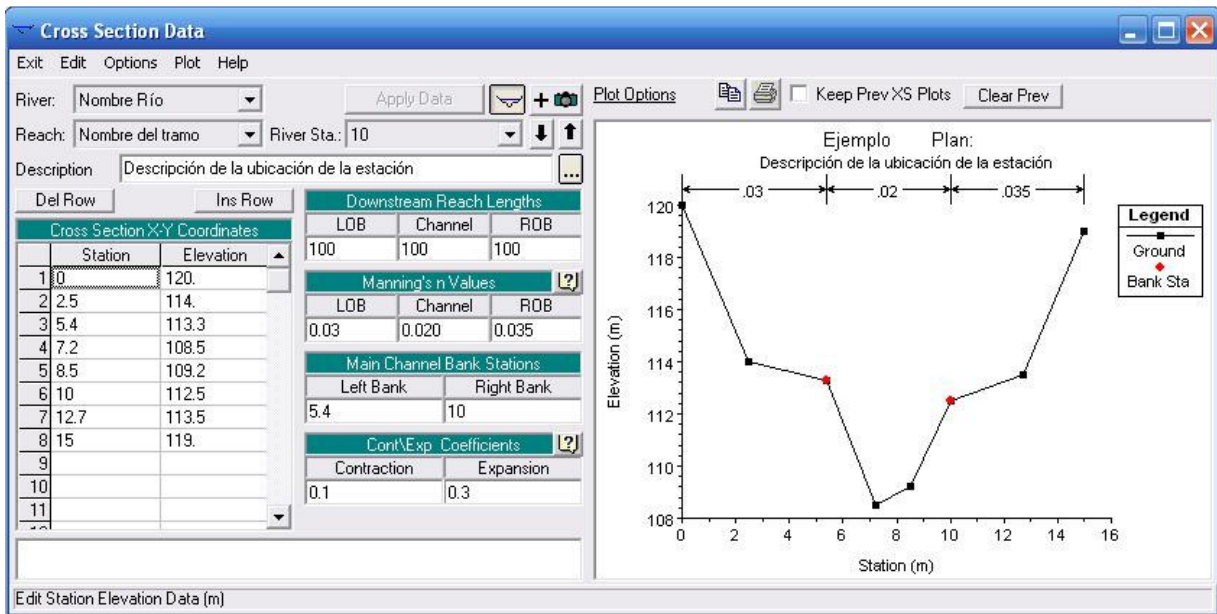


Fig. 2.9 - Valores necesarios para definir una sección transversal.

Para crear más secciones simplemente se le da nuevamente *Add new Cross Section* en el menú *Options* seleccionando previamente el río y el tramo a donde se desea asignar la sección.

Si la sección del tramo a simular no presenta variaciones muy significativas pueden utilizarse 3 opciones muy útiles que se encuentran en el menú *Options*, estas son:

- **Copy current Cross Section:** Con esta opción la información que se encuentra en la ventana para un determinada sección transversal puede ser copiada de forma idéntica a una nueva sección.
- **Adjust Elevations:** Da la posibilidad de subir o bajar (+/-) todas las cotas que definen el lecho de la sección.
- **Adjust Stations:** permite ensanchar o contraer la sección, bien sea del canal principal y/o las banquetas de inundación.

2.2.3. Guardar la geometría del modelo

Una vez se han definido los parámetros principales que definen la geometría del modelo esta debe guardarse. Para hacer esto en el menú *File* del editor geométrico se selecciona la opción *Save Geometric Data*. A continuación aparecerá una ventana en la cual se debe indicar el directorio y el nombre del archivo.

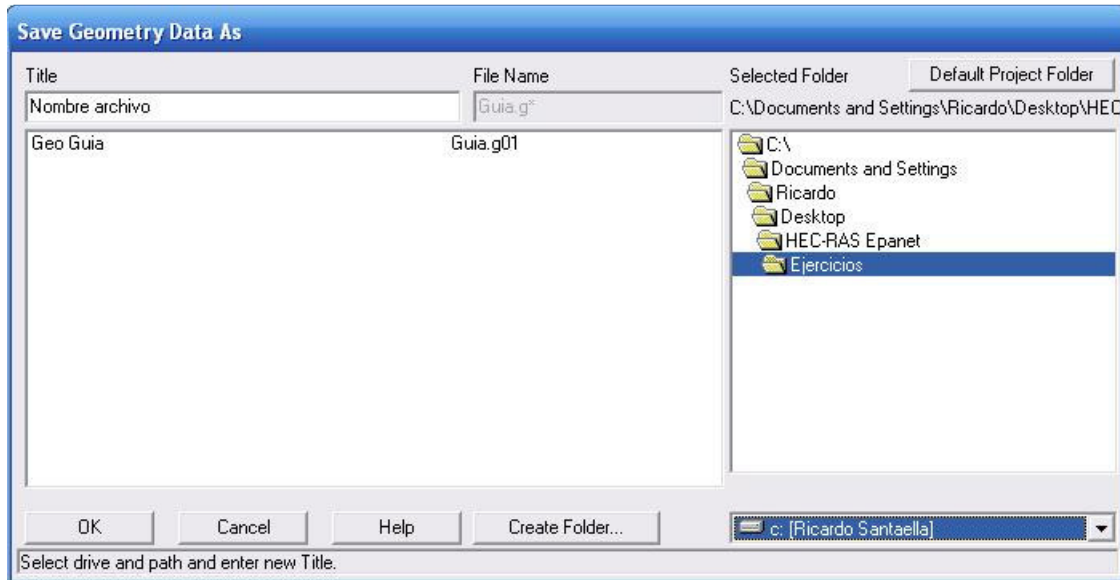


Fig. 2.10 - Guardar Geometría del modelo.

2.3. Análisis para Flujo Permanente

Para la mayoría de diseños hidráulicos se trabaja con el caudal máximo o pico. Por esta razón en las simulaciones hidráulicas por lo general se trabaja con flujo permanente ya que además de esta manera se simplifican los procesos que debe realizar el software a fin de llegar a un resultado.

2.3.1 Datos necesarios para un análisis de flujo Permanente

A fin de ingresar los datos necesarios para un análisis de flujo permanente, en la ventana principal del programa se va al menú *Edit* y se selecciona la opción *Steady Flow Data*. Saldrá una ventana en la cual se en la parte superior se introducen el número de perfiles a calcular, en la parte inferior de la ventana se colocan las secciones en donde existen cambios en el caudal y el valor de los mismos (Un perfil se puede componer de varios caudales, si al tramo le llega algún aporte o si tiene alguna derivación).

Como se dijo en un comienzo la utilidad principal del programa es calcular las superficies de agua, para ello el programa realiza una serie de iteraciones hasta que converge a una solución. Para lograr esto es necesario darle una condiciones de borde o condiciones iniciales a partir de las cuales inicie dichas iteraciones. Las condiciones de borde se asignan dando clic al botón *Reach Boundary Conditions*, se despliega así una ventana en donde aparecen el o los tramos a simular, cada uno de estos tramos tiene 2 bordes o fronteras: Aguas arriba (*Upstream*) y Aguas abajo (*Downstream*), si el

análisis a realizar es en flujo subcrítico solo es necesaria la condición de borde aguas abajo, mientras si el análisis es en flujo supercrítico solo se necesita la condición aguas arriba. Ahora si se espera un flujo con condiciones mixtas (cambios de régimen) son necesarias las condiciones iniciales para ambos bordes.

Para definir las condiciones de borde se da clic en la celda correspondiente (*Upstream* o *Downstream*) del tramo y luego se selecciona alguna de las opciones representadas en los botones de la ventana. La condición de borde a asignar puede ser cualquiera de las siguientes:

- *Known W.S.:* Cuando se conoce el valor de altura de la superficie de agua en la frontera del tramo.
- *Critical Depth:* El programa calcula la profundidad crítica para el caudal a simular y a partir de este valor comienza a iterar.
- *Normal Depth:* Definiendo la pendiente del tramo el programa calcula la profundidad normal de flujo y comienza a iterar a partir de este valor.
- *Rating Curve:* Si se conoce la curva de relación entre Caudal y profundidad.

La condición de borde puede definirse igual para todos los perfiles a calcular o si se desea puede ser definida para cada uno de los perfiles por separado.

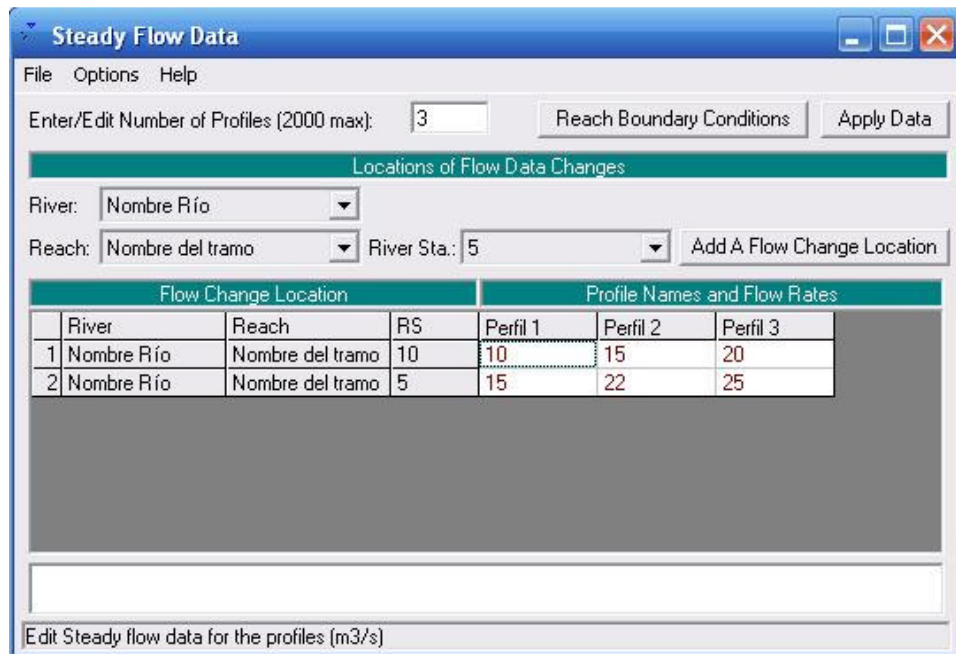


Fig. 2.11 - Ingreso de datos para simulación de flujo Permanente.

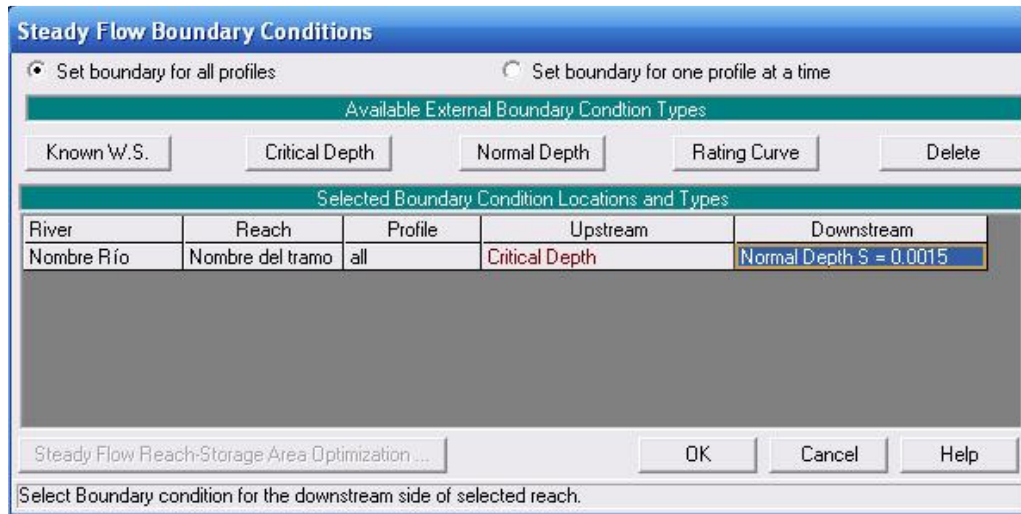


Fig. 2.12 - Definición de las condiciones de borde.

Una vez todo ha sido ingresado, en la ventana de *Steady Flow Data* se va al menú *File* y se selecciona la opción *Save Flow Data*, se le da un nombre y ubicación al archivo y se clic en *OK*.

2.3.2. Realización de la Simulación

Para correr la simulación con flujo permanente, en la ventana principal de HEC-RAS se va al menú *Run* y se selecciona la opción *Steady Flow Analysis*. Antes de que el programa realice los cálculos se debe definir un *Plan*, el *Plan* consta de un archivo geométrico y un archivo de datos de flujo. Para crear un plan nuevo, en el menú *File* se selecciona la opción *New Plan* y se le da una ubicación y un nombre al archivo.

Luego se debe seleccionar el régimen de flujo a simular (Supercrítico, subcrítico o mixto), si se quiere se puede anotar una breve descripción de la simulación a realizar y por último se da clic en el botón *COMPUTE*.

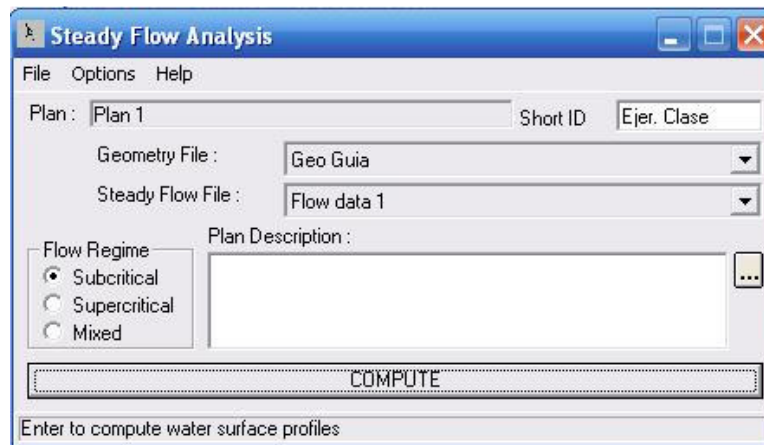


Fig. 2.13 - Simulación para condición de Flujo Permanente.

Plan: Ejer. Clase Nombre Río Nombre del tramo RS: 1 Profile: Perfil 2

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	113.00				
Vel Head (m)	0.22	Wt. n-Val.		0.020	0.035
W.S. Elev (m)	112.78	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	111.23	Flow Area (m ²)		10.56	0.34
E.G. Slope (m/m)	0.001502	Area (m ²)		10.56	0.34
Q Total (m ³ /s)	22.00	Flow (m ³ /s)		21.86	0.14
Top Width (m)	5.17	Top Width (m)		3.81	1.35
Vel Total (m/s)	2.02	Avg. Vel. (m/s)		2.07	0.42
Max Chl Dpth (m)	4.50	Hydr. Depth (m)		2.77	0.25
Conv. Total (m ³ /s)	567.6	Conv. (m ³ /s)		563.9	3.7
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		9.57	1.44
Min Ch El (m)	108.28	Shear (N/m ²)		16.26	3.47
Alpha	1.04	Stream Power (N/m s)		33.64	1.46
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m ³)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m ²)			

Errors, Warnings and Notes

Select Profile

Fig. 2.17 - Tabla de resultados Detallada.

2.5. Funciones de Diseño Hidráulico

Para diseñar la geometría y parámetros de un canal no hay un procedimiento establecido. El diseño por lo general debe realizarse a prueba y error. HEC-RAS tiene varias funciones que ayudan a predimensionar y tener una idea de las características que debe tener el canal a diseñar. Para canales no erodables tiene formulas de flujo uniforme, tal como la de Manning, en donde están interrelacionadas las siguientes variables: coeficiente de rugosidad “n”, caudal transportado (*discharge*), pendiente del canal (*Slope*), la profundidad de agua (*W/S elevation*) y la geometría de la sección transversal del canal. Mientras que para canales erodables tiene funciones de diseño basados en estabilidad como el método de la fuerza tractiva y el método del Régimen.

Para abrir la ventana de diseño hidráulico se puede dar clic en el botón correspondiente en la barra de botones de la ventana principal de HEC-RAS o en esta misma ventana ir al menú *Run* y seleccionar la opción *Hydraulic Design Functions*. A continuación se desplegará la ventana y dependiendo del canal a diseñar (erodable o no erodable) en el menú *Type* se debe seleccionar el tipo de análisis a realizar.

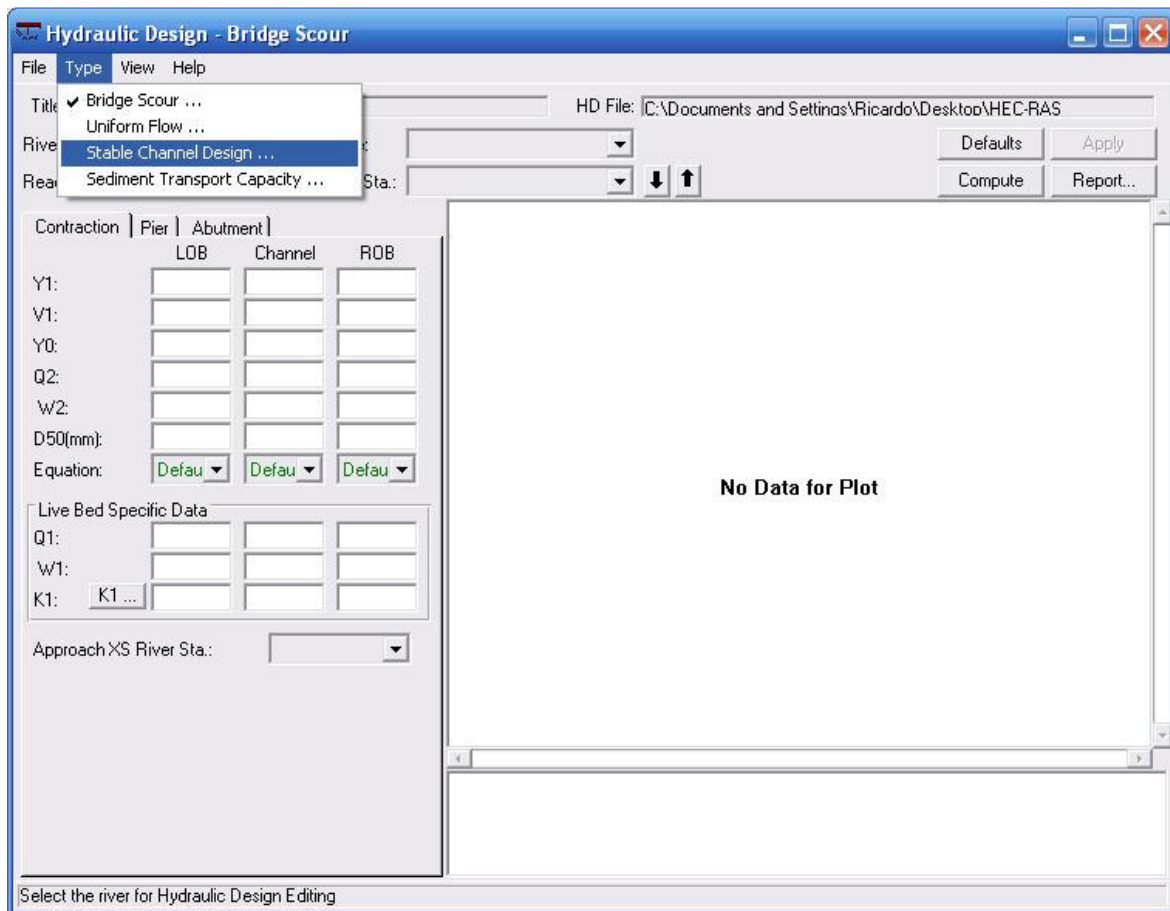


Fig. 2.18 - Funciones de Diseño hidráulico.

2.5.1. Flujo uniforme (*Uniform Flow*)

En esta función hidráulica se puede trabajar de 2 maneras, la primera de ellas es definir una geometría para el canal y calcular alguna de las siguientes variables: coeficiente de rugosidad, pendiente del canal, nivel de agua o el caudal transportado. Para este tipo de cálculo se debe seleccionar la pestaña *S/Q/n/y*, en la tabla de la izquierda se anota las estaciones con su respectiva elevación, que definen la geometría del canal, debe seleccionarse con que ecuación se trabajará (la más usual es Manning) y se asignan 3 de las 4 variables restantes, dejando solo uno de estos campos vacíos, el cual debe corresponder a la variable a calcular. Para proceder a calcular se da clic en el botón *COMPUTE*. El resultado aparecerá sombreado y mientras así permanezca el programa asumirá que dicha variable se debe calcular.

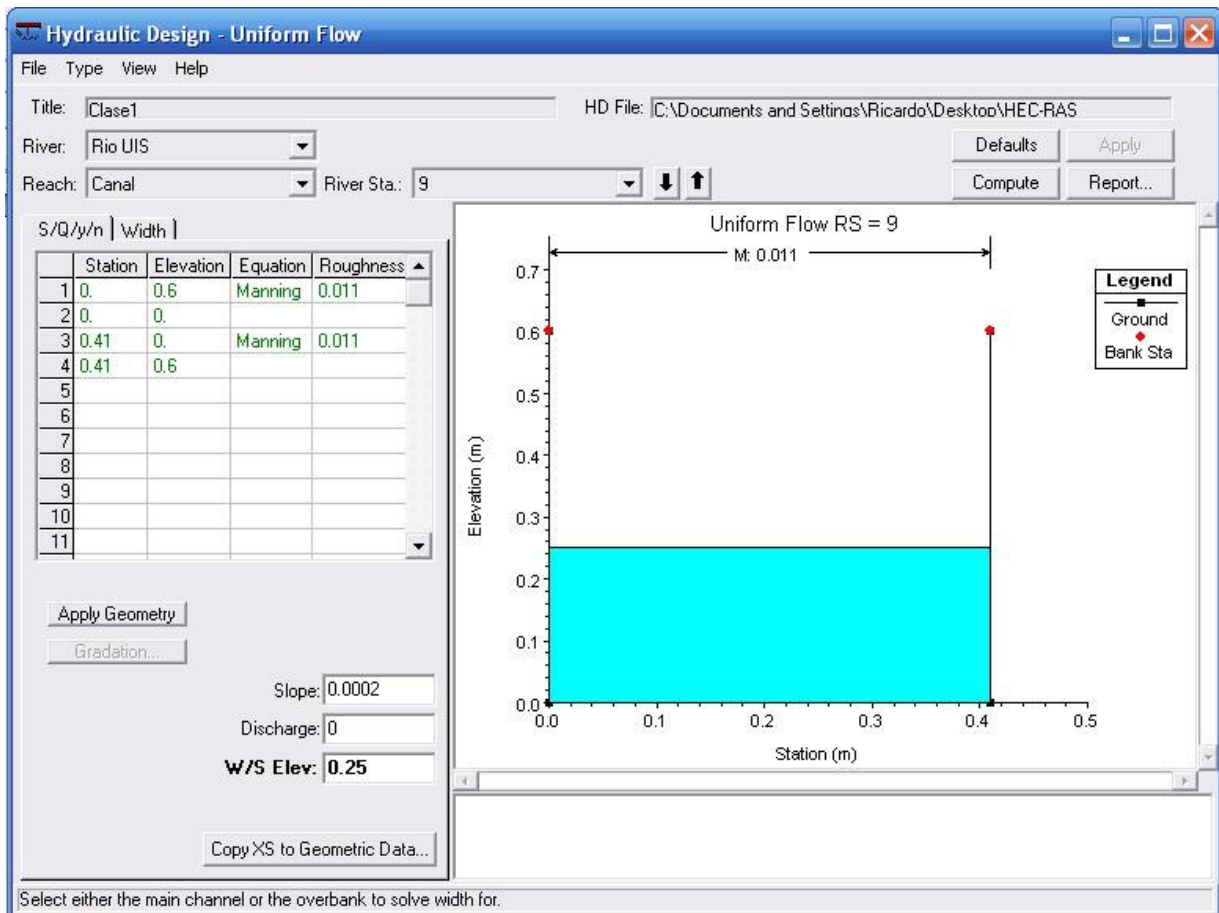


Fig. 2.19 - Cálculo de alguna de las variables *S/Q/n/y* para diseño de canales no erodables.

La otra forma de trabajar esta función de flujo uniforme es calcular el ancho de fondo del canal. Para esto se selecciona la pestaña *Width*, se define de forma inicial una geometría para el canal, la cual contiene información de alturas de fondo, anchos de fondo y pendientes. También se debe definir una pendiente del canal, un caudal transportado y un nivel de agua en el canal. Con estos datos y manteniendo fija la elevación del canal y las pendientes de los taludes, se calculará y redefinirá el ancho necesario del canal. Para esto, una vez ingresados todos los datos iniciales, se da clic en el botón *COMPUTE*.

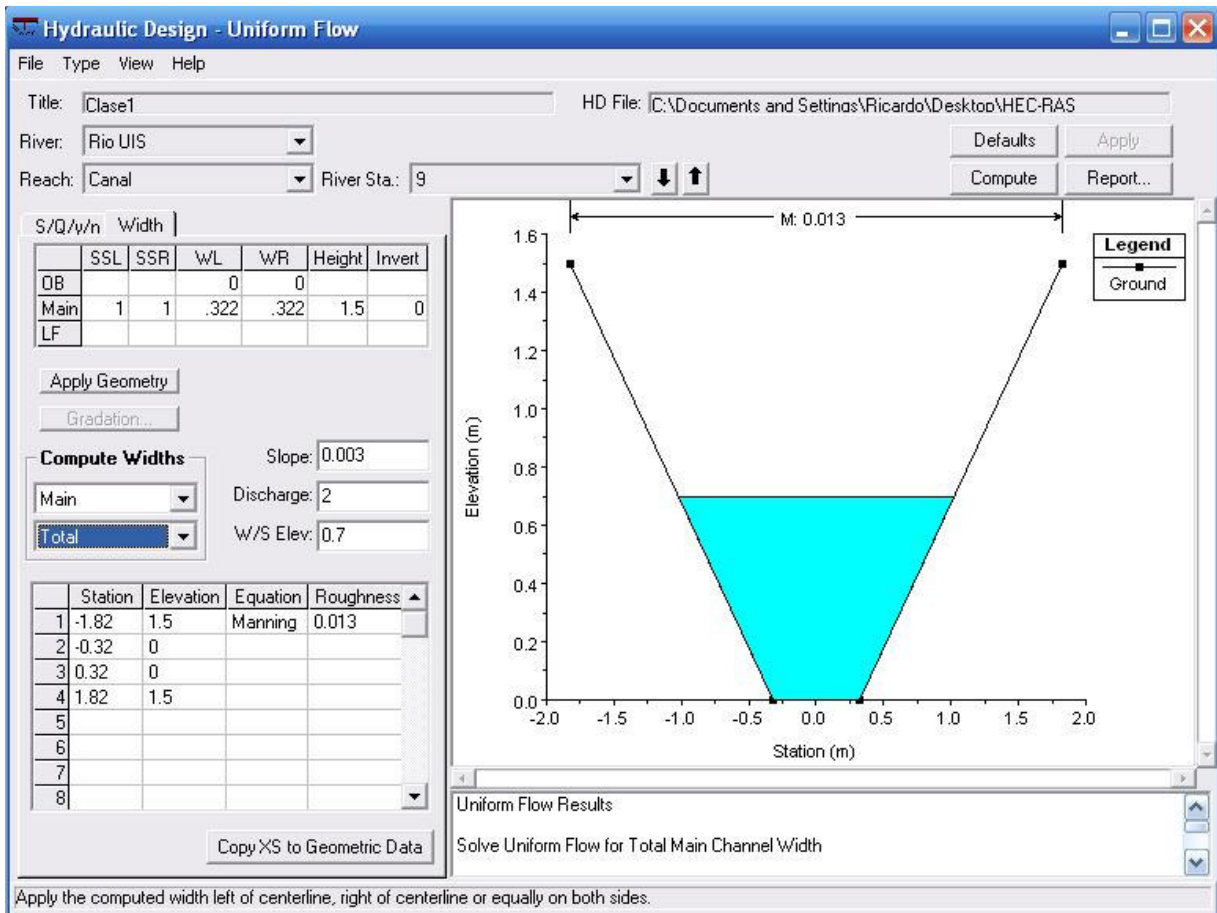


Fig. 2.20 - Cálculo del ancho del fondo del canal para el diseño de canales no erodables.

Cuando se encuentre una sección transversal satisfactoria para las condiciones dadas, esta geometría puede copiarse directamente a cualquier sección transversal del modelo a simular, esto se logra dando clic en el botón *Copy XS to Geometric Data* y seleccionando luego la estación a la que se quiere asignar esta geometría transversal.

2.5.2. Diseño de Canal Estable (*Stable Channel Design*)

En el diseño de canales erosionables o canales aluviales, los materiales que componen el lecho y los taludes del canal pueden ser arrastrados. Por este motivo el canal debe diseñarse de forma que sea estable, es decir, que no se presente ni erosión ni depósito de materiales que alteren la geometría original del mismo. En esta función hidráulica hay disponibles 3 métodos de diseño: el método de Copeland, el método de la fuerza tractiva (*Tractive Force*) y el método del régimen (*Regime*).

Los métodos más difundidos son el de la fuerza tractiva y el de régimen. A continuación se muestra como manipularlos por medio del software HEC-RAS.

2.5.2.1. Método del Regimen

Este es un método empírico en el cual se calcula la profundidad, ancho y pendiente del canal, en función del caudal y el tamaño medio de los sedimentos transportados. HEC-RAS utiliza el método de régimen de Blench (1970). Para utilizar este método, en la ventana de funciones hidráulicas (*hydraulic design functions*) se selecciona la opción *Stable Channel Design* en el menú *Type* y se da luego clic en la pestaña *Regime*.

Los parámetros de entrada requeridos (*required input*) son:

- Caudal.
- Diámetro medio de sedimentos transportados.
- Concentración de sedimentos transportados.
- Temperatura del agua.
- Factor de orilla (*side factor*).

El factor de lado de 0.2 corresponde a orillas “medianamente cohesivas”. Cuando se han ingresado todos estos valores se da clic en el botón *COMPUTE*.

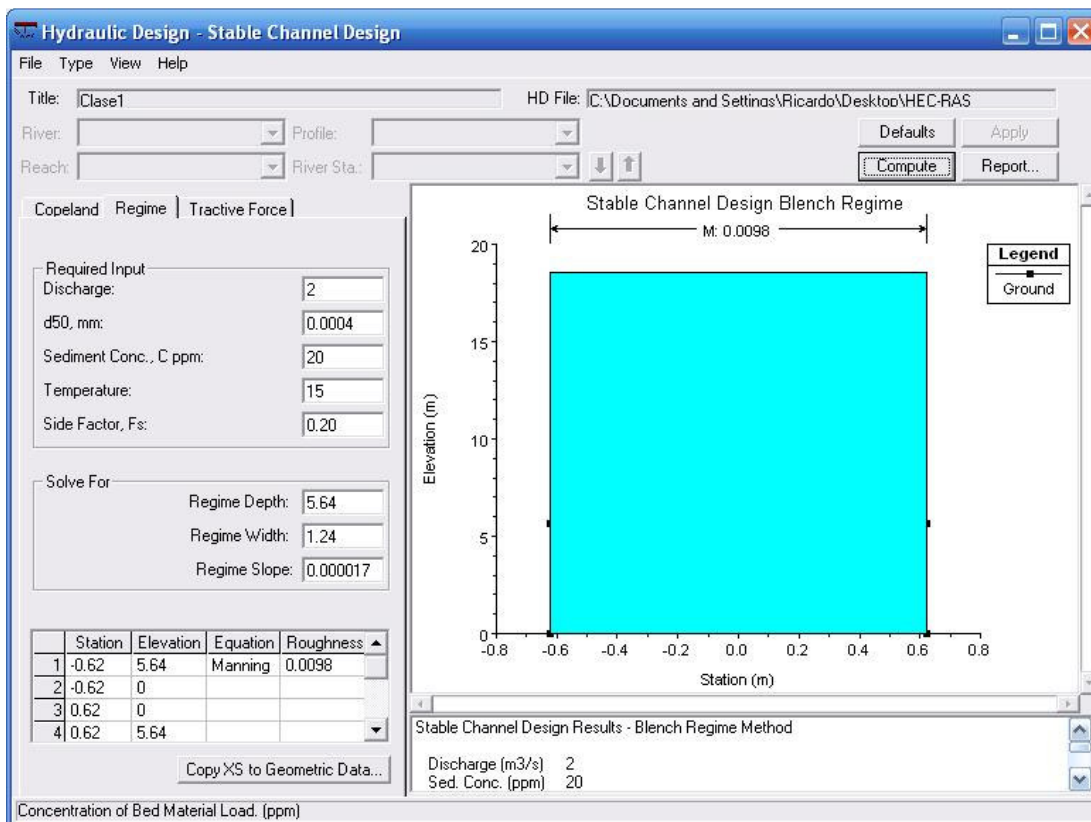


Fig. 2.21 - Diseño de canal estable con el método del régimen.

Un canal está en régimen cuando una sección y pendiente están en equilibrio con el caudal transportado. Dado que este método es totalmente empírico, las algunas de las condiciones que se aconsejan para el uso de este método son:

- Las paredes del canal son hidráulicamente “suaves” (generan poca fricción)
- El ancho del lecho es mayor que 3 veces la profundidad en el canal.
- El caudal es permanente.
- La carga de sedimentos es permanente.
- El flujo es subcrítico.
- El tamaño de los sedimentos es pequeño comparado con la profundidad del agua.

2.5.2.2. Método de la Fuerza Tractiva

Para utilizar este método, en la ventana de la función hidráulica *Stable Channel Design* se da clic en la pestaña *Tractive Force*. Los parámetros requeridos para el método son:

- Caudal.
- Temperatura del agua.
- Angulo de reposo de los sedimentos.
- Gravedad específica de los sedimentos.
- Pendiente de los taludes del canal.
- Ecuación a utilizar (Manning o Strickler).
- Valor de n o k del material del canal.

Existen muchos métodos para resolver las ecuaciones de Fuerza tractiva, uno de los métodos más utilizados es el método de Shields, las variables que intervienen en este método son: diámetro medio de las partículas del fondo y las paredes del canal, la profundidad, el ancho y la pendiente del canal. Con las ecuaciones del método pueden resolverse 2 de estas variables. Las variables a resolver serán aquellas en que se deje vacío el campo o en donde el valor se encuentre en negrilla. Para calcular los valores deseados se da clic en el botón *COMPUTE*.

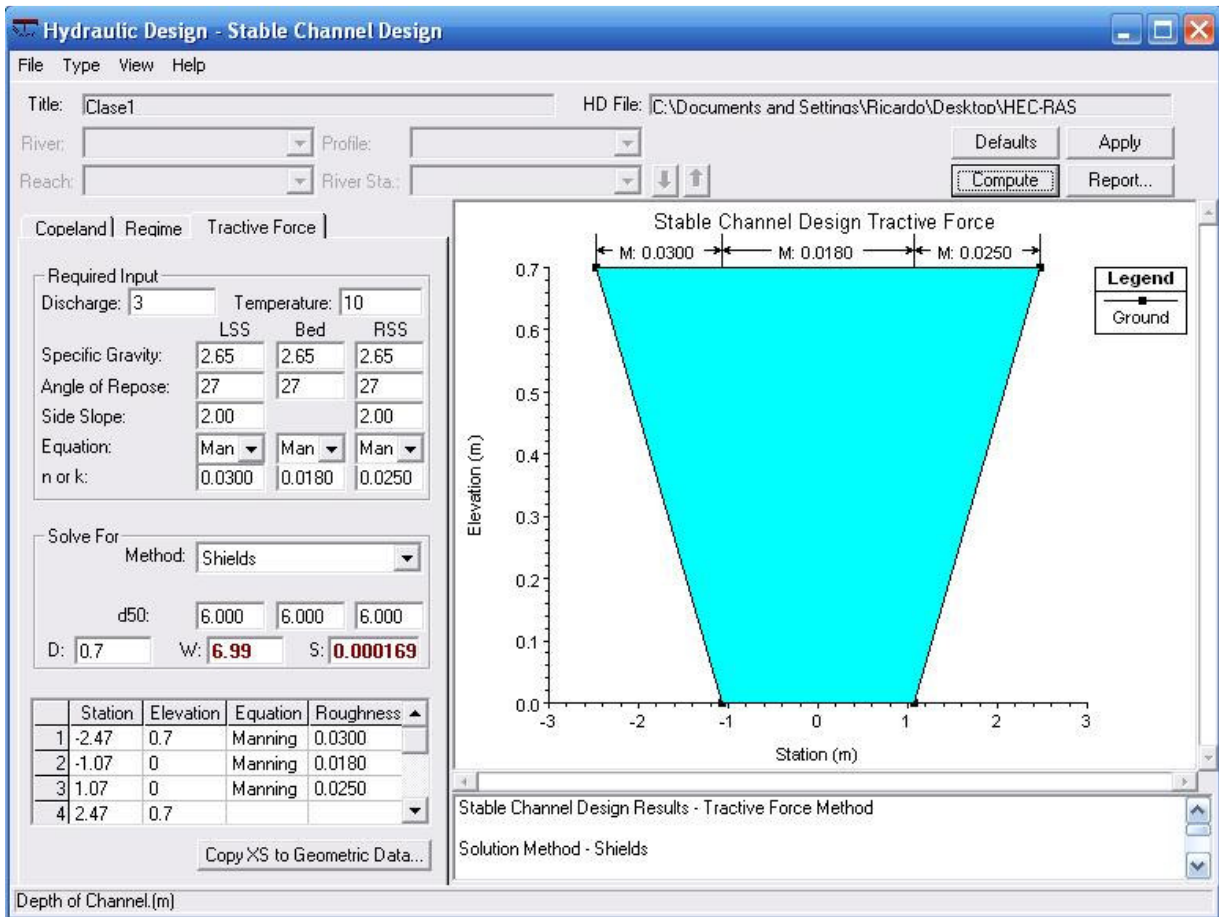


Fig. 2.22 - Diseño de canal estable con el método de Fuerza Tractiva (Ecuación de Shields).

Quando se encuentre una sección transversal satisfactoria para las condiciones dadas, esta geometría puede copiarse directamente a cualquier sección transversal del modelo a simular, esto se logra dando clic en el botón *Copy XS to Geometric Data* y seleccionando luego la estación a la que se quiere asignar esta geometría transversal.

3. Bibliografía

Haestad Methods, Benn, J., Dyhouse G. & Hatchett, J. (2003). *FloodPlain Modeling using HEC-RAS*. USA: Haestad Press. ISBN 0-9714141-0-6

Nanía, L. S. & Molero, E. (2007) "Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1". España: Universidad de Granada. ISBN 978-84-690-5877-0.

U.S. Army Corps of engineers. (2002). *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual" Version 3.1.3*
www.hec.usace.army.mil