

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA PARA LAS PRÁCTICAS DEL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

ADRIÁN DAVID RODRÍGUEZ SUÁREZ

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

2012

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA PARA LAS PRÁCTICAS DEL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

ADRIÁN DAVID RODRÍGUEZ SUÁREZ

**Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniero Civil**

Director

LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS

Ing. Civil Magister en Ingeniería

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

“Agradezco a Dios por la esperanza que me mueve y el amor que me da felicidad.

A mis padres, Gilberto y Gloria por su amor, orientación, comprensión y apoyo incondicional.

A mi abuela Elvia por su amor y haberme apoyado en todo momento.

A mis tíos por su apoyo.

A mis hermanos Gilberto y María Fernanda, por motivarme.

A mis amigos, por sus sueños

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Escuela de Ingeniería Civil por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país..”

Adrián David Rodríguez Suárez

AGRADECIMIENTOS

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

Dios, quien es el autor de todo éxito en la vida.

A mi director de proyecto, el ingeniero Luis Fernando Castañeda Galvis por su invaluable apoyo, colaboración y guía para el buen desarrollo 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

INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO	19
2. DIAGNOSTICO DEL ESTADO DE LOS EQUIPOS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA UIS.....	20
2.1. BOMBA DE IMPULSIÓN SIEMENS HP 9 NO. 1 Y NO. 2	20
2.1.1. Estado.....	20
2.1.2. Información:.....	20
2.1.3. Descripción de daños:	21
2.2. VÁLVULA DE RETENCIÓN O CHEQUE	22
2.2.1. Estado:.....	22
2.2.2. Información:.....	22
2.2.3. Descripción de daños:	22
2.3. VÁLVULA DE GLOBO.....	23
2.3.1. Número de válvulas de globo:	23
2.3.2. Estado:.....	23
2.3.3. Información:.....	23
2.3.4. Descripción de daños:	24
2.4. VÁLVULA DE COMPUERTA	24
2.4.1. Número de válvulas de compuerta en el laboratorio:.....	24
2.4.2. Estado:.....	24
2.4.3. Información:.....	24
2.4.4. Descripción de daños:	26
2.5. VÁLVULA DE MARIPOSA.....	26
2.5.1. Número de válvulas de mariposa en el laboratorio:.....	26
2.5.2. Estado:.....	26
2.5.3. Información:.....	26
2.5.4. Descripción de daños:	28

2.6.	VÁLVULA DE BOLA	28
2.6.1.	Estado:.....	28
2.6.2.	Información:.....	28
2.6.3.	Descripción de daños:.....	29
2.7.	TABLERO ACRÍLICO.....	29
2.7.1.	Estado:.....	29
2.7.2.	Información:.....	29
2.7.3.	Descripción de daños:.....	30
2.8.	Vertederos y obstáculos	30
2.8.1.	Cantidad:.....	30
2.8.2.	Información:.....	30
2.8.3.	Descripción de daños:.....	32
2.9.	CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO	33
2.9.1.	Estado:.....	33
2.9.2.	Información:.....	33
2.9.3.	Descripción de daños:.....	34
2.10.	MANÓMETROS BOURDON.....	34
2.10.1.	Cantidad:.....	34
2.10.2.	Estado:.....	34
2.10.3.	Información:.....	34
2.10.4.	Descripción de daños:.....	35
2.11.	CANAL DE PENDIENTE VARIABLE	35
2.11.1.	Estado:.....	35
2.11.2.	Descripción de daños:.....	36
2.12.	COMPUERTAS.....	36
2.12.1.	Cantidad:.....	36
2.12.2.	Estado:.....	36
2.12.3.	Información:.....	36
2.12.4.	Descripción de daños:.....	37
2.13.	GATO HIDRÁULICO.....	38

2.13.1.	Estado:.....	38
2.13.2.	Información:.....	38
2.13.3.	Descripción de daños:.....	38
2.14.	Tableros de control	39
2.14.1.	Estado:.....	39
2.14.2.	Información:.....	39
2.14.3.	Descripción de daños:.....	40
2.15.	Canaleta Parshall.....	40
2.15.1.	Estado:.....	40
2.15.2.	Información:.....	40
2.15.3.	Descripción de daños:.....	41
2.16.	Tejas en asbesto cemento	41
2.16.1.	Estado:.....	41
2.16.2.	Información:.....	41
2.16.3.	Descripción de daños:.....	42
2.17.	Paredes.....	43
2.17.1.	Estado:.....	43
2.17.2.	Descripción de daños:.....	44
3.	PRESENTACIÓN DE LA GUÍA.....	45
4.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS.....	52
4.1.	VERTEDEROS	52
4.1.1.	Salto de ski	53
4.1.2.	Vertedero de cresta aguda rectangular	58
4.1.3.	Vertedero de cresta aguda triangular.....	62
4.1.4.	Vertedero de cresta aguda trapezoidal de Cipoletti.....	66
4.2.	CONTRACCION Y ASCENSO	68
4.2.1.	ASCENSO	68
4.2.2.	CONTRACCIÓN	70
5.	CONCLUSIONES.....	73
6.	BIBLIOGRAFIA.....	75

GENERALIDADES.....	84
PRÁCTICA 1. CONSERVACIÓN DE ENERGIA Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO.....	86
PRÁCTICA 2. TRANSICION EN FLUJO SUBCRITICO.....	98
PRÁCTICA 3. RESALTO HIDRAULICO	108
PRÁCTICA 4. FLUJO UNIFORME Y FLUJO GRADUALMENTE VARIADO.....	116
PRÁCTICA 5. LANZAMIENTO CON SALTO DE SKY	127
PRÁCTICA 6. ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN Y CONTROL.....	136
PRÁCTICA 7. AFORO DE CORRIENTES EN CAMPO CON ACOUSTIC DOOPLER VELOCIMETER ADV.....	148
PRÁCTICA 8. AFORO QUIMICO POR INYECCIÓN INSTANTANEA DE NaCl	157
PRÁCTICA 9. CANALETA PARSHALL.....	163
PRÁCTICA 10. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE UN PUENTE UTILIZANDO LOS PROGRAMAS ARC GIS 10, HEC RAS Y LA EXTENSIÓN HEC GEORAS.....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Laboratorio de hidráulica en el campus universitario UIS.....	19
Figura 2 Bomba Siemens 9 HP No. 1.....	21
Figura 3 Bomba Siemens 9 HP No. 2.....	21
Figura 4 Válvula de retención o cheque.....	22
Figura 5 Válvula de globo.....	23
Figura 6 Válvula de compuerta conectada a la tubería de succión.....	25
Figura 7 Válvula de compuerta conectada a la tubería para el purgado del tanque subterráneo.....	25
Figura 8 Válvula de compuerta para el canal de pendiente variable.....	26
Figura 9 Válvula de mariposa 1 tubería de impulsión.....	27
Figura 10 Válvula de mariposa 2 tubería de impulsión.....	28
Figura 11 Válvula de bola para el llenado del tanque subterráneo.....	29
Figura 12 Tablero en acrílico.....	30
Figura 13 Vertedero rectangular sin contracción.....	31
Figura 14 Obstáculo triangular.....	31
Figura 15 Vertedero cresta ancha.....	32
Figura 16 Vertedero Spillway.....	32
Figura 17 Caudalímetro electromagnético.....	33
Figura 18 Manómetro tubería impulsión.....	34
Figura 19 Manómetro tubería conducción.....	35
Figura 20 Canal de pendiente variable.....	36
Figura 21 Compuerta aguas abajo.....	37
Figura 22 Compuertas aguas arriba.....	37
Figura 23 Gato hidráulico.....	38
Figura 24 Tablero de control tanque subterráneo.....	39
Figura 25 Tablero de control principal.....	39
Figura 26 Tablero de control principal.....	40
Figura 27 Canaleta Parshall en el canal perimetral.....	41
Figura 28 Cubierta en teja asbesto cemento averiada.....	42
Figura 29 Inundación parcial del laboratorio por averías en el techo.....	42
Figura 30 Escaleras tanque subterráneo.....	43
Figura 31 Patio de modelos.....	43
Figura 32 Patio de Modelos.....	44
Figura 33 Tanque subterráneo.....	44
Figura 34 Relación altura-caudal para las formas estándar de los vertederos WES.....	55
Figura 35 Diseño salto de ski laboratorio de hidráulica.....	58
Figura 36 Parámetros geométricos del vertedero rectangular de cresta aguda.....	59
Figura 37 Valores de k_b en función de b/B	61

Figura 38 Esquema vertedero de cresta aguda rectangular diseñado para el laboratorio de hidráulica	62
Figura 39 Sección de un vertedero triangular.....	63
Figura 40 K_h en función del ángulo θ del vértice (De Bos, 1976.).....	64
Figura 41 Esquema vertedero de cresta aguda triangular diseñado para el laboratorio de hidráulica	66
Figura 42 Vertedero Cipoletti	67
Figura 43 Esquema vertedero de cresta aguda trapezoidal Cipoletti diseñado para el laboratorio de hidráulica.....	68
Figura 44 Esquema ascenso diseñado para el Laboratorio de Hidráulica Vista lateral	70
Figura 45 Esquema contracción diseñada para el Laboratorio de Hidráulica Vista en Planta	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Áreas del edificio del laboratorio de hidráulica.....	19
Tabla 2 Coeficientes según la pendiente de la cara aguas arriba	57
Tabla 3 Coordenadas X y Y del salto de ski	57
Tabla 4 Coeficiente efectivo de descarga para vertederos de cresta aguda rectangular en función de b/B y h_1/p	60
Tabla 5 Coeficientes de descarga para distintas aberturas del vertedero triangular	65

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Planos estructuras hidráulicas.....	78
ANEXO B – Guía metodológica para el laboratorio de hidráulica para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Industrial de Santander.....	85

RESUMEN

TITULO: ELABORACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA PARA LAS PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.*

AUTOR:

RODRÍGUEZ SUÁREZ, Adrián David**

PALABRAS CLAVES:

Laboratorio, Hidráulica, Simulación, HEC-RAS, estructuras hidráulicas.

DESCRIPCIÓN:

La presente guía de laboratorio pretende ayudar en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander, desarrollada en un lenguaje adecuado al nivel de formación del estudiante, preparada para complementar la labor del docente y brindar al estudiante un instrumento de orientación y consulta.

Se propone una guía con diez 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. A su vez se enfatiza en la utilización de software como Microsoft Excel, Arc Gis y Hec Ras, los cuales facilitan el procesamiento de datos y la realización de simulaciones, puntualmente:

- ✓ Microsoft Excel: Procesamiento de datos y cálculos matemáticos
- ✓ Hec Ras: Simulación y análisis fluvial, calculando el perfil de superficie de agua de flujo permanente, incluyendo flujo no permanente, transporte de sedimentos y diseños hidráulicos.
- ✓ Hec GeoRas: Archivos de exportación con geometría del terreno, calado y velocidad del terreno, obteniendo posteriormente mapas de inundación y riesgo
- ✓ Arc Map: Información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa.

Durante la formulación de nuevas prácticas y el diagnóstico del estado del laboratorio, fue necesario diseñar nuevos obstáculos, vertederos y sugerir el mantenimiento y calibración de equipos, todo esto con el fin de crear un ambiente propicio para el desarrollo de las prácticas generando unas condiciones de observación más directa, precisa y didáctica.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. CASTAÑEDA GALVIS, Luis Fernando.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A PRACTICAL METHODOLOGICAL GUIDE FOR HYDRAULIC LABORATORY OF THE UNIVERSITY INDUSTRIAL OF SANTANDER. *

AUTHOR:

RODRIGUEZ SUAREZ, Adrián David **

KEYWORDS:

Laboratory, Hydraulics, Simulation, HEC-RAS, hydraulic structures.

DESCRIPTION:

This guide aims to help laboratory in the learning process of students of civil engineering at the University Industrial of Santander, developed in a language appropriate to the level of student training, ready to complement the work of teachers and give students a tool guidance and consultation.

A guideline of ten practices that cover the main effects of water flow in canals and natural waterways such as slope, cross section, surface roughness, the flow rate and the presence of obstacles. At the same time it emphasizes the use of software such as Microsoft Excel, Arc Gis and Hec Ras, which facilitate processing of data and performing simulations on time:

- ✓ Microsoft Excel: Data processing and mathematical calculations
- ✓ Hec Ras: Simulation and Analysis river, calculating the water surface profile of steady flow including unsteady flow, sediment transport and hydraulic designs.
- ✓ Hec GeoRas: Export files site geometry, depth and velocity field, then getting maps and flood risk.
- ✓ Arc Map: Geographic information as a collection of layers and other elements on a map.

During the formulation of new practices and the diagnosis of the laboratory was necessary to design new barriers, landfills and suggest the maintenance and calibration of equipment, all with the aim of creating an enabling environment for the development of practices generating conditions direct observation, accurate and educational.

*
Treasury ** Mechanical Engineering Faculty, School of Civil Engineering, Mr. CASTANEDA GALVIS, Luis Fernando. Draft grade

INTRODUCCIÓN

La realización de las prácticas del laboratorio es la parte del curso de Hidráulica Aplicada que sirve para confirmar los conceptos teóricos desarrollados en clase, con el comportamiento real de los fenómenos físicos; para luego aplicar con confianza los conceptos teóricos en el estudio, diseño y construcción de sistemas hidráulicos y de manejo del agua en diferentes campos de la Ingeniería.

Por la estructura misma como se ha conformado esta guía de laboratorio, se recomienda desarrollarla con la secuencia en que se presenta, ya que se han realizado teniendo en cuenta la totalidad del desarrollo teórico del curso.

Las practicas tratadas en este guía 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, por ende resultan ser de gran ayuda para las diferentes profesiones que tienen currículo encaminado hacia el manejo del Recurso Hídrico y en general los fluidos.

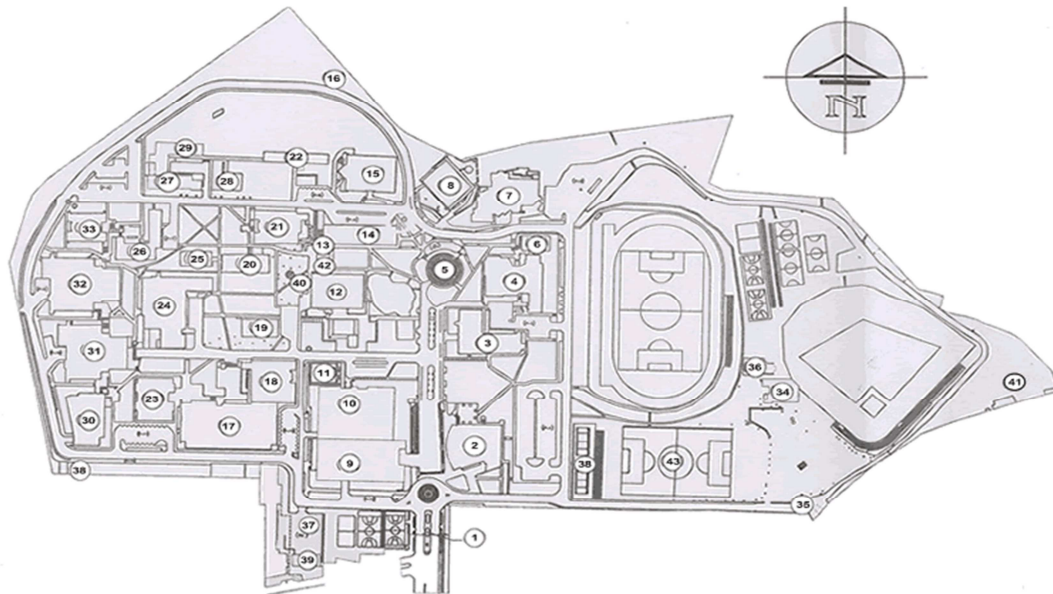
Con esta nueva guía metodológica se pretende tener prácticas más productivas, en donde además de recopilar y procesar datos, se profundice en el análisis y comprensión de los fenómenos hidráulicos que se presentan ante determinadas situaciones en el laboratorio.

Así pues se plantearon 10 prácticas a desarrollar: *Práctica N°1 - CONSERVACIÓN DE ENERGIA Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO, Práctica N°2 - TRANSICIONES EN FLUJO SUBCRITICO, Práctica N°3 - RESALTO HIDRAULICO, Práctica N°4 - FLUJO UNIFORME Y FLUJO GRADUALMENTE VARIADO, Práctica N°5 - LANZAMIENTO CON SALTO DE SKY , Práctica N°6- ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN Y CONTROL, Práctica N°7- AFORO DE CORRIENTES EN CAMPO CON ACOUSTIC DOOPLER VELOCIMETER, Práctica N°8- AFORO QUIMICO POR INYECCIÓN INSTANTANEA DE NaCl, Práctica N°9- CANALETA PARSHALL, Práctica N°10- SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE UN PUENTE UTILIZANDO LOS PROGRAMAS ARC GIS 10, HEC RAS Y LA EXTENSIÓN HEC GEORAS* , las cuales procuraron cubrir los mismos temas que se venían desarrollando y también ampliar a los nuevos desafíos de la ingeniería hidráulica.

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.

Figura 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).

2. DIAGNOSTICO DEL ESTADO DE LOS EQUIPOS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA UIS

2.1. BOMBA DE IMPULSIÓN SIEMENS HP 9 NO. 1 Y NO. 2

2.1.1. **Estado:** Bombas No.1 dañada y bomba No. 2 en funcionamiento

2.1.2. **Información:** Esta serie de electrobombas centrífugas con turbina está equipada con un impulsor estriado directamente al eje motor. Cuenta con un 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. La configuración hidrodinámica del impulsor, con pérdidas hidráulicas mínimas, envía energía cinética al líquido bombeado a través de los alabes situados en el interior del impulsor. Saliendo del impulsor el líquido bombeado se presuriza en el caracol del cuerpo de la bomba, el cual transforma la energía cinética en energía de presión.

Figura 2 Bomba Siemens 9 HP No. 1



Figura 3 Bomba Siemens 9 HP No. 2



2.1.3. **Descripción de daños:** Se observa que por la vibración producida por la bomba, se venció la conexión bridada entre la bomba No. 1 y la tubería de impulsión, produciendo posteriores fugas y el mal funcionamiento del sistema de bombeo.

2.2. VÁLVULA DE RETENCIÓN O CHEQUE

2.2.1. **Estado:** Presencia de fugas en las conexiones bridadas

2.2.2. **Información:** La válvula de retención o cheque se ubica a la descarga de la bomba y su función es la de evitar que se devuelva la columna de líquido cada vez que para la bomba. Cuando esto ocurre, la columna de líquido sigue avanzando por su inercia, hasta que para y se devuelve, golpeando el disco de la válvula contra el asiento, generando ruido, sobrepresiones en la tubería, dañando el asiento y afectando la cimentación de la válvula y de la bomba. Se ha encontrado que la razón más común de rupturas en tubería u otros accidentes que ocurren en los sistemas de bombeo, provienen de golpes de ariete peligrosos causados por diseños o instalaciones inapropiadas o por fallas operacionales de las válvulas de retención clásicas.

Figura 4 Válvula de retención o cheque



2.2.3. **Descripción de daños:** Debido a golpes de ariete causados por fallas operacionales en el laboratorio se ha presentado un desajuste en

el asiento óptimo de la junta y estanqueidad de la unión, lo cual ha causado que se presenten fugas por medio de los pernos y la junta.

2.3. VÁLVULA DE GLOBO

2.3.1. **Número de válvulas de globo:** 2

2.3.2. **Estado:** Aceptable

2.3.3. **Información:** Las válvula de globo es unidireccional, y es utilizada como válvula de regulación de caudal al canal de pendiente variable y al tanque de modelos. Su robustez y cierre hermético Metal-Metal hacen que ésta válvula sea adaptable a las más altas exigencias de servicio. A medida que el elemento de cierre se aproxima al asiento, sección de paso se reduce y por tanto aumenta la pérdida de carga disminuyendo el caudal.

El control del caudal está determinado no por el tamaño de la abertura en el asiento de la válvula, sino más bien por el levantamiento del tapón (la distancia desde el tapo de la válvula al asiento).

Figura 5 Válvula de globo



2.3.4. **Descripción de daños:** Se debe realizar un mantenimiento preventivo al sistema de apertura y cierre de la válvula, ya que este presenta deficiencias en su lubricación. Se debe conectar un engrasador común en el alemite y lubricar con grasa de Litio Standard, permitiendo que el lubricante permanezca dentro de las piezas.

2.4. VÁLVULA DE COMPUERTA

2.4.1. **Número de válvulas de compuerta en el laboratorio:** 3

2.4.2. **Estado:** 2 buenas, 1 presenta fugas

2.4.3. **Información:** La válvula de compuerta es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cuál puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.

Figura 6 Válvula de compuerta conectada a la tubería de succión



Figura 7 Válvula de compuerta conectada a la tubería para el purgado del tanque subterráneo



Figura 8 Válvula de compuerta para el canal de pendiente variable



2.4.4. Descripción de daños: La válvula de compuerta que presenta fugas se encuentra al lado del canal de pendiente variable y es la encargada de regular el caudal en este (Foto 7. Válvula de compuerta para el canal de pendiente variable). Estas fugas se pueden presentar por el desgaste o la mal colocación en los empaques, la antigüedad de la instalación, la falta de mantenimiento o por presiones muy altas en la alimentación.

2.5. VÁLVULA DE MARIPOSA

2.5.1. Número de válvulas de mariposa en el laboratorio: 2

2.5.2. Estado: 1 Buena, 1 con fugas

2.5.3. Información: Parte de la válvula tradicional tipo asiento de casquillo que elimina la deformación por deslizamiento, reduce el torque operacional y provee de un cierre positivo. Son unas válvulas muy

versátiles. Tiene una gran capacidad de adaptación a las múltiples solicitudes de la industria, tamaños, presiones, temperaturas, conexiones, etc. a un coste relativamente bajo.

El funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo. La operación es como en todas las válvulas rotativas rápida. Poco desgaste del eje, poca fricción y por tanto un menor par, que resulta en un actuador más barato. El actuador puede ser manual, oleo-hidráulico o motorizado eléctricamente, con posibilidad de automatización.

Figura 9 Válvula de mariposa 1 tubería de impulsión



Figura 10 Válvula de mariposa 2 tubería de impulsión



2.5.4. Descripción de daños: La válvula que presenta fugas es la que se encuentra instalada en la tubería de impulsión de la bomba No 1. Por el daño en la conexión bridada en la bomba No 1 esta válvula no se encontraba en operación, lo cual propicio el depósito de suciedades y su posterior bloqueo. Luego de desbloquearla y al volverla a cerrar se encontró que esta quedo descentrada y desalineada de la tubería, a su vez las superficies contra bridadas se encontraban sucias y el apriete no fue uniforme, todos estos aspectos contribuyeron a las fugas en la unión bridada.

2.6. VÁLVULA DE BOLA

2.6.1. Estado: Bueno

2.6.2. Información: En esta un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido. El sellado en este tipo de válvulas es excelente, la bola contacta de forma circunferencial y uniforme el asiento. Son un tipo de válvulas muy versátil en el manejo de fluidos lo que le permite ser una de las válvulas más populares dentro de la industria. Precisamente su cierre rápido de $\frac{1}{4}$ de vuelta ordinariamente con una

palanca permite que su operación sea muy sencilla para quien la opera además de que su diseño es más pequeño que las válvulas de compuerta.

Figura 11 Válvula de bola para el llenado del tanque subterráneo



2.6.3. **Descripción de daños:** Ninguno

2.7. TABLERO ACRÍLICO

2.7.1. **Estado:** Bueno

2.7.2. **Información:** Tablero para escritura porcelanizado con fondo blanco nieve, consta de marco en aluminio y porta borrador en aluminio.

Figura 12 Tablero en acrílico



2.7.3. **Descripción de daños:** Ninguno

2.8. Vertederos y obstáculos

2.8.1. **Cantidad:** 1 vertedero de pared gruesa, 1 obstáculo triangular, 1 vertedero Spillway

2.8.2. **Información:** Los vertederos son estructuras que tienen aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos y expresan una condición especial de movimiento no uniforme en un tramo con notoria diferencia de nivel.

Además de tener suficiente capacidad, el vertedero debe ser hidráulica y estructuralmente adecuado y debe estar localizado de manera que las descargas del vertedero no erosionen ni socaven el talón de aguas debajo de la estructura. Las superficies que forman el canal de descarga del vertedero deben ser resistentes a las velocidades erosivas creadas por la caída desde la superficie del vaso a la del agua de descarga y, generalmente, es necesario algún medio para la disipación de la energía al pie de la caída.

Figura 13 Vertedero rectangular sin contracción



Figura 14 Obstáculo triangular



Figura 15 Vertedero cresta ancha



Figura 16 Vertedero Spillway



2.8.3. Descripción de daños: En el laboratorio se contaba con 1 vertedero rectangular contraído, 1 vertedero triangular, 1 vertedero trapezoidal, y 1 vertedero proporcional sutro, los cuales se extraviaron. Estos son de vital importancia para la realización de la Práctica 6 Estructuras de medición y control, por lo tanto se le debería dar prioridad a su pronta adquisición. Contar con estas estructuras permitirá el normal desarrollo de la práctica y conocer sus usos frecuentes en:

- ✓ Como control de flujo en estructuras de caída, disipadores de energía, transiciones, estructuras de entrada y salida de alcantarillas, sistemas de alcantarillado.
- ✓ Órgano de seguridad, evacuando las aguas en exceso generadas durante los eventos de máximas crecidas.
- ✓ Mantener el nivel casi constante aguas arriba de una obra de toma
- ✓ Lograr que el nivel de agua en una obra de toma alcance el valor requerido para el funcionamiento de la misma.

2.9. CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO

2.9.1. **Estado:** Aceptable

2.9.2. **Información:** Es un transductor especialmente diseñado para ser usado en la medición de caudales de agua. El equipo funciona conforme a la ley de Faraday. Este equipo calcula la velocidad del agua en la tubería y el volumen de agua que pasa por ahí durante un determinado tiempo, y luego manda una señal digital que se puede fácilmente leer en el panel (“display”) del aparato. Se encuentra instalado en la tubería de acero de 6” que distribuye el agua desde el tanque elevado.

Figura 17 Caudalímetro electromagnético



2.9.3. **Descripción de daños:** Sería oportuno realizarle un mantenimiento preventivo con el fin de alargar su vida útil, calibrarlo y así obtener datos de mayor confiabilidad y mejor funcionamiento.

2.10. MANÓMETROS BOURDON

2.10.1. **Cantidad:** 2

2.10.2. **Estado:** Buenos

2.10.3. **Información:** El principio de medida en el que se basa este instrumento es el sensor conocido como tubo Bourdon. El sistema de medida está formado por un tubo aplanado de bronce o acero, cerrado, en forma de "C" de $\frac{3}{4}$ de circunferencia para la medición de bajas presiones, o enrollado en forma de espiral para la medición de altas presiones y que tiende a enderezarse proporcionalmente al aumento de la presión; este movimiento se transmite mediante un elemento transmisor y multiplicador que mueve la aguja indicadora sobre una escala graduada.

Figura 18 Manómetro tubería impulsión



Figura 19 Manómetro tubería conducción



2.10.4. **Descripción de daños:** Ninguna

2.11. CANAL DE PENDIENTE VARIABLE

2.11.1. **Estado:** Regular

2.11.1. **Información:** Estructura que tiene una sección transversal rectangular con un ancho promedio de 0.412 m por 0.6 m de alto y 9.5 m de longitud. Está construido en vidrio templado, y 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.

Figura 20 Canal de pendiente variable



2.11.2. **Descripción de daños:** La unión entre el canal de vidrio y la estructura metálica que lo sostiene presenta fugas en la mitad de su largo, en la parte inferior. Es importante la pronta intervención en este daño, debido a que el agua está causando el debilitamiento y deterioro de la estructura metálica, comprometiendo así su integridad y buen funcionamiento.

2.12. COMPUERTAS

2.12.1. **Cantidad:** 2

2.12.2. **Estado:** regular

2.12.3. **Información:** Una compuerta es una placa móvil, plana o curva, que al moverse verticalmente permite graduar la altura del orificio que se va descubriendo en su parte inferior, controlando el caudal producido. Su accionamiento se hace manualmente y se

efectúa por mediación de una tuerca de bronce conjuntamente con husillo de rosca trapecial, y un volante de maniobra.

Figura 21 Compuerta aguas abajo



Figura 22 Compuertas aguas arriba



2.12.4. **Descripción de daños:** Debido al mecanismo manual de funcionamiento en la apertura y cierre de las compuertas, hace que las piezas que hacen parte de su funcionamiento sufran un constante desgaste, y conjunto con el empuje que hace el agua sobre estas

propician que se tranquilen, dificultando así su operación durante la realización de las prácticas.

2.13. GATO HIDRÁULICO

2.13.1. **Estado:** bueno

2.13.2. **Información:** El funcionamiento del gato hidráulico responde al principio de Pascal, que establece que la presión en un contenedor cerrado es siempre la misma en todos sus puntos. Se le da el nombre de gato “hidráulico” por la utilización de un líquido, para nuestro caso un aceite, con el fin de ejercer presión sobre un cilindro que empujará un extremo del canal de pendiente variable para lograr la elevación de este. Este permitirá elevar el canal hasta una pendiente del 6%.

Figura 23 Gato hidráulico



2.13.3. **Descripción de daños:** Ninguna

2.14. Tableros de control

2.14.1. **Estado:** Bueno

2.14.2. **Información:** El tablero de control es un equipo que sirve para controlar el arranque y paro de las dos bombas centrifugas para el sistema de impulsión del laboratorio.

Figura 24 Tablero de control tanque subterráneo



Figura 25 Tablero de control principal

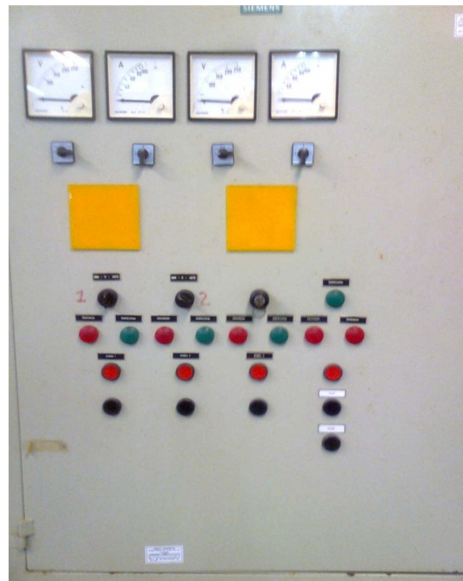
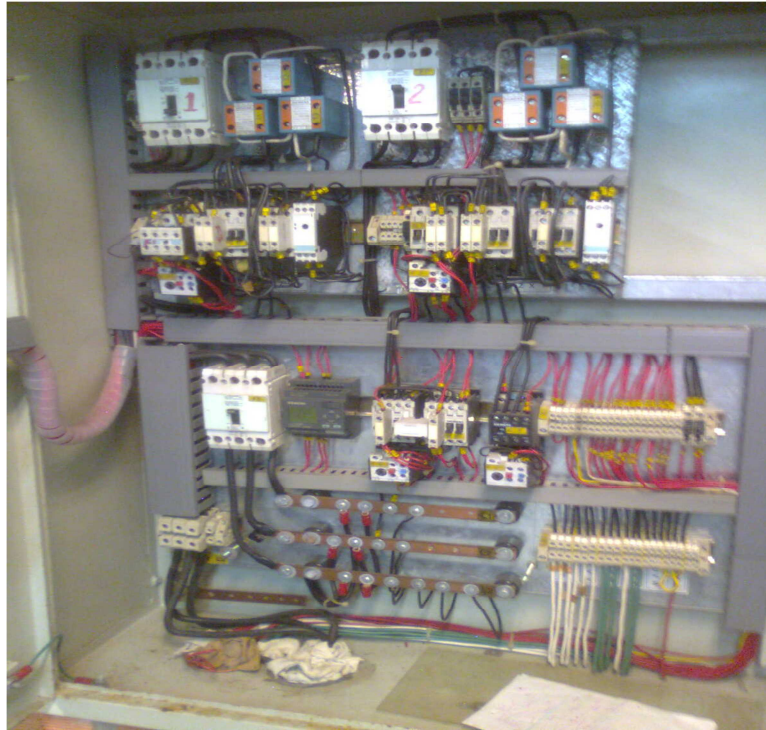


Figura 26 Tablero de control principal



2.14.3. **Descripción de daños:** Mantenimiento preventivo.

2.15. Canaleta Parshall

2.15.1. **Estado:** Deteriorada

2.15.2. **Información:** Es un dispositivo de medición de caudal particularmente experimental. Puede ser usado para medir el caudal en ríos, canales de irrigación y/o de desagüe, salidas de alcantarillas, aguas residuales, vertidos de fábricas, etc. La medida del caudal está basada en la ocurrencia de un punto de control que permite el cálculo de caudal en el canal, desarrollado por Parshall en 1922. En el canal perimetral contamos con una Canaleta Parshall de 9" (Ancho de la garganta).

Figura 27 Canaleta Parshall en el canal perimetral



2.15.3. **Descripción de daños:** Por la continua exposición de esta estructura al agua, varias partes de ella se encuentran oxidadas, provocando el descascamiento y erosión de la superficie.

2.16. Tejas en asbesto cemento

2.16.1. **Estado:** Regular

2.16.2. **Información:** Son placas de fibrocemento onduladas, lo suficientemente resistentes para prestar el servicio para el cual fueron diseñadas. Es una solución económica para cubiertas y presenta las

siguientes ventajas: inalterable, aislante térmico, incombustible, impermeable, económico, resistente y liviana.

Figura 28 Cubierta en teja asbesto cemento averiada

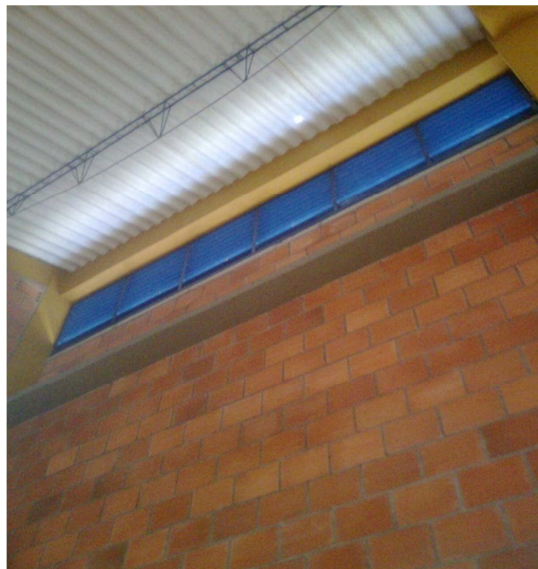


Figura 29 Inundación parcial del laboratorio por averías en el techo



2.16.3. **Descripción de daños:** En una de las tejas hay un orificio, el cual permite el ingreso de aguas lluvias. Esto hace que se presente inundación parcial del laboratorio.

2.17. Paredes

2.17.1. **Estado:** Regular

Figura 30 Escaleras tanque subterráneo



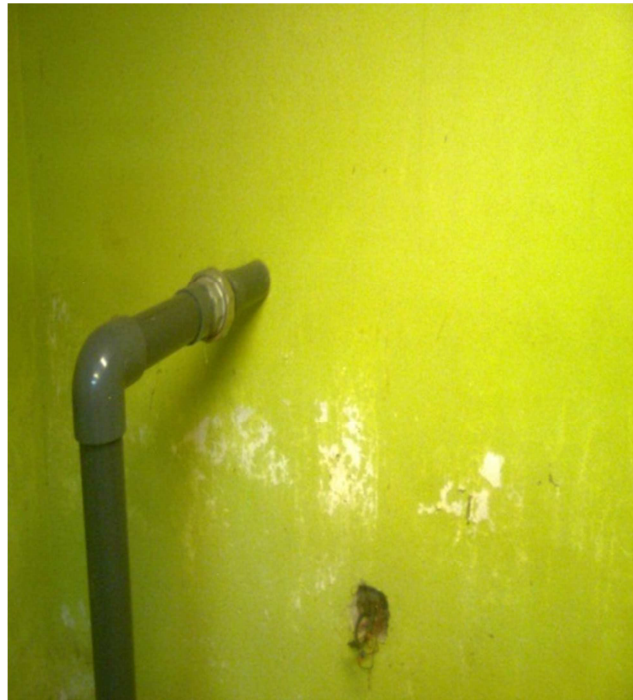
Figura 31 Patio de modelos



Figura 32 Patio de Modelos



Figura 33 Tanque subterráneo



2.17.2. **Descripción de daños:** Las paredes presentan deterioro por humedad, y falta de pintura.

3. PRESENTACIÓN DE LA GUÍA

La nueva guía metodológica para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Industrial de Santander se implementará de forma completa a partir del primer semestre del año 2012. En esta guía se establecen de forma clara los objetivos y procedimientos para el desarrollo de las prácticas.

Se venía trabajando con la guía de prácticas para el laboratorio elaborada por el estudiante Ricardo Alonso Santaella Ojeda bajo supervisión del Ingeniero Leonardo Donado Garzón (2007), la cual contaba con las siguientes prácticas:

- **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.**

Se consideró entonces implementar nuevas prácticas y complementar las ya existentes. Estas prácticas serán desarrolladas algunas en campo, en el laboratorio de hidráulica y en salas de cómputo. La implementación del uso de herramientas para el desarrollo de modelos numéricos por medios computacionales, busca 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. 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°2. Transición en flujo subcrítico:** Abordar el tema del comportamiento del agua ante transiciones en el transporte del agua en canales, resulta de gran aplicación, ya que estas condiciones se presentan constantemente, ya sea por la topografía del terreno o el aumento o disminución de caudal transportado. El buen manejo de estas permite optimizar el desempeño y eficiencia del diseño de las estructuras hidráulicas.

Con esta práctica se busca ahondar en el concepto de energía específica, al estudiar el perfil de la superficie libre cuando se presenta un cambio en la sección transversal. Para el estudio del perfil de la superficie libre en una transición se supone que las pérdidas de carga son despreciables. Para la realización de esta práctica se requiere de la ubicación de dos obstáculos en el canal de pendiente variable que permitan la elevación y contracción del mismo.

- **Práctica N°3. 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 si 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.

- **Práctica N°4. 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°5. Lanzamiento con Salto de Sky:** Uno de los aspectos que generalmente merece especial atención en el diseño de obras hidráulicas es la disipación de la energía cinética que adquiere un chorro líquido por el incremento de la velocidad de flujo. Cuando el agua corre por el vertedero y los canales o túneles de descarga contiene gran cantidad de energía y mucho poder destructivo debido a las altas presiones y velocidades. Éstas pueden causar erosión en lecho del río, en el pie de la presa, o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras hidráulicas. Por lo tanto se deben colocar disipadores de energía.

El salto de sky representa una buena alternativa para disipar la energía cinética permitiendo la dispersión del flujo por medio de un canal de evacuación de solera curvada. A través de esta medida se logra generar un salto, alejando el chorro de la obra y reduciendo la velocidad de flujo en el punto de llegada del chorro líquido.

- **Práctica N°6. 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, y vertederos. Se analizarán las condiciones de flujo

libre y flujo ahogado en el comportamiento del paso de agua por una compuerta, así como también se estimaran 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 determinaran las ventajas y desventajas en el uso de las diferentes estructuras de aforo.

- **Práctica N°7. Aforo de corrientes en campo con Acoustic Doppler Velocimeter ADV:** En esta práctica se mide el caudal en campo por medio de un dispositivo de alta tecnología como lo es un ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter* – Velocímetro Acústico por efecto Doppler). Con 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°8 Aforo químico por inyección instantánea de NaCl:** La utilización de trazadores químicos resulta ser una de las mejores soluciones para la estimación de caudal, como también para el estudio del comportamiento de contaminantes en aguas superficiales y transporte de sedimentos. La importancia de la utilización de trazadores químicos recae en que estos tienen la propiedad de integrar, en espacio y tiempo, todas las acciones hidrodinámicas y fisicoquímicas durante el periodo observado.

Con esta práctica se tiene un método alternativo para la medición de caudal en campo, el cual permite realizar la comparación con los datos obtenidos por el ADV. Por medio de estas comparaciones el estudiante puede analizar y comprender las posibles fuentes de error, reconociendo el porqué de las recomendaciones que se deben tener en cuenta al realizar este tipo de aforos en campo.

- **Práctica N°9 Canaleta Parshall:** Para la realización de esta práctica se cuenta con una canaleta Parshall ubicada en el canal perimetral, que permite medir el caudal que viene por la tubería de rebose del tanque elevado al canal perimetral. El principal objetivo de la canaleta Parshall es la de servir como estructura de aforo.

Con esta práctica se pretende conocer las condiciones de uso de la canaleta Parshall, los requerimientos mínimos para su elaboración, sus dimensiones, clasificación y forma. En el canal perimetral contamos con otra estructura aforadora como es el vertedero de cresta ancha, teniendo así una forma alternativa de calcular el caudal. Esto permite realizar una comparación entre el caudal obtenido en la canaleta y el caudal obtenido en el vertedero de cresta ancha, que permita al estudiante llegar a conjeturas de lo observado y calculado.

- ✓ **Práctica N°10 Simulación hidráulica de un puente utilizando los programas Arc Gis 10, Hec Ras y la extensión Hec GeoRas:** Los modelos hidráulicos brindan al ingeniero civil una forma de analizar la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes de agua, sedimentos transportados y superficies de inundación, así como la intervención de obstrucciones u obras hidráulicas en la variación del nivel de agua en el cauce. Hec Ras es una herramienta desarrollada por el (Hydrologic Engineering Center –River Analysis System) del U.S. Corps of Engineers que junto con Arc Gis y la extensión Hec Geo Ras brinda la posibilidad de realizar este tipo de simulaciones y modelos eficientemente. Esta práctica permitirá desarrollar habilidades en el manejo del programa Arc Gis 10, Hec RAS y la extensión Hec GeoRAS.

Hec GeoRas es una extensión para usar con Arc Gis específicamente diseñada para procesar datos geo-referenciados que serán posteriormente usados con Hec Ras. Hec GeoRas crea un archivo para importar a Hec Ras datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, sección del puente, zonas inefectivas... La información sobre estructuras hidráulicas como puentes, bocatomas, presas... no puede importarse desde Arc Gis mediante Hec GeoRas, por tal razón debe añadirse a la simulación desde Hec-Ras. Posteriormente los resultados obtenidos de calado y velocidades se exportan desde Hec Ras a Arc Gis y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

El nuevo esquema de prácticas del laboratorio aconseja realizarlas en grupos con un máximo de 5 estudiantes, y la duración de los mismos se limita entre 1:30 a 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 las práctica N°6 y N°10 son bastante extensas, conllevando a que se

realicen en más de una jornada. Referente a la práctica N° 6 esta cubre diversos tipos de estructuras que deben ser instaladas en un solo punto del canal de pendiente variable, implicando que no se pueda trabajar de forma simultánea, razón por la cual los tiempos muertos en instalación y remoción aumentan, consecuentemente el tiempo de realización de la práctica se extiende y se deba recurrir a realizarla en 2 o 3 jornadas. La práctica N° 10 implica el manejo de los software Arc Gis y Hec Ras, donde cada uno de ellos tiene un sinnúmero de funciones que requieren el detenimiento en cada una de ellas para lograr un manejo adecuado de las mismas; esto hace que sea la práctica más larga del laboratorio y puede ser realizada entre 2 y 4 jornadas.

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 desarrollarse y presentarse los informes. Cuenta con una estructura definida que permite fomentar las competencias interpretativa, argumentativa y propositiva en los estudiantes. Debe tenerse en cuenta la siguiente estructura:

- ✚ Reporte de práctica del laboratorio: Este reporte debe contar con la siguiente información:
 1. Nombre de la materia
 2. Profesor que imparte la materia
 3. Auxiliar de laboratorio que imparte las prácticas
 4. Nombre de los equipos utilizados durante la práctica
 5. Nombres de los estudiantes, códigos y correos electrónicos
 6. Título de la practica
 7. Objetivos generales y específicos de la práctica

- ✚ *Introducción:* En esta primera parte del informe el estudiante con sus propias palabras una pequeña debe escribir una introducción del tema relacionado a la práctica, los fenómenos observados en el laboratorio, además de una introducción de la elaboración de la práctica.
- ✚ *Teoría:* Debe colocarse el marco teórico que describe la práctica según lo estudiado en clase, teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

- a. *Conceptos*
- b. *Lista de ecuaciones*
- c. *Las cantidades físicas deben estar en el sistema internacional SI.*
- d. *Gráficos y figuras utilizadas en la práctica*
- e. *Tablas utilizadas*

✚ *Procedimiento y actividades realizadas:* Se escribe el procedimiento de la práctica, y las actividades realizadas durante esta.

✚ *Resultados:* Se coloca el resumen de los resultados, y estos se pueden representar en modo de tabla y gráficos. Adicionalmente se debe explicar lo que significa cada una de las tablas, realizando una pequeña descripción de los resultados e indicando que se calcula y que significa.

Se debe anexar la tabla que contiene la lectura de datos realizados en el laboratorio.

✚ *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.

✚ *Bibliografía:* Anotar la bibliografía consultada (mínimo 3), pueden ser libros, tesis o páginas de internet.

4. DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Las estructura hidráulicas son las obras de ingeniería necesarias para lograr el aprovechamiento de los recursos hídricos y controlar su acción destructiva. Trabajan en la mayoría de los casos en combinación con elementos y equipos mecánicos. Se construyen en beneficio del hombre y el desarrollo de la humanidad.

Pueden ser construidas usando diferentes tipos de materiales, desde roca o concreto hasta metales, madera o plástico. Algunas son de geometría fija, mientras que otras pueden tener partes móviles y ser ajustadas.

Al proyectar una obra hidráulica se debe buscar en lo posible que su utilización sea de uso múltiple para beneficiar varios sectores de la economía, entre los cuales están:

1. Hidro-energía: utilización de la energía de las aguas fluviales o marítimas.
2. Transporte acuático: utilización de las aguas fluviales, de lagos y mares para la navegación y flotación de madera.
3. Mejoramiento hídrico: utilización de aguas para irrigación de tierras y para la extracción de aguas excesivas de tierras sobresaturadas.
4. Suministro de agua para el consumo humano
5. Control de avenidas e inundaciones
6. Recreación
7. Utilización de otras reservas hídricas: cría de peces, extracción de minerales, sales, algas, etc.
8. Control de contaminación ambiental

4.1. VERTEDEROS

Los vertederos son estructuras que tienen aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos y expresan una condición especial de movimiento no uniforme en un tramo con notoria diferencia de nivel.

En general hay dos tipos de vertederos, los de pared delgada (de aforo) y gruesa. Los vertederos de pared delgada se usan básicamente para determinar el caudal en cualquier momento en una corriente pequeña. Los vertederos de pared gruesa se usan principalmente para control de excedencias, y su evacuación puede ser libre o controlada.

Los vertederos pueden ser clasificados también de acuerdo a su función en:

- ✓ Vvertederos de servicio: Son diseñados para un uso frecuente de conducción de flujo en condiciones normales y crecidas, liberadas del reservorio hacia aguas debajo de la presa.
- ✓ Vvertederos auxiliares: Son diseñados para un uso menos frecuente y pueden aceptar daños limitados cuando son usados.
- ✓ Vvertederos de emergencia: Están diseñados para protección adicional en caso de rebalse de una presa, son usados bajo condiciones extremas, tales como fallas del vertedero de servicio u otras condiciones de emergencia.

La ecuación de caudal sobre el vertedero no se puede derivar en forma exacta porque las líneas de flujo sobre un vertedero de una forma difieren de las de otros con diferente forma, además la forma del flujo varía con el caudal.

4.1.1. Salto de ski

Hay diferentes ejemplos en ingeniería del uso del aire para absorber la energía de flujos de alta velocidad. Un ejemplo en particular es el uso del dissipador de salto de ski. Los dissipadores de energía de salto de sky están diseñados para esparcir el flujo de alta velocidad que sale del vertedero, de forma que el aire ataca la mayor área posible y desvía el impacto erosivo del agua sobre la cimentación de la presa. La erosión, por lo general, se mueve aguas abajo a un sitio menos crítico en el lecho del río.

A medida que el chorro deja el vertedero se ve afectado por la turbulencia interna, por el efecto cortante del aire que lo rodea, y por tensión en la superficie. Si la turbulencia o la tensión son muy grandes, el flujo estará prácticamente desintegrado cuando llegue al lecho del río. Es posible que el flujo se desintegre completamente, de tal forma que puede constituirse solamente de un spray pesado que se conforma de “gotas” de agua de diferentes tamaños.

Los saltos de sky fueron utilizados por primera vez hacia el año de 1951 y desde entonces se han venido desarrollando gracias a estudios realizados con modelos.

El uso de este tipo de estructuras brinda grandes ahorros económicos en lugares donde las condiciones geológicas y morfológicas son favorables, y particularmente donde el vertedero puede ser ubicado sobre la casa de máquinas o por lo menos sobre los túneles de descarga.

Si el chorro se divide en varias corrientes que colisionan entre sí, o si por otra parte se tienen dos vertederos de chorro colisionando entre sí, se tiene una pérdida de energía bastante considerable.

El principal beneficio de los disipadores de energía en los vertederos con salto de sky está en la tercera fase, en el momento del impacto, cuando se llega a la piscina de disipación aguas abajo. Las mayores pérdidas de energía de las primeras tres fases ocurren con la colisión de las masas de agua, y a través de la compresión de las burbujas de aire, ambas son contenidas en el chorro que viaja aguas abajo hacia la piscina en el punto de impacto. Las pérdidas de energía en esta fase son muy grandes ya que el chorro se encuentra intensamente aireado antes del impacto.

La combinación de la energía perdida en las primeras tres fases de la disipación puede ser expresada como un coeficiente de velocidad, el cual puede ser determinado en pruebas a modelos a partir de la teoría de las profundidades con flujo supercrítico junto con la de profundidades en el flujo subcrítico, con las que se logra obtener un salto estable aguas abajo de la estructura del vertedero. Aunque este valor de coeficiente de velocidad está sujeto a efectos de escala, los estudios del modelo llevan a una muy buena aproximación para la utilización en el diseño.

Para los vertederos diseñados con las formas WES la ecuación de caudal por encima de un vertedero puede calcularse mediante esta ecuación:

$$Q = CLH_e^{1.5}$$

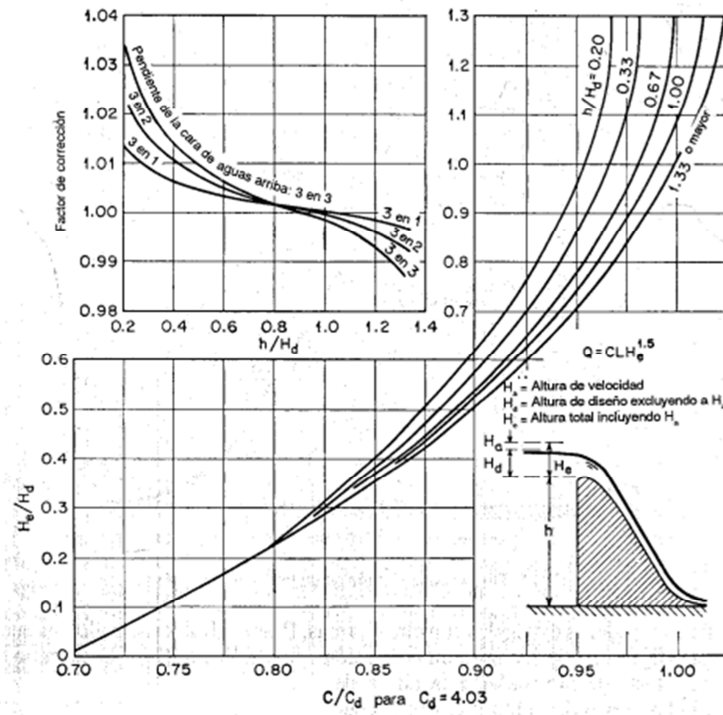
Donde:

H_e = *Altura de la energía total sobre la cresta, inculida la altura de velocidad*

L = *Longitud de la cresta*

C = *Coeficiente de descarga*

Figura 34 Relación altura-caudal para las formas estándar de los vertederos WES



Se supone un vertedero de reboso alto, donde no se considera el efecto de la velocidad de aproximación, y $C_d=4.03$. Mediante la ecuación de caudal:

$$H_e^{1.5} = \frac{Q}{CL}$$

$$H_e^{1.5} = \frac{0.031}{4.03 * 0.412}$$

$$H_e = 0.07 \text{ m} = 7 \text{ cm}$$

La velocidad de aproximación es:

$$V_a = \frac{Q}{b * H} = \frac{0.031}{0.412 * 0.47}$$

$$V_a = 0.16 \text{ m/s}$$

Conociendo la velocidad de aproximación se puede calcular su altura correspondiente:

$$H_a = \frac{V_a^2}{2g} \rightarrow H_a = \frac{0.16^2}{2 * 9.81}$$

$$H_a = 0.0013 \text{ m} = 1.3 \text{ mm}$$

Luego la altura de diseño es:

$$H_d = H_e - H_a$$

$$H_d = 0.07 - 0.0013 = 0.067 \text{ m}$$

Con el fin de que la velocidad de aproximación no tenga un efecto apreciable “insignificante” sobre el caudal o el coeficiente de descarga y, en consecuencia, sobre el perfil de la napa se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{h}{H_d} > 1.33$$

Realizando la comprobación anterior:

$$\frac{0.4}{0.067} = 5.97 > 1.33 \text{ ok}$$

Según la nomenclatura de la Figura 33 la altura de vertedero WES es:

$$h = H - H_d = 0.48 - 0.067 = 0.413 \text{ m}$$

$$h = 0.4 \text{ m}$$

Con base en los datos del Bureau of Reclamation, el U.S. Army Corps of Engineer, estos lograron desarrollar algunas formas estándar en su Waterways Experiment Station, en donde la tendencia de la curva del vertedero puede representarse mediante la siguiente ecuación:

$$X^n = KH_d^{n-1}Y$$

Donde:

X y Y = Coordenadas del perfil de la cresta en su origen en el punto más alto

H_d = Altura de diseño

K y n = Coeficientes que dependen de la pendiente de la cara aguas arriba

Tabla 2 Coeficientes según la pendiente de la cara aguas arriba

	K	n
Vertical	2	1.85
3 en 1	1.936	1.836
3 en 2	1.936	1.81
3 en 3	1.873	1.776

Se eligió diseñar el salto de ski con una cara de la pendiente aguas arriba de 3 en 1. La forma estándar para este condicionamiento es:

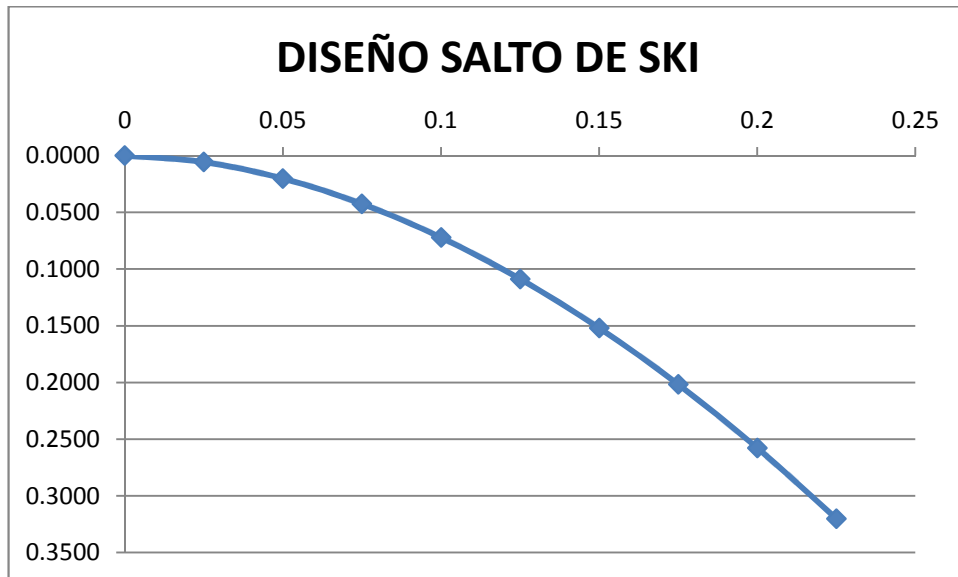
$$X^{1.836} = 1.936H_d^{1.836-1}Y$$

Graficando la ecuación se obtuvo su forma:

Tabla 3 Coordenadas X y Y del salto de ski

X	Y
0	0.0000
0.025	0.0057
0.05	0.0202
0.075	0.0426
0.1	0.0722
0.125	0.1087
0.15	0.1520
0.175	0.2017
0.2	0.2577
0.225	0.3200

Figura 35 Diseño salto de ski laboratorio de hidráulica



4.1.2. Vertedero de cresta aguda rectangular

El vertedero rectangular de cresta aguda se puede describir como un corte rectangular ubicado simétricamente en una placa delgada perpendicular a los lados y el fondo del canal de pendiente variable.

Para el caso del vertedero de cresta aguda con sección transversal rectangular a ser instalado en el extremo final del canal rectangular de vidrio del laboratorio no se puede diseñar un vertedero Rehbock o de ancho completo, debido a que no se cumple la condición referente a que los lados del canal deben extenderse aguas abajo del vertedero, al menos 0.3 veces $h_{1\max}$ sobre el nivel de la cresta, pues el agua descarga libremente en el tanque de modelos. Para el diseño hidráulico se parte de la ecuación teórica modificada por Kindsvater y Carter (1957):

$$Q = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} b_e h_e^{3/2}$$

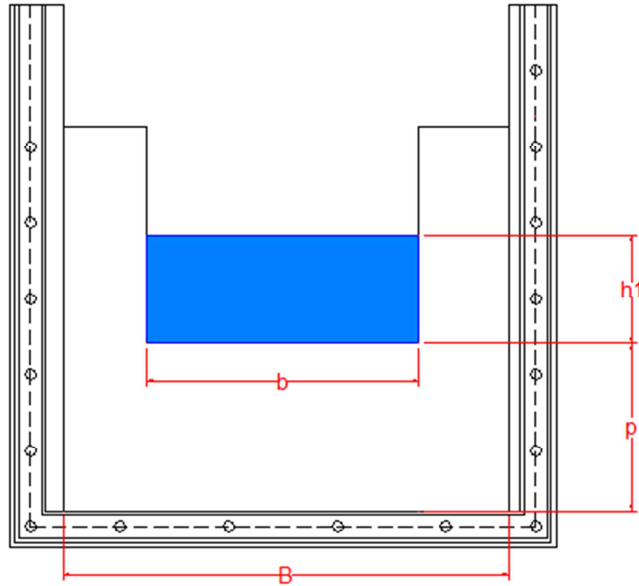
Dónde:

$$b_e = \text{ancho efectivo} = b + K_b$$

$$h_e = \text{carga efectiva} = h_1 + K_n$$

$C_e = \text{Coeficiente de descarga efectivo}$

Figura 36 Parámetros geométricos del vertedero rectangular de cresta aguda



El coeficiente de descarga efectivo C_e depende de la relación b/B . De la Tabla 2 se escoge un valor de relación de anchos cresta-canal $b/B=0.6$, el cual se ajusta a las condiciones del canal.

Teniendo en cuenta que el ancho promedio del canal rectangular es $B = 0.412 \text{ m}$, calculamos b :

$$b = 0.6 * 0.412 = 0.2472 \text{ m}$$

$$b = 0.25 \text{ m}$$

Debe verificarse que este valor de b exceda 0.15 m para obtener mediciones precisas.

Tabla 4 Coeficiente efectivo de descarga para vertederos de cresta aguda rectangular en función de b/B y h₁/p

b/B	C _e
1.0	C _e = 0.602 + 0.075 h ₁ /p
0.9	C _e = 0.599 + 0.064 h ₁ /p
0.8	C _e = 0.597 + 0.045 h ₁ /p
0.7	C _e = 0.595 + 0.030 h ₁ /p
0.6	C _e = 0.593 + 0.018 h ₁ /p
0.5	C _e = 0.592 + 0.011 h ₁ /p
0.4	C _e = 0.591 + 0.0058 h ₁ /p
0.3	C _e = 0.590 + 0.0020 h ₁ /p
0.2	C _e = 0.589 - 0.0018 h ₁ /p
0.1	C _e = 0.588 - 0.0021 h ₁ /p
0	C _e = 0.587 - 0.0023 h ₁ /p

Procedemos a obtener la ecuación del coeficiente de descarga. Entonces, de la Tabla 2, para b/B=0.6, tenemos:

$$C_e = 0.593 + 0.018 \frac{h_1}{p}$$

Para obtener esta ecuación en función de una sola variable h₁, de los parámetros geométricos mostrados en la figura 4.1.2.1, tenemos:

$$\text{Altura del Canal} = p + h_1 + \text{Borde libre}$$

Teniendo en cuenta que el vertedero tendrá una altura de 0.35 m y asumiendo un borde libre equivalente al 10% de la altura del canal, se consigue:

$$0.35 = p + h_1 + 0.04 \rightarrow p = 0.31 - h_1$$

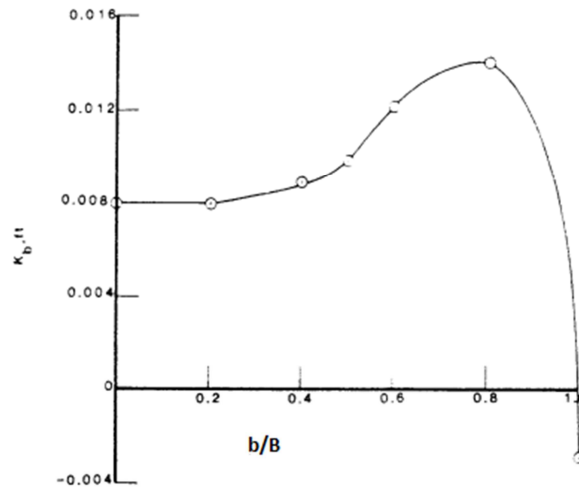
Reemplazando este valor de p en la ecuación del coeficiente efectivo de descarga:

$$C_e = 0.593 + 0.018 \frac{h_1}{0.31 - h_1}$$

Por otra parte, el valor del ancho efectivo b_e de la cresta del vertedero está dada por:

$$b_e = b + k_b$$

Figura 37 Valores de k_b en función de b/B



Donde el valor de k_b depende de la relación b/B , entonces para $b/B=0.6$, de la Figura 34, se obtiene $k_b=0.012 \text{ ft} = 0.0037 \text{ m}$.

Reemplazando este valor de k_b , se obtiene el ancho efectivo de la cresta del vertedero:

$$b_e = 0.206 + 0.0037 = 0.2097 \text{ m}$$

Así mismo la cabeza h sobre la cresta del vertedero medida aguas arriba, debe corregirse para obtener la efectiva:

$$h_e = h_1 + k_h$$

Kindsvater y Carter recomiendan un valor de $k_h=0.001 \text{ m}$ para todos los valores de b/B y de h_1/p , y sumando a la cabeza h , se obtiene la cabeza efectiva en función de h :

$$h_e = h_1 + 0.001$$

Reemplazando la relaciones de C_e , b_e , y h_e en la ecuación de caudal, como funciones de h , junto con el valor de caudal máximo $Q=0.031 \text{ m}^3/\text{s}$, que fluye por el canal donde se va a instalar el vertedero, el cual es dado por el caudalímetro electromagnético, se obtiene la ecuación básica de cabeza-descarga con h como única variable:

Se diseñara un vertedero parcialmente contraído, el cual deberá cumplir con los siguientes criterios especificados por (Bos, 1976):

- ✓ $h_1/P \leq 1.2$
- ✓ $h_1/B \leq 0.4$
- ✓ $0.049 < h_1 < 0.6096 \text{ m}$
- ✓ $P > 0.09144 \text{ m}$

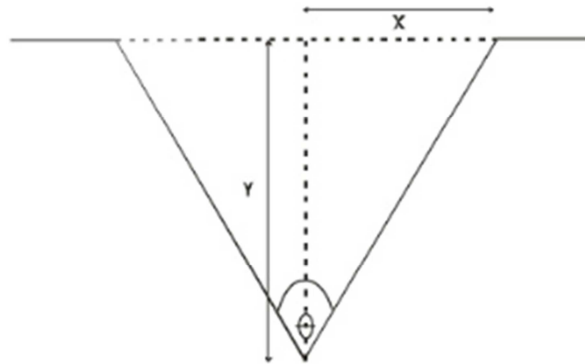
Cumpliendo con los anteriores criterios podemos deducir lo siguiente:

- ✓ Para un ancho promedio del canal de 0.412 m, el valor máximo de la carga del vertedero será:
 $h_1/B \leq 0.4 \rightarrow h_1 = 0.4 * 0.412 = 0.1648$, pero se asume $h_1 = 0.14 \text{ m}$ y se deja un borde libre de 0.02 m
- ✓ Conociendo la carga del vertedero podemos calcular ahora la altura p así:
 $h_1/p \leq 1.2 \rightarrow p = 0.14/1.2 = 0.12 \text{ m}$

Para un vertedero triangular, el diseño de su sección obedece a la ecuación:

$$y = \frac{x}{\tan(\theta/2)}$$

Figura 39 Sección de un vertedero triangular



Con las dimensiones antes calculadas tenemos que:

$$y = h_1 + \text{borde libre} = 0.14 + 0.02$$

$$y = 0.16 \text{ m}$$

Como el vertedero tendrá una abertura de 90° , se puede ahora calcular el valor de x :

$$x = y \tan(\theta/2) = 0.16 * \tan 45 = 0.16 \text{ m}$$

Como el ancho del canal es 0.412 m quedaran 0.228 m para repartir a cada lado del vertedero en la parte superior, es decir, 0.114 m.

La descarga teórica de un vertedero triangular está dada por:

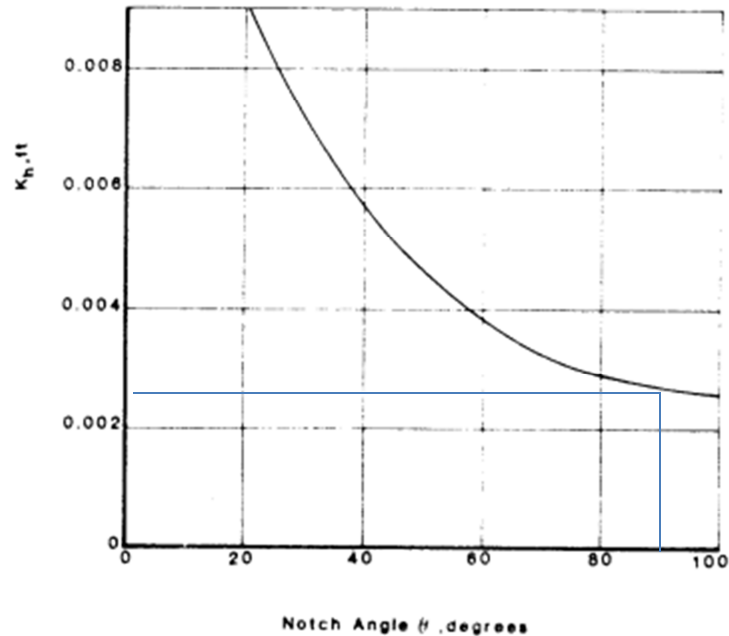
$$Q = \frac{8}{15} C_e \sqrt{2g} \tan(\theta/2) h_e^{2.5}$$

Donde:

$$h_e = \text{Altura efectiva} = h_1 + K_h$$

$$C_e = \text{Coeficiente efectivo de descarga}$$

Figura 40 K_h en función del ángulo θ del vértice (De Bos, 1976.)



Empíricamente determinamos el valor de K_h en función del ángulo de la abertura θ buscando en la Figura 37 en donde para un ángulo de 90° se tiene un $K_h=0.0028$ ft= 0.859 mm

$$h_e = \text{Altura efectiva} = 0.14 + 0.000859 = 0.140859$$

El coeficiente de descarga de un vertedero triangular varía poco con la velocidad inicial, pues la sección de la vena, como sucede en los orificios, es muy pequeña en relación al canal de aducción. Experimentalmente se comprueba que a partir de cierta carga, m y C son prácticamente constantes; a continuación van esas cargas límites y coeficientes de descarga correspondientes. Estos, con mayores cargas que esa limite pueden considerarse constantes.

Tabla 5 Coeficientes de descarga para distintas aberturas del vertedero triangular

□	15°	30°	45°	60°	90°	120°
h>	0.25	0.205	0.185	0.17	0.14	0.12 m
m	0.352	0.33	0.325	0.32	0.313	0.322
C	0.206	0.392	0.596	0.819	1.384	2.465
Ce	0.66	0.618	0.609	0.599	0.587	0.604

Buscando en la Tabla 3 el coeficiente de descarga para una abertura de 90° es:

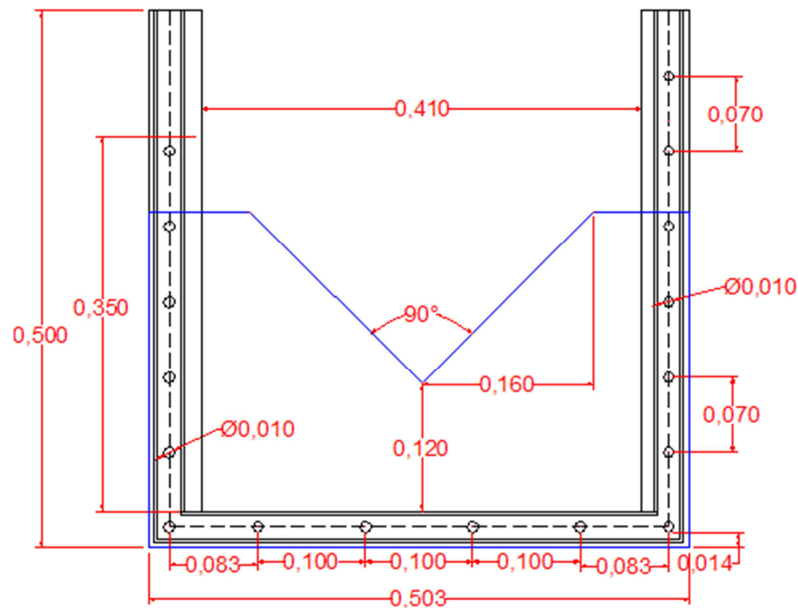
$$C_e = 0.587$$

Reemplazando en la ecuación teórica del vertedero triangular de cresta delgada se tiene que el caudal es:

$$Q = \frac{8}{15} * 0.587 * \sqrt{2 * 9.81} * t^{\frac{3}{2}} \left(\frac{90}{2}\right) * 0.140859^{2.5}$$

$$Q = 0.001033 \text{ m}^3/\text{s} = 10.33 \text{ Lps}$$

Figura 41 Esquema vertedero de cresta aguda triangular diseñado para el laboratorio de hidráulica



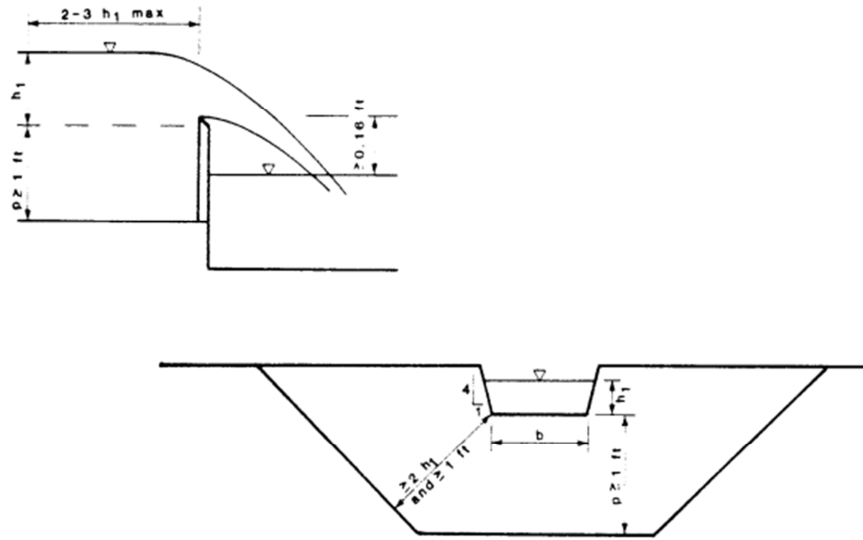
4.1.4. Vertedero de cresta aguda trapezoidal de Cipoletti

Es una modificación de un vertedero triangular, de cresta delgada totalmente contraído. El Ingeniero Cipoletti fue quien propuso este tipo de vertedero con el fin de eliminar la corrección y longitud efectiva de la cresta. El vertedero de Cipoletti es el más habitual de entre los trapeziales dado que su particular diseño la inclinación de sus lados es 1:4.

Aunque la exactitud de este vertedero en la medición de caudal no es tan grande como la que se puede obtener con los vertederos de cresta delgada ya sea bien rectangular o triangular, tiene dos ventajas significativas. Primero, la ecuación de caudal está dada por:

$$Q = 1.859 * b * h_1^{1.5}$$

Figura 42 Vertedero Cipoletti



Segundo, este vertedero puede ser utilizado en canales de acceso no rectangulares, siempre que cumpla con las limitaciones geométricas mostradas en la Figura 38 y:

- ✓ $\frac{h_1}{b} \leq 0.5$
- ✓ $0.06 \leq h_1 \leq 0.61 \text{ m}$

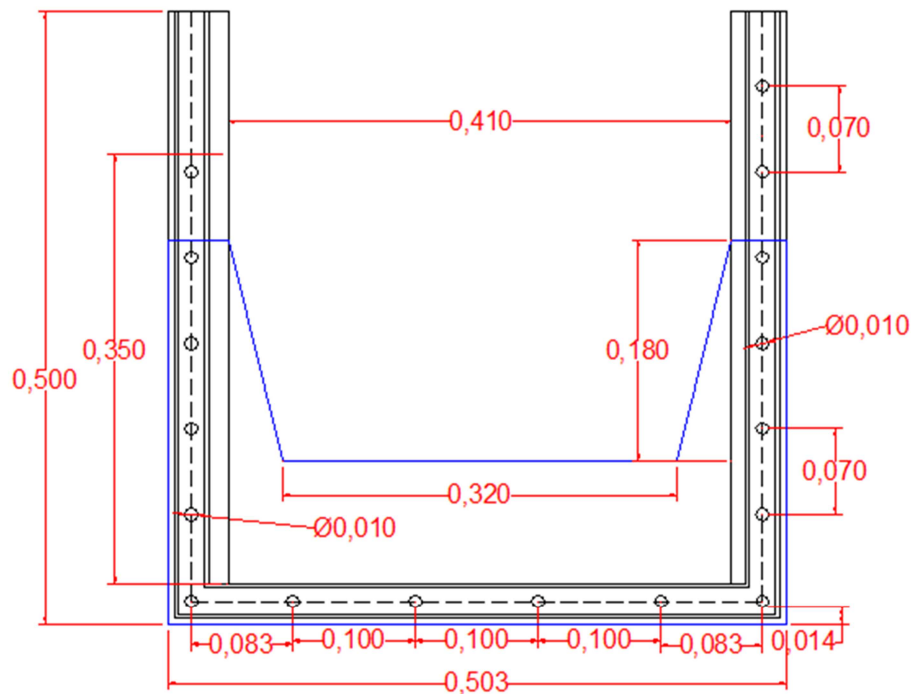
Asumiendo una carga para el vertedero $h_1=0.14 \text{ m}$ y un caudal máximo de $0.024 \text{ m}^3/\text{s}$, reemplazando en la ecuación de caudal se calcula la distancia b del vertedero:

$$0.024 = 1.859 * b * 0.1^{1.5} \rightarrow b = 0.32 \text{ m}$$

Se verifica que cumpla con las condiciones geométricas:

$$\frac{h_1}{b} = \frac{0.14}{0.32} = 0.44 \leq 0.5 \text{ ok}$$

Figura 43 Esquema vertedero de creta aguda trapezoidal Cipoletti diseñado para el laboratorio de hidráulica



4.2. CONTRACCION Y ASCENSO

Las contracciones y expansiones en canales artificiales constituyen la unión de dos canales con secciones transversales distintas, en longitudes relativamente cortas, con la finalidad de reducir o aumentar la velocidad del flujo, en el segundo caso lo que se impide es el depósito de material suelto.

Aplicando las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento, se determina la magnitud de la pérdida de energía que se produce por efecto del cambio de la sección en las transiciones. Las pérdidas de energía por fricción tienen poco efecto en las paredes de vidrio del canal de pendiente variable y puede despreciarse.

4.2.1. ASCENSO

Cuando la energía después del ascenso se hace igual a la crítica, se obtiene el $\Delta Z_{\text{máx}}$ y la profundidad del flujo en esta sección es igual a la profundidad crítica

para cualquier régimen de flujo aguas arriba. Usando la ecuación de energía crítica para un canal rectangular:

$$E_c = \frac{3}{2}y_c$$

Se calcula la altura crítica para un caudal máximo de diseño de 0.031 m³/s y para un ancho del canal de 0.412 m:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{0.031^2}{9.81 * 0.412^2}} = 0.083 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación de energía crítica:

$$E_c = \frac{3}{2} * 0.083 = 0.124 \text{ m}$$

Esta energía crítica sería la energía después del ascenso.

Para la energía antes de la estructura se parte de:

$$E = y + \frac{Q^2}{2 * g * A^2}$$

Para el caudal de 0.031 m³/s se tiene una profundidad aguas arriba de 0.14 m, por lo tanto:

$$E = 0.14 + \frac{0.031^2}{2 * 9.81 * (0.412 * 0.14)^2}$$

$$E = 0.155 \text{ m}$$

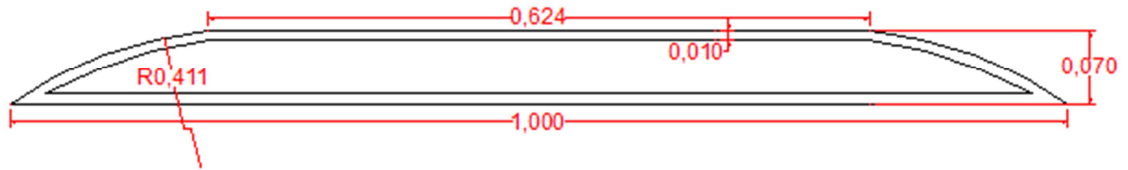
Finalmente la altura del ascenso en el fondo del canal, será igual a la diferencia de energías específicas:

$$E_1 - E_2 = \Delta Z$$

$$\Delta Z = 0.125 - 0.155 = 0.03 \text{ m}$$

Por comodidad en el diseño, se aconseja un $\Delta Z = 0.07 \text{ m}$.

Figura 44 Esquema ascenso diseñado para el Laboratorio de Hidráulica Vista lateral



4.2.2. CONTRACCIÓN

Cuando se presenta la contracción el caudal por unidad de ancho en la contracción es igual al caudal por unidad de ancho máximo, y esta característica señala precisamente el valor mínimo posible del ancho de la contracción B_2 , lo que a su vez implica que la altura en la sección 2 fuera la altura crítica. Aplicando la expresión:

$$q_{max} = 1.705 \sqrt{E_1^3}$$

Suponemos un ancho para la contracción de 0.3 m. Para que el ancho sea factible se verifica que el caudal por unidad de ancho q_2 sea menor que el $q_{m\acute{a}x}$.

$$q_2 = \frac{Q}{b_2}$$

$$q_2 = \frac{0.031}{0.3}$$

$$q_2 = 0.103 \rightarrow q_{m\acute{a}x} = 0.12$$

Verificación

$$q_{m\acute{a}x} > q_2$$

$$0.12 > 0.103$$

Aplicando la ecuación de caudal unitario máximo $q_{m\acute{a}x}$ calculamos la energía antes de la contracción:

$$0.12 = 1.705 \sqrt{E_1^3}$$

$$E_1 = 0.17$$

Conociendo la energía antes de la contracción se calcula la profundidad en está utilizando la ecuación de energía:

$$E_1 = y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot (by_1)^2}$$

$$0.17 = y_1 + \frac{0.031^2}{2 * 9.81 * (0.412 * y_1)^2}$$

Solucionando la ecuación de tercer grado nos resultan tres respuestas:

$$y_1 = -0.037$$

$$y_1 = 0.049$$

$$y_1 = 0.16$$

El valor correcto de la profundidad aguas arriba es $y_1=0.16$ m

Al aplicar la ecuación de energía entre ambas secciones, se tendrá:

$$E_1 = E_2$$

$$E_1 = y_2 + \frac{Q_2^2}{2g * (by_2)^2}$$

$$0.17 = y_2 + \frac{0.031^2}{2g * (0.3 * y_2)^2}$$

Solucionando la ecuación de tercer grado nos resultan tres respuestas:

$$y_2 = -0.05$$

$$y_2 = 0.076$$

$$y_2 = 0.14$$

El valor correcto de la profundidad aguas debajo de la contracción es $y_2=0.14$ m

Habrá que ver en qué régimen se encuentra el flujo. Para estos se calcula la profundidad crítica aguas arriba y aguas abajo, y se compara con la profundidad en cada una de ellas.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Y siendo:

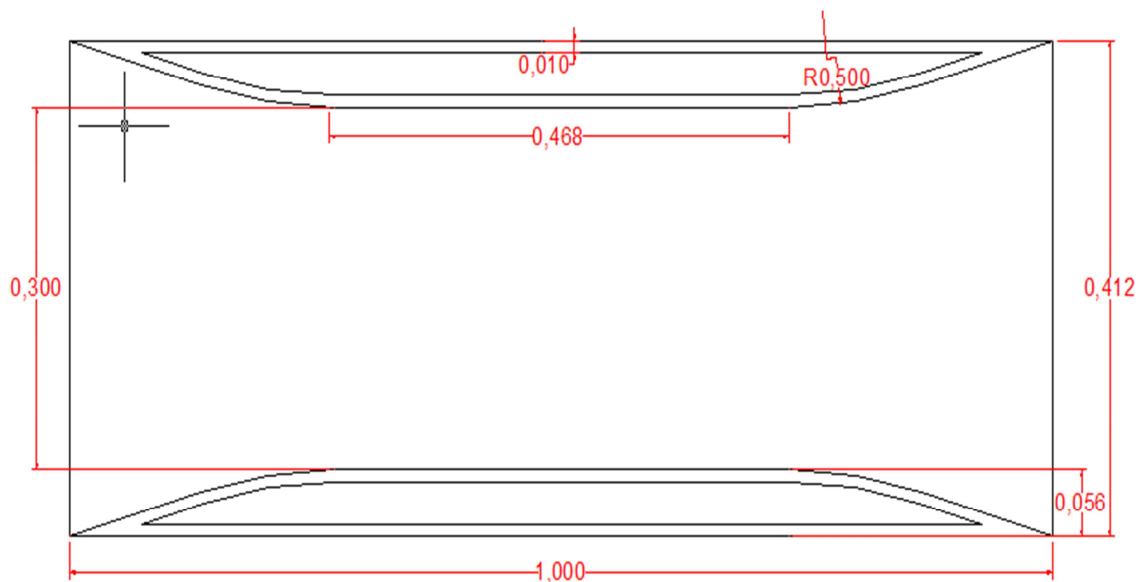
$$y_{c1} = \sqrt[3]{\frac{0.031^2}{9.81 * 0.412^2}} = 0.083 < 0.16$$

La profundidad crítica aguas abajo es:

$$y_{c2} = \sqrt[3]{\frac{0.031^2}{9.81 * 0.3^2}} = 0.103 < 0.14$$

Luego, el flujo se encuentra en la zona subcrítica y el nivel disminuye aguas abajo

Figura 45 Esquema contracción diseñada para el Laboratorio de Hidráulica Vista en Planta



5. CONCLUSIONES

En el diagnóstico realizado a los equipos y estructuras del laboratorio de Hidráulica, se encontró que este cuenta con una adecuada infraestructura física, pero no cuenta con la totalidad de equipos y estructuras hidráulicas necesarias para el desarrollo de las prácticas académicas y de investigaciones del área de hidráulica, y los que se tienen en su mayoría presentan un avanzado estado de deterioro por falta de mantenimiento, desgaste propio del uso y fallas en el manejo operacional. Es necesario que la escuela de ingeniería civil programe un mantenimiento con mayor frecuencia para todos los componentes del laboratorio (válvulas, compuertas, bombas, medidores...) que permita mejorar las condiciones de operación, confiabilidad y funcionamiento de los mismos, además de realizar el cambio de los equipos que no se pueden reparar y adquirir los necesarios para el desarrollo de las nuevas prácticas.

El laboratorio de hidráulica debe propiciar espacios que permitan a los estudiantes de ingeniería civil simular fenómenos y aplicar los conocimientos básicos de la asignatura Hidráulica Aplicada. Con esta labor se pretende reafirmar lo visto en clase y mantener el interés por la investigación en la materia. El desarrollo de prácticas en el laboratorio, salidas de campo y el uso software de simulación; son medios válidos que buscan siempre favorecer el proceso de aprendizaje en los estudiantes, logrando de esta manera complementar su formación profesional.

Se elaboró una guía metodológica para el laboratorio de hidráulica que cubriera la mayoría de temas vistos en la asignatura Hidráulica Aplicada, en la cual se implementaron nuevas prácticas que requirieron del diseño de nuevas estructuras y la creación de espacios para el desarrollo de las mismas. Las nuevas prácticas pretenden estimular a los estudiantes con la finalidad de formar investigadores para este campo.

Referente a la práctica N°10 de uso de herramientas computacionales, es oportuno realizarla en horario normal de clase con el fin de tener el

acompañamiento por parte del docente, ya que esto propicia de manera dinámica el aprendizaje significativo del estudiante, y a su vez facilita el desarrollo de las competencias cognitivas.

Se recomienda que la guía del laboratorio de hidráulica sea actualizada periódicamente de acuerdo a los requerimientos de la asignatura. Es aconsejable la creación de nuevos espacios de investigación donde el estudiante pueda realizar modelos hidráulicos a escala que permitan la formulación de nuevas prácticas en el futuro. De la misma manera con la implementación del uso del software Arc Gis, Hec Ras y la extensión Hec GeoRas, se debe propender por robustecer la práctica creada, anexándole situaciones de análisis más específicas que lleven a conformar en algún tiempo prudencial un manual en español completo para el uso de los programas.

6. BIBLIOGRAFIA

CHANSON, H. (2002). Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos. McGraw Hill Interamericana de Colombia Ed.

CHOW, V.T. (1959). Hidráulica de los Canales Abiertos, McGraw Hill Ed. Co., New York – Bogotá.

DOMINGUEZ, F. (1950). Hidráulica. Santiago de Chile.

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

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.

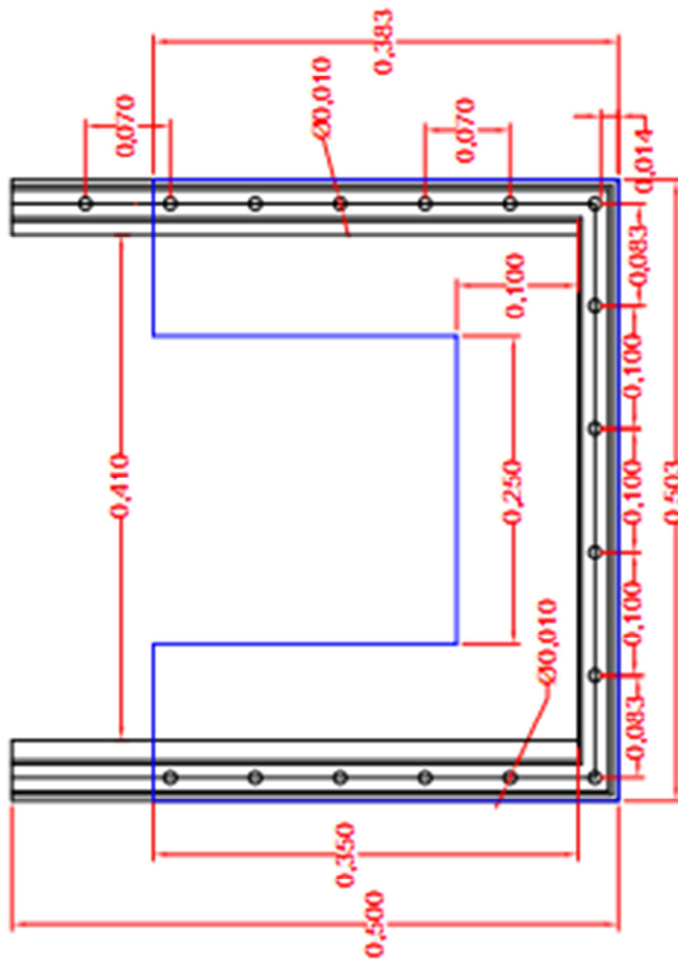
Santaella, R.A. (2007). *Diseño de la nueva plataforma científica, tecnológica y docente de laboratorio de hidráulica*. Proyecto como requisito para optar al título de ingeniera civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

SOTELO Ávila, G.

(2002). Hidráulica de canales. Ed. UNAM, Facultad de Ingeniería, México, D.F.


ANEXO A

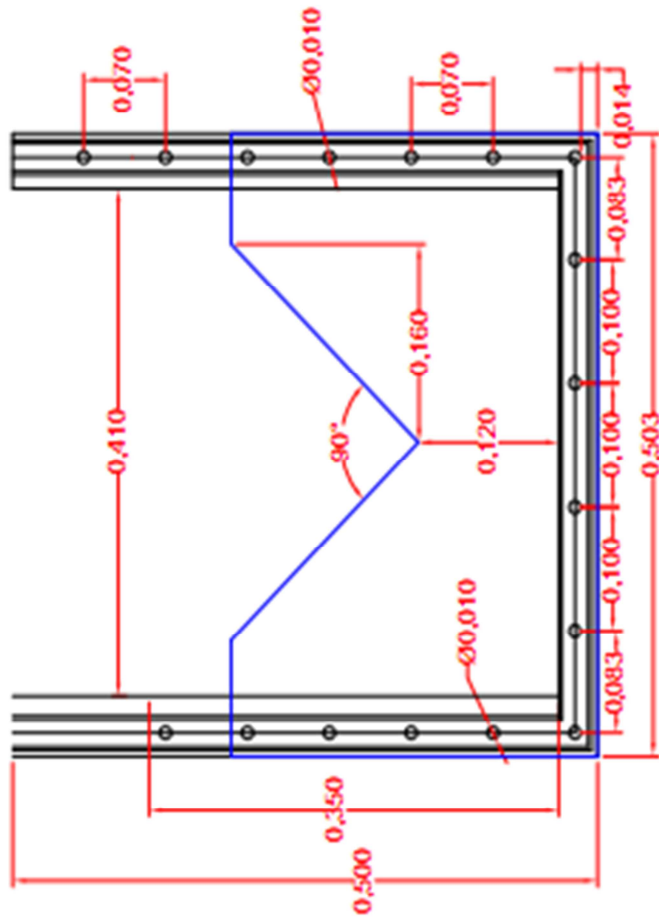
PLANOS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS



$$Q = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2gb} h_e^{3/2}$$

INFORMACIÓN	
ESTRUCTURA	VERTEDERO RECTANGULAR
AREA	0.1304 m ²
MATERIAL	ACRILICO
ESPESOR	0.01 m

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE FISICO MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		PROYECTO: GUÍA METODOLÓGICA PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA	MATERIA: VERTEDERO RECTANGULAR DE CRESTA AGUDA	FECHA: A DEMAYO DE 2022
	TÍTULO: DISEÑO DE VERTEDEROS AGUDOS ESTADOS UNIDOS	FECHA: DEL 11 DE FEBRERO AL 11 DE ABRIL DE 2022	ESCALA: 1/6	FECHA: DEL 11 DE FEBRERO AL 11 DE ABRIL DE 2022	ESCALA: 1/6



$$Q = \frac{8}{15} C_e \sqrt{2g} \tan(\theta/2) h_e^{2.5}$$

INFORMACIÓN	
ESTRUCTURA	VERTEDERO TRIANGULAR
AREA	0.1321 m ²
ANGULO	90°
MATERIAL	ACRILICO
ESPESOR	0.01 m



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:
 GUÍA METODOLÓGICA
 PARA EL LABORATORIO
 DE HIDRÁULICA

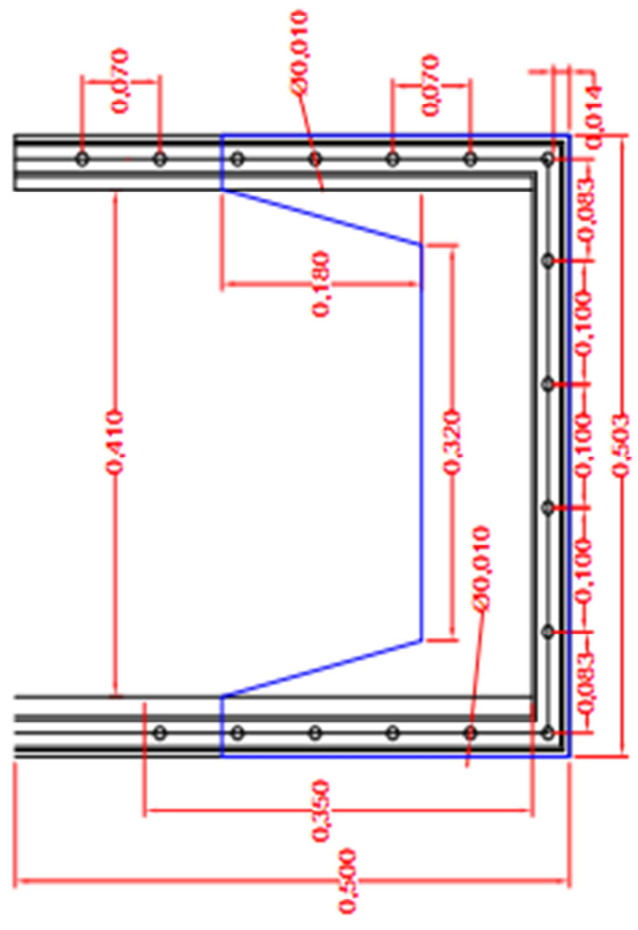
ASIGNATURA:
 VERTEDERO TRIANGULAR
 DE CRESTA ACUDA

FECHA:
 4 DE MAYO DE 2022

FECHA:
 11/5


FECHA:
 2/6

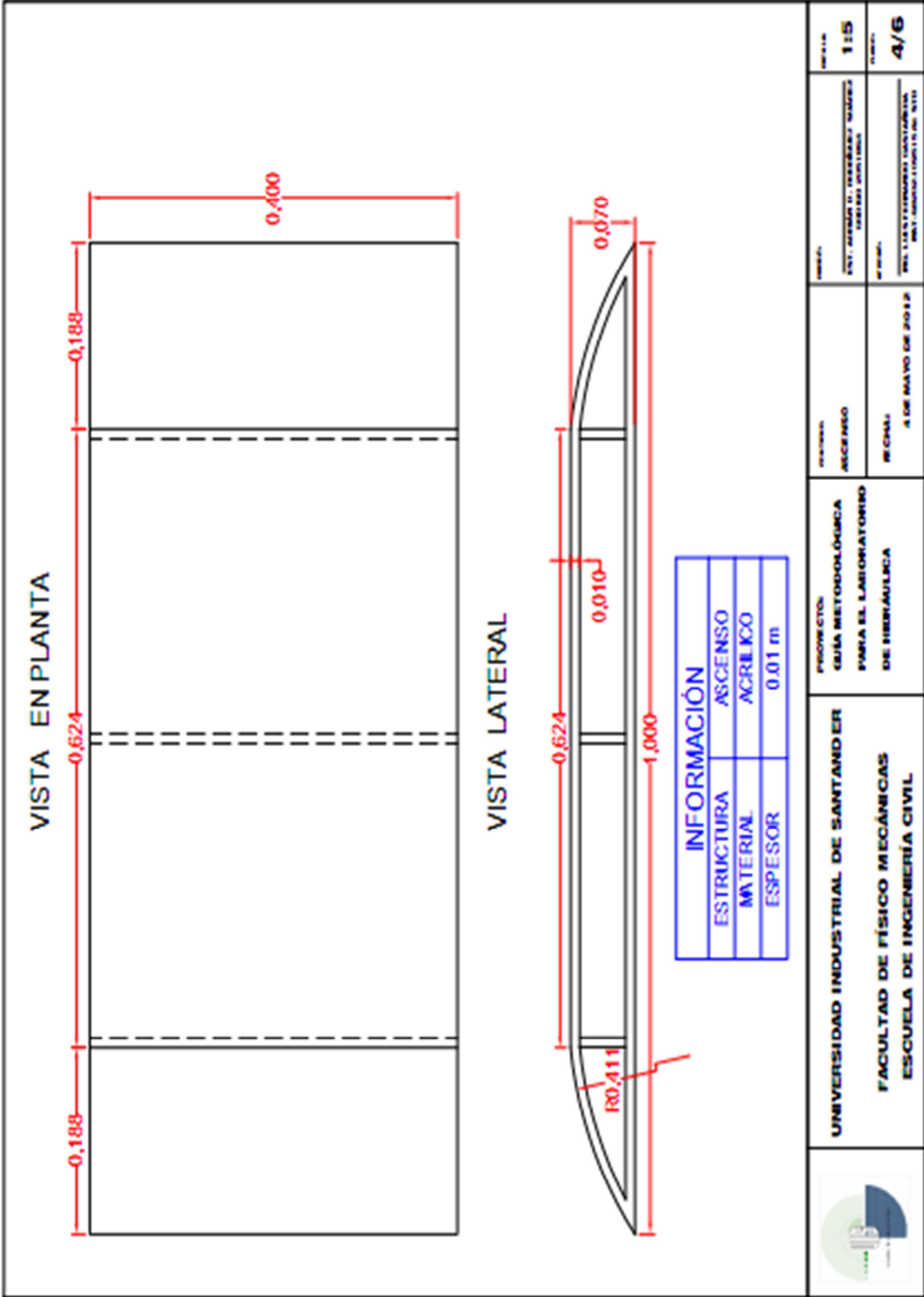
TITULO: LABORATORIO DE HIDRÁULICA
 PARA EL VERTEDERO TRIANGULAR
 DE CRESTA ACUDA



$$Q = 1.859 * b * h_1^{1.5}$$

INFORMACIÓN	
ESTRUCTURA	VERTEDERO TRAPEZOIDAL
ÁREA	0.092 m ²
INCLINACIÓN LADOS	1:4
MATERIAL	ACRILICO
ESPESOR	0.01 m

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO: GUÍA METODOLÓGICA PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA	OBJETIVO: VERTEDERO TRAPEZOIDAL DE CRISTA ACORONA	TÍTULO: DISEÑO DE UN VERTEDERO TRAPEZOIDAL CON CRISTA ACORONA	SEMESTRE: 115
	FECHA: 4 DE MAYO DE 2012			FECHA: 4 DE MAYO DE 2012	FECHA: 4 DE MAYO DE 2012	FECHA: 4 DE MAYO DE 2012



VISTA EN PLANTA

VISTA LATERAL

INFORMACIÓN	
ESTRUCTURA	ASCENSO
MATERIAL	ACRILICO
ESPESOR	0.01 m



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:
 GUÍA METEOROLÓGICA
 PARA EL LABORATORIO
 DE HIDRÁULICA

FECHA:
 4 DE MAYO DE 2022

INSTITUCIÓN:
 UNIV. INDUSTRIAL DE SANTANDER

HOJA:
 1/5

FIGURA:
 4/6

VISTA EN PLANTA



INFORMACIÓN	
ESTRUCTURA	CONTRACCIÓN
MATERIAL	ACRILICO
ESPESOR	0.01 m
ALTURA	0.4 m
CONTRACCIÓN	



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

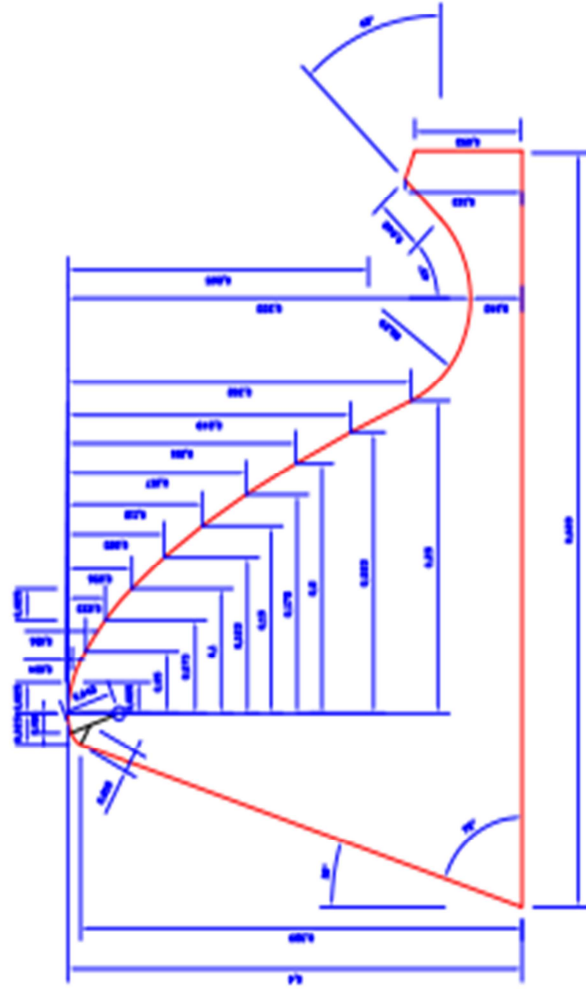
PROYECTO:
 GRUPO METEOROLÓGICA
 PARA EL LABORATORIO
 DE HIDRÁULICA


CONTRACCIÓN N.
 FECHA:
 A DE MAYO DE 2022

INSTITUCIÓN:
 INSTITUCIÓN EDUCATIVA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

HOJA N.
 115
 DE
 5/6

SALTO DE SKI



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO: GUÍA METODOLÓGICA PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA	FECHA: SALTO DE SKI	NOMBRE: EST. ANDRÉS EL ESTEBANES RAMÍREZ CÉCILENNE SUAREZ	FECHA: 11/5
			FECHA: 18 DE MAYO DE 2022	NOMBRE: INSTITUTO TECNOLÓGICO SANTANDER INSTITUTO TECNOLÓGICO SANTANDER	NÚMERO: 6/6	

ANEXO B

**GUÍA METODOLOGICA PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

GENERALIDADES

T: Espejo de agua o superficie libre de agua

Número de Froude: Es un número adimensional, el cual representa la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales que actúan sobre el fluido. El ingeniero hidrodinámico y arquitecto naval inglés William Froude (1810-1879) fue quien determinó este parámetro, debido a esto lleva su nombre. Se define el número de Froude como:

$$Fr = \frac{Q^2 T}{g A^3} = \frac{v}{\sqrt{gy}}$$

Velocidad media: Es la velocidad del flujo que se encuentra uniformemente distribuida a través de la sección del conducto y se representa como la relación entre el caudal y el área de la sección.

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

Caudal: Volumen de fluido que pasa en la unidad de tiempo por una sección determinada.

$$Q = VA$$

Caudal por unidad de ancho: Relación entre el caudal y la base del canal

$$q = \frac{Q}{b}$$

Número de Reynolds: Número adimensional que caracteriza el estado o comportamiento del flujo en canales. Este número recibe su nombre en honor al ingeniero y físico irlandés Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo reportó en 1883. Encontró que el tipo de flujo adquirido por un líquido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y las propiedades físicas del fluido.

$$Re = \frac{V * Rh}{\nu}$$

Radio Hidráulico: Expresa la relación entre el área mojada y el perímetro mojado. Es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas.

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

Altura crítica: Es la altura hidráulica que existe cuando el caudal es el máximo para una energía específica determinada, o la altura en la que ocurre un caudal determinado con la energía específica mínima.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Pendiente crítica: Es el valor particular de la pendiente del fondo del canal para la cual este conduce un caudal Q en régimen uniforme y con energía específica mínima, o sea, que en todas secciones se tiene la profundidad crítica.

Velocidad crítica: Es la velocidad media cuando el caudal es el crítico.

Caudal crítico: Es el caudal máximo para una energía específica determinada, o el caudal que se producirá con la energía específica mínima.

PRÁCTICA 1. CONSERVACIÓN DE ENERGÍA Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Objetivos generales

- ✓ Aplicar y verificar experimentalmente las ecuaciones de conservación de energía y cantidad de movimiento en el canal rectangular en presencia de contracciones o elevaciones que se presenten en este.

Objetivos específicos

- ✓ Observar el comportamiento del flujo en el canal abierto y comprender los conceptos de energía específica, energía mínima, profundidad crítica, cambio de régimen, y alturas alternas.
- ✓ Calcular la fuerza que realiza el fluido sobre la compuerta por medio de la ecuación de conservación de cantidad de movimiento.
- ✓ Según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia, identificar si el flujo es laminar, turbulento o transicional.
- ✓ Analizar los conceptos que se aprecian en la gráfica de curva específica.
- ✓ Evaluar la disipación de energía que se presentan en la contracción del canal.

Justificación

El estudio de la ingeniería hidráulica de canales nos ha permitido determinar los procesos que intervienen en el transporte de agua. En esta práctica se hace una introducción a la ley de conservación de energía y cantidad de movimiento. Esta se realizará usando un canal de sección rectangular en presencia de flujo libre, y se analizará el comportamiento del flujo en transiciones suaves. De esta forma se pretende obtener destreza en el diseño y desempeño de estructuras hidráulicas.

Marco Teórico

CONSERVACIÓN DE ENERGIA

Energía Total (H): La energía total representa la suma de las energías de posición, presión y velocidad:

$$H = E_{\text{posición}} + E_{\text{presión}} + E_{\text{velocidad}}$$

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Energía específica (E): Es la carga hidráulica total en la sección referida al fondo del canal (tomando $z = 0$ en el fondo del canal). Resulta de la simplificación de la ecuación de Bernoulli, y se refiere a la energía por unidad de peso $\left(\frac{m \cdot kg}{kg}\right)$

$$E = z + y \cdot \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Considerando pendientes pequeñas en el canal de hasta 5° , efectos de rozamiento despreciables $\alpha = 1$ y la ecuación de continuidad $Q = v \cdot A$, encontramos que la energía en la sección del canal será:

$$E = y + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \quad (P.1.2.1)$$

Debido a que la ecuación se encuentra referenciada al fondo del canal "y", cada vez que este ascienda o descienda, la energía cambiará.

Figura 1.1 Curva de energía específica

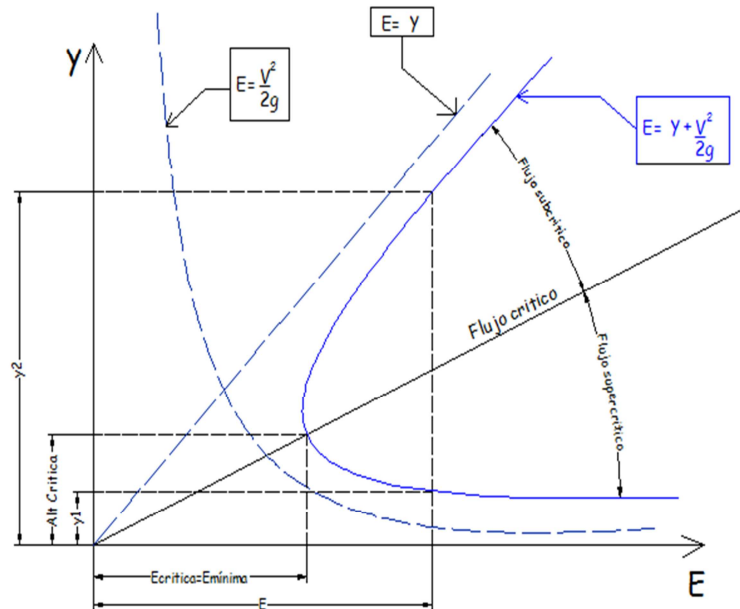
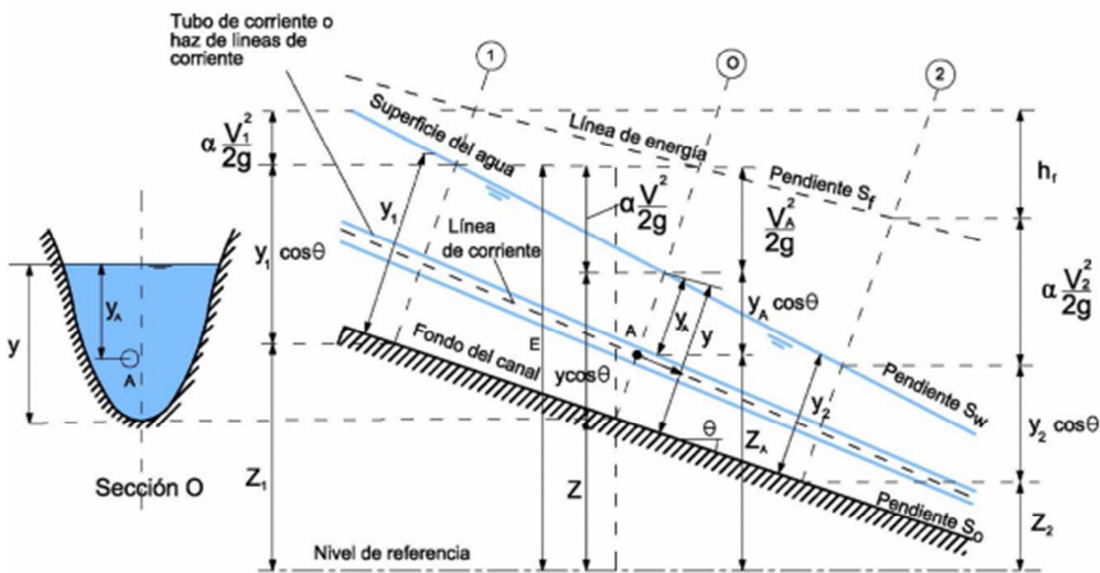


Figura 1.2 Aplicación de la ecuación de Bernoulli a un canal a flujo libre



Energía Crítica: Es la energía mínima con la que el caudal fluirá por el canal. Esta representa el punto límite entre el flujo sub-crítico y supercrítico. Es una relación entre la energía y una profundidad y_c . La ecuación de energía crítica se halla derivando la ecuación de energía E e igualando a cero (0) para minimizar:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{g} \left(\frac{1}{A^3} \frac{dA}{dy} \right)$$

El diferencial de área mojada dA cerca a la superficie es igual a $T dy$. Ahora $dA/dy=T$, y la profundidad hidráulica es $y=A/T$; luego la anterior ecuación se convierte en:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}$$

En donde Froude es:

$$Fr = \frac{Q^2 T}{g A^3}$$

La energía crítica se presentara bajo la condición en la que el número de Froude sea igual a uno:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2 T}{g A^3} = 0 \rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

Se puede calcular la altura crítica para un canal rectangular teniendo que $T = b$ y $A = by$ reemplazando en la ecuación de energía crítica:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{(by_c)^3}{b}$$

Despejando la altura critica:

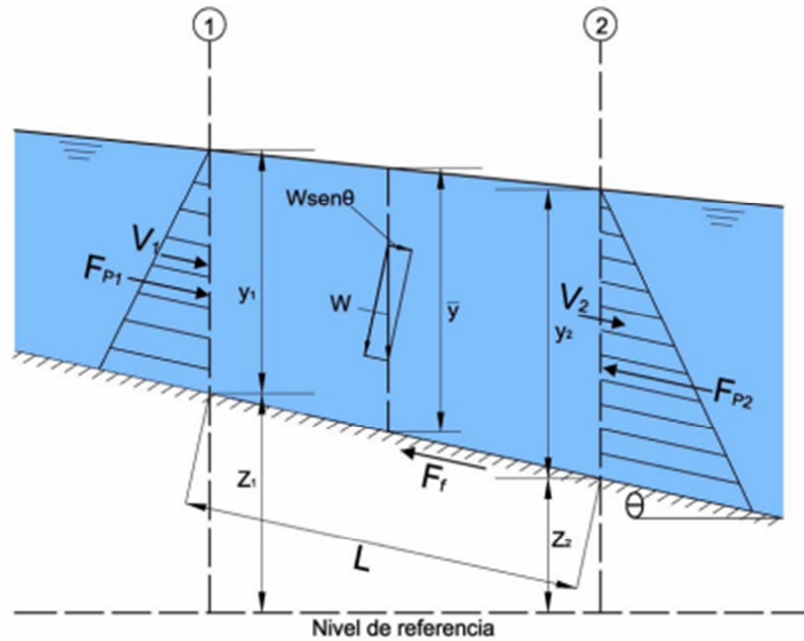
$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Reemplazando la altura crítica en la ecuación de energía específica se encuentra la energía crítica para el canal rectangular:

$$E_c = y_c + \frac{b^2 y_c^3 g}{2g(b y_c)^2} = \frac{3y_c}{2}$$

Como se había dicho anteriormente el flujo crítico se presentara cuando el número de Froude sea igual a 1, y este se ubicara en el medio del flujo sub-crítico y el flujo supercrítico.

Figura 1.4 Aplicación del principio de momentum



Acorde a la figura tenemos que la conservación entre las dos secciones será:

$$\delta Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) = F_{P1} - F_{P2} + W \sin \theta - F_f$$

Fuerza específica: Expresa el impulso del flujo que pasa a través de la sección del canal por unidad de tiempo y por unidad de peso del agua y la fuerza por unidad de peso del agua. Utilizando esta ecuación a un tramo corto horizontal en donde se desprecian las fuerzas externas de fricción, el peso del agua, coeficiente de Bussines $\beta = 1$ y $\theta = 0$, resulta:

$$\frac{Q\gamma}{g}(v_2 - v_1) = F_{P1} - F_{P2}$$

Donde las fuerzas hidrostáticas son:

$$F_{P1} = \gamma \bar{y}_1 A_1$$

$$F_{P2} = \gamma \bar{y}_2 A_2$$

Reemplazando en la ecuación de movimiento obtenemos que:

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \bar{y}_1 A_1 = \frac{Q^2}{gA_2} + \bar{y}_2 A_2$$

Simplificando para un canal rectangular donde $Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$, $A_1 = b y_1$,
 $A_2 = b y_2$, $\bar{y}_1 = \frac{y_1}{2}$, $\bar{y}_2 = \frac{y_2}{2}$ y $Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g y_1}}$

$$\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 - (2Fr_1^2 + 1)\left(\frac{y_2}{y_1}\right) + 2Fr_1^2 = 0$$

$$\left[\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 + \frac{y_2}{y_1} - 2Fr_1^2\right]\left(\frac{y_2}{y_1} - 1\right) = 0$$

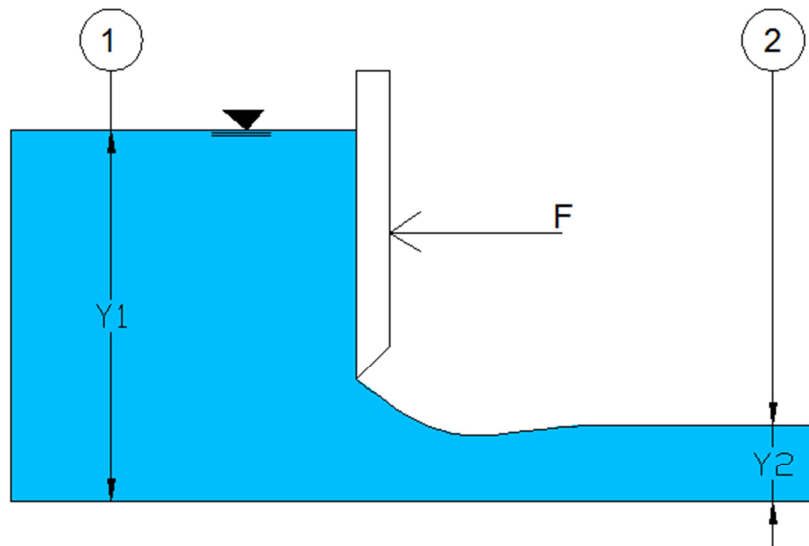
$$\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 + \frac{y_2}{y_1} - 2Fr_1^2 = 0 \quad (P. 1.4.5)$$

Resolviendo la ecuación cuadrática:

$$y_2 = y_1 \left(\frac{\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1}{2} \right) \quad (P. 1.4.6)$$

Fuerza sobre una compuerta: Por medio de la ecuación de fuerza específica encontraremos la fuerza que realiza el fluido sobre la compuerta.

Figura 1.5 Fuerza sobre una compuerta



Siendo el flujo de momentum por unidad de ancho:

$$M = \frac{y^2}{2} + \frac{q^2}{g * y}$$

Y la fuerza sobre la compuerta por unidad de ancho:

$$\frac{F}{\rho * b} = M_1 - M_2$$

$$F = \frac{\rho g (y_1^2 - y_2^2)}{2} - \frac{\rho q^2 (y_1 - y_2)}{y_1 y_2}$$

De la ecuación de energía tenemos que:

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}$$

$$q^2 = \frac{2gy_1^2 y_2^2}{(y_1 + y_2)}$$

Reemplazando en la ecuación de fuerza por unidad de ancho:

$$F = \frac{\rho * g * (y_1 - y_2)^3}{2 * (y_1 + y_2)}$$

Dónde:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Procedimiento

Parte A

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
3. Bajar la compuerta No.1 de tal forma que se genere un resalto hidráulico y poner un obstáculo (vertedero de cresta ancha) después del resalto.
4. Para las secciones 1,2,3, y 4 calcular:

La velocidad media V, en m/s, como:

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

Caudal por unidad de ancho q, en m²/s,

$$q = \frac{Q}{b}$$

La carga de velocidad $\frac{v^2}{2 * g}$, en m

Donde g es la aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2

5. Clasificar el flujo en cada sección del canal de acuerdo con la importancia de las fuerzas en los siguientes casos:

✓ de inercia respecto de la viscosa, según el número de Reynolds

$$Re = \frac{V * Rh}{\nu}$$

Donde ν es la viscosidad cinemática del agua. $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Rh = \frac{A}{P} = \frac{A}{b + 2y}$$

El flujo es:

Tabla 1.1 Flujo según el número de Reynolds

Situación de la corriente	Flujo en canales abiertos (Henderson, 1966)	Tubo de flujo (Schlichting, 1979)
Laminar	Re < 4	Re < 5
Transición	4 < Re < 100	5 < Re < 75
Totalmente turbulento	100 < Re	75 < Re

✓ de inercia respecto de la de gravedad, según el número de Froude

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * y}} = \frac{Q^2 T}{g A^3}$$

Sub-crítico, cuando $Fr < 1$

Crítico, cuando $Fr = 1$

Supercrítico, cuando $Fr > 1$.

6. Conservación de energía

Conociendo el valor del caudal, la altura inicial y_1 y el ancho del canal, podemos aplicar la ecuación de conservación de la energía específica, igualando dicha energía en los puntos 1 y 2 del canal, así:

$$E_1 = E_2$$

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

Como $Q = \frac{V}{A}$, entonces $V = Q \cdot A$

El ancho del canal rectangular de vidrio del laboratorio es igual a 41.2 [cm]= 0.412 [m].

Teniendo estos valores, podemos calcular el valor de y_2 teórico, así:

$$y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

Calculamos y_c :

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

De la ecuación de conservación de energía nos resultan tres raíces. El valor que se encuentre más cercano al y_c , será el que elegiremos.

Procedemos a comparar el $y_{\text{teórico}}$ con el y que tomamos en el laboratorio y calculamos el error.

$$\%E = \left| \frac{\text{Teórico} - \text{Experimental}}{\text{Teórico}} \right| * 100$$

7. Cantidad de movimiento

Conocido el valor de y_2 por medio de la ecuación de conservación de energía, procedemos a calcular la altura después del resalto apoyándonos en el fenómeno de conservación de cantidad de movimiento.

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$y_3 = y_2 \left(\frac{\sqrt{1+8Fr^2}-1}{2} \right), \quad y_2 \text{ es el valor teórico e} \text{co} \text{tr} \text{ado}$$

Ahora para calcular el porcentaje de error, así:

$$\%E = \left| \frac{\text{Teórico} - \text{Experimental}}{\text{Teórico}} \right| * 100$$

8. Fuerza sobre la compuerta por unidad de ancho

Siendo el flujo de momentum por unidad de ancho: $M = \frac{y^2}{2} + \frac{q^2}{g*y}$

Y la fuerza sobre la compuerta por unidad de ancho: $\frac{F}{\rho*B} = M_1 - M_2$

$$F = \frac{\rho * g * (y_1 - y_2)^3}{2 * (y_1 + y_2)}$$

Dónde:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

9. Realizar los cálculos de los puntos 4, 5, 6,7 y 8 para 5 caudales distintos.

Parte B

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
3. Abrir todas las compuertas y poner un obstáculo triangular, de tal forma que el triángulo más corto quede agua arriba.
4. Calcular y dibujar la curva de energía específica-tirante para 5 caudales distintos.

$$E = y + \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

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

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Ubicar todas las gráficas de las curvas de energía en una solo plano, identificando el tirante crítico y_c y tirante normal, que corresponda a cada caudal.

Observaciones del plano

- La línea de la plantilla del canal y el umbral en color negro y trazo continuo
- Debe estar acotado y a escala
- La línea de energía en color rojo
- La línea de tirantes críticos en color negro y trazo discontinuo.

Responder

- a) ¿Qué es la energía específica y a que está directamente relacionada?
- b) ¿Qué es profundidad crítica y en qué secciones del canal debería presentarse?
- c) ¿Qué relación tienen las profundidades alternas en la curva de energía específica?
- d) Explique el cambio de régimen sub-crítico a supercrítico en las secciones de control.
- e) ¿Qué características tiene un régimen sub-crítico y supercrítico?
- f) ¿Qué implica la variación del caudal en la curva de energía específica?
- g) ¿Qué es una estructura de control?
- h) Mencione dos estructuras de control presentes en el laboratorio.

PRÁCTICA 2. TRANSICION EN FLUJO SUBCRITICO

Objetivos generales

- ✓ Analizar el comportamiento del fluido ante una transición

Objetivos específicos

- ✓ Comprobar las ecuaciones de conservación de energía, continuidad, y cantidad de movimiento
- ✓ Determinar la altura de la lámina aguas abajo de la transición

Justificación

Abordar el tema del comportamiento del agua ante transiciones en el transporte del agua en canales, resulta de gran aplicación, ya que estas condiciones se presentan constantemente, ya sea por la topografía del terreno o el aumento o disminución de caudal transportado. El buen manejo de estas permite optimizar el desempeño y eficiencia del diseño de las estructuras hidráulicas. Encontramos transiciones en canales de riego, alcantarillas, acueductos y plantas de tratamiento.

Marco Teórico

Transiciones

Son el resultado de contracciones y expansiones que se presentan a lo largo de los canales, las cuales afectan el nivel de la lámina de agua. Al encontrar distintas secciones transversales, resulta de gran aplicación a los procesos hidráulicos, ya que podemos reducir o aumentar la velocidad del flujo.

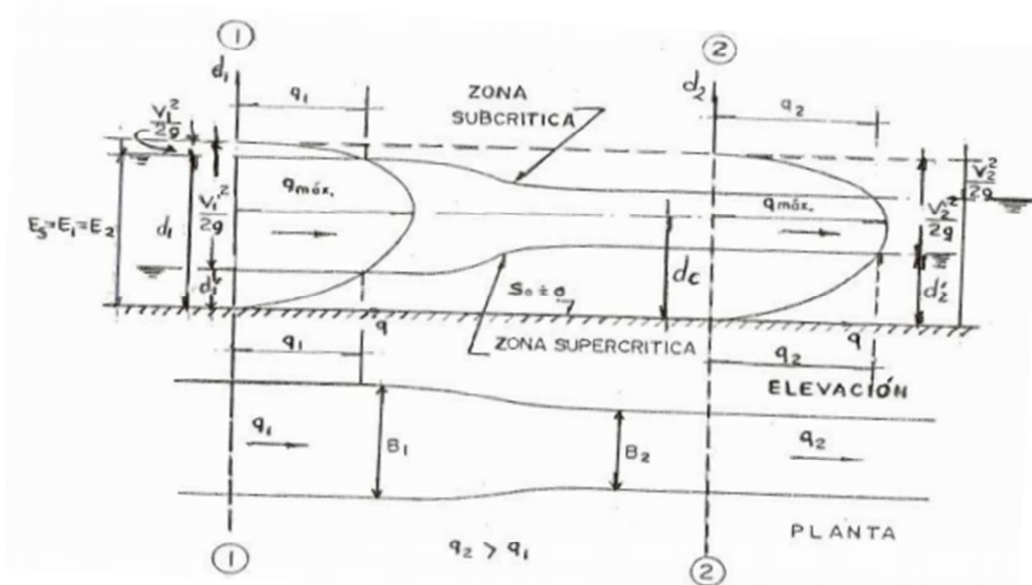
Encontramos cuatro tipos de transiciones, como son:

- ∂ Ascensos
- ∂ Descensos
- ∂ Contracciones
- ∂ Expansiones

Por lo general en el diseño de estas transiciones se busca que las pérdidas sean pequeñas. Además la superficie de las paredes de nuestro canal es muy lisa, logrando aún más desprestigiar las pérdidas generadas por fricción h_f . Esto

nos permite utilizar la ecuación de conservación de energía en el análisis a realizar.

Figura 2.1. Curva de energía específica en un tramo de canal rectangular sujeto a una reducción



Analizando el comportamiento de la curva de energía específica cuando se presenta una transición, encontramos que la altura de la lámina de agua depende directamente del tipo de régimen que se tenga aguas arriba de la transición, de donde podemos sacar las siguientes conclusiones:

- ✓ Régimen sub crítico aguas arriba, implica menores tirantes aguas abajo
- ✓ Régimen supercrítico aguas arriba, implica mayores tirantes aguas abajo

Expansiones y contracciones

Se refiere al cambio de área en la sección transversal. Esto puede generar aumento o disminución en la velocidad del flujo. Debido a que conocemos la profundidad y la velocidad de la corriente aguas arriba de la transición y no hay disipación de energía, podemos demostrar fácilmente la ecuación de energía específica, determinando de esta forma si la lámina de agua aumenta o disminuye aguas abajo. Igualando las energías aguas arriba y aguas abajo tenemos que:

$$E_1 = E_2$$

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2}$$

Para nuestro caso las pérdidas de energía h_{f1-3} serán despreciables (canal de vidrio). Por consiguiente nuestra ecuación se puede escribir como:

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

Si conocemos la geometría del canal y el caudal aguas arriba de la transición podremos conocer el comportamiento de la superficie aguas abajo, de la siguiente forma:

$$E_1 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Dónde:

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

$$A = by$$

Reemplazando en la ecuación de conservación de energía, nos resultara una ecuación de tercer grado, con la cual se podrá calcular la altura de lámina aguas abajo:

$$E_1 = y_2 + \frac{Q^2}{2g(by_2)^2}$$

Con la anterior ecuación conociendo la energía aguas arriba se puede calcular la altura de la lámina de agua aguas abajo. Como se observa esta ecuación resulta de ser de tercer grado, por lo tanto tomaremos el resultado que más se ajuste a la altura crítica.

Cuando se presenta la contracción el caudal por unidad de ancho en la contracción es igual al caudal por unidad de ancho máximo, y esta característica señala precisamente el valor mínimo posible del ancho de la contracción B_2 , lo que a su vez implica que la altura en la sección 2 fuera la altura crítica. Aplicando la expresión:

$$q_{max} = 1.705 \sqrt{E_1^3}$$

Conociendo el concepto de caudal por unidad de ancho, se concluye fácilmente que para valores dados de E y Q, el ancho máximo posible de la plantilla del canal rectangular es:

$$B_{min} = \frac{Q}{1.705\sqrt{E_1^3}}$$

Que el caudal por unidad de ancho máximo sea mayor que el caudal por unidad de ancho en la sección, implica que el ancho es factible; de lo contrario implicaría una elevación de todas las alturas e imposibilita tener la altura antes de la contracción, es decir se crearía una curva de remanso y el problema sería diferente.

Ascensos y descensos

Este tipo de transición se presenta cuando el nivel del fondo del canal desciende o sufre una sobre elevación, propiciando un régimen sub crítico. Si la distribución de presiones es hidrostática y $\alpha = 1$, encontramos que el total de la cabeza H en la sección 1 y 2 será igual, resultando ser la ecuación:

$$H_1 = H_2$$

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$E_1 = E_2 + Z_2 - Z_1$$

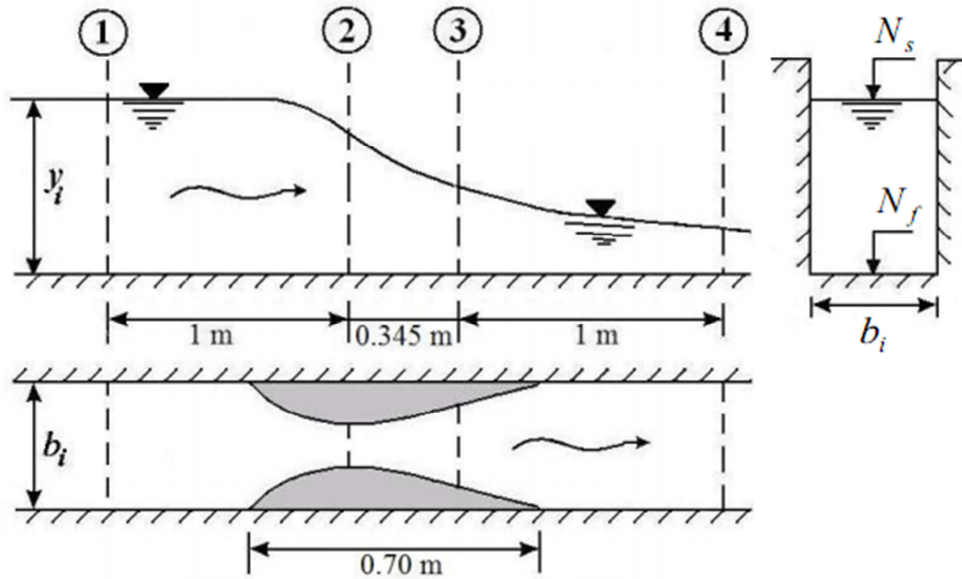
$$E_1 = E_2 \pm \Delta Z$$

Procedimiento

Parte A

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Poner en el canal la contracción gradual.
3. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
4. Para las secciones 1,2,3, y 4 medir la altura de la lámina de agua:

Figura 2.2. Perfil longitudinal sección y vista en planta del canal



5. Determinar en las secciones 1,2,3, y 4:

La velocidad media V , en m/s, como:

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

El gasto unitario q , en m^2/s ,

$$q = \frac{Q}{b}$$

La carga de velocidad $\frac{v^2}{2 \cdot g}$, en m

Energía específica, como:

$$E = y + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2

6. Determinar el tirante crítico del flujo

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

7. Para la altura crítica calcular:

El gasto unitario q , en m^2/s ,

$$q = \frac{Q}{b}$$

Verificar que $q_{max} > q$, donde $q_{max} = 1.705\sqrt{E_1}$

La velocidad media V_c , en m/s , como:

$$v_c = \frac{q}{y_c}$$

La carga de velocidad $\frac{v_c^2}{2 * g}$, en m

Energía específica mínima, como:

$$E_{min} = y_c + \frac{v_c^2}{2 * g}$$

8. Determinar la E_4 a partir de la E_1 , utilizando la ecuación de conservación de energía específica.

$$E_1 = E_{4*}$$

$$E_{4*} = y_1 + \frac{Q_1^2}{2gb_1^2y_1^2}$$

Comparar esta energía con la que se calculó en el punto 4, y hallar su error:

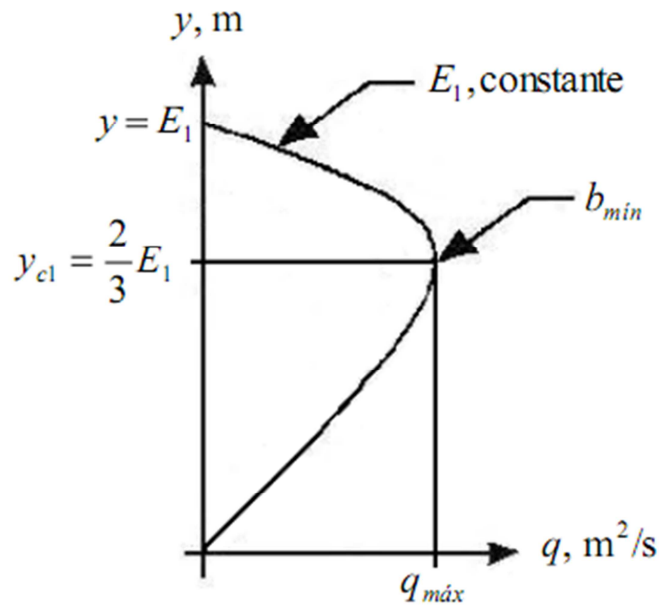
$$Error = \left| \frac{E_{4*} - E_4}{E_{4*}} \right| * 100\%$$

9. Calcular y dibujar la curva de gasto unitario

$$E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy^2}$$

$$q = \sqrt{(E_1 - y_1)2gy_1^2}$$

Figura 2.3. Curva de energía específica



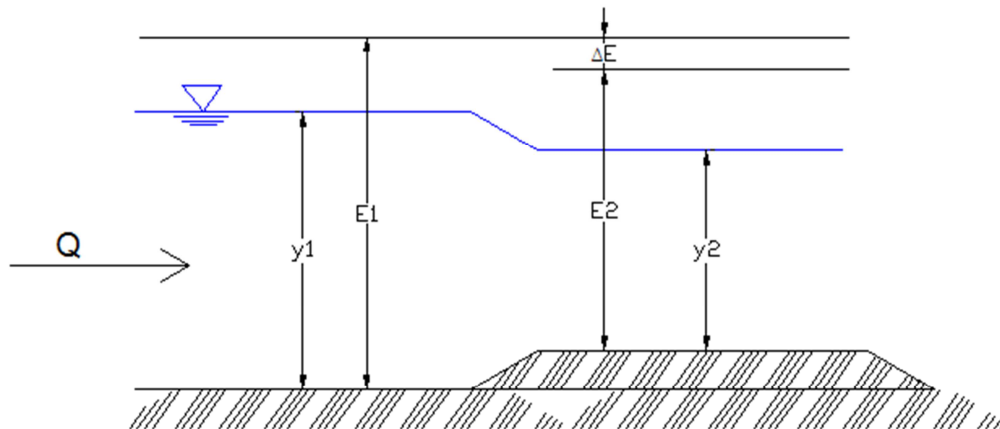
10. Hallar el $\Delta Z_{\text{máx}}$

$$\Delta Z_{\text{máx}} = E_1 - E_c$$

Parte B

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Poner en el canal el obstáculo que creara el ascenso en el canal.
3. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
4. Para las secciones 1 y 2 medir la profundidad

Figura 2.4. Ascenso en el canal de pendiente variable



5. Determinar en las secciones 1 y 2:

La velocidad media V , en m/s, como:

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

El gasto unitario q , en m^2/s ,

$$q = \frac{Q}{b}$$

La carga de velocidad $\frac{v^2}{2 \cdot g}$, en m

Energía específica, como:

$$E = y + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2

6. Determinar el tirante crítico del flujo

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

7. Para la altura crítica calcular:

El gasto unitario q , en m^2/s ,

$$q = \frac{Q}{b}$$

La velocidad media V_c , en m/s , como:

$$v_c = \frac{q}{y_c}$$

La carga de velocidad $\frac{v_c^2}{2 * g}$, en m

Energía específica mínima, como:

$$E_{min} = y_c + \frac{v_c^2}{2 * g}$$

8. Determinar la E_2 a partir de la E_1 , utilizando la ecuación de conservación de energía específica.

$$E_1 = \Delta Z + E_2$$

$$E_2 = y_1 + \frac{Q_1^2}{2gy_1^2} - \Delta Z$$

Comparar esta energía con la que se calculó en el punto 4, y hallar su error:

$$Error = \left| \frac{E_2 - E_{2exp}}{E_2} \right| * 100\%$$

9. Calcular y dibujar la curva de gasto unitario

$$E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2}$$

$$q = \sqrt{(E_1 - y_1)2gy_1^2}$$

10. Hallar el $\Delta Z_{m\acute{a}x}$

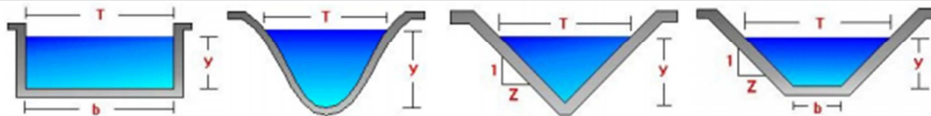
$$\Delta Z_{m\acute{a}x} = E_1 - E_c$$

Responder

1. ¿Cómo varía la velocidad en el canal a medida que se contrae o expande este?
2. ¿Qué se busca al expandir o contraer un canal?
3. ¿Qué variación presenta el tirante del agua al entrar a la contracción del canal? ¿explique por qué?

Tabla 2.1. Secciones críticas de canales

	Rectángulo	Parábola	Triángulo	Trapecio
Tirante crítico y_c	$\frac{2}{3} \cdot E$	$\frac{3}{4} \cdot E$	$\frac{4}{5} \cdot E$	$\frac{4 \cdot T}{5 \cdot T + b} \cdot E$
	$0.467 \cdot q^{\frac{2}{3}}$	$0.701 \cdot q^{\frac{2}{3}}$	$0.935 \cdot q^{\frac{2}{3}}$	$0.467 \cdot \frac{2 \cdot T}{b + T} \cdot q^{\frac{2}{3}}$
		$0.456 \left(\frac{1}{p} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot Q^{\frac{1}{2}}$	$0.728 \left(\frac{Q}{Z} \right)^{\frac{1}{2}}$	$\frac{4ZE - 3b + \sqrt{16Z^2 E^2 + 16ZEb + 9b^2}}{10Z}$
Energía de velocidad $\frac{v_c^2}{2 \cdot g}$	$\frac{1}{3} \cdot E$	$\frac{1}{4} \cdot E$	$\frac{1}{5} \cdot E$	$\frac{T + b}{5 \cdot T + b} \cdot E$
Velocidad crítica v_c	$\sqrt{g \cdot y_c}$	$0.816 \cdot \sqrt{g \cdot y_c}$	$0.707 \cdot \sqrt{g \cdot y_c}$	$\sqrt{\frac{T + b}{2 \cdot T}} \cdot \sqrt{g \cdot y_c}$
Caudal máximo q_{max}	$1.704 \cdot E^{\frac{3}{2}}$	$1.107 \cdot E^{\frac{3}{2}}$	$0.792 \cdot E^{\frac{3}{2}}$	$8.854 \cdot \left[\frac{b + T}{5 \cdot T + b} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot E^{\frac{3}{2}}$



PRÁCTICA 3. RESALTO HIDRAULICO

Objetivos generales

- ✓ Observar y analizar las características de resalto hidráulico en un canal de sección rectangular

Objetivos específicos

- ✓ Clasificar el tipo de resalto que se genera, por medio del cálculo del número de Froude.
- ✓ Determinar la disipación de energía que producen los diferentes tipos de resaltos hidráulicos.
- ✓ Medir la longitud del resalto L_r y compararla con las distintas fórmulas empíricas que rigen su comportamiento.

Justificación

El resalto hidráulico resulta de gran aplicación en el diseño de estructuras hidráulicas, ya que podemos generar pérdidas de energía, las cuales se verán reflejadas en la disminución de la profundidad del agua. El cálculo de las pérdidas de energía y de la generación del resalto, se debe hacer con sumo cuidado, ya que no se quiere crear condiciones que generen altas velocidades del fluido, provocando así la erosión en las estructuras.

Marco Teórico

El resalto hidráulico es el resultado del cambio de régimen supercrítico a sub crítico del flujo. Se genera por el cambio brusco en la sección transversal de canal “se presenta solamente en canales”, la cual implica una disipación de energía considerable, turbulencia y la inclusión de aire en el agua.

Acorde a los tirantes conjugados que acompañen al resalto hidráulico, este se puede clasificar en:

Figura 3.1. Clasificación de los resaltos hidráulicos

Salto hidráulico bien formado	$y_2 \approx y_n$
Salto hidráulico barrido	$y_2 < y_n$
Salto hidráulico ahogado	$y_2 > y_n$
<p>The diagram illustrates a hydraulic jump in a channel. It shows two sections: 'Sección 1' (upstream) and 'Sección 2' (downstream). The water surface elevation at Sección 1 is y_1 and at Sección 2 is y_2. The normal depth is y_n. The energy head at Sección 1 is E_1 and at Sección 2 is E_2. The energy head at the normal depth is E_n. The velocity head at Sección 1 is $\alpha v_1^2/2g$ and at Sección 2 is $\alpha v_2^2/2g$. The energy loss across the jump is ΔE. The length of the jump is L_s. The flow direction is indicated by Q.</p>	

Donde la altura normal es:

$$Q = \frac{1}{n} * b * y_n * \left(\frac{b * y_n}{2y_n + b} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Se ha encontrado que la eficiencia de los resaltos para disipar el exceso de energía y disminuir posibles erosiones en las estructuras hidráulicas (vertederos de reboce, rápidas, compuertas deslizantes) está íntimamente relacionada con las siguientes situaciones:

$$20 \leq \frac{V_1^2}{gy_1} \leq 80$$

$$4.3y_2 \leq L \leq 5.2y_2$$

En el salto hidráulico bien formado encontramos una clasificación conforme a la violencia en que se desarrolla "A mayor violencia, mayor disipación de energía". Recurrimos a la magnitud del número de Froude (Fr) para clasificarlo en:

Tabla 3.1. Características de los resaltos hidráulicos

Fr_1	Tipo de resalto hidráulico	Características	Forma
1-1.7	Ondular	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ondulaciones en la superficie del agua 	
1.7-2.5	Débil	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Remolinos en la superficie del agua ➤ Aguas abajo permanece uniforme ➤ La velocidad de la sección es razonablemente uniforme ➤ Pérdida de energía baja 	
2.5-4.5	Oscilatorio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ existe un chorro oscilante que entra desde el fondo del resalto hasta la superficie y se devuelve sin ninguna periodicidad ➤ cada oscilación produce una onda grande con periodo irregular 	
4.5-9.0	Regular	<ul style="list-style-type: none"> ➤ la extremidad de aguas abajo del remolino superficial y el punto sobre el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar ocurren prácticamente en la misma sección vertical ➤ la acción y posición de este resalto son menos sensibles a la variación en la profundidad de aguas abajo ➤ el resalto es bien balanceado y su comportamiento es el mejor 	
>9	Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> ➤ el chorro de alta velocidad choca con paquetes de agua intermitentes que corren hacia abajo a lo largo de la cara frontal del resalto generando ondas hacia aguas abajo y puede prevalecer una superficie rugosa, la acción del resalto es brusca pero efectiva 	

El resalto se ubicara donde las fuerzas especificas se compensen y se conserve el momentum. Por lo tanto recurriremos a las ecuaciones de conservación de momentum y al principio de conservación de masa, teniendo que:

$$M = ZA + \frac{Q^2}{gA}$$

Como el momentum se va a conservar tenemos:

$$M_1 = M_2$$

$$\bar{Y}_1 A_1 + \frac{Q^2}{gA_1} = \bar{Y}_2 A_2 + \frac{Q^2}{gA_2}$$

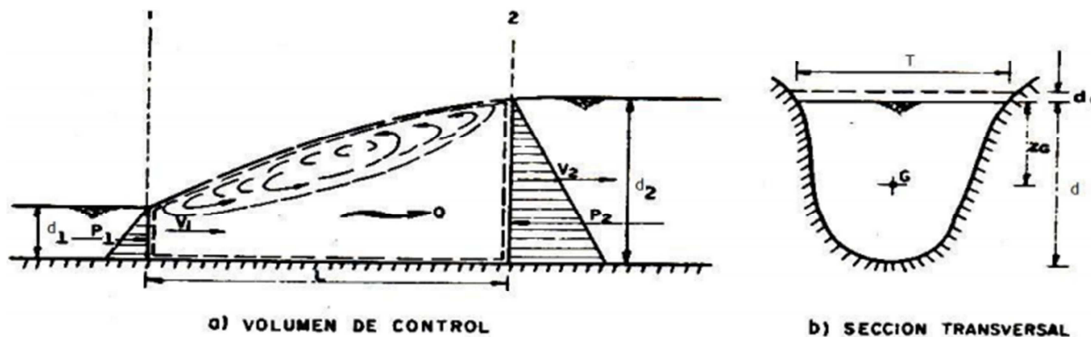
Dónde:

$$\bar{Y} = \frac{y}{2}$$

$$A = by$$

$$Q = VA$$

Figura 3.2. Cantidad de movimiento en un resalto hidráulico



Longitud del resalto

Se define como la medida entre el inicio del resalto y la sección aguas abajo donde deja de ser turbulenta. Aun no se ha encontrado un procedimiento satisfactorio que conlleve al cálculo ajustado de esta medida, pero por el momento tenemos ecuaciones experimentales para determinar su longitud. Con el fin de que la turbulencia del resalto hidráulico no produzca daños al canal, es aconsejable proteger esta zona con un tanque amortiguador.

Algunas de las ecuaciones más conocidas y ajustadas para determinar la longitud del resalto son:

$$L_s = 9.75d_1[Fr_1 - 1]^{1.01} \quad \text{USBR - 1 (E.U) Silvester}$$

$$L_s = d_2[3.491 + 0.73Fr_1 - 0.06Fr_1^2 + 0.001441Fr_1^3] \quad \text{USBR - 2 (E.U)}$$

$$L_s = 6(d_2 - d_1) \quad \text{Smetana (República Checa)}$$

$$L_s = 5.9d_1 Fr_1 \quad \text{Safranez(Alemania)}$$

$$L_s = 8.3d_1(Fr_1 - 1) \quad \text{Einwachter(Alemania)}$$

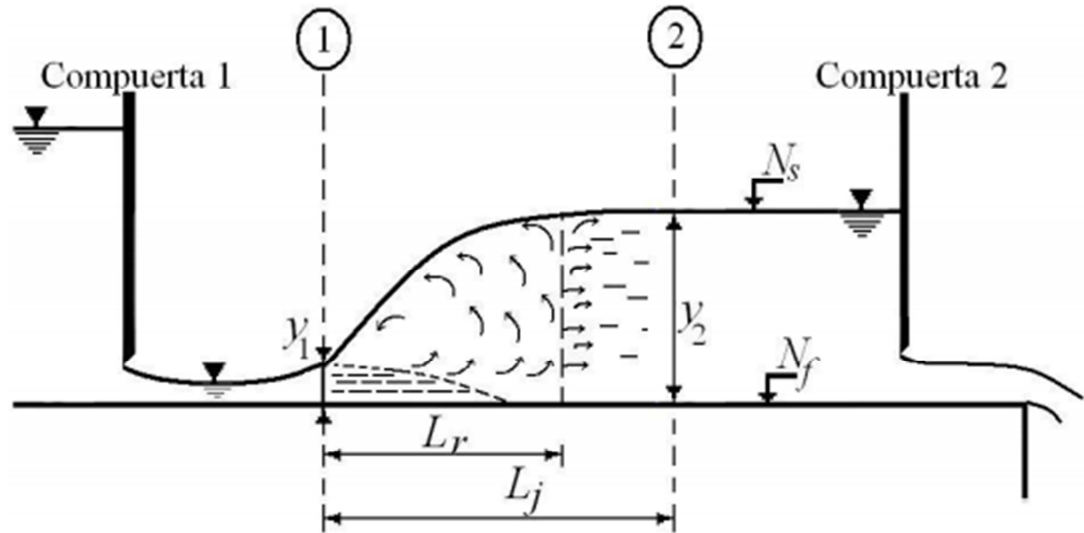
$$L_s = (y_2 - y_1) \left(8 - 0.05 \frac{y_2}{y_1} \right) \quad \text{Woyciki}$$

$$L_s = y_1 2.5 \left[1.9 \frac{y_2}{y_1} - 1 \right] \quad \text{Pavlosky}$$

Procedimiento

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
3. Con ayuda de las dos compuertas y de la variación del caudal, propiciaremos las condiciones ideales para la generación de cada uno de los tipos de resalto.

Figura 3.3. Corte longitudinal de un resalto hidráulico



4. Medir los tirantes en las secciones 1 y 2
5. Calcular el número de Froude en la sección 1, con el fin de determinar qué tipo de resalto hidráulico es "mirar la clasificación en la tabla".

$$Fr = \sqrt{\frac{q^2}{g * (y_2)^3}} = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

Figura 3.4. Tipos de resaltos hidráulicos



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

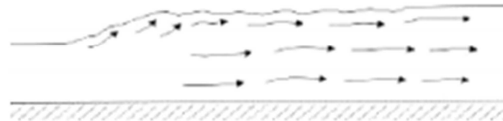


Fig. 5.3 – Resalto Débil $1.7 < Fr < 2.5$.



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

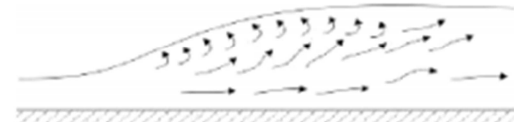


Fig. 5.5 – Resalto Estable o Permanente $4.5 < Fr < 9.0$.

6. Calcular las Fuerzas específicas en las secciones 1 y 2. El resalto hidráulico se ubicará en el punto donde estas dos fuerzas se compensen (sean iguales). Calcular el error entre estas dos fuerzas.

$$F_1 = F_2$$

$$\bar{y}_1 A_1 + \frac{Q^2}{g A_1} = \bar{y}_2 A_2 + \frac{Q^2}{g A_2}$$

\bar{y} = centroide del área hidráulica
 A = área hidráulica

$$Error = \left| \frac{F_1 - F_2}{F_1} \right| * 100\%$$

7. Registrar la longitud del resalto L_r , y compararla con las distintas ecuaciones. Calcular sus respectivos errores y observar con cual obtenemos menores errores.

$$L_s = 9.75 d_1 [Fr_1 - 1]^{1.01} \quad USBR - 1 (E. U) \quad Silvester$$

$$L_s = d_2 [3.491 + 0.73 Fr_1 - 0.06 Fr_1^2 + 0.001441 Fr_1^3] \quad USBR - 2 (E. U)$$

$$L_s = 6(d_2 - d_1) \quad Smetana (República Checa)$$

$$L_s = 5.9 d_1 Fr_1 \quad Safranez (Alemania)$$

$$L_s = 8.3 d_1 (Fr_1 - 1) \quad Einwachter (Alemania)$$

$$L_s = (y_2 - y_1) \left(8 - 0.05 \frac{y_2}{y_1} \right) \quad \text{Woyciki}$$

$$L_s = y_1 2.5 \left[1.9 \frac{y_2}{y_1} - 1 \right] \quad \text{Pavlosky}$$

8. Determinar en las secciones 1 y 2:

La velocidad media V , en m/s, como:

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

El gasto unitario q , en m^2/s ,

$$q = \frac{Q}{b}$$

La carga de velocidad $\frac{v^2}{2 * g}$, en m

Energía específica, como:

$$E = y + \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2

9. Determinar el tirante crítico del flujo

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

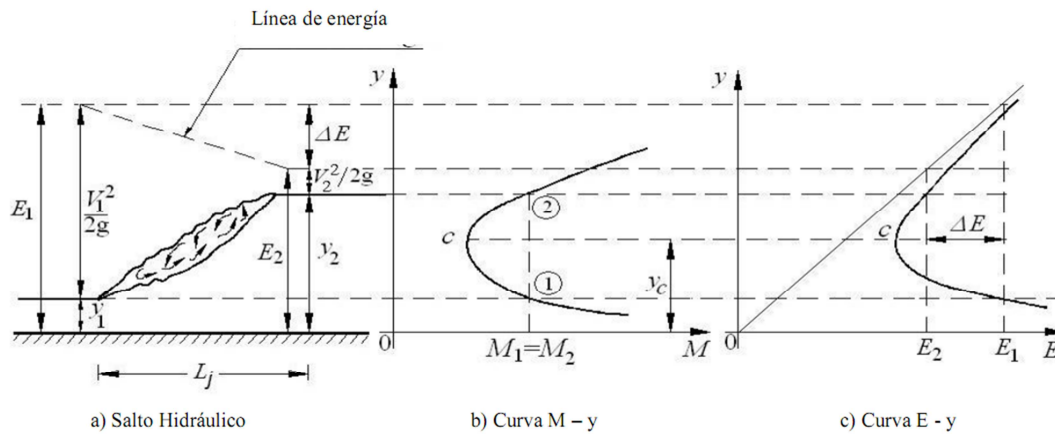
10. Calcular la disipación de energía ΔE en cada uno de los resaltos hidráulicos y su eficiencia η

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100$$

11. Graficar en un solo plano el resalto hidráulico, la curva de *momentum* y energía específica. Identificar en la gráfica las alturas conjugada y crítica, y la disipación de energía ΔE .

Figura 3.5. Grafica de resalto hidráulico, curva de momentum y energía específica



Responder

- 1) ¿Qué es un resalto hidráulico y cuáles son sus características?
- 2) Mencione algunos usos prácticos que tiene el resalto hidráulico.
- 3) ¿En qué forma se disipa la mayor parte de la pérdida de energía que se produce en un resalto hidráulico?
- 4) ¿Qué pasa con el resalto hidráulico si aumenta la abertura de la compuerta aguas abajo del fenómeno?
- 5) ¿Qué ocurre con el tirante conjugado menor en el salto hidráulico si el conjugado mayor disminuye y el caudal se mantiene constante?
- 6) ¿Cuál es el propósito de conocer la posición del resalto hidráulico?
- 7) ¿Por qué no permanece el flujo supercrítico en el canal hasta la descarga?
- 8) ¿Cuáles son las secciones de control en el canal?

PRÁCTICA 4. FLUJO UNIFORME Y FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

Objetivos generales

- ✓ Identificar las condiciones para que se presente flujo uniforme y gradualmente variado en el canal.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar el coeficiente de resistencia n de Manning del canal de vidrio del laboratorio y compararlo con el teórico del mismo.
- ✓ Analizar y calcular los distintos tipos de perfiles que se pueden presentar ante pendientes suaves, fuertes, y variaciones que se presenten en la sección del canal, utilizando el método del paso estándar.
- ✓ Identificar posibles fuentes de error y la forma de corregirlos.

Justificación

Durante esta práctica los estudiantes deben variar parámetros como velocidad, área, profundidad y pendiente con el fin de generar zonas de flujo uniforme y gradualmente variado, y perfiles que forma este. A su vez se familiarizaran con los conceptos de tirante normal, tirante crítico, y su implícita relación ante la variación de una pendiente suave a fuerte.

En esta práctica también se busca determinar la rugosidad del canal, utilizando la ecuación empírica del ingeniero Irlandés Robert Manning y la del Ingeniero Francés Antoine de Chezy.

Marco Teórico

El flujo tiene distintos tipos de clasificación que varían acorde a velocidad, área, profundidad, pendiente y tiempo en:

- a) Flujo permanente
 1. Flujo uniforme
 2. Flujo variado
 - Flujo gradualmente variado
 - Flujo rápidamente variado
- b) Flujo no permanente
 1. Flujo uniforme no permanente (raro)

2. Flujo variado no permanente
 - Flujo gradualmente variado no permanente
 - Flujo rápidamente variado no permanente

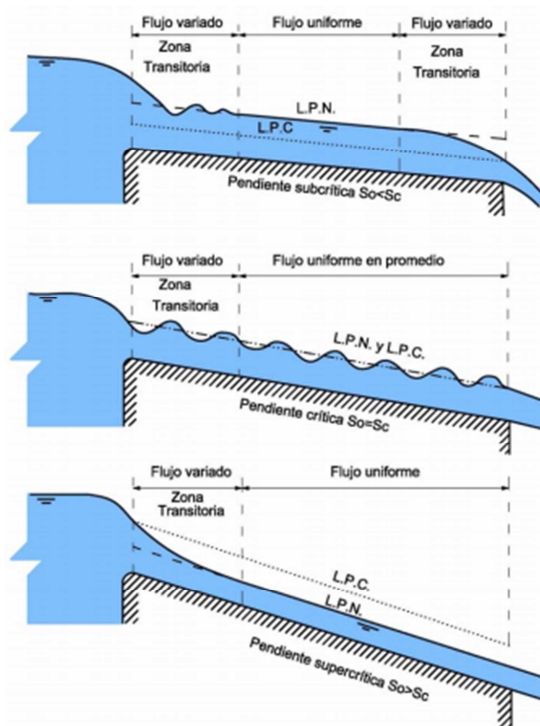
FLUJO UNIFORME

Consideramos flujo uniforme cuando este tiene las siguientes características:

- ❖ Para un instante de tiempo la profundidad, área mojada, velocidad y caudal permanecen constantes
- ❖ Encontramos que la línea de energía, la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos, por lo tanto su pendientes son iguales, o $S_f = S_w = S_c = S$

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluyen aguas abajo. Esta resistencia por lo general es contrarrestada por las componentes de fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento. Se darán condiciones de flujo uniforme cuando la resistencia se balancea con las fuerzas gravitacionales. El tramo de aguas arriba que se requiere para el establecimiento de flujo uniforme se conoce como zona transitoria y se caracteriza por su flujo acelerado y variado. La altura de la lámina de agua en el flujo uniforme se conoce como profundidad normal.

Figura 4.1. Establecimiento de flujo uniforme en un canal largo



Para los cálculos hidráulicos la velocidad media de un flujo uniforme turbulento en canales abiertos se puede determinar por la ecuación de flujo uniforme. La mayor parte de las ecuaciones prácticas del flujo uniforme pueden expresarse como:

$$V = CR_h^x S^y$$

Dónde:

$V =$ *Velocidad media*

$C =$ *Factor de resistencia al flujo*

$R_h =$ *Radio hidráulico*

$S =$ *Pendiente de energía*

$x, y =$ *Exponentes*

Ecuación de Manning

En 1889 el Ingeniero Irlandés Robert Manning presento una ecuación para determinar el valor de “C”, en función del radio hidráulico y la rugosidad del material del cual está construido el canal. Esta ecuación es el resultado del proceso de ajuste de curvas, por tanto es completamente empírica.

La ecuación de Manning más adelante fue modificada y simplificada hasta llegar a su conocida forma actual. Para utilizar la ecuación de Manning debemos conocer el sistema de unidades a utilizar, para que se utilice el coeficiente apropiado.

Sistema internacional

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

Sistema ingles

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Dónde:

$V =$ *Velocidad media*

$n =$ *Coficiente de rugosidad de Mannin*

$$R = \text{Radio hidraulico} = \frac{\text{Área}}{\text{Perimetro Mojado}}$$

$S =$ Pendiente de la línea de energía

Ecuación de Chézy

Esta ecuación es una de las que cumplen en su mayoría con las características del flujo uniforme y fue desarrollada por el ingeniero Francés Antoine Chézy en 1979.

Para deducirla matemáticamente se parte de dos suposiciones:

- ✓ La fuerza que resiste el flujo por unidad de área de lecho de la corriente es proporcional al cuadrado de la velocidad.
- ✓ La superficie de contacto del flujo con el lecho de la corriente es igual al producto del perímetro mojado y la longitud del tramo del canal.

La ecuación de Chézy resulta ser:

$$V = C\sqrt{R_h S}$$

Dónde:

$V =$ Velocidad media

$C =$ Factor de resistencia al flujo

$R_h =$ Radio hidráulico

$S =$ Pendiente de la línea de energía

FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

Es un flujo permanente, en el cual sus parámetros (velocidad y altura de la lámina de agua) cambian en forma gradual a lo largo del canal. En este la pendiente del fondo, de la superficie libre y de la línea de energía son diferentes.

El flujo gradualmente variado parte de las siguientes consideraciones:

- ✓ La pérdida de carga en una sección es la misma que correspondería a un flujo uniforme que tuviese la misma velocidad y radio hidráulico que la sección mencionada
- ✓ La distribución de presiones en cada sección transversal es hidrostática
- ✓ El coeficiente de rugosidad es constante a lo largo del canal
- ✓ La distribución de velocidades es invariable
- ✓ El canal es prismático
- ✓ La pendiente del canal es pequeña

La ecuación dinámica del flujo gradualmente variado se expresa como:

$$E = Z + y \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

En el flujo gradualmente se pueden generar distintos tipos de perfiles, los cuales se clasifican según el tipo de pendiente y la zona en que se localiza el perfil. En la siguiente tabla encontramos las distintas clasificaciones para los perfiles, y bajo qué condiciones se generan.

Tabla 4.1. Clasificación de perfiles

Pendiente del canal	Relaciones de profundidad	$\frac{dy}{dL}$	Prof. en el sent. de la corriente	Símbolo	Tipo de flujo	Forma del perfil
Suave $0 < S < S_c$	$d > d_N > d_c$	+	Aumenta	M_1	Subcrítico	
	$d_N > d > d_c$	-	Disminuye	M_2	Subcrítico	
	$d_N > d_c > d$	+	Aumenta	M_3	Supercrítico	
Horizontal $S = 0$ $d_N = \infty$	$d > d_c$	-	Disminuye	H_2	Subcrítico	
	$d_c > d$	+	Aumenta	H_3	Supercrítico	
Crítica $S_N = S_c$ $d_N = d_c$	$d > d_c = d_N$	+	Aumenta	C_1	Subcrítico	
	$d_c = d = d_N$		Constante	C_2	Uniforme, crítico	
	$d_c = d_N > d$	+	Aumenta	C_3	Supercrítico	
Pronunciada $S > S_c > 0$	$d > d_c > d_N$	+	Aumenta	S_1	Subcrítico	
	$d_c > d > d_N$	-	Disminuye	S_2	Supercrítico	
	$d_c > d_N > d$	+	Aumenta	S_3	Supercrítico	
Adversa $S < 0$ $d_N = \infty$	$d > d_c$	-	Disminuye	A_2	Subcrítico	
	$d_c > d$	+	Aumenta	A_3	Supercrítico	

Método del paso estándar *revisar si es aplicable a canales prismáticos o no prismáticos

Este método resulta uno de los más fáciles y aplicables para calcular un tirante y_2 , previamente conociendo un tirante y_1 , distancia entre los dos tramos, datos de caudal y geometría del canal.

Es importante y conveniente explicar la deducción de la ecuación, refiriendo la posición libre del agua con respecto a un nivel de referencia horizontal. En la figura encontramos un tramo del canal con el cual se deducirá la ecuación para el paso estándar:

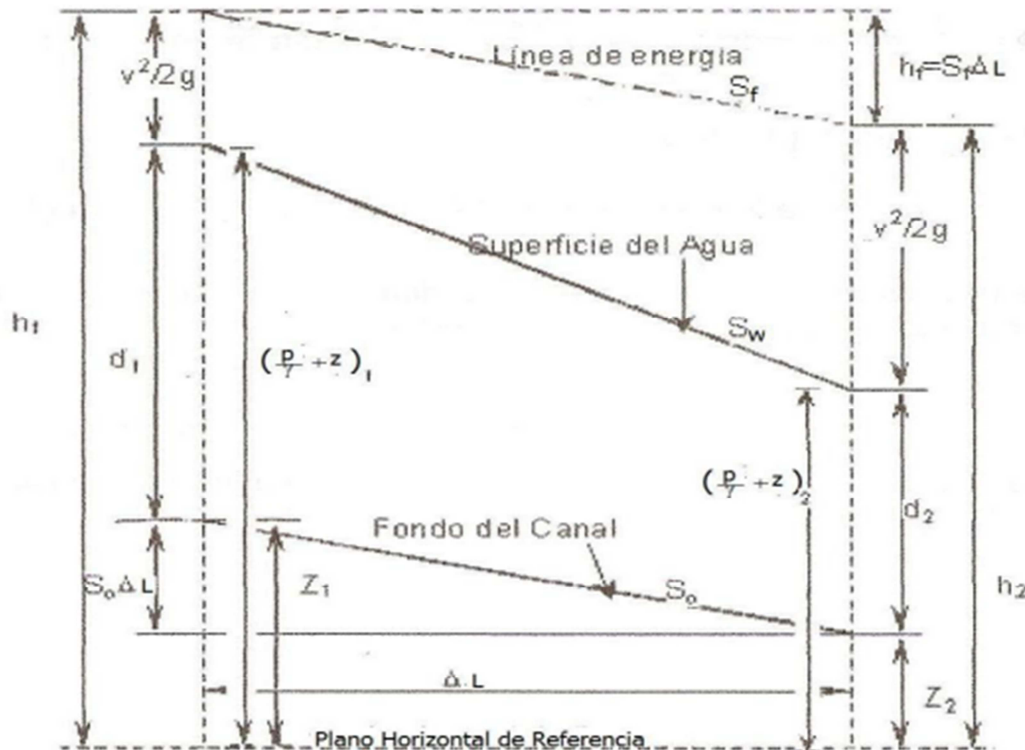


Figura 4.2.
Tramo de canal para la deducción del paso estándar

Considerando que la energía se conserva en las dos secciones a estudiar, podemos decir que:

$$Z_1 + y_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}} + h_e$$

Tomando ángulos pequeños se cumple que:

$$\tan \theta = \sin \theta = S_0 = \frac{Z_1 - Z_2}{\Delta x} \rightarrow Z_1 - Z_2 = S_0 \Delta x$$

Aplicando el concepto de energía específica, referida al fondo del canal tenemos que:

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Debido a que no existen singularidades en el tramo, podemos asumir que las pérdidas de energía $h_{f_{1-2}}$ solo se deberán exclusivamente a la fricción, por lo tanto:

$$h_{f_{1-2}} = \int_1^2 S dx$$

Teniendo las dos secciones suficientemente cercanas asumimos que:

$$h_{f_{1-2}} = \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \Delta x = \bar{S} \Delta x$$

Perdidas de carga por remolino $h_e = 0$

Reemplazando los valores en la ecuación de conservación de energía tenemos que:

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \Delta x + h_e$$

Donde las alturas totales en las dos secciones a analizar son respectivamente:

$$H_1 = Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

Y
$$H_2 = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Simplificando la ecuación tenemos que:

$$H_1 = H_2 + h_{f_{1-2}} + h_e$$

Metodo del Paso directo

Este metodo divide el canal en tramos cortos y realiza los calculos paso a paso desde un extremo del tramo hasta el otro. Se fundamenta en la aplicación de la ecuación de energía (Teorema de Bernoulli) y es aplicable a todo tipo de canales primáticos. En la siguiente figura se ilustra un tramo de canal de longitud ΔL .

Figura 4.3. Tramo de canal para la deducción de la ecuación del método del paso directo.

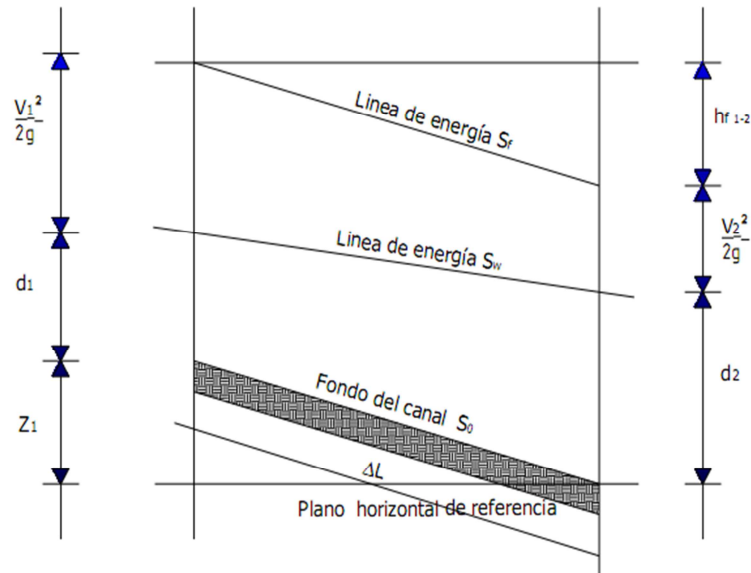
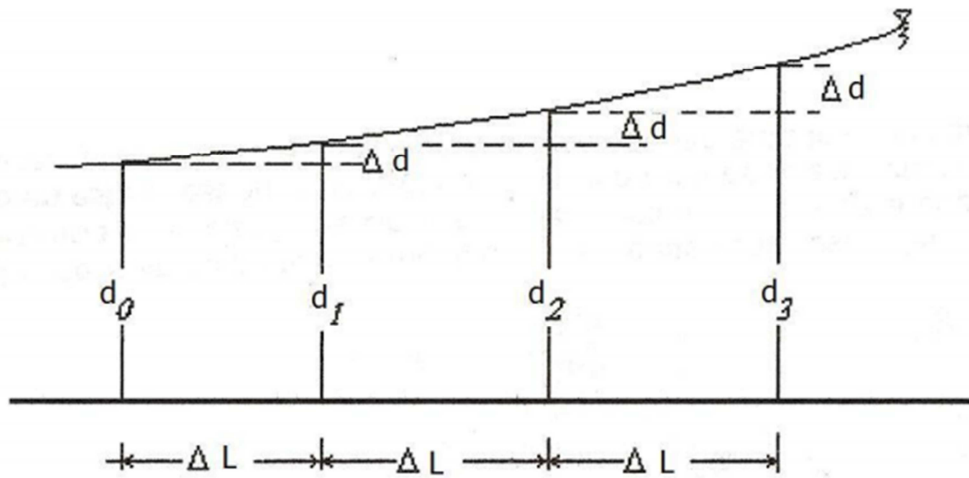


Figura 4.4. Esquematación del cálculo del método del paso directo.



Aplicando Bernolli entre las secciones 1 y 2, se tiene:

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}}$$

Donde:

$$Z_1 = \text{Carga de posición en la sección 1 con respecto al plano horizontal de referencia}$$

$$Z_1 = S_0 \Delta L$$

$$h_{f_{1-2}} = \text{Pérdida de carga por fricción entre la sección 1 y 2} = S_f \Delta L$$

$$\Delta L = \text{Incremento de la longitud}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación

$$S_0 \Delta L + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + S_f \Delta L$$

Despejando el incremento de longitud

$$\Delta L = \frac{\left(y_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right) - \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right)}{S_0 - S_f} = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

Ecuación del paso directo: $\Delta L = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$

Parte A

1. Encender el sistema de bombeo
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal
3. Registrar el ancho y la longitud del canal entre apoyos
4. Con ayuda del gato hidráulico fijar una pendiente suave y registrarla
5. Luego de estabilizado el flujo, registrar el tirante del agua en tres secciones del canal y el caudal.
6. Determinar el coeficiente de rugosidad de Manning y de Chezy para nuestro canal, y compararlo con los valores que corresponde en las tablas acorde al material.

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Y * B}{2 * Y + B}$$

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

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} S^{1/2} \text{ Ecuación de Manning}$$

$$\%E = \left| \frac{n \text{ Teorico} - n \text{ Experimental}}{n \text{ Teorico}} \right| * 100$$

7. Realizar del paso 4 a 6 para tres pendientes distintas, y para cada pendiente variar el caudal cuatro veces.

Parte B

1. Encender el sistema de bombeo
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal
3. Registrar el ancho y la longitud del canal entre apoyos
4. Con ayuda del gato hidráulico fijar una pendiente suave y registrarla

5. Abscisar el canal cada 40 cm a partir del vertedero aguas abajo
6. Registrar el caudal del medidor electromagnético y el tirante del agua en cada sección hasta llegar a la profundidad normal.
7. Calcular la altura normal y crítica, y marcarla en el canal por medio de un cordón rojo y azul respectivamente.

$$Q = \frac{1}{n} * b * y_n * \left(\frac{b * y_n}{2y_n + b} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad ; \quad q = \frac{Q}{b}$$

8. Clasificar el perfil que se presenta en el canal por medio de la altura normal y la altura crítica.
9. Utilizando el método de Paso Estándar calcular el perfil, y compararlo con el visto en el laboratorio.

Parte C

1. Encender el sistema de bombeo
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal
3. Registrar el ancho y la longitud del canal entre apoyos
4. Con ayuda del gato hidráulico fijar una pendiente suave y registrarla
5. Bajar la compuerta que se encuentra aguas abajo, dejando una abertura de 5 cm
6. Abscisar el canal cada 40 cm a partir de la compuerta aguas abajo
7. Registrar el caudal del medidor electromagnético y el tirante del agua en cada sección hasta llegar a la profundidad normal.
8. Calcular la altura normal y crítica, y marcarla en el canal por medio de un cordón rojo y azul respectivamente.

$$Q = \frac{1}{n} * b * y_n * \left(\frac{b * y_n}{2y_n + b} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad ; \quad q = \frac{Q}{b}$$

9. Clasificar el perfil que se presenta en el canal
10. Utilizando el método de Paso Directo calcular el perfil, y compararlo con el visto en el laboratorio.

Responder

- 1) ¿En la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado cual se supone la pérdida de energía más considerable y por qué?
- 2) ¿En base a qué se clasifican los perfiles en el flujo gradualmente variado?
- 3) ¿A qué se refiere cuando se dice que la distribución de presiones en cada sección transversal es hidrostática en el flujo gradualmente variado?
- 4) ¿Para que sirve conocer el coeficiente de rugosidad de Manning?
- 5) Diga tres aplicaciones de conocer los perfiles en el flujo gradualmente en el diseño de estructuras hidráulicas

PRÁCTICA 5. LANZAMIENTO CON SALTO DE SKY

Objetivos generales

- ✓ Estudiar el uso de estructuras hidráulicas para la disipación de energía

Objetivos específicos

- ✓ Determinar la trayectoria del chorro en el salto de sky
- ✓ Calcular las pérdidas de energía y la eficiencia en el salto de sky
- ✓ Identificar posibles fuentes de error y la forma de corregirlos.

Justificación

En el diseño de obras hidráulicas es de vital importancia considerar la disipación de la energía cinética. Esta se adquiere por el incremento de la velocidad del flujo. En el recorrido que tiene el agua esta logra contener gran cantidad de energía, la cual si no se disipa puede reflejarse en un poder destructivo en la estructura hidráulica debido a las altas presiones y velocidades. Como consecuencia puede causar erosión en el lecho del río, en el pie de las presas, o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la integridad de las mismas estructuras.

Marco Teórico

Salto de ski

El salto de ski es una alternativa para disipar energía cinética, la cual utiliza la dispersión del flujo por medio de un canal de evacuación de solera curvada. Fue propuesto por primera vez por Coyne en 1951 y fue más tarde desarrollado por los estudios de modelos detallados.

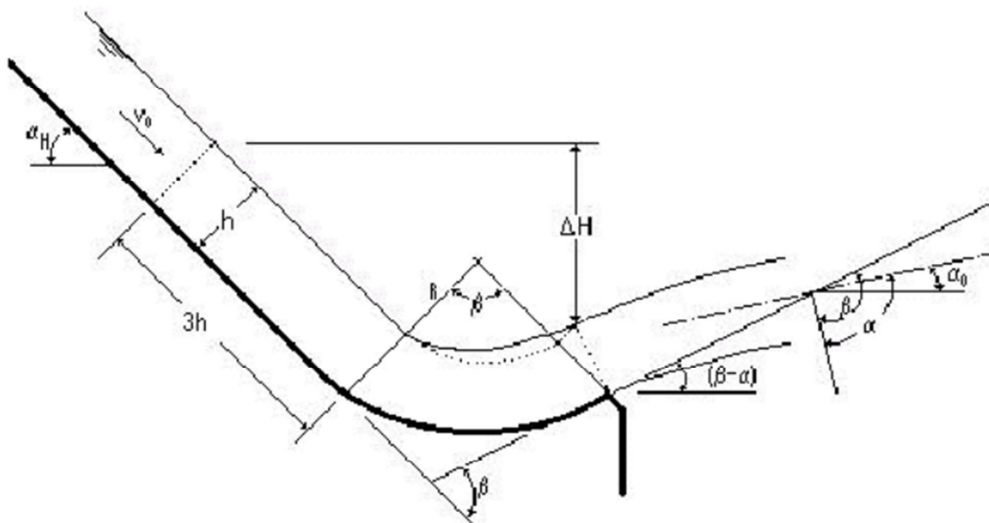


Figura 5.1.
Estructura de salto

Disipación por dispersión del flujo

A través de la curvatura en la salida de la estructura se logra generar un salto, lanzando así el chorro al aire y alejándolo de la obra. La energía se disipa una parte en el aire, y la otra por medio de la reducción de la velocidad de flujo en el punto de llegada. Esta alternativa tiene gran aplicación en vertederos de excedencias, estructuras de salidas de alcantarillas de carreteras, etc.

Cuando el material de base no es suficientemente sólido, la vibración de la descarga del salto del sky pueden causar la consolidación de la tierra después de terminada la construcción, lo que puede conducir a posibles fallas. Se deben tener precauciones especiales en el diseño de las bases, para luego no ocasionar sobrecostos en la estructura.

Para pequeñas descargas voltear el cubo actúa como un cuenco amortiguador y disipa la energía dinámica del flujo bajo condiciones de inmersión.

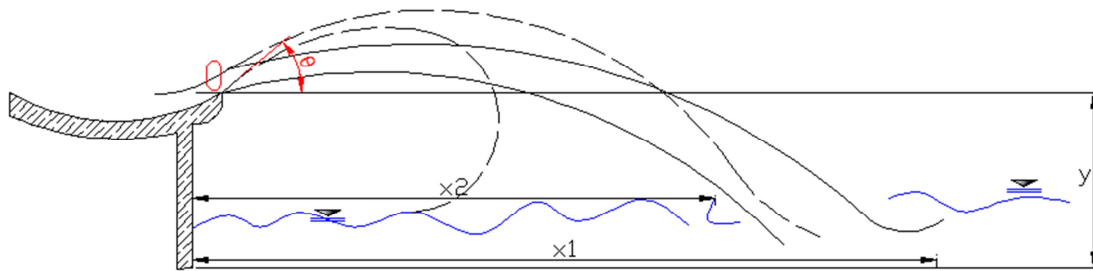
Cuando el clima es frío voltear el cubo de proyectos de agua en el aire de tal manera que las pequeñas partículas de hielo esférico se forman en el espacio. Estas esferas se proyectan aguas abajo con gran energía. Si las estructuras de huelga, tales como centrales eléctricas, paredes o delantales que causan graves daños, cuando se deposita en las carreteras el tráfico de bloque, y también hacen que sea difícil caminar.

Cuando el cimiento de roca es lo suficientemente sólidas, resulta ser una solución muy económica. La longitud del canal revestido o protegido aguas abajo se reduce y la excavación de la fundación se lleva a cabo sin ningún problema las aguas subterráneas importantes. La construcción de las grandes cuencas de amortiguación, grandes muros de contención, medida de prevención que deben adoptarse contra la fuerte erosión y problemas de cimentación de excavación se puede evitar. Esta solución ha eliminado la necesidad de una cuenca muy grande de amortiguación.

En el diseño hidráulico del salto de ski se requiere conocer:

- ✓ La elevación del punto 0
- ✓ El ángulo θ de salida
- ✓ El radio de la cubeta de lanzamiento que formara el salto
- ✓ La solución que se adopte para pequeñas descargas

Figura 5.2. Trayectoria del chorro en el salto de ski



Las primeras tres incógnitas se establecen en función de la distancia, x , la cual se elige de manera que cualquier peligrosa erosión se produzca lejos de la punta del vertedor.

La elevación del punto 0 se puede determinar de la siguiente ecuación:

$$x_2 = 0.9 x_1$$

$$y = \frac{g}{2U_0^2 \cos^2 \theta} x_2^2 - x_2 \tan \theta$$

El diseñador elige y por lo general en función de la topografía y la geología, calculando el valor de θ en consecuencia.

Conociendo el valor de θ , podemos determinar el radio de la cubeta de lanzamiento, R por medio del gráfico propuesto por la USBR para disipadores de cubo sumergido. Este diagrama da un valor preliminar de R . Primero debemos calcular el número de Froude, para luego reemplazar en el gráfico y poder despejar de la ecuación el valor de R :

$$\frac{R}{y + \frac{V_m^2}{2g}} = USBR$$

Dónde:

$$V_2 = 0.9V_1$$

$$V_m = \text{Velocidad promedio} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

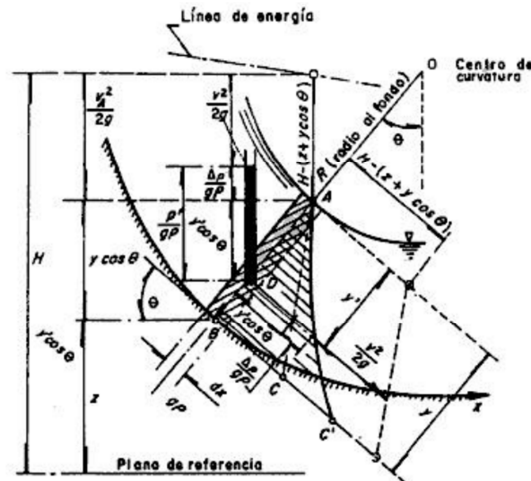
$$y = \frac{Q}{V_m b}$$

$$Fr = \frac{V_m}{\sqrt{gy}}$$

Carga de presión en un flujo curvilíneo cóncavo

Para nuestro caso consideraremos que el flujo cóncavo es bidimensional de gran radio de curvatura y que las líneas de corriente asumen la forma del canal. La velocidad sobre cualquiera de ellas en las secciones AB es uniforme y se supone igual a la media. Aunque la suposición anterior no es rigurosamente cierta, tiene la suficiente precisión en las aplicaciones prácticas.

Figura 5.3. Carga de presión en un flujo curvilíneo cóncavo



Se considera el elemento sombreado, de ancho unitario y ángulo θ de inclinación, que se muestra en la figura. Su peso, desde los puntos A a D es igual a $g\rho y' dx$ y su componente normal al fondo es $g\rho y' \cos \theta dx$. A dicho componente se agrega la fuerza P_c debida a la aceleración centrífuga, que es igual al producto de la masa de agua contenida en el elemento, de velocidad constante igual a la media V , por la aceleración centrífuga V^2/r , donde r es el radio de curvatura de la línea de flujo en el punto D . Es decir

$$P_c = \rho y' dx \frac{V^2}{r}$$

La fuerza resultante en dirección perpendicular al flujo vale

$$g\rho y' \cos \theta dx + \rho y' dx \frac{V^2}{r}$$

La cual, al dividir por dx , de la presión en el punto D , de magnitud

$$p' = g\rho y' \cos \theta + \rho y' \frac{V^2}{r}$$

Y la carga de presión correspondiente se expresa en forma

$$\frac{p'}{g\rho} = y' \cos \theta + \frac{V^2 y'}{gr}$$

El término $y' \cos \theta$ equivale a la carga de presión de acuerdo con la ley casi hidrostática; el último es la desviación $\Delta p/g\rho$ que hay que agregar por efecto de la fuerza centrífuga. Dicha desviación es negativa si se trata de convexo.

Si el canal es de gran pendiente, la velocidad es grande y cuando alcanza cierta magnitud, el agua arrastra aire al interior del flujo, produce un aumento de su volumen y un incremento en el tirante. Por esta razón, la presión calculada con alguna de las ecuaciones antes obtenidas es mayor en muchos casos que la presión real medida en pruebas con un modelo, lo cual se debe a que la densidad de la mezcla de agua y aire disminuye pero el tirante aumenta. Si se conoce dicha densidad, se debe reemplazar en los cálculos en lugar de la del agua pura, para tomar en cuenta el arrastre de aire que se espera. La densidad real de la mezcla varía del fondo a la superficie libre, pero para cálculos preliminares se supone constante, con errores del lado de la seguridad. (Sotelo)

Figura 5.4. Criterios que limitan el diseño de un salto de ski

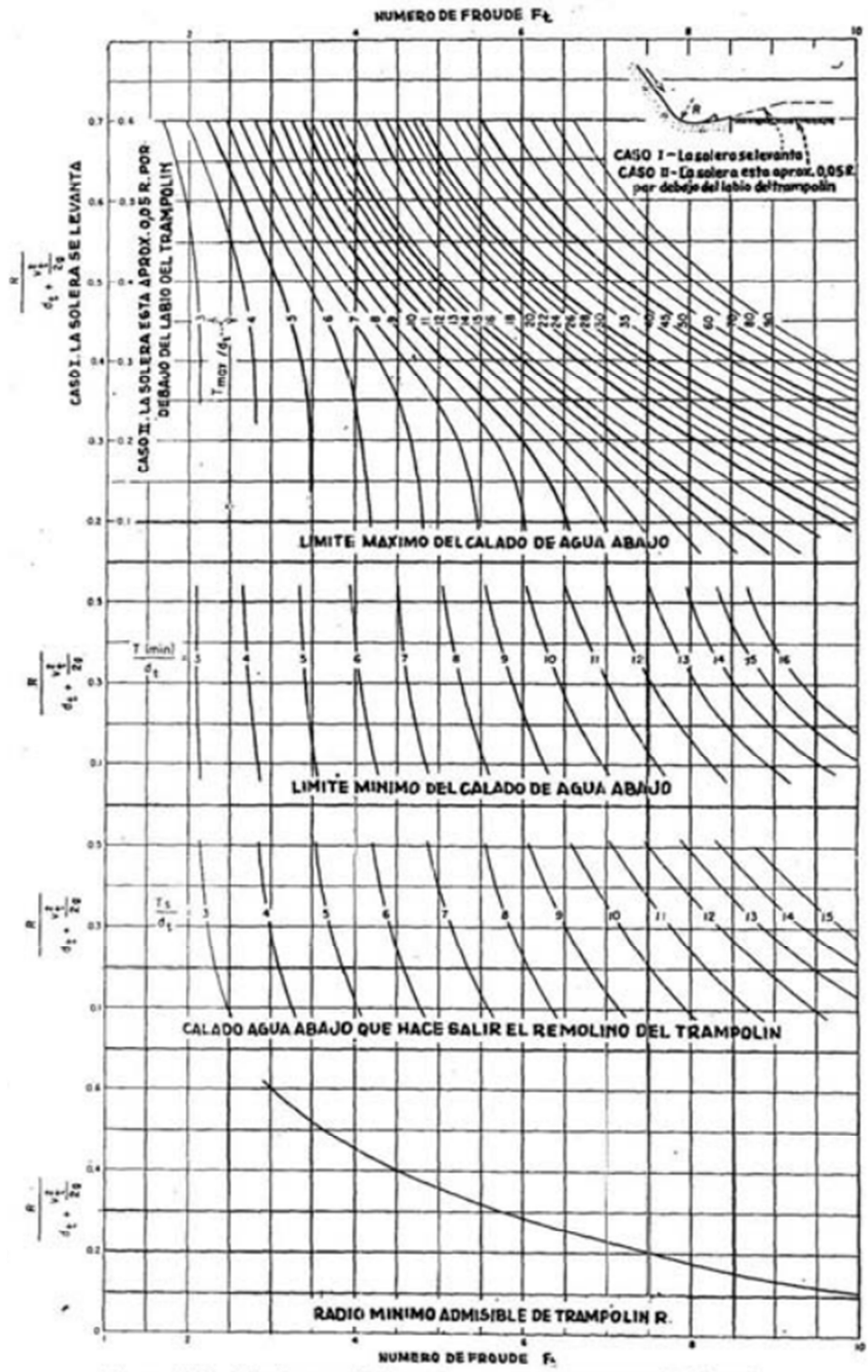


Figura 214.—Criterios que limitan el proyecto de un trampolín dentado.

$$Q = CLho^{3/2}$$

Donde

Q = la descarga en pies cúbicos por segundo

C = coeficiente de descarga

L = es la longitud de la cresta en pies

h_o = es la carga del proyecto o altura de energía sobre la cresta.

Parte A

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Poner el salto de sky en el canal
3. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
4. Para 5 caudales diferentes medir:
 - ✓ Angulo de salida del rebosadero
 - ✓ Altura H de la cresta
 - ✓ Longitud del salto
 - ✓ Altura aguas abajo
5. Calcular la longitud del salto teórico y compararla con la experimental

$$y = \frac{g}{2U_0^2 \cos^2 \theta} x_2^2 - x_2 \tan \theta$$

6. Calcular la disipación de energía ΔE en la estructura hidráulica y su eficiencia η

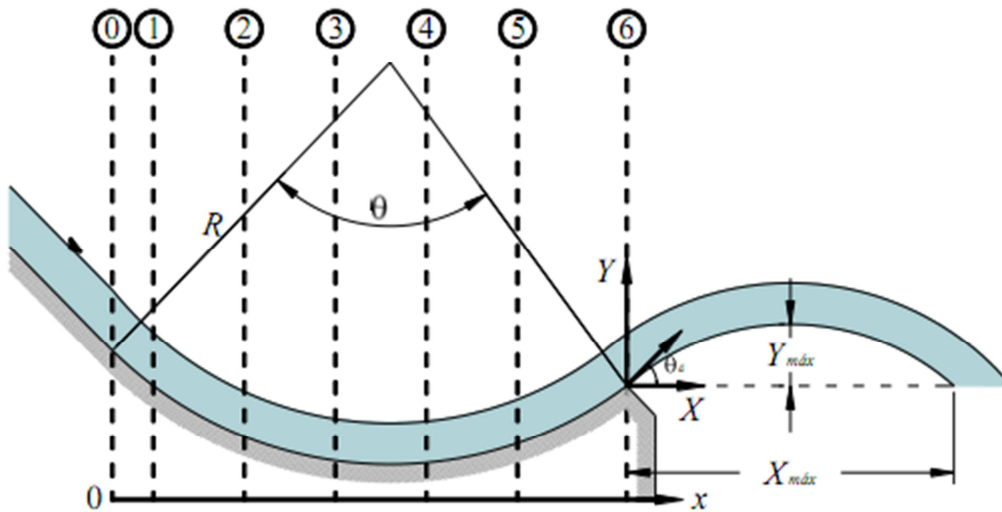
$$E = y + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2}$$

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100$$

7. Abscisar la curvatura del cuenco del salto de ski cada centímetro, y registrar el nivel de la superficie libre del agua como se muestra en la figura.

Figura 5.5. Cuenco abscisado



8. Con ayuda de AutoCAD graficar este perfil, y trazar una línea perpendicular a la superficie para cada tirante registrado. Para estos nuevos tirantes obtenidos calcular:

- a) Área hidráulica $A = by$
- b) Velocidad media $V = Q/A$
- c) Carga de presión $h = \frac{p}{g\rho} = y' \cos \theta + \frac{V^2 y'}{gr}$

Donde

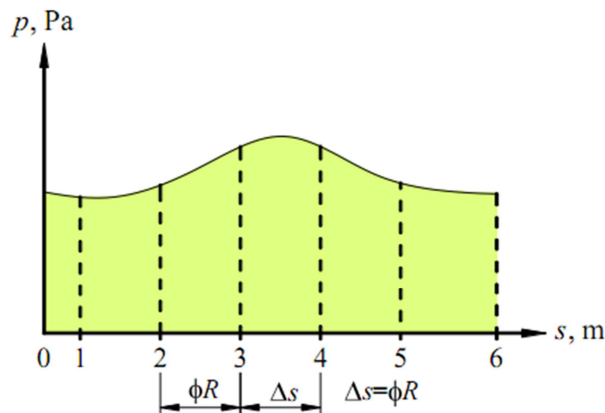
$\theta = \text{Ángulo de inclinación de la tangente respecto a la horizontal}$

- d) Presión en Pa $p = h g \rho$

Donde la densidad del agua $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$

9. Graficar el comportamiento de la presión en el fondo del canal, extendiendo en línea recta el arco y calcular el área bajo la curva A_s .

Figura 5.6. Comportamiento de la presión en el fondo del canal



10. Calcula la fuerza dinámica F_D , en N, del flujo sobre la cubeta de lanzamiento.

$$F_D = A_s b$$

Responder

- 1) Explique el funcionamiento del salto de sky, y en qué forma disipa la energía cinética.
- 2) ¿Cómo varia la presión que se genera en el flujo curvilíneo en el fondo del salto de sky?
- 3) ¿Qué fenómeno se evita dentro del salto de sky, con el gasto de despegue?
- 4) ¿Cuál es la importancia de conocer la fuerza dinámica del flujo sobre la cubeta de lanzamiento?
- 5) ¿Cómo se relaciona la disipación de energía con el aumento del caudal en el canal?
- 6) ¿De qué depende la longitud del salto en esta estructura?

PRÁCTICA 6. ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN Y CONTROL

Objetivos generales

- ✓ Analizar el funcionamiento hidráulico de distintas estructuras de medición y control

Objetivos específicos

- ✓ Determinar la ecuación de calibración de caudal y carga hidráulica para las distintas estructuras.
- ✓ Calcular los coeficientes de descarga para cada una de las estructuras según su ecuación teórica.
- ✓ Analizar la descarga de los vertederos
- ✓ Calcular el caudal

Justificación

Marco Teórico

Flujo a través de compuertas

Las compuertas constituyen una clase de estructuras de control de flujo de amplia utilización en el campo de la ingeniería hidráulica. Estas son las encargadas de regular el paso del fluido en un canal, preses, esclusas, obras de derivación u otra estructura hidráulica. Las compuertas tienen las propiedades hidráulicas de los orificios, por lo tanto si se encuentran bien calibradas puede ser utilizada como medidores de flujo.

Encontramos una gran variedad de compuertas, donde las más comunes son las compuertas verticales y las compuertas radiales. Estas se diseñan y se seleccionan teniendo en cuenta las condiciones físicas, hidráulicas, climáticas, operación y mecanismo de izado. Las compuertas se clasifican en grupos generales de la siguiente manera:

- Según las condiciones del flujo aguas abajo
 - Compuerta con descarga libre
 - Compuerta con descarga sumergida o ahogada
- Según el tipo de operación o funcionamiento

- a. Compuertas principales: Se diseñan para operar bajo cualquier condición de flujo; se les llama de regulación cuando se les conciben para controlar caudales en un canal abierto o sobre una estructura de presa, con aberturas parciales, y se conocen como compuertas de guarda o de cierre aquellas que funcionan completamente abiertas o cerradas.
 - b. Compuertas de emergencia: Se utilizan en los eventos de reparación, inspección y mantenimiento de las compuertas principales, siendo concebidas para funcionar tanto en condiciones de presión diferencial, en conductos a presión, como en condiciones de presión equilibrada.
- iii. De acuerdo a características geométricas

a. Compuertas planas

- ✓ Rectangulares
- ✓ Cuadradas
- ✓ Triangulares
- ✓ Circulares

b. Compuertas curvas o alabeadas

- ✚ Radiales: También llamadas compuertas Taintor, tienen la forma de una porción de cilindro, y giran alrededor de un pivote o eje horizontal situado en el eje longitudinal de la superficie cilíndrica.

Generalmente, en las compuertas radiales el agua actúa en el lado convexo y, debido a las propiedades hidrostáticas de una superficie cilíndrica, la línea de acción del empuje hidrostático resultante pasa a través del pivote o centro de giro. En consecuencia, la fuerza requerida para levantar la compuerta es la necesaria para vencer el peso propio de la misma y la fricción en los apoyos.

Este tipo de compuerta se usa en vertederos de presa, en obras de captación y en canales de riego.

- ✚ Tambor: consisten en una estructura hermética de acero, abisagrada en la cresta de rebose de un vertedero de presa, y con una forma tal que, cuando está en su posición

más baja, ocupa un recinto dentro de la estructura de la presa, sin interrumpir el perfil de dicha cresta.

Si el líquido penetra a dicho recinto, la compuerta se levanta por encima de la cresta, debido al empuje de flotación, evitando el paso de la corriente.

Este mecanismo de operación constituye cierta ventaja sobre los otros tipos de compuerta, puesto que no requiere de superestructuras que incluyan grúas, cables, ni volantes, para su manejo.

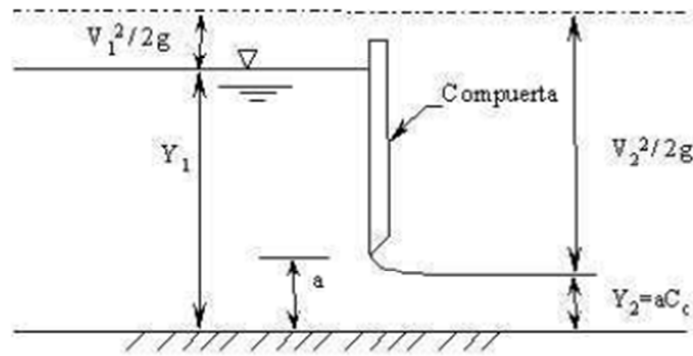
iv. Según el mecanismo de izado:

- a. Compuertas deslizantes: El elemento de cierre u obturación se mueve sobre superficies deslizantes (guías o rieles) que sirven, a la vez, de apoyo y sello. Generalmente, se construyen en acero colado, y se emplean en estructuras de canales y en algunas obras de captación, en presas o tanques de regulación. La hoja de la compuerta o elemento de obturación se acciona con un mecanismo elevador, a través de un vástago o flecha de acero.
- b. Compuertas rodantes: El elemento de cierre u obturación se mueve sobre un tren de ruedas, rodillos o de engranajes, hasta la posición de estanca. Se utilizan en obras de toma profunda, para casos de emergencia y de servicio, así como para cierre en mantenimiento, en conductos a presión. Ruedan a su posición de sello debido a su propio peso y se izan con cadenas o cables por medio de grúas especiales, fuera de la superficie del agua, hasta una caseta de operación, donde se les hace mantenimiento.

Compuerta con descarga libre:

El flujo de salida se dice que es libre cuando el chorro saliente en la sección 2, con flujo supercrítico, está abierto a la atmósfera y no está cubierto o sumergido en agua.

Figura 6.1. Compuerta de rodillo o vertical



Para la deducción de las ecuaciones que regulan el flujo en compuertas el interés se dirige a las regiones del flujo sustancialmente uniformes, es decir, aguas arriba de la sección 1 y aguas debajo de la sección 2. Utilizando la ecuación de conservación de energía tenemos que:

$$E_1 = E_2$$

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

Y según la ecuación de continuidad

$$Q = V_1 y_1 b = V_2 y_2 b$$

Trabajaremos con el caudal por unidad de ancho $q = \frac{Q}{b}$, para reemplazarlo en la ecuación

Quedando la ecuación así:

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} \rightarrow \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2} \right) = y_2 - y_1$$

$$\frac{q^2}{2g} \left(\frac{(y_2 - y_1)(y_2 + y_1)}{y_1^2 y_2^2} \right) = y_2 - y_1 \rightarrow \frac{q^2}{2g} = \frac{y_1^2 y_2^2}{y_2 + y_1} = \frac{y_1 y_2^2}{1 + \frac{y_2}{y_1}}$$

$$q = \frac{y_2 \sqrt{2gy_1}}{\sqrt{\frac{y_2}{y_1} + 1}}$$

Y expresando a $y_2 = aC_c$, en donde C_c es el coeficiente de contracción

$$q = \frac{aCc\sqrt{2gy_1}}{\sqrt{\frac{aCc}{y_1} + 1}} = Cda\sqrt{2gy_1}$$

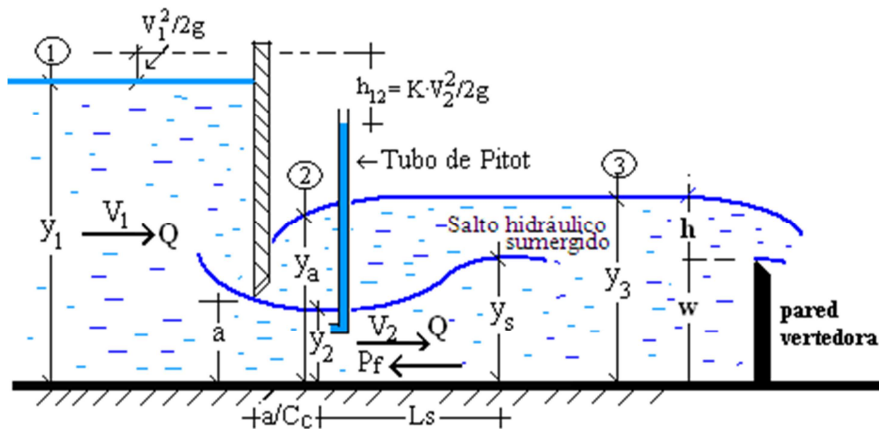
Donde C_d es el coeficiente de descarga

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{\frac{aCc}{y_1} + 1}}$$

Compuerta con descarga sumergida o ahogada

En la figura 6-2, la profundidad Y_2 , es producida por la compuerta y la profundidad Y_3 es producida por un control aguas abajo, si $C_c \cdot a$ es mayor que la profundidad conjugada Y_3 , la profundidad necesaria para formar un resalto hidráulico, entonces la salida de la compuerta se dice que es ahogada. El efecto consiste en que el chorro que sale de la compuerta es cubierto por una masa de agua, la cual aunque fuertemente turbulenta, no tiene movimiento en ninguna dirección. Mientras que debe existir alguna pérdida de energía entre las secciones 1 y 2, una mayor proporción de pérdida ocurre cuando el flujo se expande entre las secciones 2 y 3, siendo constante la energía específica entre 1 y 2. Para evaluar la componente de la energía potencial en 2 se utiliza la profundidad de la masa de agua en 2 Y_s , pero para el cálculo de la velocidad se utiliza la profundidad que efectivamente produce la velocidad Y_2 .

Figura 6.2 Flujo ahogado en una compuerta



$$E_1 = E_2$$

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_s + \frac{q^2}{2gy_2^2}$$

La profundidad Y_2 es igual a la abertura de la compuerta a multiplicada por el coeficiente de contracción C_c

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_s + \frac{q^2}{2g(C_c a)^2}$$

Despejando el caudal por unidad de ancho se tiene:

$$q = \frac{Q}{b} = \sqrt{\frac{(y_1 - y_s)2g}{\frac{1}{(C_c a)^2} - \frac{1}{y_1^2}}}$$

Despejando el valor del coeficiente de contracción C_c para flujo ahogado tenemos:

$$C_c = \frac{1}{a} \frac{1}{\sqrt{\frac{2g(y_1 - y_s)}{q^2} + \frac{1}{y_1^2}}}$$

La cantidad de movimiento se conserva entre 2 y 3, teniendo en cuenta que el término correspondiente al momento debido a la presión en 2 se calcula basado en Y_s .

$$M_2 = M_3$$

$$\frac{q^2}{gy_2} + \frac{y_s^2}{2} = \frac{q^2}{gy_3} + \frac{y_3^2}{2}$$

En la vida práctica se conoce Y_1 , Y_2 , y Y_3 , y se quiere calcular el caudal bajo la compuerta. En este caso tenemos dos incógnitas Q y Y_s . La combinación de las ecuaciones de conservación de energía y de momento lleva a una ecuación cuadrática para el caso de un canal rectangular.

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

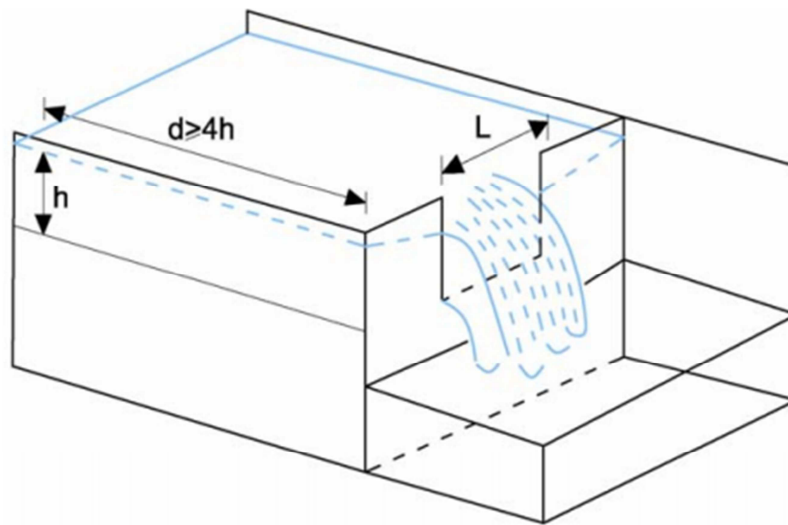
Vertedero

Se llama vertedero a una estructura hidráulica que intercepta una corriente con superficie libre, causando una elevación del nivel de la lámina de agua aguas arriba de la misma. Consiste en una cresta a través de la cual se hace circular el caudal que se desea determinar. Dependiendo del espesor de su cresta pueden ser de cresta ancha o de cresta delgada dependiendo si la lámina de

agua tiene un recorrido sobre la estructura o si la toca en un solo punto antes de la descarga.

Los vertederos se emplean bien para controlar el nivel aguas arriba, es decir, mantener un nivel aguas arriba que no exceda un valor límite, o bien para medir el caudal circulante por un canal.

Figura 6.3 Vertedero



Dónde:

h = Carga sobre el vertedero, espesor del chorro medido sobre la cresta

L = Longitud de cresta del vertedero (pared horizontal de la escotadura en contacto con el líquido).

d = Distancia donde se realiza la lectura de la descarga, igual o mayor a $4h$

Los vertederos pueden ser clasificados de acuerdo a su función en:

- ✓ Vertederos de servicio: Son diseñados para un uso frecuente de conducción de flujo en condiciones normales y crecidas, liberadas del reservorio hacia aguas debajo de la presa.
- ✓ Vertederos auxiliares: Son diseñados para un uso menos frecuente y pueden aceptar daños limitados cuando son usados.
- ✓ Vertederos de emergencia: Están diseñados para protección adicional en caso de rebalse de una presa, son usados bajo condiciones extremas, tales como fallas del vertedero de servicio u otras condiciones de emergencia.

Hay diferentes clases de vertederos según la forma que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circula por la abertura, de modo que puede ser:

- ✓ Rectangular
- ✓ Trapezoidal
- ✓ Triangular
- ✓ Circular
- ✓ Proporcional sutor

En los vertederos el caudal depende de la altura de la superficie libre del canal aguas arriba, además de depender de la geometría; por ello, un vertedero resulta un medidor sencillo y efectivo de caudal en canales abiertos. La ecuación que relaciona el caudal y la superficie libre tiene una forma potencial y es:

$$Q = CH^n$$

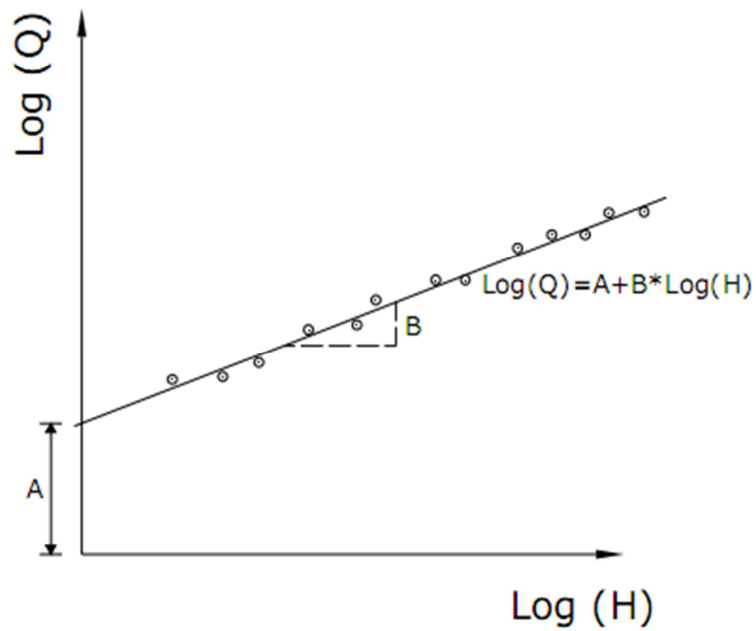
Calibración de vertederos: La gran mayoría de vertederos pueden calibrarse acuerdo a la ecuación anterior. Al calibrarlos lo que interesa es hallar los valores de C y n que relacionan de la mejor manera los valores de caudal y carga hidráulica. Para ello la ecuación anterior se linealiza y luego se aplica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

$$Q = CH^n$$

$$\text{Log}(Q) = \text{Log}(CH^n)$$

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

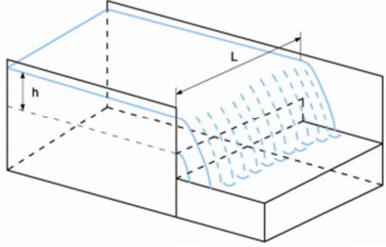
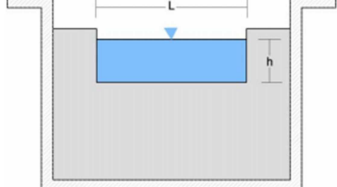
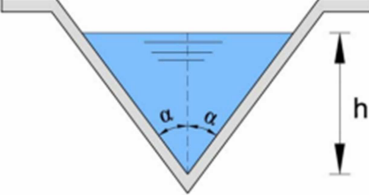
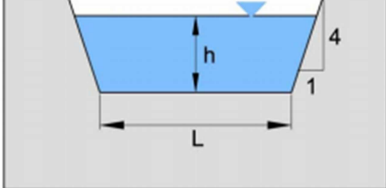
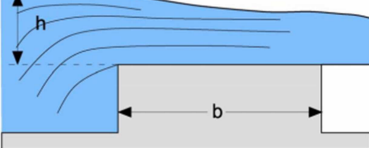
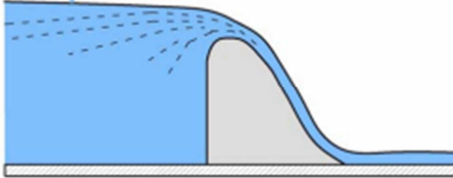
Figura 6.4 Datos linealizados de caudal y carga hidráulica



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

De esta forma se pueden conocer las ecuaciones de calibración para los vertederos que cumplen con esta relación Q y H . Una vez conocidas las ecuaciones de calibración propias halladas en laboratorio se pueden comparar con las ecuaciones teóricas desarrolladas para cada tipo de vertedero dependiendo de la forma de su creta.

Tabla 6.1 Ecuaciones de vertederos comunes

Tipo de vertedero	Ecuación de calibración	Representación
Vertedero rectangular de cresta aguda sin contracciones	$Q_T = 1.84Lh^{3/2}$	
Vertedero rectangular de cresta aguda con contracciones	$Q_T = 1.84(L - 0.1nh)h^{3/2}$ <i>n = número de contracciones</i>	
Vertedero triangular de cresta aguda	$Q_T = 1.34h^{2.47}$ para $\alpha = 45^\circ$ $Q_T = 0.775h^{2.47}$ para $\alpha = 30^\circ$	
Vertedero trapezoidal de Cipolletti de cresta aguda	$Q_T = 1.859Lh^{3/2}$	
Vertedero rectangular de cresta ancha	$Q_T = 1.45Lh^{3/2}$	
Vertedero tipo Spillway de cresta ancha	$Q_T = 2Lh^{3/2}$	

Parte A: Compuertas con descarga a flujo libre

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal

2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
3. Bajar la compuerta vertical ubicada al inicio del canal generando una condición de flujo libre. Medir la altura de la compuerta a .
4. Medir la altura de la lámina de agua antes de la compuerta Y_1 y después de la compuerta Y_2 .
5. Registrar el caudal del caudalímetro electromagnético y verificar que el valor se mantenga constante.
6. Calcular las pérdidas por contracción C_c , pérdidas por velocidad C_v y el caudal utilizando las ecuaciones correspondientes.
7. Efectuar 5 mediciones de Y_1 y Y_2 para diferentes caudales y alturas de la compuerta a , verificando que a la hora de registrar el caudal este permanezca constante y que las condiciones de flujo siempre sean libres.
8. Después de calcular para todas las mediciones el coeficiente de descarga C_d , se determina un coeficiente de descarga promedio $C_{d_{prom}}$ con los valores que presentaron los menores porcentajes de error a la hora de calcular el caudal. Con este $C_{d_{prom}}$ volveremos a calcular nuevamente los caudales.

Parte B: Compuertas con descarga a flujo ahogado o sumergido

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
3. Bajar la compuerta vertical ubicada al inicio del canal y luego bajar la segunda compuerta ubicada al final del canal de pendiente variable, de forma que el flujo se ahogue en la primera compuerta y esperar a que las condiciones de flujo sean constantes.
4. Medir Y_1 , a , Y_s y Y_3 .
5. Registrar el caudal del caudalímetro electromagnético y verificar que el valor se mantenga constante.
6. Calcular las pérdidas por contracción C_c y el caudal utilizando las ecuaciones correspondientes.
7. Realizar los pasos 4-6 para 3 caudales diferentes y 2 alturas diferentes de la compuerta a , verificando que a la hora de registrar el caudal este permanezca constante y que las condiciones de flujo siempre sean sumergidas.

Parte C: Vertederos de cresta ancha

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal.
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. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
4. Registrar la carga en el vertedero y el ancho de la cresta para 15 caudales diferentes y realizar la respectiva calibración de los vertederos.
5. Calcular el caudal en los vertederos con las ecuaciones teóricas y compararlos con los obtenidos por medio de las curvas de calibración.

Parte D: Vertederos de cresta delgada

1. Encender el sistema de bombeo y poner el canal rectangular en posición horizontal.
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 tal forma que no se presenten filtraciones y todo el caudal pase sobre la cresta del vertedero.
4. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal y esperar que se estabilice.
5. Registrar la carga en el vertedero y el ancho de la cresta para 15 caudales diferentes y realizar la respectiva calibración del vertedero.
6. Calcular el caudal con la ecuaciones teórica y compararlo con el obtenido de la curva de calibración.
7. Desmontar el vertedero e instalar alguno de los otros que se dispone.
8. Repetir los paso 5 y 6.

PRÁCTICA 7. AFORO DE CORRIENTES EN CAMPO CON ACOUSTIC DOPPLER VELOCIMETER ADV

Objetivos generales

- ✓ Calcular el caudal en el río, mediante la utilización del equipo Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)

Objetivos específicos

- ✓ Determinar el perfil de velocidades conociendo la velocidad del flujo a diferentes profundidades y analizar su variación.
- ✓ Conocer el funcionamiento y manejo del equipo utilizado en el aforo de la corriente.
- ✓ Comparar los valores arrojados por el aforo con trazador NaCl y el ADV

Justificación

El aforo de corrientes naturales resulta ser de gran utilidad en los estudios hidrológicos, ya que por medio de estos podemos conocer la variación del caudal que fluye en una determinada sección de cauce. Para nuestro caso utilizaremos mediciones aisladas, puntuales o instantáneas, en las cuales conoceremos la magnitud de la corriente que se está aforando. Este tipo de aforos permiten dar un manejo eficiente y responsable el recurso hídrico.

Marco Teórico

Flow Tracker Handheld-ADV

El Flow Tracker ADV (Acoustic Doppler velocimeter) es un equipo de alta precisión utilizado para la medición de velocidades en corrientes. Este mide la velocidad de la corriente en 2D, por lo tanto mide la velocidad en la dirección paralela al flujo y en la dirección transversal en planta a este. Es apropiado para canales de poca profundidad, y cuenta con un cálculo automático del caudal usando una variedad de métodos internacionales, incluidas normas ISO y el USGS. El equipo cuenta con una serie de funciones de calidad de datos, que brinda una gran confiabilidad de estos. Al finalizar la toma de velocidades en la sección de estudio, basta con pulsar un botón y el Flow Tracker ADV calcula el caudal.

Figura 7.1. Montaje del control y la sonda en el soporte



Operación básica del equipo Flow Tracker ADV

1. Se operado desde una interfaz de teclado sencillo, con instrucciones y datos en tiempo real que se muestran en una pantalla LCD. No se requiere un PC para la recopilación de datos.
2. El sistema recoge los datos de una longitud fija de tiempo en cada lugar.
3. Para cada lugar, se introducen algunos parámetros para documentar el conjunto de datos como son la ubicación, la altura de la lámina de agua y las profundidades a las cuales se medirá la velocidad.
4. Para aplicaciones de medición de caudal de los ríos, estos parámetros se utilizan con los datos de velocidad para calcular el caudal en tiempo real.
5. Todos los datos se almacenan en una memoria interna. Estos datos se pueden descargar en un PC para su procesamiento adicional, visualizarlos y guardarlos.

Especificaciones técnicas del equipo

- ✓ Rango de velocidad: ± 0.001 a 4.0 m/s
- ✓ Resolución de velocidad: 0.0001 m/s
- ✓ Precisión de la velocidad: $\pm 1\%$ de la medida de la velocidad, ± 0.25 cm/s
- ✓ Volumen del lugar de muestreo: 10 cm desde el centro del transductor
- ✓ Fuente de alimentación: 8 pilas AA
- ✓ Vida típica de la batería: $25+$ horas de operación continua (pilas alcalinas)
- ✓ Peso: 1.8 Kg
- ✓ Ancho de la sonda: 130 mm
- ✓ Controlador de mano/teclado: temporalmente sumergible 1 m
- ✓ Temperatura de funcionamiento: -20° a 50° C
- ✓ Temperatura de almacenamiento: -20° a 50° C

Distribuciones de velocidades en una sección del 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. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad del flujo. La distribución de velocidades en una sección del canal Profende de factores, como la forma de la sección transversal, rugosidad del canal y la presencia de curvas. En una corriente ancha, rápida y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra muy cerca a la superficie libre. La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la línea de distribución vertical de velocidades. En los cambios 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.

Los efectos de la interface agua aire en la superficie del canal no ejercen una influencia grande en la distribución de velocidades en el canal debido a que los efectos viscosos entre estos dos fluidos son mínimos.

En la realidad las variaciones de velocidad en canales prismáticos son tridimensionales pero en pruebas de laboratorio se ha demostrado que las variaciones en el sentido lateral a la dirección del fluido son pequeñas comparadas con las variaciones de velocidad en el sentido vertical y longitudinal. Esta apreciación permite la simplificación del problema a dos dimensiones sin comprometer la exactitud de los cálculos de velocidad en un canal.

El comportamiento del perfil de la velocidad del agua en los ríos y canales tiende a parecerse a una parábola, la cual tiene su eje paralelo a la corriente. Para calcular la velocidad promedio precisa en el cauce, se deberían tomar la

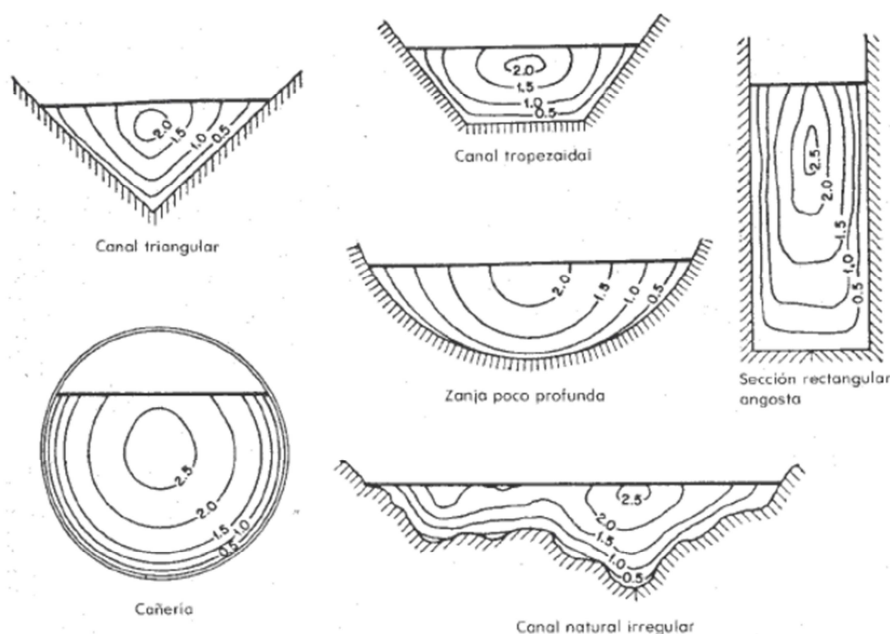
velocidad en muchos puntos, resultando ser una labor muy complicada; por tal razón se han determinado experimentalmente los puntos en donde la velocidad del agua representa el promedio de la velocidad en toda la profundidad considerada.

A continuación se presentan los métodos más utilizados para determinar la velocidad de los cauces:

- 1) En ríos y cauces con profundidades menores de 15 cm, la velocidad promedio ocurre a 0.5 de la profundidad.
- 2) En cauces con profundidades que llegan hasta de 45 cm, la velocidad promedio está localizada a 0.6 la profundidad.
- 3) Los mejores resultados en la práctica se obtienen cuando se toma el promedio de las velocidades medidas a 0.2 y 0.8 de la profundidad del cauce. Este es el método estándar utilizado por el servicio de Reconocimiento Geológico de los Estados Unidos.
- 4) Cuando la velocidad en el cauce parece encontrarse anormalmente distribuida, o cuando se desea calibrar a otros métodos, resultara conveniente tomar la velocidad a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad del agua, para obtener con ellos el promedio de la velocidad en cada sección.

Los modelos generales para la distribución de velocidades en diferentes secciones de canal se muestran en la figura.

Figura 7.2. Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones de canal



Determinación de la velocidad media en la estación (método de descarga de medición)

El método de medición de caudal explica cómo el FlowTracker determina la velocidad media en cada estación. Estas son:

- ✓ El método consiste en variaciones en el número de mediciones de la velocidad, la medición de datos de las profundidades, y cómo se combinan.
- ✓ Tabla 5-1 enumera todos los métodos admitidos por el FlowTracker.
- ✓ Los métodos que implican más de una medición se puede realizar en cualquier dirección (desde la superficie hasta el fondo, o desde el fondo hacia la superficie).
 - El FlowTracker alterna automáticamente entre las direcciones en las estaciones adyacentes para hacer fijar la ubicación de la sonda más fácil.
- ✓ Seleccione el método que utiliza el signo + y el método de - las teclas.
- ✓ Si algunos de los métodos no se utilizan, se pueden especificar los métodos para mostrar.
 - Desde el menú principal, pulse 1 para los parámetros de instalación.
 - Seleccione 5 para la configuración de caudal.
 - Seleccionar 9 para especificar los métodos que se muestran.
- ✓ Profundidad de medición tanto fraccionarios y reales se muestran en la pantalla FlowTracker.
 - la profundidad o la medición fraccional se hace referencia desde la superficie hacia abajo (por ejemplo, 0,6 * profundidad hacia abajo desde la superficie).
 - la profundidad o la medición real se hace referencia desde abajo hacia arriba (por ejemplo, 0,23 m por encima del fondo).

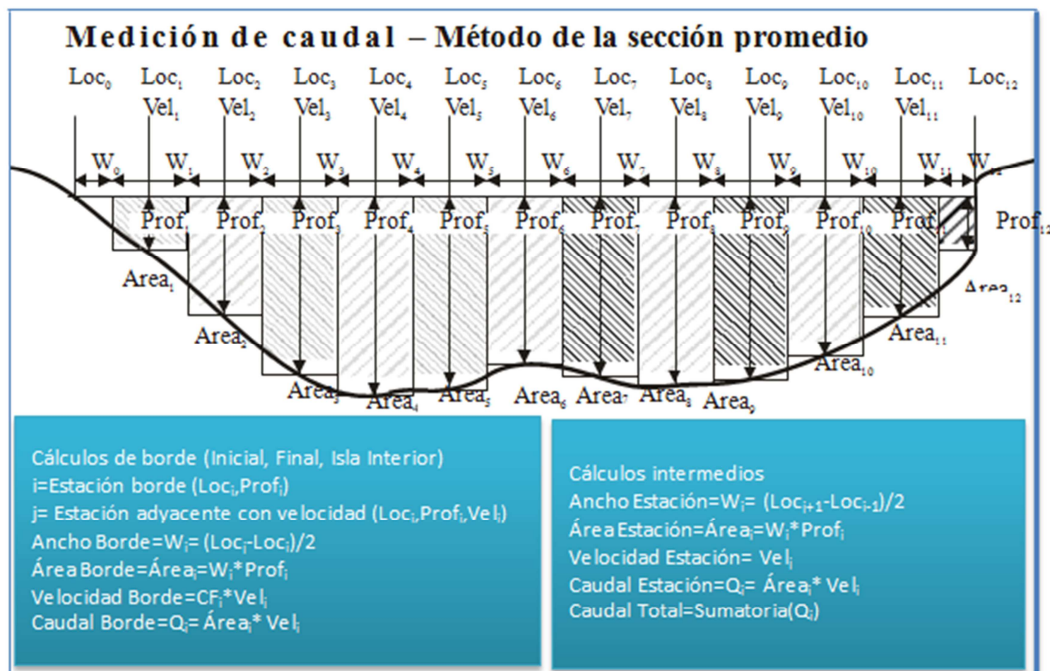
Tabla 7.1. Métodos admitidos por el Flow Tracker

Método	Lectura de las medidas	Ecuación de la velocidad media
0.6	0.6 * profundidad	$V_{media} = V_{0.6}$
0.2/0.8 0.8/0.2	0.2 * profundidad 0.8 * profundidad	$V_{media} = (V_{0.2} + V_{0.8}) / 2$
.2/.6/.8 .8/.6/.2	0.2 * profundidad 0.6 * profundidad 0.8 * profundidad	$V_{media} = (V_{0.2} + 2*V_{0.6} + V_{0.8}) / 4$
Ice 0.6	0.6 *profundidad efectiva	$V_{media} = 0.92*V_{0.6}$ (El factor de corrección 0,92 puede ser cambiado por el usuario)
Ice 0.5	0.5 * profundidad efectiva	$V_{media} = 0.89*V_{0.5}$ (El factor de corrección 0,89 puede ser cambiado por el usuario)
Ice 2/8 Ice 8/2	0.2 * profundidad efectiva 0.8 * profundidad efectiva	$V_{media} = (V_{0.2} + V_{0.8}) / 2$
Kreps 2- Kreps 2+	0.0 (cerca de la superficie) 0.62 * profundidad	$V_{media} = 0.31*V_{0.0} + 0.634*V_{0.62}$
5 Point+ 5 Point-	0.0 (cerca de la superficie) 0.2 * profundidad 0.6 * profundidad 0.8 * profundidad 1.0 (cerca del fondo)	$V_{media} = (V_{0.0} + 3*V_{0.2} + 3*V_{0.6} + 2*V_{0.8} + V_{1.0}) / 10$
Multi Pt	Cualquier número de puntos en las profundidades especificadas por el usuario	Velocidad media integrada. Las mediciones pueden hacerse en cualquier orden, sino que están ordenados por profundidad para calcular la velocidad media integrada. Mediciones repetidas en la misma profundidad se promedian antes de calcular la velocidad integrada.
None	No medición de la velocidad	$V_{media} = CF * V_{adyacente}$ La velocidad media se basa en la velocidad de la estación (s) adyacente, multiplicado por un factor de corrección especificado por el usuario. Este método se usa cuando las mediciones de velocidad no se puede hacer, y para especificar los bordes de una isla interior de un río canal múltiple.
Input V	Velocidad de entrada del usuario	$V_{media} = V_{entrada}$ El usuario introduce un valor de la velocidad estimada. Este método se utiliza cuando la medición de velocidad no es posible, con mayor frecuencia debido al crecimiento de las malezas a lo largo de la orilla del río.

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 FlowTracker 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.

Figura 7.3. Método de la sección media para el cálculo de caudal en una sección



Procedimiento

1. Selección del sitio
 - 1.1 La selección del sitio es una parte crucial de la recopilación de datos de la medición. En este el flujo debe ser perpendicular a la línea de la cuerda en todos puntos sin reversiones en los flujos u obstrucciones.
 - 1.2 Las variaciones de la profundidad en la sección deben ser lo menos bruscas posibles.
 - 1.3 Las condiciones de flujo en el sitio debe ser sub crítica, ya que representa el factor más importante en la determinación de la

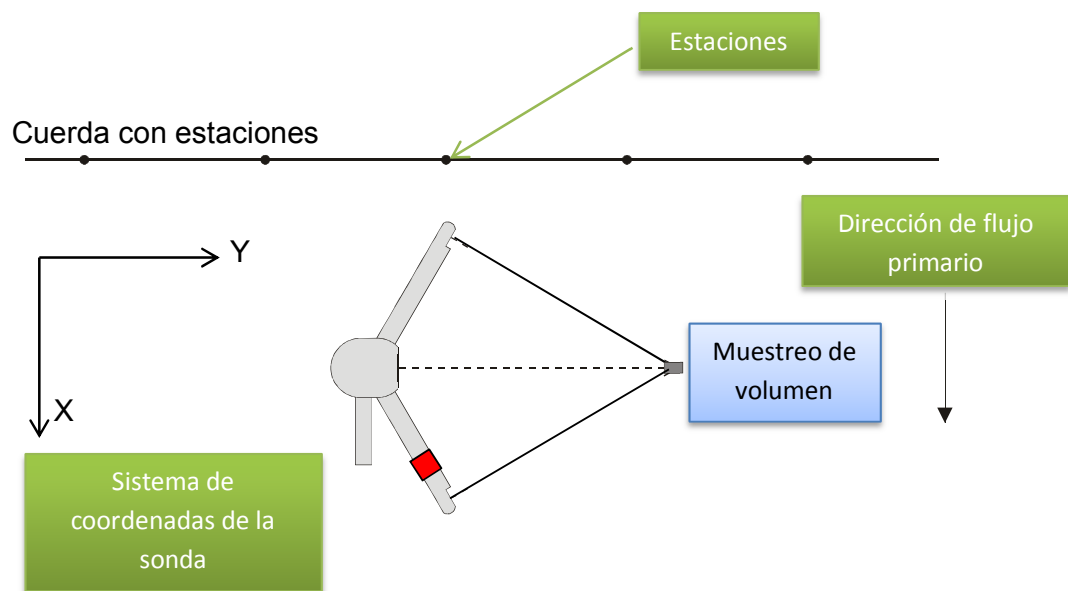
precisión

global

de las mediciones en ese sitio.

2. Se instala una cuerda perpendicular al eje del río, en la cual se marcan un número determinado de estaciones acorde a las variaciones en la geometría de la sección del río.
3. El operador comienza en un borde, registrando el punto de partida de punta y la profundidad del agua.
4. En cada estación, el operador registra la ubicación de la estación y la profundidad del agua, y luego toma las mediciones de velocidad en una o más profundidades para determinar la velocidad media en esa estación.
5. Durante las mediciones de velocidad, el eje X de la sonda debe estar perpendicular al eje de la cuerda; la banda roja (el brazo del receptor # 1) debe hacer frente de aguas abajo. Independiente de la dirección del flujo esta se mide y registra.

Figura 7.4 Orientación de la sonda respecto al flujo de la corriente



6. Cuando se haya completado, el operador registra la ubicación final de punta y la profundidad del agua. El caudal total es la suma de todos los valores de la estación de descarga. El FlowTracker soporta varias ecuaciones para el cálculo del caudal.
7. Utilizar el software [SonTek/YSI FlowTracker Handheld ADV](#) para descargar los archivos del equipo.
8. A partir de los datos obtenidos en campo graficar el perfil de velocidad según la altura en cada estación.

Responder

- a) Mencione tres (3) aplicaciones del uso de aforo de corrientes y justifíquelas
- b) ¿Qué consideraciones debe tener en cuenta a la hora de elegir la sección donde realizara el aforo?
- c) ¿Qué tipo de corrientes se pueden aforar con el FlowTracker ADV?
- d) ¿Qué método utiliza el FlowTracker ADV para medir el caudal?

PRÁCTICA 8. AFORO QUIMICO POR INYECCIÓN INSTANTANEA DE NaCl

Objetivos generales

- ✓ Calcular el caudal en el río, por medio de la variación de la conductividad y la concentración de NaCl en el agua

Objetivos específicos

- ✓ Estudiar la variación de la concentración de NaCl en el cauce del río
- ✓ Conocer el funcionamiento y manejo del conductímetro.
- ✓ Conocer las medidas y recomendaciones para medir caudal en corrientes pequeñas.
- ✓ Determinar la conductividad eléctrica en la corriente de agua.
- ✓ Comparar los valores de caudal entre el trazador NaCl y el ADV

Justificación

Conocer el caudal transportado por canales abiertos es sumamente importante a la hora de diseñar estructuras hidráulicas. La utilización de trazadores químicos resulta ser una de las mejores soluciones para la estimación de caudal, como también para el estudio del comportamiento de contaminantes en aguas superficiales y transporte de sedimentos. La importancia de la utilización de trazadores químicos recae en que estos tienen la propiedad de integrar, en espacio y tiempo, todas las acciones hidrodinámicas y fisicoquímicas durante el periodo observado.

Marco Teórico

Trazadores químicos

Un trazador es una sustancia o elemento, el cual si es utilizado en pequeñas cantidades e incorporado a un proceso físico, químico y hasta biológico, permite estudiar su comportamiento y evolución. Son muy utilizados para determinar el caudal total de una corriente y como medidores de velocidad de flujo en corrientes turbulentas.

Los trazadores químicos pueden clasificarse como:

- ✓ Tintas: En este encontramos las tintas fluorescentes también llamada rodamina. Estas pueden ser detectadas en el rango de partes por billón. Sus buenas características de detectabilidad mínima y grado de

degradación fotoquímica y biológica, han hecho de esta tinta uno de los trazadores más adecuados para estudios cuantitativos.

- ✓ Iónicos: Son los aniones de sales de sodio y amonio solubles en agua. Entre estos están el yoduro de potasio, nitrato de sodio y algunos tipos de cloruros. Este tipo de trazadores se caracterizan por tener una relación lineal entre la salinidad y conductividad eléctrica.
- ✓ Orgánicos: Encontramos los alcoholes como el etanol (EtOH), metanol (MeOH), iso-propanol (IPA), butanol terciario (TBA), o solventes como el metilcetona (MEK).

Tabla 8.1 Ventajas y desventajas del uso de trazadores químicos

USO DE TRAZADORES QUIMICOS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Precio bajo y no requiere blindajes	Grandes pérdidas por absorción
Factibilidad de transporte y adquisición	Necesidad de instrumental de complejidad elevada y alto costo
Límites de detección bajos	No se puede medir in-situ
No son tóxicos y hay ausencia de riesgo radiológico para los operarios	El muestreo necesario para el análisis debe ser representativo

Aforo con trazador iónico NaCl

Este método consiste en la inyección de forma instantánea de una solución con concentración conocida a la corriente. Esta solución se mezcla rápidamente con la profundidad y menos rápido a través de la anchura del río. A una distancia aguas abajo suficientemente grande con el fin de asegurar que se ha mezclado totalmente el trazador con el agua, se toman muestras de la corriente durante lapsos de tiempo cortos, y se determina la concentración de la sustancia por medio del cambio de conductividad en esta. Lo que sucede es que al inyectar el trazador se iniciara un cambio de la conductividad en la corriente, elevándose hasta llegar a un pico para posteriormente descender y llegar a su valor inicial.

Pasos para la realización del aforo

1. Calibración del conductímetro: Para medir la conductividad real es aconsejable calibrar el conductímetro con frecuencia. En caso de que se la primera vez que se va a trabajar con el equipo después de que ha

estado guardado, o si el equipo ha sido usado en otro sitio diferente, es preciso realizar su calibración.

Procedimiento:

- Se prende el conductímetro presionando la tecla ON OFF
- Se introducen las dos terminales del conductímetro dentro de la solución de calibración destinada para el conductímetro Eijkelkamp
- Oprimimos la tecla CAL y esperamos un tiempo hasta que el equipo se calibre.

- Calibración de la corriente: Para esto tomaremos mediciones de conductividad con medidas de solución salina con concentraciones conocidas. Con estos datos se debe construir la ecuación lineal de concentración de NaCl y conductividad. Es importante recordar que cada corriente tiene una composición química diferente que está íntimamente relacionada con los minerales del suelo de su cuenca, por tal razón las mediciones de conductividad se deben hacer en cada corriente de agua. La ecuación lineal de concentración de NaCl vs la conductividad es:

$$C_{NaCl} = mS + b$$

Dónde:

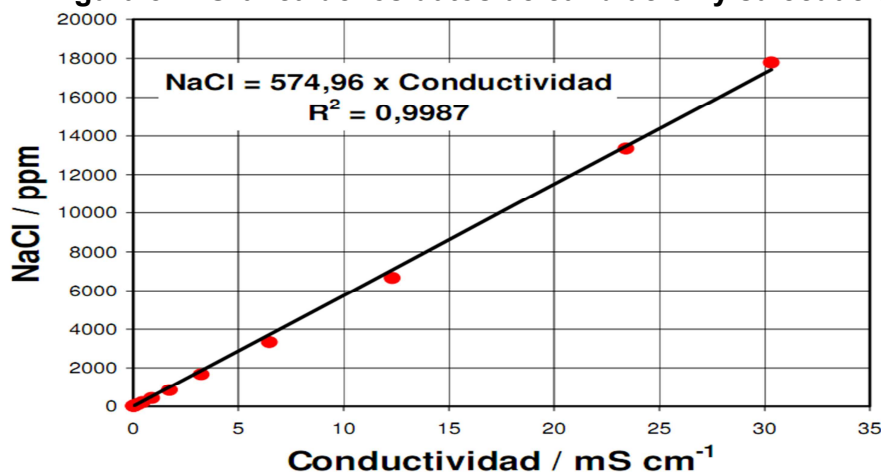
C_{NaCl} = Concentración de sal

S = Conductividad

m = Pendiente

b = Punto de Corte

Figura 8.1. Gráfica de los datos de calibración y su ecuación



Procedimiento de toma de datos con el conductímetro:

- Se prende el conductímetro presionando la tecla ON OFF
- Se oprime varias veces la tecla MODE, hasta encontrar la opción de medida de conductividad "S"

- c) Se introducen los dos terminales del conductímetro en la muestra
- d) Esperamos un tiempo prudencial hasta que se estabilice la medición

3. Medición de caudal

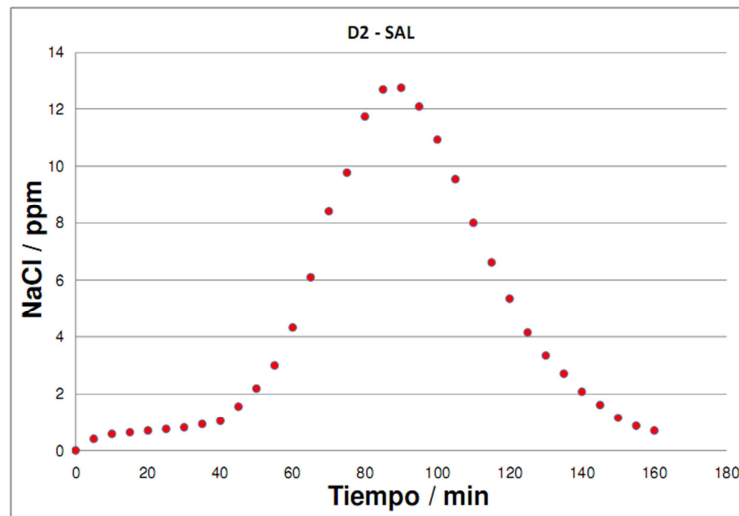
- 3.1 Elección de la sección de inyección del trazador: El sitio ideal debe ser donde haya mayor turbulencia, ya que esto permitirá que la solución se mezcle rápidamente con el agua de la corriente.
- 3.2 Elección de la sección para medir la conductividad: En este sitio la corriente debe avanzar transversal a la sección definida, sin presencia de obstáculos (piedras, vegetación, islas de grava y arena) y sitios de estancamiento, ya que esto introduce errores al momento de medir la conductividad.
- 3.3 Preparación del trazador: Se preparará una solución con una determinada concentración de NaCl, partiendo del valor teórico de solubilidad de la sal (350Kg/l).
- 3.4 Inyección del trazador: Se debe realizar de manera superficial en la lámina de agua y en la totalidad de la sección.
- 3.5 Tomas de muestras: En el punto de medición elegido después de un tiempo prudencial a la inyección de la solución se tomaran muestras en intervalos de tiempo cortos, con el fin de tener más información de la variación de la concentración de NaCl en el tiempo.
- 3.6 Calculo del caudal: Se determina a partir de la relación entre la masa del soluto y la concentración del mismo así:

$$Q = \frac{M}{\int_{t=0}^{\infty} C dt}$$

Dónde:

$M = \text{Masa de NaCl}$
 $C = \text{Concentración de NaCl}$

Figura 8.2. Gráfica de los datos tomados de conductividad vs el tiempo.



Parte A

1. Calibrar el conductímetro
2. En cinco (5) botellas de 500 ml llenas de agua de la corriente a estudiar introducir 2, 4, 6, 8 y 10 gr de NaCl respectivamente. Agitar las botellas para mezclar la sal con el agua uniformemente.
3. Calcular la concentración de NaCl para cada botella. Donde la concentración es:

$$C_{NaCl} = \frac{\text{Masa de soluto}}{\text{Volumen de liquido}}$$

4. Calibrar la corriente por medio de la gráfica de concentración de sal en función de la conductividad. La ecuación de la gráfica permitirá determinar la concentración de NaCl para una determinada conductividad.

$$C_{NaCl} = mS + b$$

5. Solubilizar ocho (8) kilogramos de masa de NaCl en 40 L de agua.
6. Inyectar la solución en la sección elegida
7. Después de un tiempo acorde a la velocidad de la corriente, en el cual la solución de sal se mezcle rápidamente con la profundidad y menos rápido a través de la anchura del río; se tomaran treinta (30) muestras de agua de la corriente en intervalos de tiempo de cuatro (4) segundos en la sección elegida para medir la conductividad.

8. Conociendo la conductividad en cada muestra, se procede a reemplazar en la ecuación de calibración de la corriente para determina la concentración de NaCl.
9. Graficar los datos de concentración en función del tiempo y calcular el área bajo la curva por el método del trapecio.

$$h = \frac{b - a}{n}$$

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2} [f(a) + 2f(a + h) + \dots + f(b)]$$

10. Conociendo el área bajo la curva de la gráfica de concentración en función del tiempo, y la cantidad de masa de sal utilizada en la solución inyectada, se procede a calcular el caudal por medio de la ecuación:

$$Q = \frac{M}{\int_{t=0}^{\infty} C dt}$$

$$Q_t = 5.59578H_v^{0.997}$$

$$Q_t = 0.5354H_a^{1.53}$$

PRÁCTICA 9. CANALETA PARSHALL

Objetivos generales

- ✓ Medir el caudal que pasa por el canal perimetral del laboratorio mediante la utilización de la canaleta Parshall.

Objetivos específicos

- ✓ Conocer las condiciones de uso de una canaleta Parshall
- ✓ Estudiar los requerimientos mínimos para su elaboración, sus dimensiones, su clasificación y la forma.
- ✓ Comprobar las especificaciones de construcción y funcionamiento del aforador Parshall
- ✓ Determinar experimentalmente si la canaleta esta funcionamiento a flujo libre o ahogado
- ✓ Identificar las partes de una canaleta Parshall

Justificación

Hoy en día encontramos una gran variedad de equipos electrónicos y estructuras hidráulicas que nos permiten medir el caudal en canales abiertos. La canaleta Parshall es una de estas estructuras, de la cual existen diversos tamaños acorde a los valores de caudal que se tendrán.

Es importante conocer las características mínimas para su elaboración, como sus dimensiones, forma, metodología de diseño y condiciones de uso.

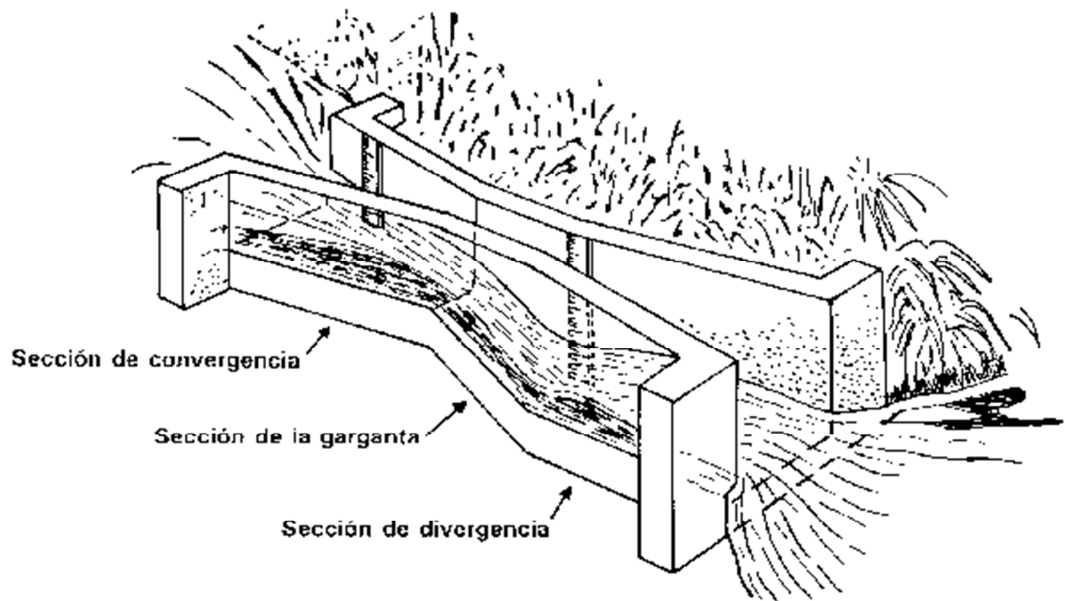
Marco teórico

La canaleta Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales:

- a) Transición de entrada: El piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, puede ser en línea recta o circular
- b) Sección de convergente: El fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo
- c) Garganta: El piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente

d) Sección divergente: El piso inclinado se eleva hacia arriba

Figura 9.1. Partes de la canaleta Parshall



En cualquier parte del aforador, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular.

Junto a la estructura del aforador se tienen dos pozos laterales o tanques con la misma profundidad, o mayor, que la parte más baja del aforador. El agua que pasa por el aforador pasa a estos tanques por medio de unos orificios colocados en la pared de la sección convergente y en la garganta.

La función de la Canaleta Parshall es reducir la sección de la corriente, obligando al agua a elevarse o a remansarse, y volver a caer hasta la elevación que se tenía sin la presencia de la canaleta. Gracias a esto el caudal avanza aceleradamente, produciendo una velocidad crítica y una onda estacionaria en la sección de divergencia. Este proceso permite establecer una relación matemática entre la elevación del agua y el caudal.

Por medio de muchos experimentos en los que se colocaron diferentes tamaños de canaletas y se midió el caudal y la profundidad, se encontró que todos los aforadores tienen un comportamiento similar en la relación profundidad contra caudal, por tal razón se puede representar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$Q = C(H_a)^n$$

Dónde:

$$Q = \text{Caudal}$$

C y n = Son coeficientes diferentes, acordes al tamaño de la canaleta

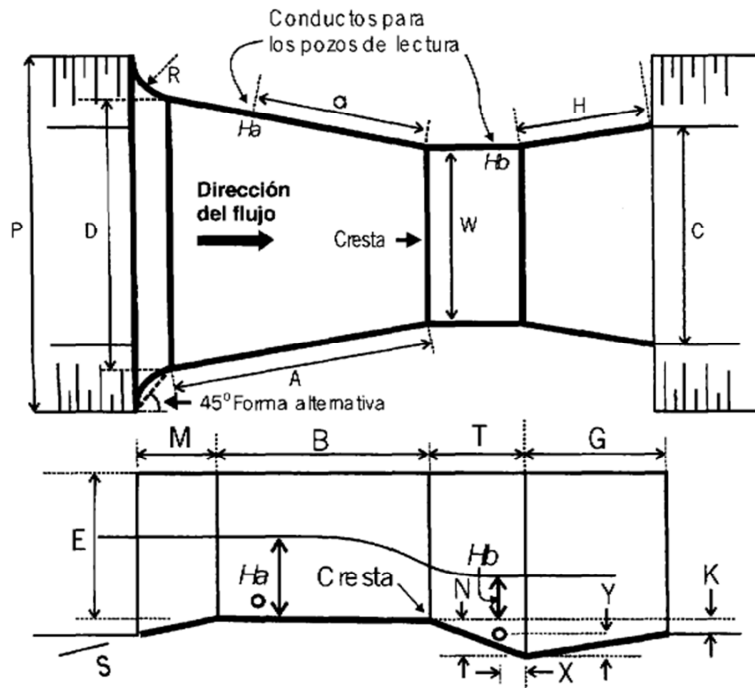
H_a = Profundidad del agua en el punto a

Tabla 9.1 Valores de C y n acorde al ancho de la garganta

ANCHO DE LA GARGANTA	VALORES DE C Y n	
W	C	n
(W y H_a en mm, Q en l/s)		
25.4	0.001352	1.55
50.8	0.002702	
76.2	0.003966	
152.4	0.006937	1.58
228.6	0.013762	1.53
(W y H_a en mm, Q en m ³ /s)		
0.3048	0.69	1.52
0.4572	1.06	1.54
0.6096	1.43	1.55
0.9144	2.18	1.57
1.2192	2.95	1.58
1.524	3.73	1.59
1.8288	4.52	1.6
2.1336	5.31	
2.4384	6.11	1.61
3.048	7.46	1.6
3.656	8.86	
4.572	10.96	
6.096	14.45	
7.62	17.94	
9.144	21.44	
12.192	28.43	
15.24	35.41	

Nomenclatura de la Canaleta Parshall

Figura 9.2. Nomenclatura de la canaleta Parshall



W = Ancho de la garganta

A = Longitud de las paredes de la sección convergente

a = Ubicación del punto de medición de H_a

B = Longitud de la sección convergente

C = Ancho de la salida

D = Ancho de la entrada de la sección convergente

E = Profundidad total

T = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

H = Longitud de las paredes de la sección divergente

K = Diferencia de elevación entre la salida y la cresta

M = Longitud de la transición de entrada

N = Profundidad de la cubeta

P= Ancho de la entrada de la transición

R= Radio de curvatura

X= Abscisa del punto de medición de Hb

Y= Ordenada del punto de medición de Hb

Especificaciones de construcción y elección de la canaleta Parshall

- 1) Los medidores deben construirse acatando las dimensiones y caudales indicados en la Tabla 9.2
- 2) Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones: ancho del canal existente, altura de agua del canal, pérdida de carga admisible y posibilidad de caudales futuros.
- 3) Las canaletas Parshall pueden construirse en el campo o ser prefabricados en los siguientes materiales:
 - ✓ Concreto Armado
 - ✓ Lamina de acero inoxidable
 - ✓ Lámina de acero-carbón revestido
 - ✓ Resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio
- 4) Se recomienda que los medidores de ancho nominal 7, 15 y 22, no sean construidos en concreto.
- 5) En las canaletas construidas de resinas plásticas, no se admiten roscas sobre el material plástico. Las roscas deben ser hechas con injertos metálicos rosqueados.
- 6) Las canaletas construidas de resinas plásticas deben resistir una temperatura mínima de 70° C, y los efectos de los rayos solares sin sufrir ninguna deformación o deterioro.

Clasificación

Acorde a la dimensión de la garganta, las canaletas Parshall han sido clasificadas en tres grupos principales para conveniencia de estudio, selección de tamaño y determinación de flujos. Estos flujos son:

Tabla 9.2. Clasificación de las canaletas

TAMAÑO	ANCHO DE LA GARGANTA	CAPACIDAD
Muy pequeñas	1,2 y 3 pulgadas	0.9 a 32 lps
Pequeñas	6 pulgadas a 8 pies	1.5 lps a 3.95 m3/s
Grandes	10 a 50 pies	0.16 a 93 m3/s

Tabla 9.3. Dimensiones de la canaleta Parshall

Caudal Flujo Libre
(m³/s)

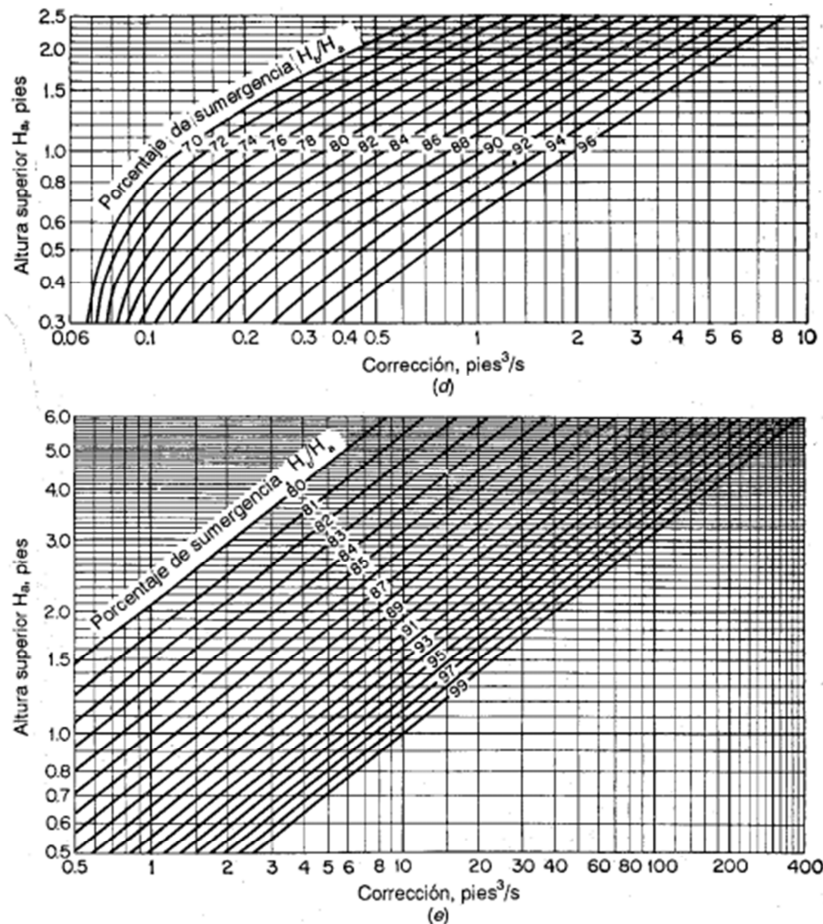
W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y	Q _{mín}	Q _{máx}
DIMENSIONES EN mm																	
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	-	57	-	-	25	38	0.0008	0.0538
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76	0.0014	0.1104
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76	0.0025	0.252
DIMENSIONES EN m																	
0.304 8	1.37 2	0.91 4	1.34 3	0.61	0.84 5	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.381	0.22 9	1.492	0.508	0.05 1	0.076	0.0031	0.4559
0.457 2	1.44 8	0.96 5	1.41 9	0.76 2	1.02 6	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.381	0.22 9	1.676	0.508	0.05 1	0.076	0.0042	0.6966
0.609 6	1.52 4	1.01 6	1.49 5	0.91 4	1.20 6	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.381	0.22 9	1.854	0.508	0.05 1	0.076	0.0119	0.9373
0.914 4	1.67 6	1.11 8	1.64 5	1.21 9	1.57 2	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.381	0.22 9	2.222	0.508	0.05 1	0.076	0.0173	1.4272
1.219 2	1.82 9	1.21 9	1.79 4	1.52 4	1.93 7	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.457	0.22 9	2.771	0.61	0.05 1	0.076	0.0368	1.9227
1.524	1.98 1	1.32 1	1.94 3	1.82 9	2.30 2	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.457	0.22 9	3.08	0.61	0.05 1	0.076	0.0453	2.4239
1.828 8	2.13 4	1.42 2	2.09 2	2.13 4	2.66 7	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.457	0.22 9	3.442	0.61	0.05 1	0.076	0.0736	2.9308
2.133 6	2.28 6	1.52 4	2.24 2	2.43 8	3.03 2	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.457	0.22 9	3.81	0.61	0.05 1	0.076	0.085	3.4377
2.438 4	2.43 8	1.62 6	2.39 1	2.74 3	3.39 7	0.91 4	0.6 1	0.91 4	0.07 6	0.457	0.22 9	4.172	0.61	0.05 1	0.076	0.0991	3.9502

Condiciones de descarga de una Canaleta Parshall

El flujo a través de un medidor Parshall puede contar con dos condiciones de régimen:

- Flujo a descarga libre: Se hace libremente como en los vertederos en que la vena de la vertiente es independiente de las condiciones aguas abajo. Para este caso es suficiente medir la carga H_a para determinar el caudal.
- Ahogamiento o sumersión: Ocurre cuando el nivel de aguas abajo es suficientemente elevado para influir y retardar el flujo a través del medidor. Para calcular el caudal es necesario además de medir H_a medir también H_b , en un punto próximo a la sección final de la garganta. Para este caso es necesario corregir el caudal calculado con la ecuación de caudal o con la figura 9.3.

Figura 9.3. Grafica de corrección de caudal para medidores Parshall



La relación Hb/Ha representa la razón de sumersión o sumergencia “S” y permite determinar si el flujo es a descarga libre o ahogada.

Tabla 9.4. Condición de descarga

S=Hb/Ha	Ancho nominal del medidor (cm)	Condición de descarga
<0.6	7,15 y 20	Flujo Libre
<0.7	30 a 240	Flujo Libre
>0.6	7,15 y 20	Flujo Ahogado
>0.7	30 a 240	Flujo Ahogado

Tabla 9.5 Valores permitidos de sumergencia S en los medidores Parshall

Ancho de la garganta , W (mm)	Sumergenci a máxima permitida, S (%)	Ancho de la garganta , W (m)	Sumergenci a máxima permitida, S (%)	Ancho de la garganta , W (m)	Sumergenci a máxima permitida, S (%)
25.4	50	0.3048	70	2.4384	70
50.8	50	0.4572	70	3.048	80
76.2	50	0.6096	70	3.658	80
152.4	60	0.9144	70	4.572	80
228.6	60	1.2192	70	6.096	80
		1.524	70	7.62	80
		1.8288	70	9.144	80
		2.1336	70	12.192	80
				15.24	80

Cuando el valor de sumergencia sobrepasa el 80%, el caudal en el medidor sufre una disminución, por lo tanto se debe corregir utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q - Q_e \quad (P.9.2)$$

Dónde:

Q_s = Caudal bajo condiciones de sumergencia mayo a la permitida

Q = Caudal calculado

Q_e = Caudal de corrección * Factor de corrección

Tabla 9.6. Factor de corrección para el caudal de corrección

Ancho de la garganta (m)	Factor
0.3048	1
0.4572	1.4
0.6096	1.8
0.9144	2.4
1.2192	3.1
1.524	3.7
1.8288	4.3
2.1336	4.9
2.4384	5.4

PROCEDIMIENTO

1. Encender el sistema de bombeo
2. Abrir la válvula de compuerta que regula el caudal en el canal de pendiente variable y esperar a que se llene por completo el tanque elevado para que comience a salir el agua por rebose a la tubería de PVC al canal perimetral.
3. Determinar el caudal en el vertedero de cresta ancha utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = 1.45Lh^{3/2}$$

Dónde:

h = Carga en el vertedero, en m

L = Ancho del canal, en m

4. Tomar todas las dimensiones de la canaleta Parshall
5. Registrar las alturas de la lámina de agua H_a , H_b y H_c de la canaleta.
6. Clasificar la canaleta Parshall
7. Determinar la condición de descarga de la canaleta Parshall y calcular el caudal.
8. Comparar el caudal obtenido con la canaleta Parshall y el obtenido con el vertedero de cresta ancha y calcular su error.
9. Efectuar los paso del 3 a 8 para cinco (5) caudales distintos.

Responder

- a) ¿Qué régimen de flujo tiene una canaleta Parshall?
- b) Mencione tres usos y aplicaciones de la canaleta Parshall
- c) Menciones 5 ventajas de las canaletas Parshall
- d) ¿En dónde se deben instalar las canaletas Parshall y porqué?

PRÁCTICA 10. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE UN PUENTE UTILIZANDO LOS PROGRAMAS ARC GIS 10, HEC RAS Y LA EXTENSIÓN HEC GEORAS

Objetivos generales

- ✓ Desarrollar habilidades en el manejo del programa Arc Gis 10, Hec RAS y la extensión Hec GeoRAS

Objetivos específicos

- ✓ Conocer las superficies de inundación
- ✓ Desarrollar la capacidad de abstracción de un problema de ingeniería real
- ✓ Determinar el borde libre del puente
- ✓ Realizar cálculos hidráulicos unidimensionales para un sistema natura y para canales construidos.

Justificación

La hidráulica fluvial **estudia caudales y niveles medios y extremos, las velocidades de flujo, las variaciones del fondo por socavación y sedimentación, la capacidad de transporte de sedimentos y las superficies de inundación, combinando conceptos de Hidrología, Hidráulica General y obras hidráulicas.**

El ingeniero civil al diseñar estructuras hidráulicas debe tener amplio conocimiento en las consecuencias de la variación de parámetros como caudal, requerimientos hídricos, trazado del canal y el tipo de superficie, con el fin de obtener un mayor aprovechamiento de los recursos y la reducción de los riesgos de daño.

Los modelos hidráulicos brindan al ingeniero civil una forma de analizar la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes de agua, sedimentos transportados y superficies de inundación, así como la intervención de obstrucciones u obras hidráulicas en la variación del nivel de agua en el cauce. Hec Ras es una herramienta desarrollada por el (Hydrologic Engineering Center –River Analysis System) del U.S. Corps of Engineers que nos brinda la posibilidad de realizar este tipo de simulaciones y modelos eficientemente.

Marco teórico

HEC RAS

Es un programa de computadora que modela el sistema hidráulico de flujo de agua a través de los ríos y otros canales. El programa fue desarrollado por el Departamento de Defensa de EE.UU., el Cuerpo de Ingenieros para la gestión de los ríos, puertos y otras obras públicas bajo su jurisdicción.

Cuenta con un paquete integrado de programas de análisis hidráulico, en el cual el usuario interactúa con el sistema a través del uso de la interface gráfica de usuario. El sistema es capaz de calcular el perfil de superficie de agua de flujo permanente, incluye flujo no permanente, transporte de sedimento y cálculos para diseños hidráulicos.

En HEC-RAS, un proyecto es un grupo de archivos asociados con un sistema fluvial particular. El usuario puede realizar cualquiera de los diferentes tipos de análisis, incluidos en el paquete de HEC-RAS. Los archivos de datos para un proyecto están categorizados como: datos plan, datos geométricos, datos de flujo permanente, dato de flujos no permanentes, datos de sedimentos, y datos de diseño hidráulico.

HEC-GeoRAS

Hec-GeoRAS 10.0 es una extensión para ArcGis 10 desarrollada conjuntamente por el Hydrlogic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos geo referenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS 4.0 y Hec-GeoRAS 10.0.

Crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados obtenidos de calado y velocidad se exportan desde HEC-RAS a ArcGis 10 y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

Arc Map 10

Arc Map es un software de Sistema de Información Geográfico (SIG) creado por ESRI para mapeo digital. En Arc Map uno puede visualizar y ver asociaciones en la información geográfica y modelos a diferentes escalas. Arc Map también permite la creación de mapas que llevan implícito mensajes o resultados de análisis geográficos. Arc Map puede ser utilizado para entender las relaciones existentes en información espacial geográfica, para la toma de

decisiones. Finalmente, la presentación de resultados en forma profesional de mapas, gráficos, tablas, etc. hace que Arc Map puede ser utilizado para publicaciones de artículos y material científico.

Problema: Construcción de un puente sobre el Río Oponcito en San Vicente de Chucurí.

Un grupo de ingenieros escogió el sector donde localizar el puente. Este es un sitio en donde se conoce el caudal máximo y mínimo del Río Pienta, medidos en la estación hidrometeorológica Charalá No 2402. El caudal máximo medido en esta estación corresponde a $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Con el caudal máximo usted debe determinar la altura que debe tener el Galibo de un puente (Cota más baja de las vigas del mismo), conservando un borde libre de 0.7 metros. El puente se construirá 149 metros aguas abajo del punto de inicio de la simulación. Se debe considerar que el puente posee dos columnas cuadradas con una sección de 1 metro de ancho x 8.5 metros de largo correspondientes al ancho de la banca de la vía. Según recomendaciones del Ingeniero estructural el eje de cada una de las columnas debe estar a 60 y 80 metros del inicio del puente.

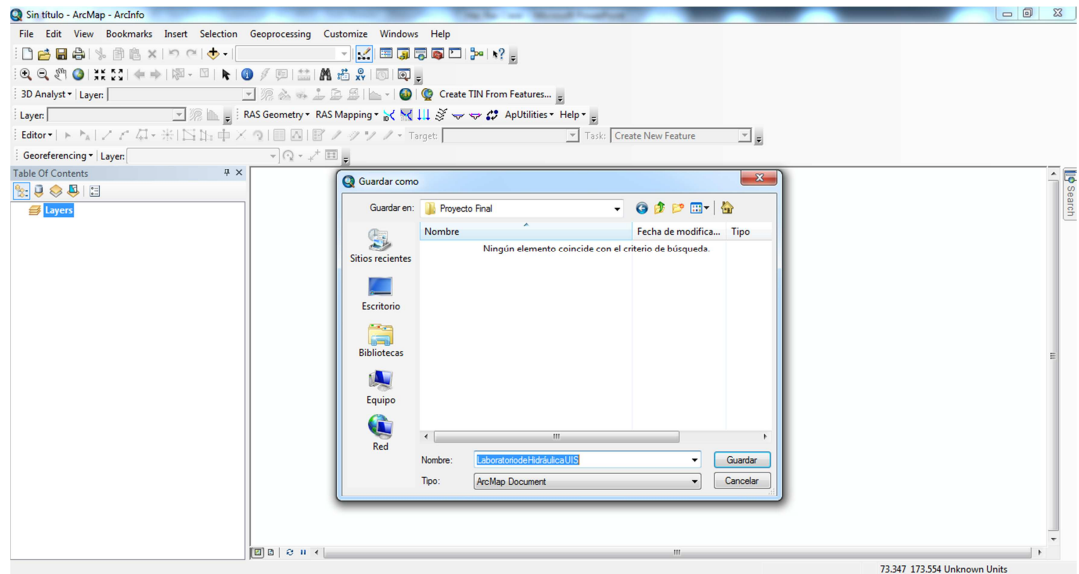
Para lo anterior se cargará en la página de albatros.uis.edu.co un archivo con las curvas de nivel, la ubicación del puente y las fotos del río.

Procedimiento

1. CREACIÓN DEL ARCHIVO DE IMPORTACIÓN PARA HEC-RAS EN ARC GIS 10

1.1. Creación de un nuevo proyecto en Arc Gis 10

File → Save As.. → Asignamos un nombre al archivo y la carpeta donde quedara guardado → Guardar

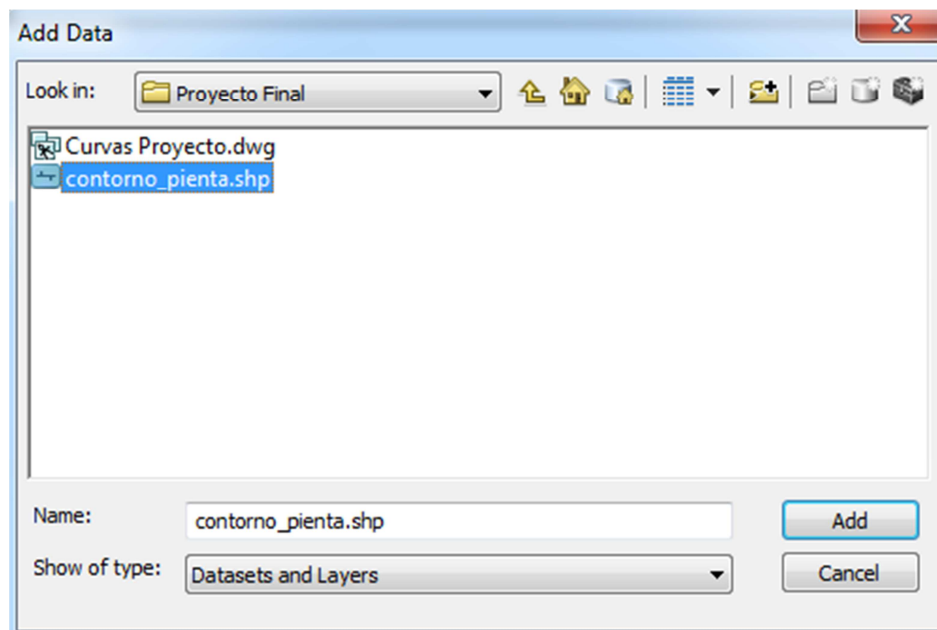


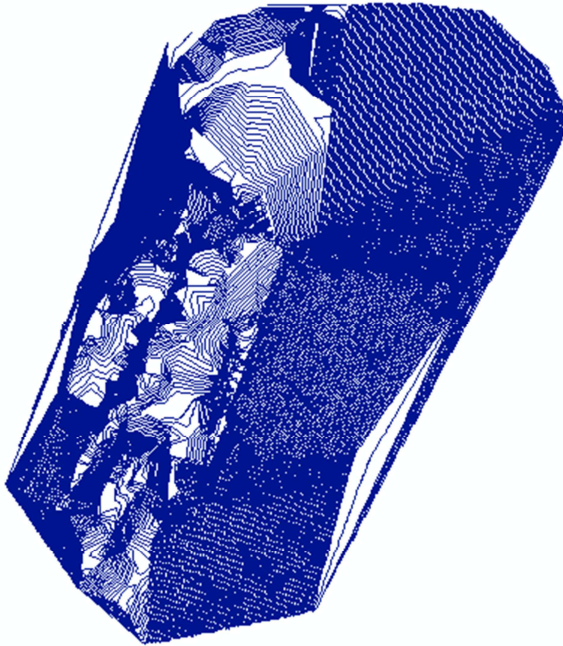
1.2. 3D Analyst (Generación del modelo digital de elevación (mdt)): A partir de la cartografía base generamos un mdt vectorial o TIN

1.2.1. Cargar Archivos Shape con la información de las curvas de nivel, el cauce y eje del río

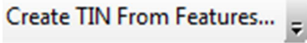
a. Dar click en Add Data 

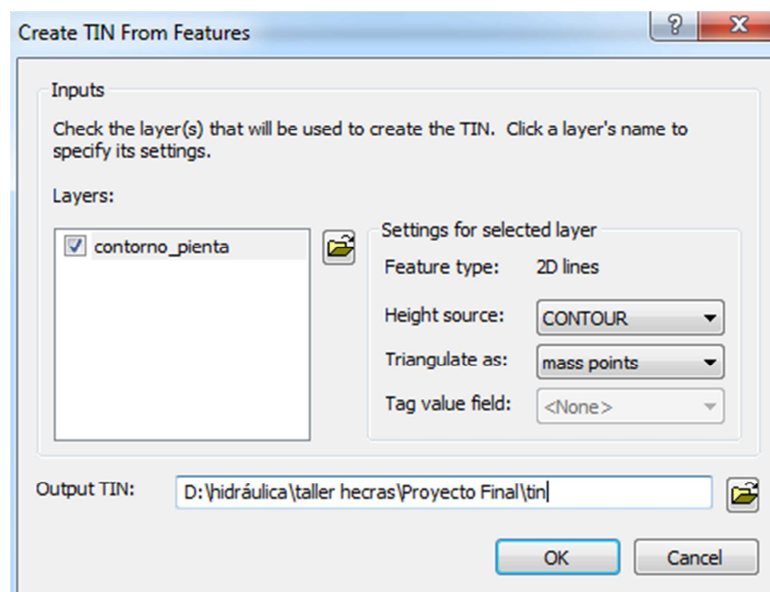
b. Buscar la carpeta en la que tenemos el archivo Shape y abrirlo «Add»

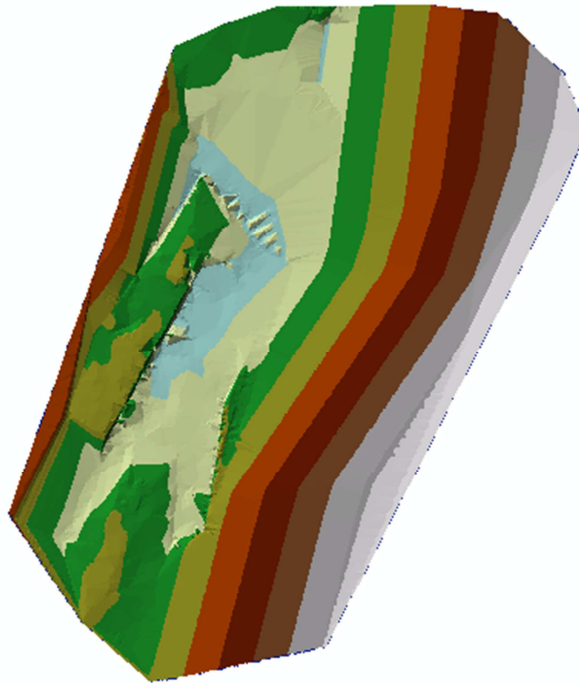




1.2.2. Usamos la herramienta Create TIN From Features... de la barra 3D Analys para general el tin.

- Dar click en Create TIN From Features... 
- Chuleamos la capa que tiene los datos de elevación, rellenamos la casilla Height source con el atributo que tiene las elevaciones y en Triangulate as elegimos la opción mass points.
- En Output TIN indicamos la carpeta donde quedará guardado el tin
- Para finalizar damos click en OK



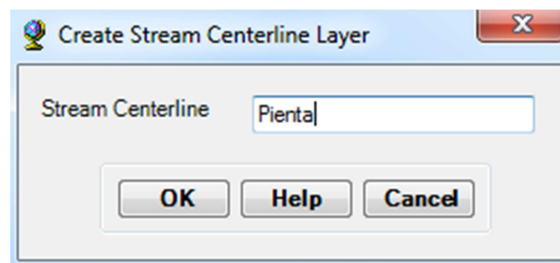


1.3. Hec-GeoRas 10.0

1.3.1. Dibujar el cauce

RAS Geometry→ Create RAS Layers→Stream Centerline→OK


Al activar Stream Centerline se abrirá un cuadro de dialogo donde introduciremos el nombre del rio o dejamos el que sale por defecto. A su vez se creará un fichero vectorial (líneas) en el que vamos a digitalizar el eje (s) del rio. Finalizamos dando OK.

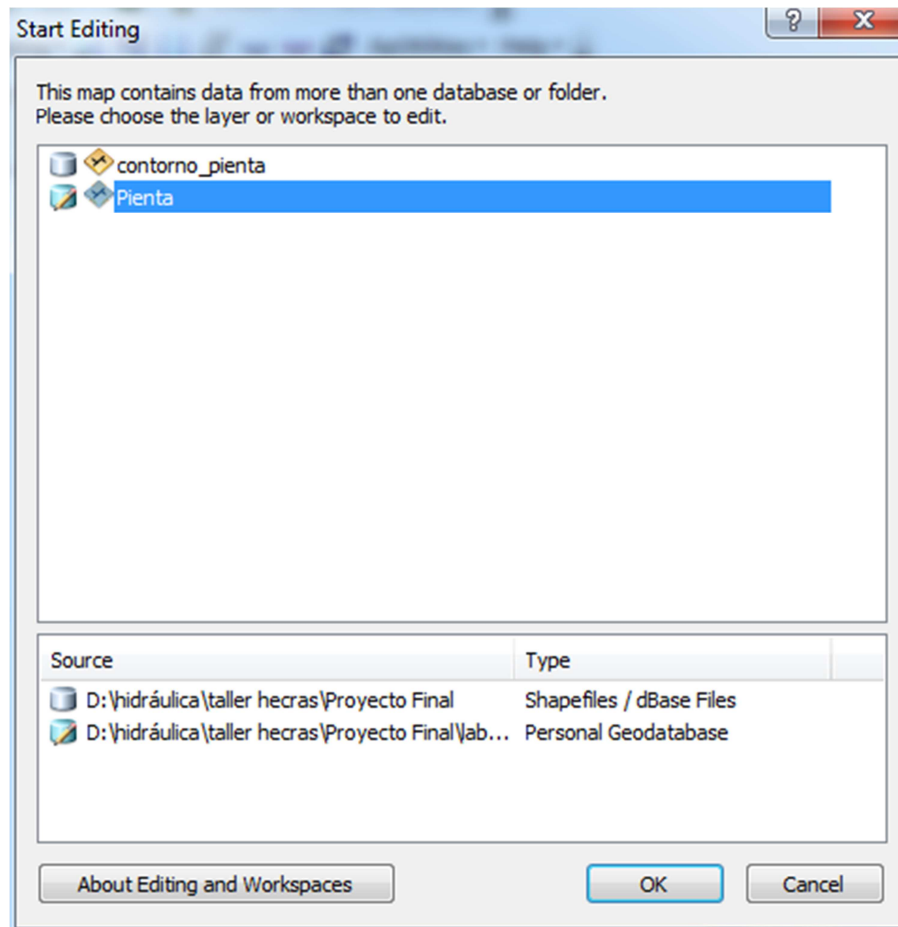



Reglas:


- ✓ Las uniones entre tramos tiene que ser perfectas, por lo tanto no debe quedar ningún hueco entre ellas.
- ✓ Se digitaliza de aguas arriba a aguas abajo.

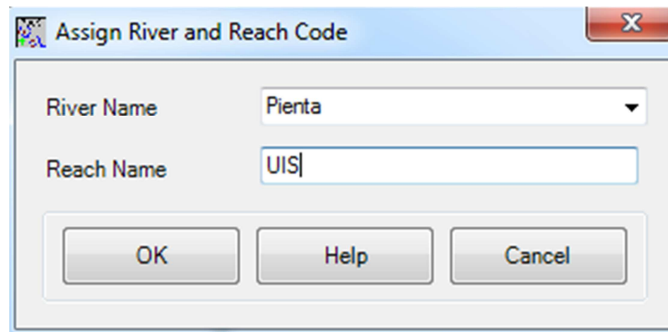
Las herramientas necesarias para digitalizar, editar y dar nombre a los tramos creados son las siguientes:


Start Editing  : Con esta herramienta damos inicio a la edición de las capas. Siempre debemos verificar cuando se inicie a editar que se encuentre activada la capa o fichero que realmente se quiere editar.
Editor→Start Editing→OK





Sketch Tool  : Dibuja segmentos con sucesivos click del botón izquierdo del ratón que no son más que puntos de una polilínea, para cerrar la polilínea hacemos doble click sobre el botón izquierdo.

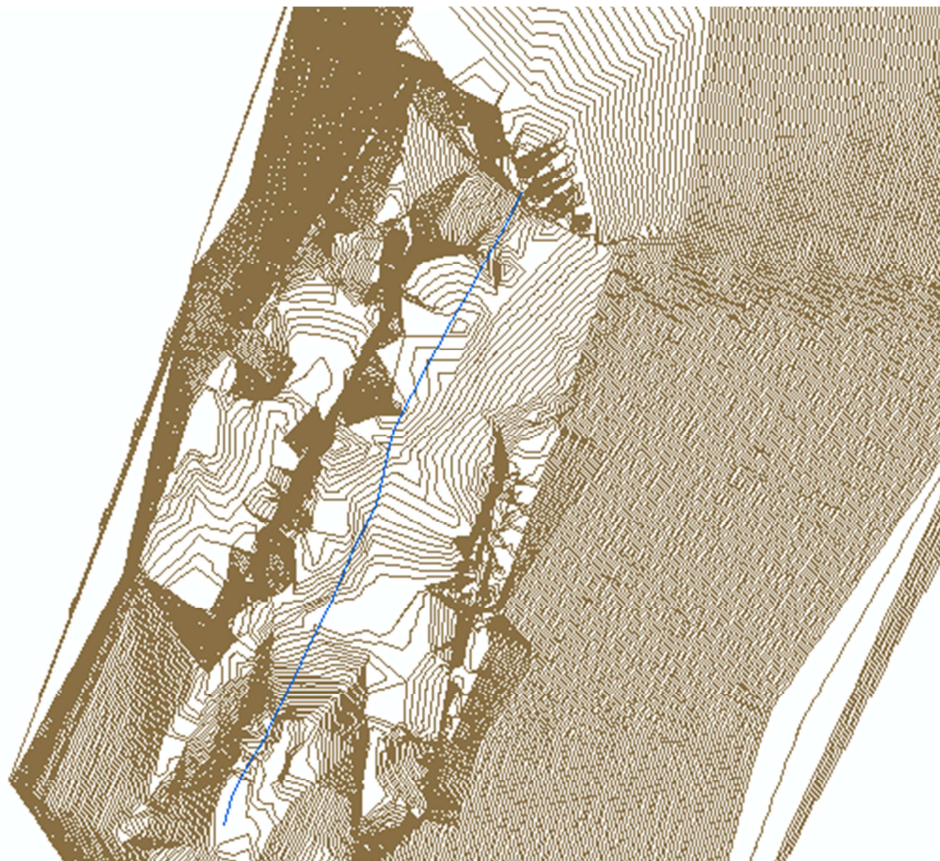
Assign RiverCode and ReachCode to river  : Cuando se han digitalizado todos los tramos hay que nombrarlos indicando el nombre del río y el nombre del tramo estudiado. Pulsando este botón, primero se define el río a editar dando click sobre este y luego se introducen en las casillas el nombre del río y el nombre del tramo en estudio.



Assign FromStation and ToStation : Esta herramienta se utiliza para añadir afluentes al río principal (opcional). Abrir la edición de “Stream Centerline” y trazar con esta herramienta un segmento que corte a “Stream Centerline” donde enlazará el afluente. Con esto se consigue dividir “Stream Centerline en dos segmentos (tramos), definidos por el afluente. Ahora hay que eliminar dos pequeños fragmentos lineales que no se necesitan.

Save Edits : Guarda la edición realizada a la capa o a los ficheros. Editor→Save Edits

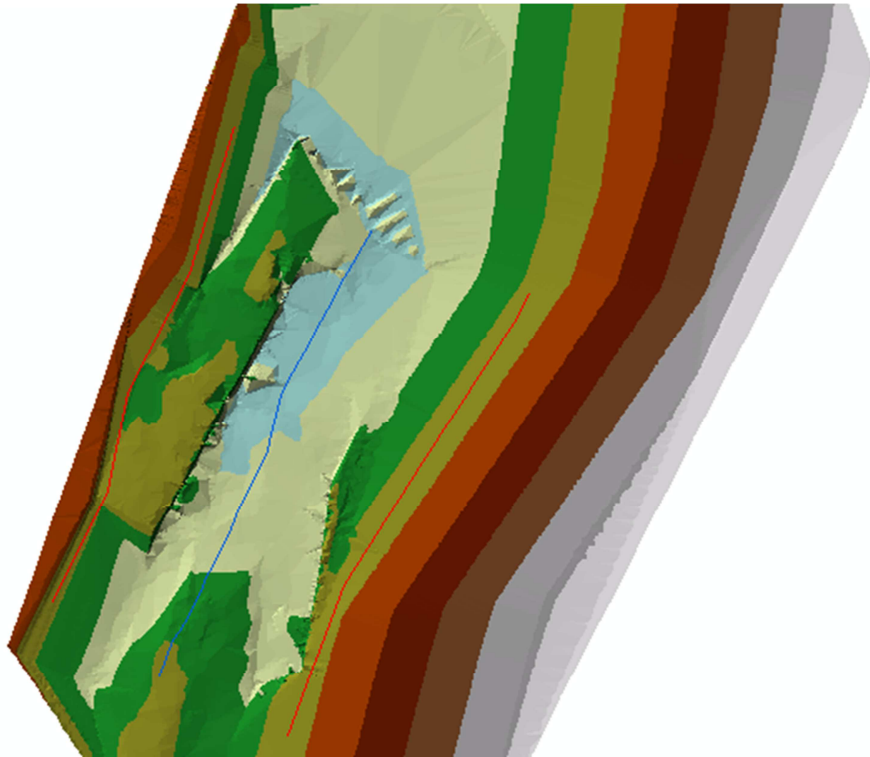
Stop Editing : Detiene la edición. Editor→Stop Editing



1.3.2. Dibujar las bancas

RAS Geometry→Create RAS Layers→Bank Lines→OK

Las bancas serán las líneas que delimitaran el cauce principal frente a las llanuras de inundación. Se digitalizaran por separado las líneas para la orilla izquierda y derecha del río. Las líneas de los ríos tributarios se pueden superponer con las líneas del río principal. Es importante tener cuidado a la hora de realizar esta delimitación ya que la posición donde se pongan las bancas tendrá repercusión en el cálculo de la rugosidad, esto debido a que Hec-Ras trata de diferente forma al cauce principal que a las llanuras de inundación. Después de trazar cada línea de las bancas, guardamos la edición.

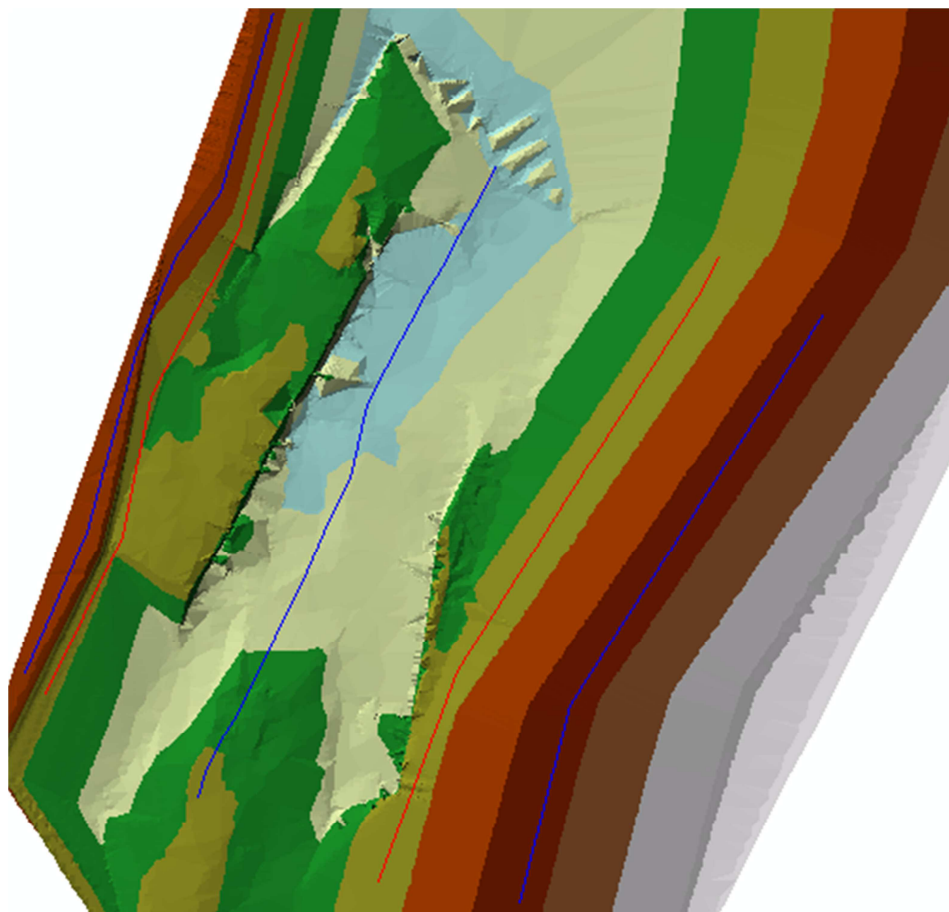
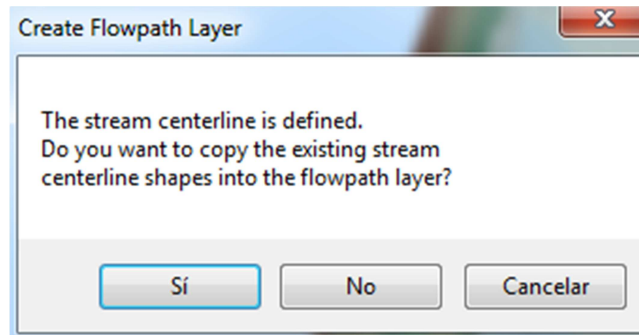



1.3.3. Dibujar el recorrido del flujo

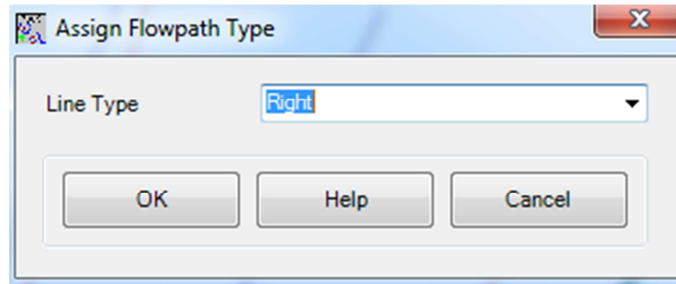
RAS Geometry→ Create RAS Layer→ Flow Path Centerlines→Si→OK

El recorrido del flujo se refiere a las zonas por donde se estima que el agua circulará preferentemente por el cauce principal y los dos desbordamientos.

Si la capa del cauce existe, se aceptará copiar esta como la trayectoria de flujo para el canal principal y luego se trazara el desbordamiento izquierdo y derecho. Con la creación de esta capa se podrá determinar las distancias entre secciones tanto en el cauce principal como en los desbordamientos.



Cada línea de recorrido del flujo debe estar etiquetada con un identificador de izquierda, canal principal, y derecho; correspondiente a la de desbordamiento izquierdo, canal principal, o desbordamiento derecho. Uno por uno, utilice la herramienta de paso de flujo  para etiquetar cada una de la trayectoria de flujo con el cursor.



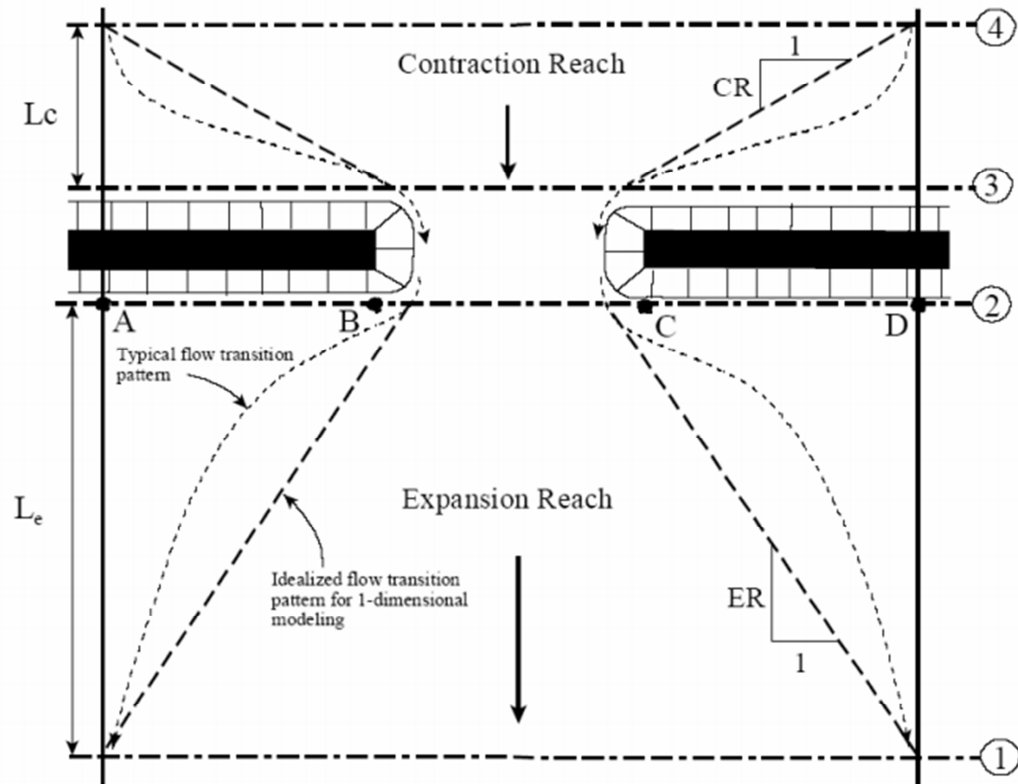
1.3.4. Dibujar las secciones transversales

RAS Geometry→Create RAS Layers→XS Cut Lines→OK

Con el trazado de las secciones transversales se hará parte del proceso para extraer los datos de elevaciones a partir del modelo del terreno. Cada sección transversal se debe dibujar de la izquierda del desbordamiento al desbordamiento de la derecha. Las secciones transversales deben ser dibujadas lo más perpendiculares a las líneas de flujo, cruzar el canal principal de una sola vez y estas no se pueden cruzar.

Recomendaciones para la ubicación de las secciones

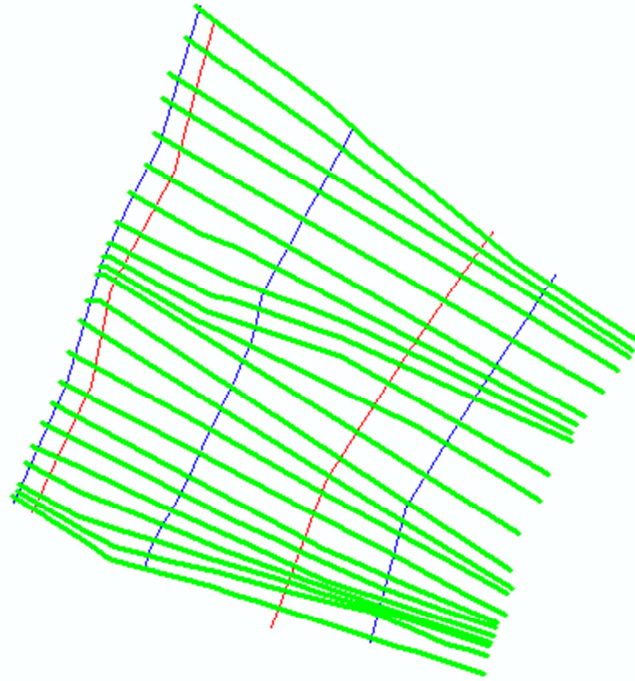
- ✓ En los sitios donde se prevea inestabilidad en el flujo se deben trazar secciones con poca separación entre ellas, ya que esto influirá efectivamente en la estabilidad del modelo.
- ✓ La separación de las secciones está estrechamente relacionada con la uniformidad de la geometría del terreno, esto quiere decir que a mayor uniformidad en este se podrán tener secciones más alejadas.
- ✓ Ubicar secciones en puntos singulares como puentes y bocatomas. Para nuestro caso después de tener la ubicación del puente y sus dimensiones en el plano se debe tener en cuenta lo referente al emplazamiento de secciones transversales relativas a la ubicación de este, ya que este paso es crucial para la predicción exacta de las pérdidas de expansión y contracción. La rutina del puente utiliza cuatro secciones transversales específicamente colocadas en ambos lados de la estructura para determinar las pérdidas de energía a través del puente. Adicionalmente el programa considerará dos secciones transversales dentro del puente superponiendo los datos del puente y la vía sobre las secciones transversales ubicadas inmediatamente aguas arriba e inmediatamente aguas abajo del puente.



Las secciones 3 y 2 son utilizadas por el programa para incorporar la geometría del puente; las secciones 4 y 1 son de control de aproximación del flujo.

Las secciones 4 y 1 se suponen suficientemente alejadas del puente como para no estar afectadas por los fenómenos de contracción y expansión de las líneas de corriente de flujo. Existen formulaciones aproximadas sobre la distancia de L_c y L_e entre secciones, en función de la luz total del puente y longitud de estribos, pero existen metodologías más efectivas para definir las zonas de contracción y expansión en el Apéndice B del Hydraulic Reference Manual de Hec-Ras. Para nuestro caso contamos con un gran número de secciones transversales alejadas del puente que no estarán afectadas, por lo tanto no realizaremos el cálculo de estas distancias.

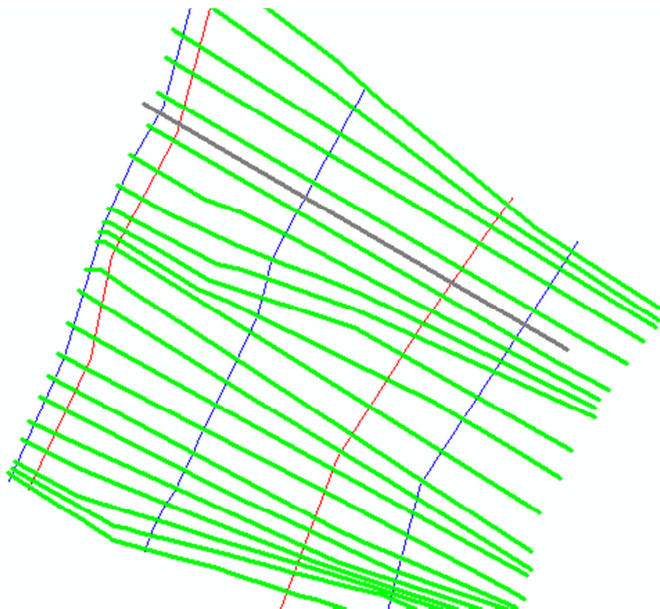
Las secciones 3 y 2 se localizaran a pocos metros aguas arriba y aguas abajo del puente respectivamente, y reflejaran la longitud requerida para la aceleración abrupta y contracción que ocurre en el área inmediata a la abertura. Para nuestro caso se trazaron en Auto Cad dos secciones, la 3 dos (2) metros aguas arriba y la 2 dos (2) metros aguas abajo del puente.



1.3.5. Dibujo del puente

RAS Geometry→Create RAS Layers→Bridges/Culverts→OK

Conociendo la ubicación del Puente se dibujara desde el desbordamiento izquierdo hasta el desbordamiento derecho.



1.3.6. Creación de los atributos de las capas

Stream Centerline Attribute

RAS Geometry→Stream Centerline Attribute→Topology

RAS Geometry→Stream Centerline Attribute→Length/Stations

RAS Geometry→Stream Centerline Attribute→Elevations

XS Cut Line Attributes

RAS Geometry→XS Cut Line Attributes→River/Reach Names

RAS Geometry→XS Cut Line Attributes→Downstream Reach Lengths

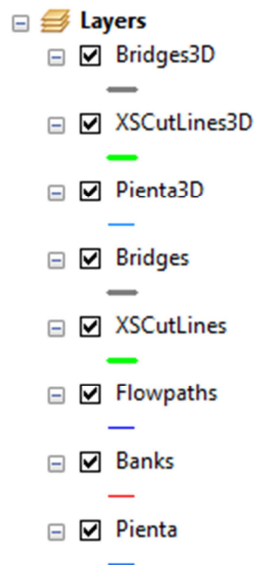
RAS Geometry→XS Cut Line Attributes→Elevations

Bridges/Culverts

RAS Geometry→Bridges/Culverts→River/Reach Names

RAS Geometry→Bridges/Culverts→Elevations

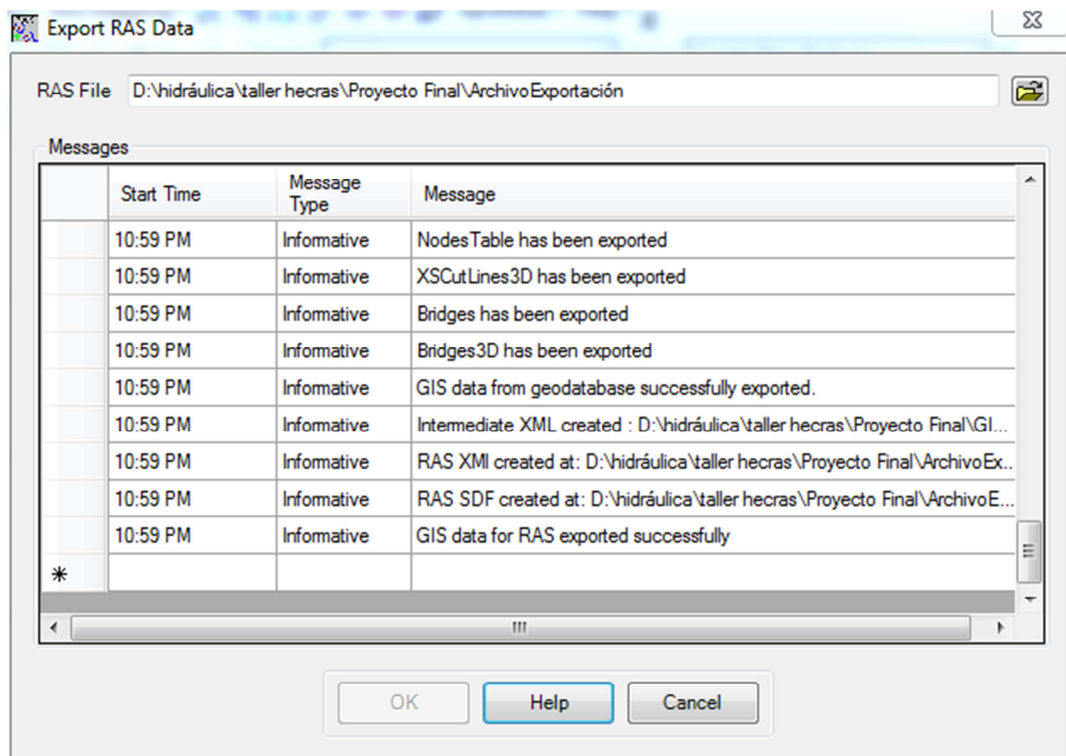
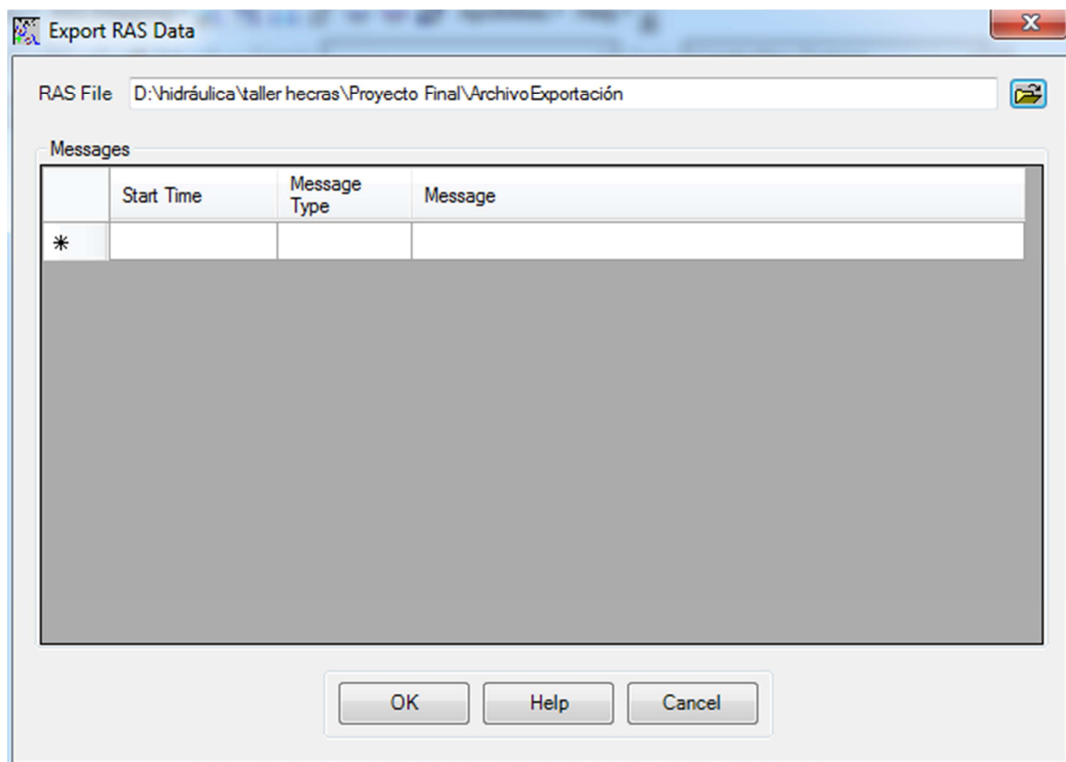
Hasta el momento todas las capas que se han creado son dibujos en 2D. Para pasar la información a Hec-Ras se debe tener información en 3D. Con la creación de los atributos del cauce, las secciones transversales y el puente se crearán nuevas capas de estos con datos en 3D para exportar.

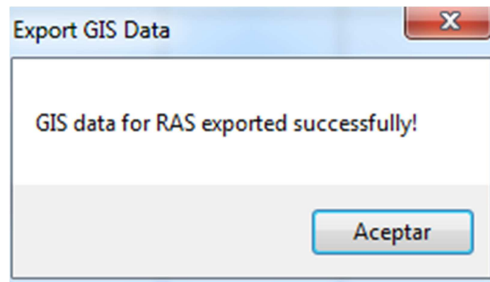


1.3.7. Creación del fichero de exportación para HEC-RAS

RAS Geometry→Export RAS data→ Ubicar la carpeta donde quedará guardo el archivo y darle un nombre →OK

Se creará el fichero que posteriormente será leído por HEC-RAS. Este fichero tendrá formato .sdf y se almacenara en la carpeta que se selecciono.



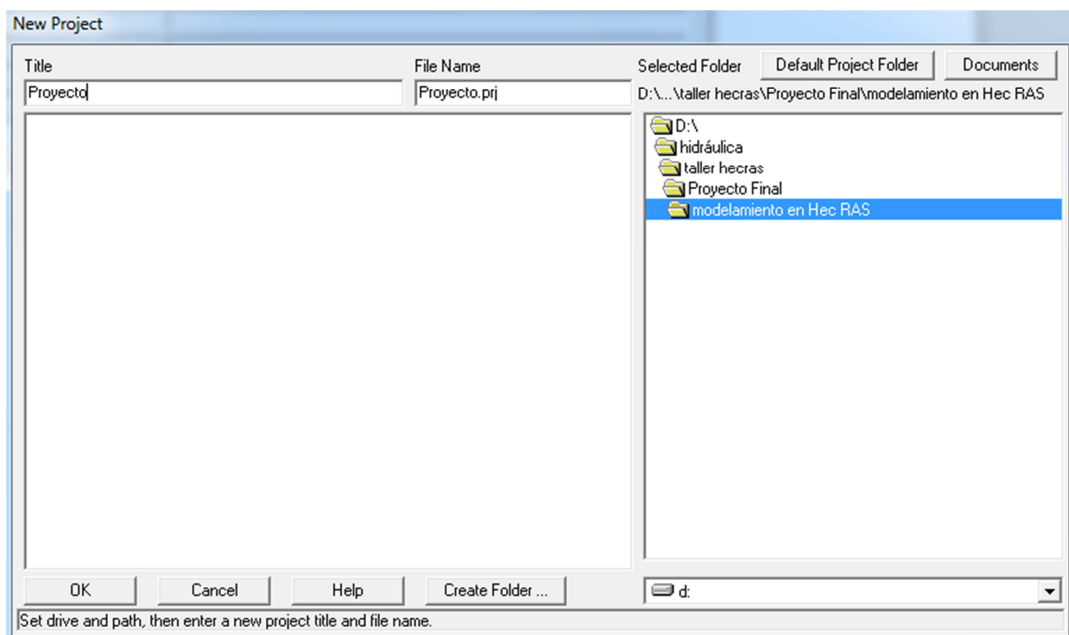


2. Hec-Ras

2.1.1. Creación de un nuevo proyecto

File→New Project

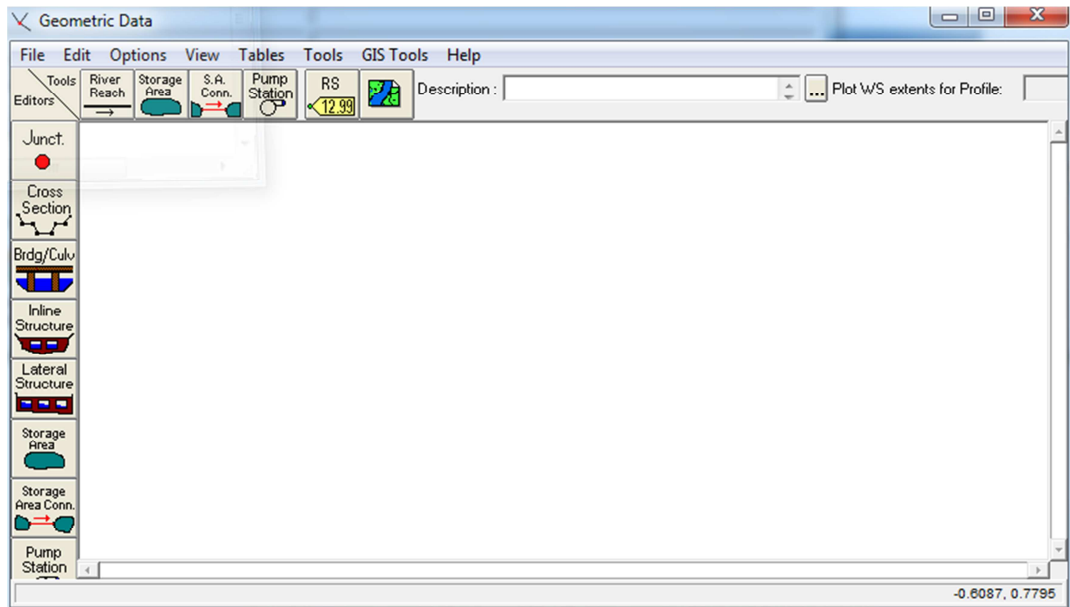
Se abre una ventana en donde ingresamos el nombre del proyecto en Title y se selecciona la carpeta donde se quiere guardar el archivo en Selected Folder. Para finalizar dar click en OK



2.1.2. Edición de la geometría

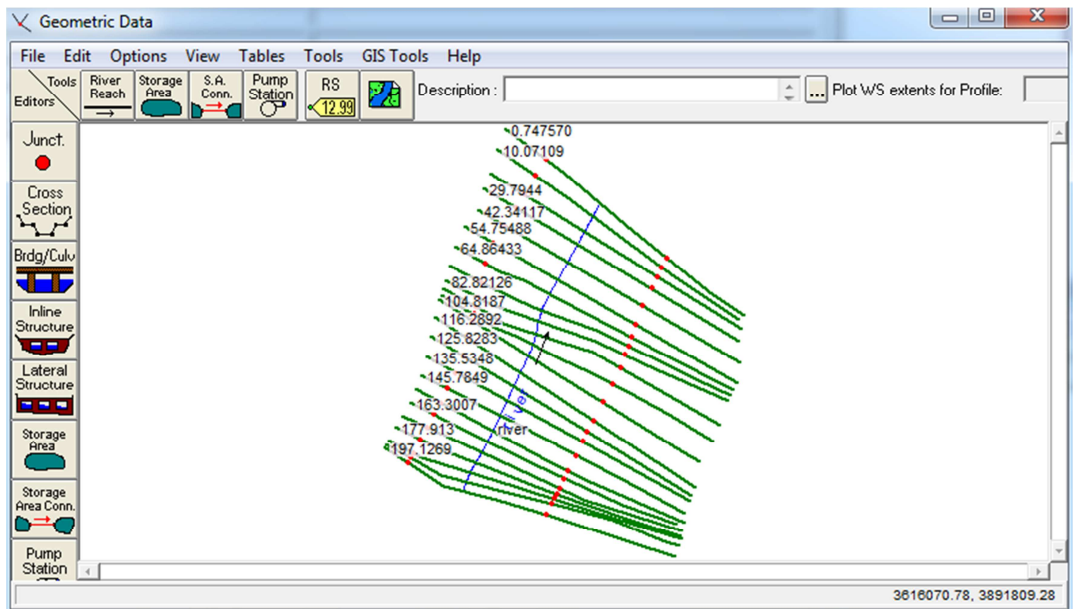
Edit→Geometric Data...

El ingreso y la edición de la geometría de las secciones transversales, el puente y los pilares se realizará en la ventana de Geometric Data.



2.1.2.1. Importar el archivo con la geometría creado en Arc Gis

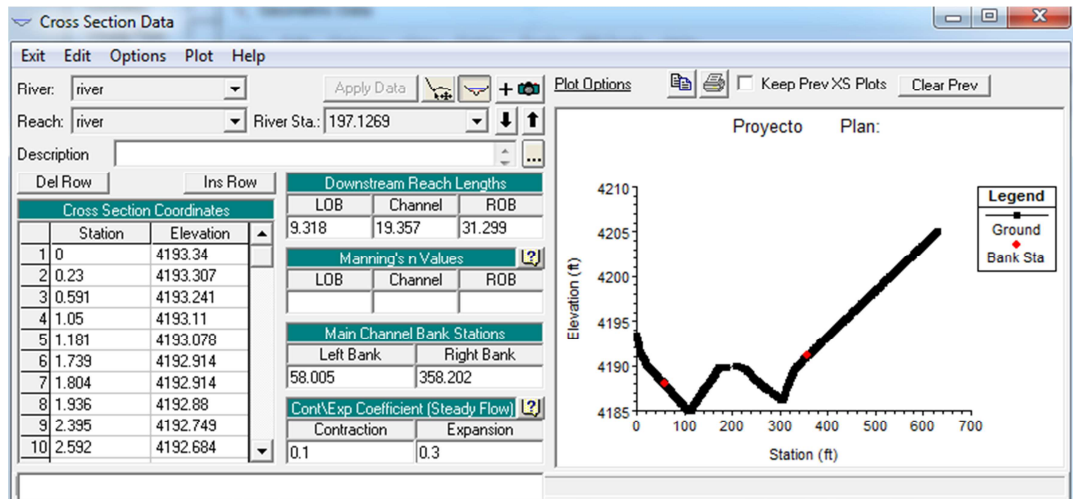
File → Import geometry Data → GIS format... → Buscar el archivo de exportación que se creó en Arc Gis → Seleccionar SI(metric) units → Next → Finished – Import Data



2.1.2.2. Edición de las secciones transversales



Seleccionamos el icono Cross Section y se abre una ventana, la cual contiene la siguiente información:



Cross Section X-Y Coordinates: Coordenadas X-Y de la sección transversal

Downstream Reach Lengths: Distancia a secciones aguas abajo

Manning's Values: Valores de rugosidad

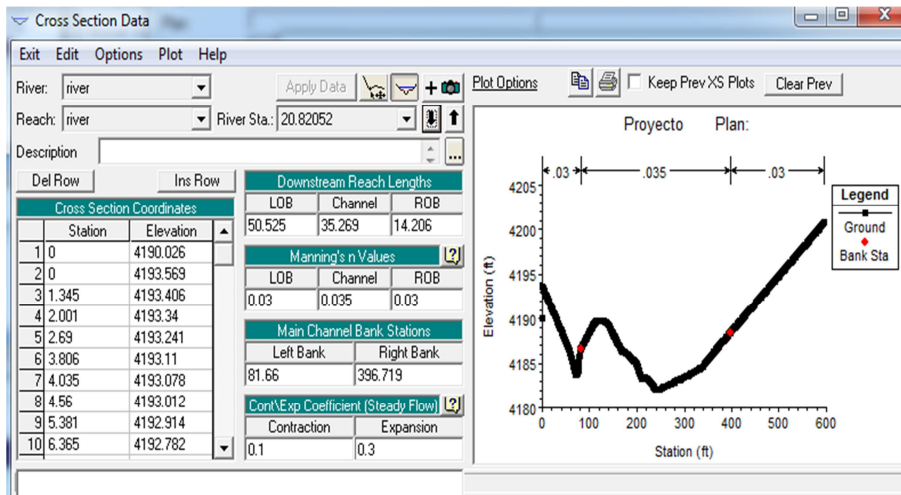
Main Channel Bank Stations: Localización de las estaciones que definen el canal principal del flujo

Cont\Exp Coefficients: Coeficientes de expansión y contracción

2.1.2.2.1. Ingresar los coeficientes de rugosidad de Manning

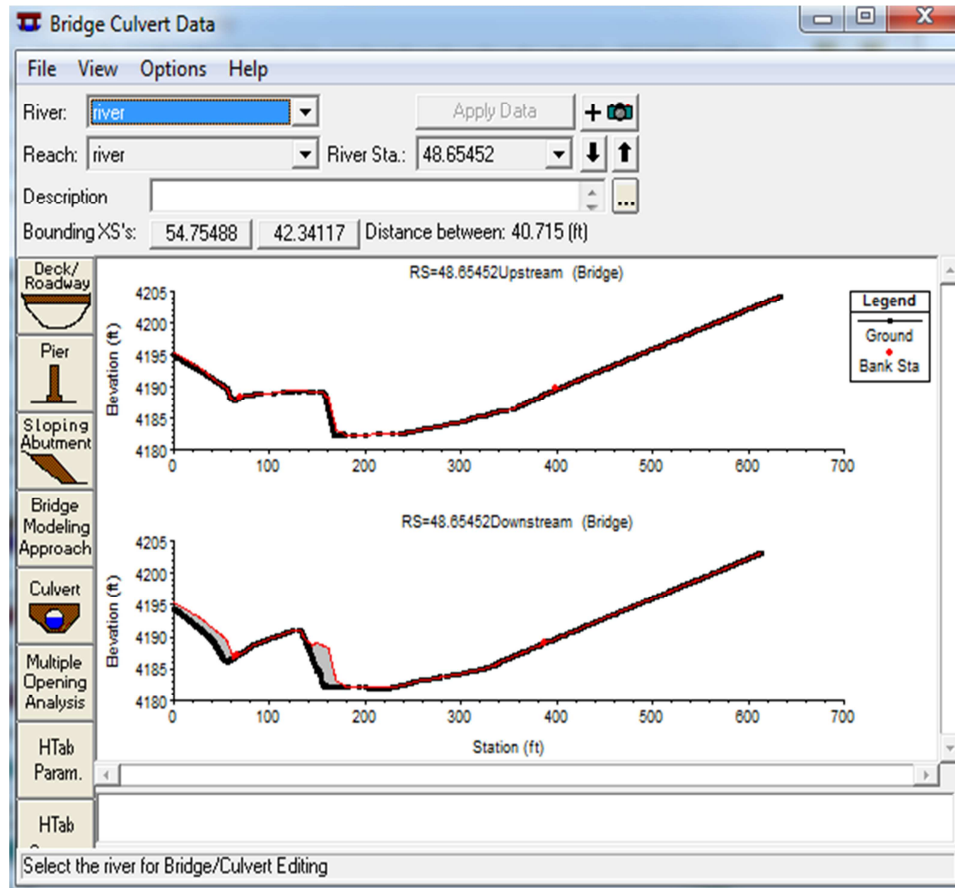
El coeficiente de rugosidad de Manning es un parámetro que depende de la rugosidad de la pared, su valor varía entre 0,01 para paredes muy pulidas (polietileno, plástico) y 0,06 para ríos con fondo muy irregular y con vegetación.

Para nuestro caso el estado de la superficie del río tiene bastante vegetación acuática, por lo tanto los coeficientes varían entre 0.03 y 0.035. Asumiremos un coeficiente de Manning de 0.03 para los bordes del río y de 0.035 para su eje principal.



2.1.2.3. Ingreso de la geometría del puente

Seleccionamos el icono Bridge/Culvert y se abre la siguiente ventana:





2.1.2.3.1. Deck/Roadway

En esta ventana ingresaremos lo referente a la calzada y cubierta del puente.

Distance	Width	Weir Coef
2	8.5	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream			
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0.	1278.5	1277.8	0.	1278.5	1277.8
2	150.	1278.5	1277.8	150.	1278.5	1277.8
3						
4						
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS: 2 D.S Embankment SS: 2

Weir Data
Max Submergence: 0.95 Min Weir Flow El.:
Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Distance-El campo de la distancia se utiliza para introducir la distancia entre el lado de aguas arriba de la cubierta del puente y la sección transversal inmediatamente aguas arriba del puente.

Width- El ancho de campo se utiliza para introducir el ancho de la cubierta del puente a lo largo de la corriente.

Weir coefficient- Coeficiente que se utilizará para el flujo de presa sobre la cubierta del puente en la norma de la ecuación del vertedero.

Station, high chord, low chord-Esta tabla se usa para definir la geometría de la cubierta del puente en el lado aguas arriba y aguas abajo del puente. La información se introduce de izquierda a derecha en el estacionamiento de la sección transversal.

U.S. y D.S Embankment SS- Este campo se utiliza para entrar en la pendiente de la cuneta en el lado aguas arriba y aguas abajo

del puente. La pendiente debe ser introducido como la relación horizontal a vertical. Laboratorio: 2 (2 horizontal a 1 vertical)

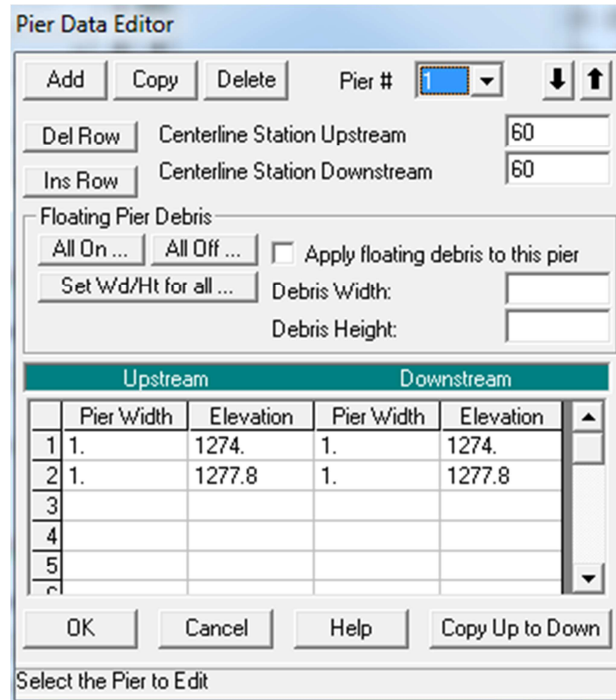
Max Submergence- Es la relación máxima permitida de inmersión (entre la altura del agua y la altura de la línea de energía) que pueden ocurrir durante los cálculos de flujo de presa sobre la cubierta del puente. Si esta proporción se supera, el programa asumirá que el tablero del puente actúa como un vertedero y cambiará el modo de cálculo al método de energía (paso estándar). Laboratorio: 0.95

Min Weir Flow El- Este campo se utiliza para ajustar la altitud mínima para que el flujo de vertedero comience a ser evaluado. En conclusión es la elevación que determina cuando el flujo sobrepasa el puente. Si este campo es dejado en blanco el programa usará por defecto el valor de la cuerda más alta en el lado de aguas arriba del puente. Laboratorio: Vacío

Weir Crest Shape: Esta selección determinará la reducción del coeficiente del flujo del vertedero debido a la sumergencia. El primer método se basa en el trabajo que se hizo en una forma trapezoidal represa de cresta ancha (FHWA, 1978). El segundo criterio fue desarrollado para una forma de vertedero Sigma (COE, 1965). El usuario debe escoger el criterio que mejor se adapte a su problema. Laboratorio: Broad Crested

2.1.2.3.2. Pier

En esta ventana se ingresa la geometría de los pilares. No se debe incluir los pilares como parte del terreno o tablero del puente, porque las ecuaciones de pérdida por pilares emplean datos de pilares separados durante los cálculos



Pier #: Número de la pila, el programa establecerá el primer pilar como número 1. Para agregar más, seleccionar el icono «Add»

Centerline Station Upstream: Abscisa del eje de la pila agua arriba

Centerline Station Downstream: Abscisa del eje de la pila aguas abajo

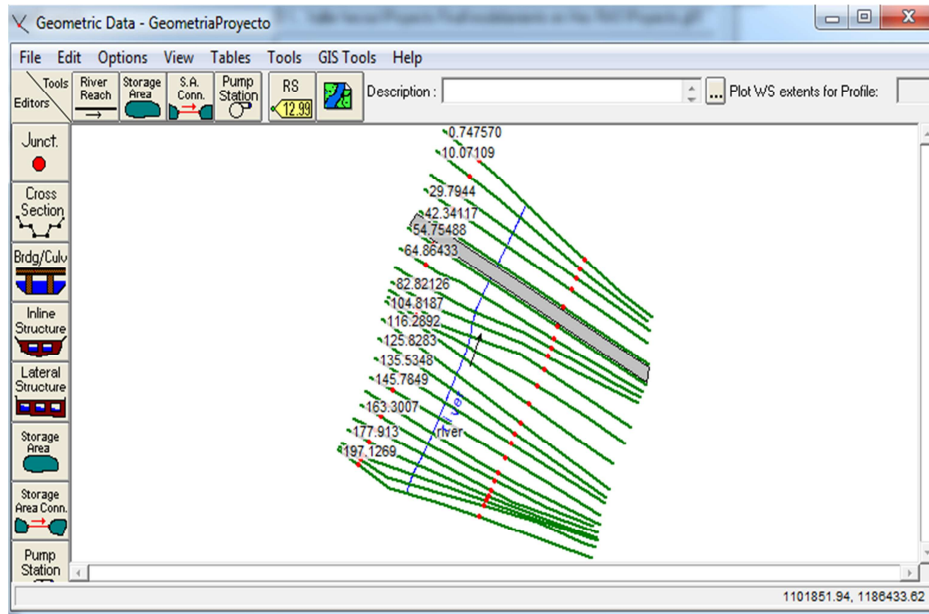
Pier Width: Ancho de la pila

Elevation: Cota hasta la que la pila tiene el ancho indicado

2.1.2.4. Guardar la geometría

File→Save Geometry Data As...→En Selected Folder se ubica la carpeta donde quedara guardada la geometría y en Title se escribe el nombre de la geometría

Después de realizar todas las ediciones e ingresos de la geometría siempre esta debe guardarse.



2.1.3. Ingreso de datos de flujo permanente y condiciones de borde

Edit → Steady Flow Data...

Una vez que los datos geométricos se han ingresado, se ingresan los datos de flujo requeridos. Los datos para flujo permanente son: número de perfiles para ser computarizados, datos de flujo y las condiciones de borde del sistema fluvial.

Para nuestro ejemplo tenemos un caudal de $200 \text{ m}^3/\text{s}$

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
River	Reach	RS	PF 1	
1 river	river	197.1269	200	

Edit Steady flow data for the profiles (m³/s)

Las condiciones de borde se requieren para realizar los cálculos y se pueden tener los siguientes escenarios:

- ✓ Si el análisis a realizar es un flujo subcrítico solo es necesaria la condición de borde aguas abajo.
- ✓ 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

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 del flujo y comienza a iterar a partir de este valor

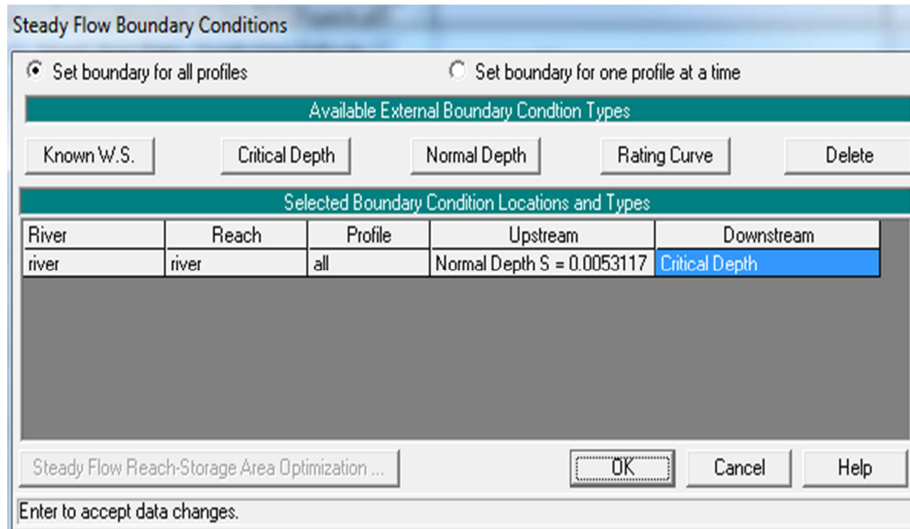
Rating Curve: Si se conoce la curva de relación entre Caudal y profundidad (Curva de descarga).

Para este modelo se tienen las siguientes condiciones:

- ✚ Aguas arriba del puente el flujo viene con la altura normal
Calculo de la pendiente

$$m = \frac{y_{1era\ Sección} - y_{ultima\ sección}}{longitud\ total\ del\ cauce}$$
$$m = \frac{1275.6 - 1274.55}{197.6779} = 0.0053117$$

- ✚ Aguas abajo del puente el flujo pasa con la altura critica

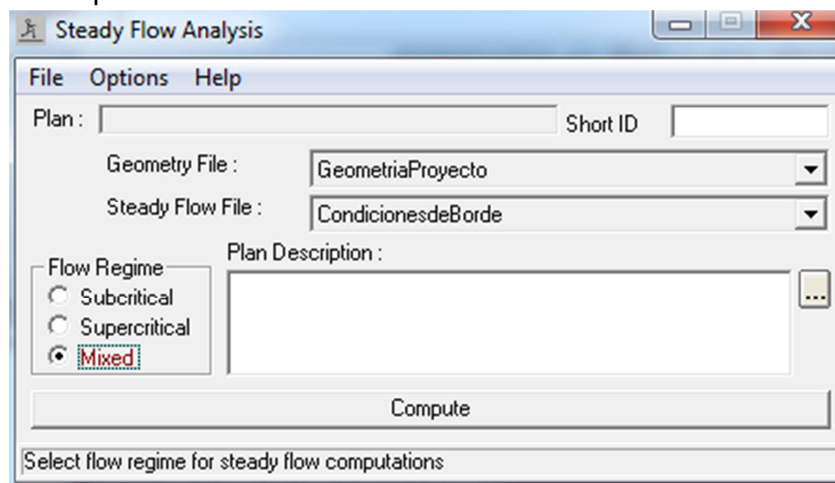


2.1.4. Cálculos hidráulicos

Una vez que todos los datos geométricos y datos de flujo se ingresen, el usuario puede empezar a realizar los cálculos hidráulicos para:

- ✓ Análisis de flujo permanente
- ✓ Análisis de flujo no permanente
- ✓ Funciones de diseños hidráulicos

El primer paso es conformar un Plan. El Plan define que datos geométricos y datos de flujo que van a ser usados, así como también proporciona un título y una identificación corta para la corrida. Luego de crear el plan y seleccionar el análisis de flujo, procedemos a oprimir el botón COMPUTE para que el programa realice los cálculos correspondientes.

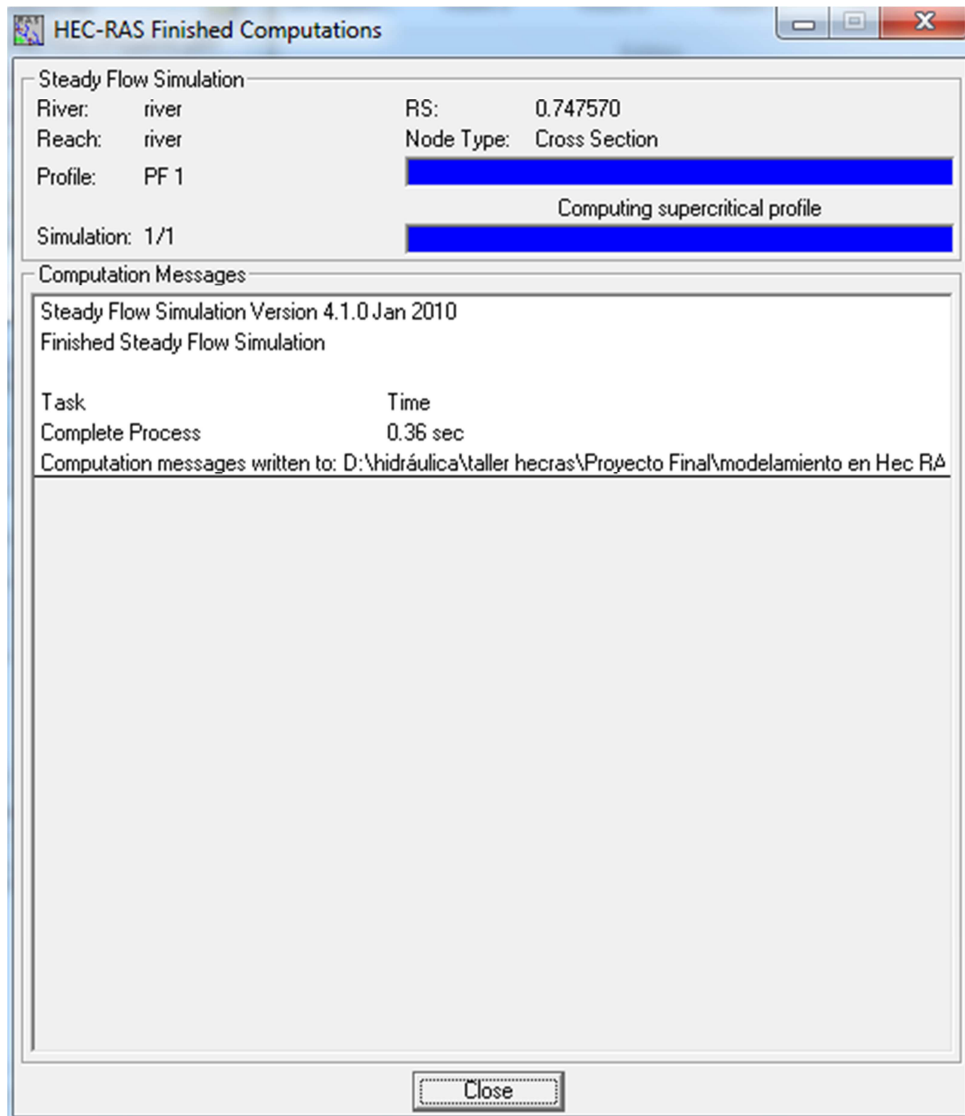


2.1.5. Corregir los errores en las secciones transversales

Al correr el modelo se pueden generar algunos errores, lo más comunes son los siguientes:

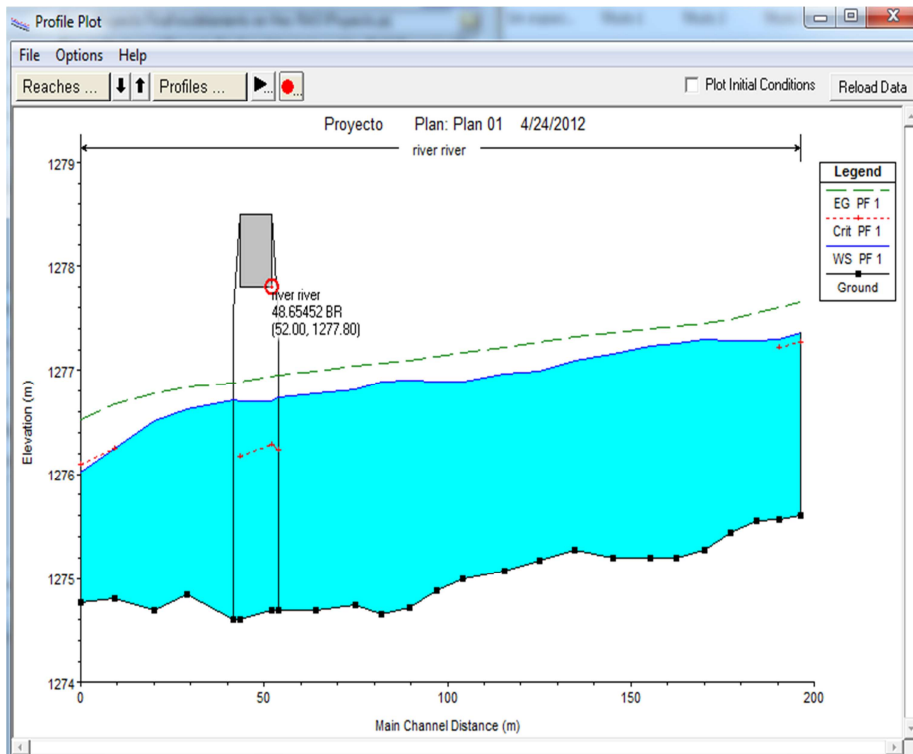
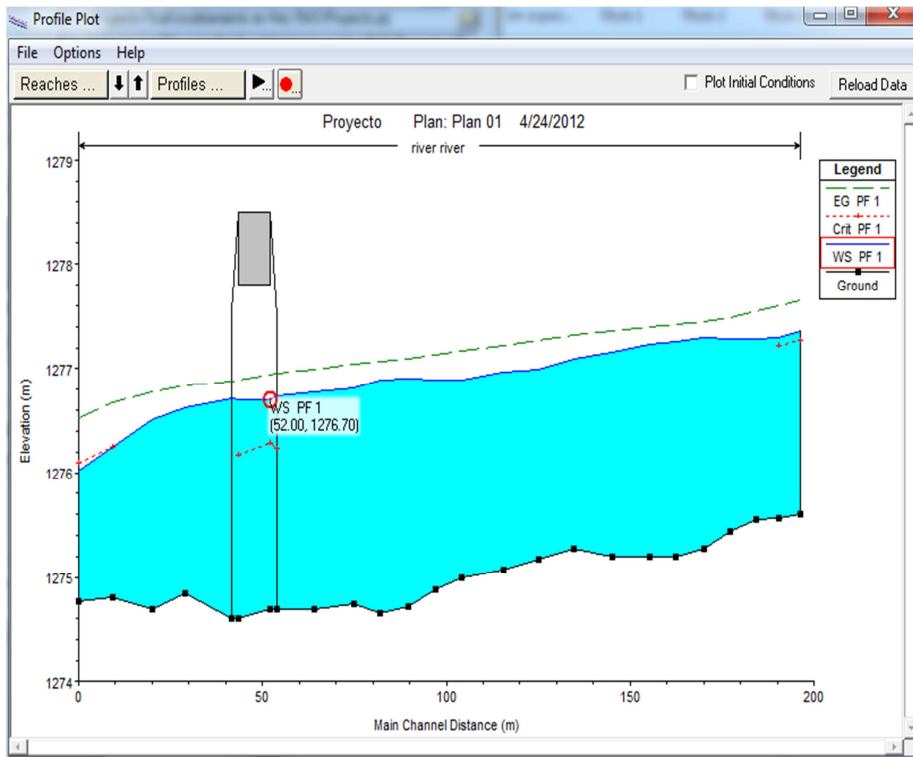
- ✓ Las secciones transversales tienen más de 500 puntos, y se corrige eliminando puntos repetidos hasta llegar a menos de 500 puntos.
- ✓ Cuando dos puntos se encuentran repetidos se debe eliminar el que menos vaya con la tendencia de la geometría de la sección
- ✓ Para el correcto corrido del programa las secciones deben tener completa su información de coeficientes de Manning, coordenadas, distancia a sección aguas abajo, localización de las estaciones y coeficientes de expansión y contracción.
- ✓ La información del puente debe estar completa como es el caso del ancho de la cubierta y la distancia entre el lado de aguas arriba de la cubierta del puente y la sección inmediatamente aguas arriba.

Luego de corregir los errores volvemos a correr el programa y nos debe aparecer la siguiente ventana:



2.1.6. Determinar la altura que debe tener el Galibo de un puente (Cota más baja de las vigas del mismo), conservando un borde libre de 0.7 metros

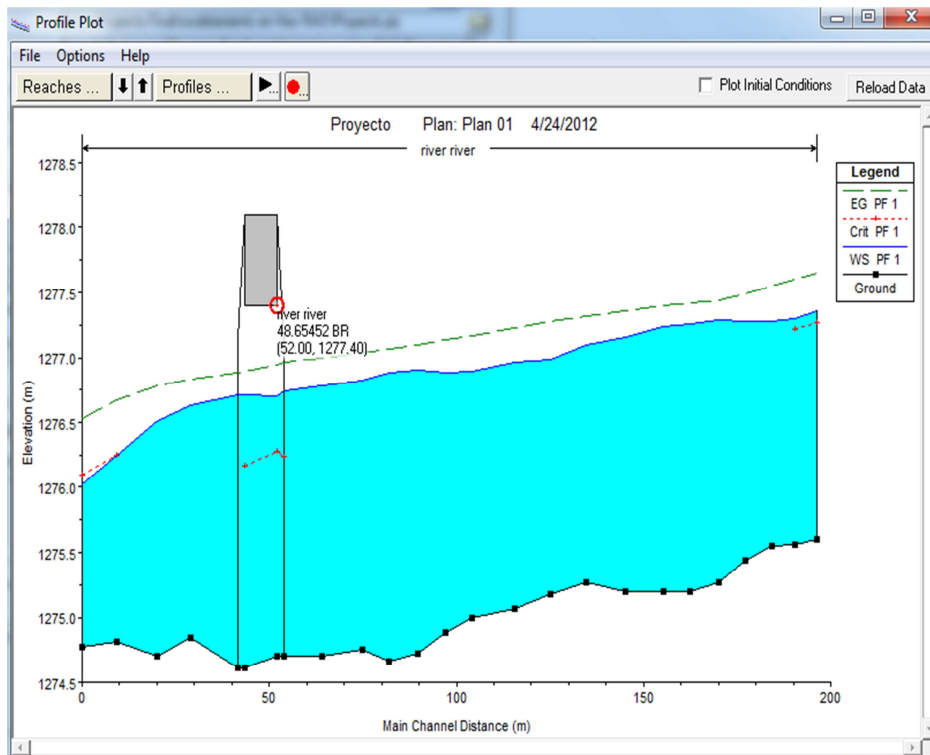
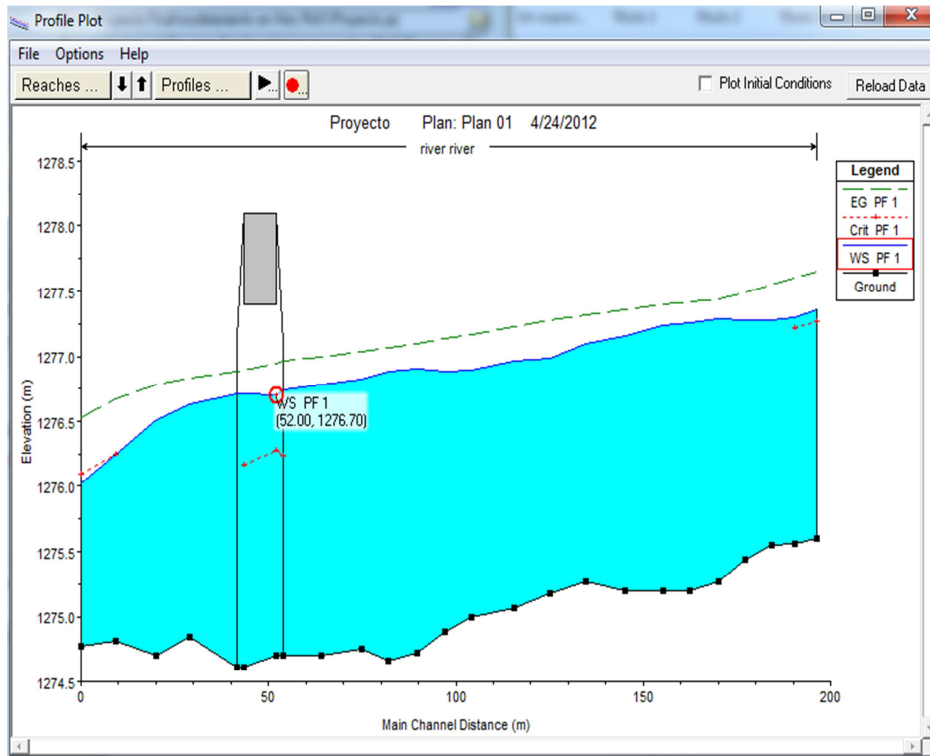
View profiles 



Borde libre = Cota del galibo – Cota del espejo de agua

$$Borde libre = 1277.8 - 1276.7 = 1.1 \text{ m}$$

Como el borde libre es mayor que 0.7 disminuimos la altura del puente 0.4 metros para que nos de exactamente los 0.7 metros.



$$\text{Borde libre} = \text{Cota del galibo} - \text{Cota del espejo de agua}$$

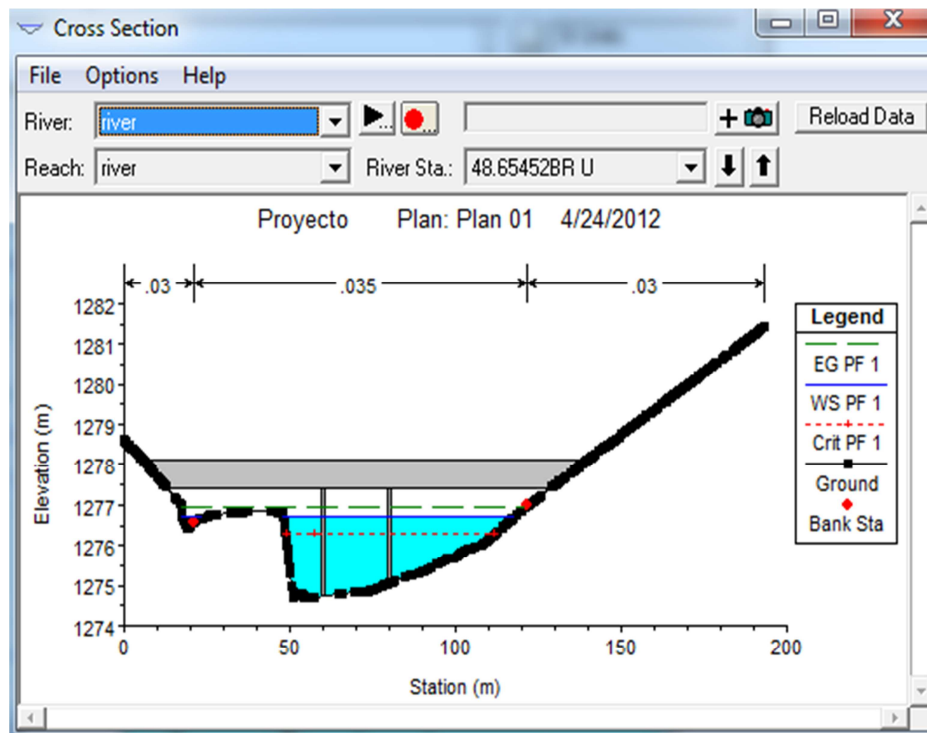
$$\text{Borde libre} = 1277.4 - 1276.7 = 0.7 \text{ m OK}$$

2.1.7. Visualización de los resultados

2.1.7.1. Gráfico de cada sección transversal (*View Cross Sections*)

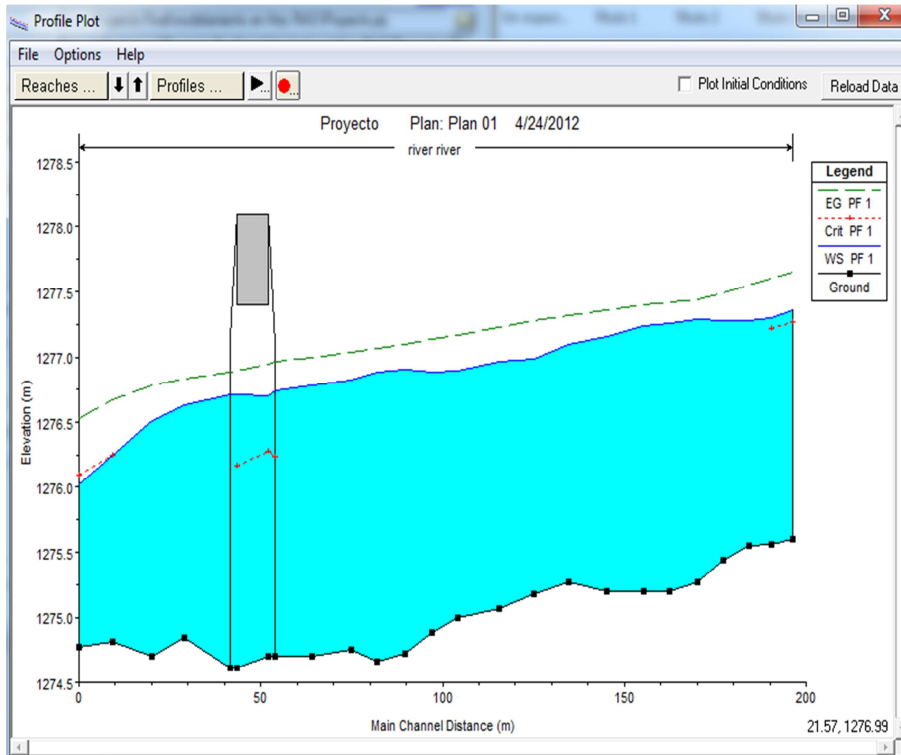


Muestra para cada sección transversal definida el tirante de agua, la línea de energía y el tirante crítico.



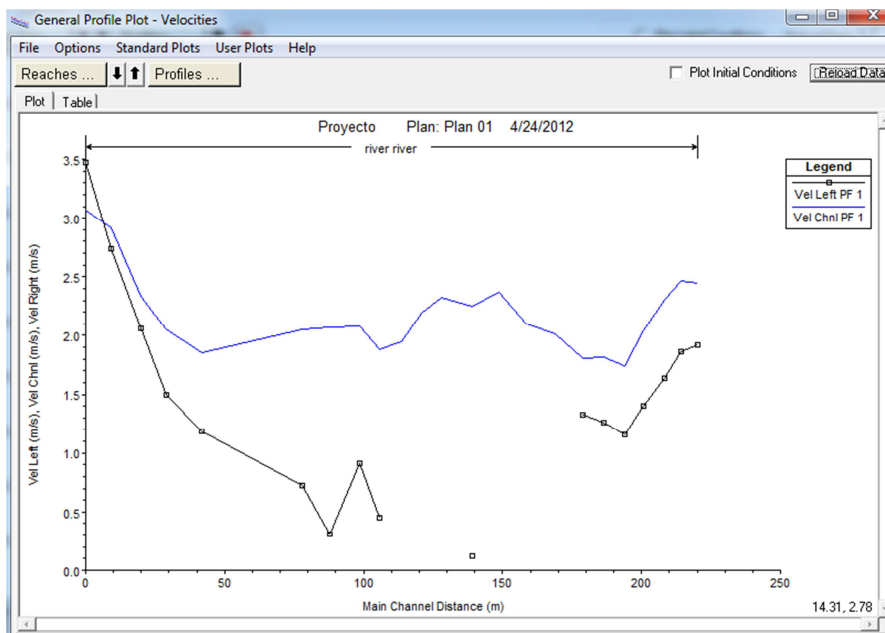
2.1.7.2. Gráfico del perfil de agua (*View Profiles*)


Muestra para los tramos en estudio seleccionados el tirante de agua en el canal principal, así como las estaciones, la línea de energía y el tirante crítico.



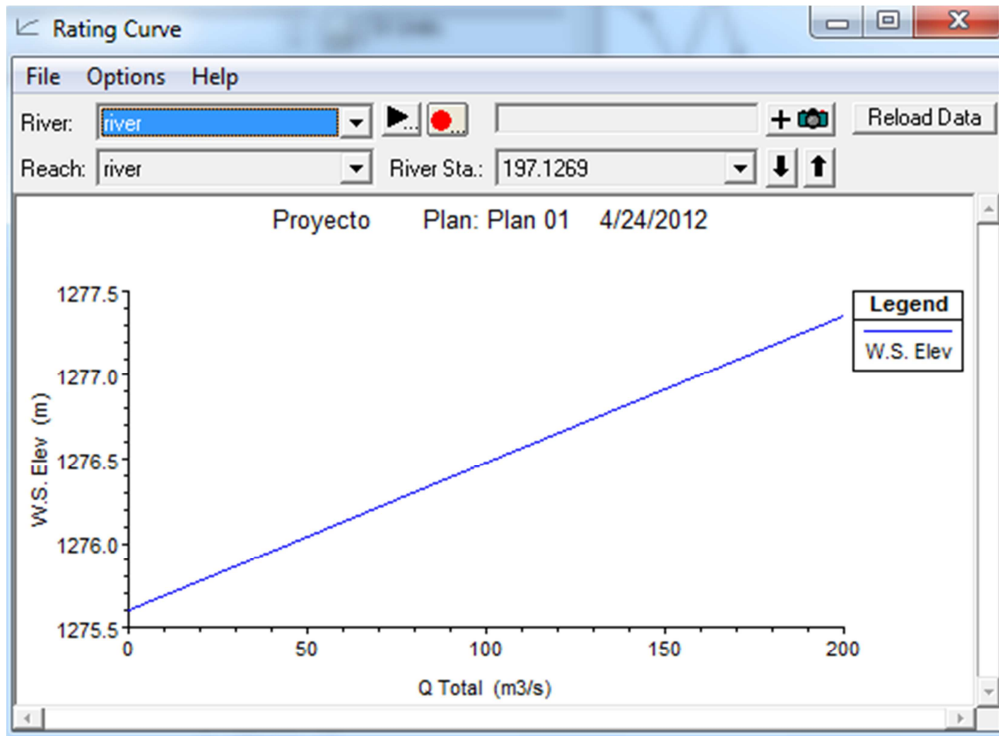
2.1.7.3. Gráfico de perfil General (*View General Profile Plot*) :


Muestra para los tramos en estudio seleccionados cualquier variable que se quiera graficar entre las más comunes están: velocidad, Caudal, capacidad hidráulica, número de Froude, entre otros muchos.



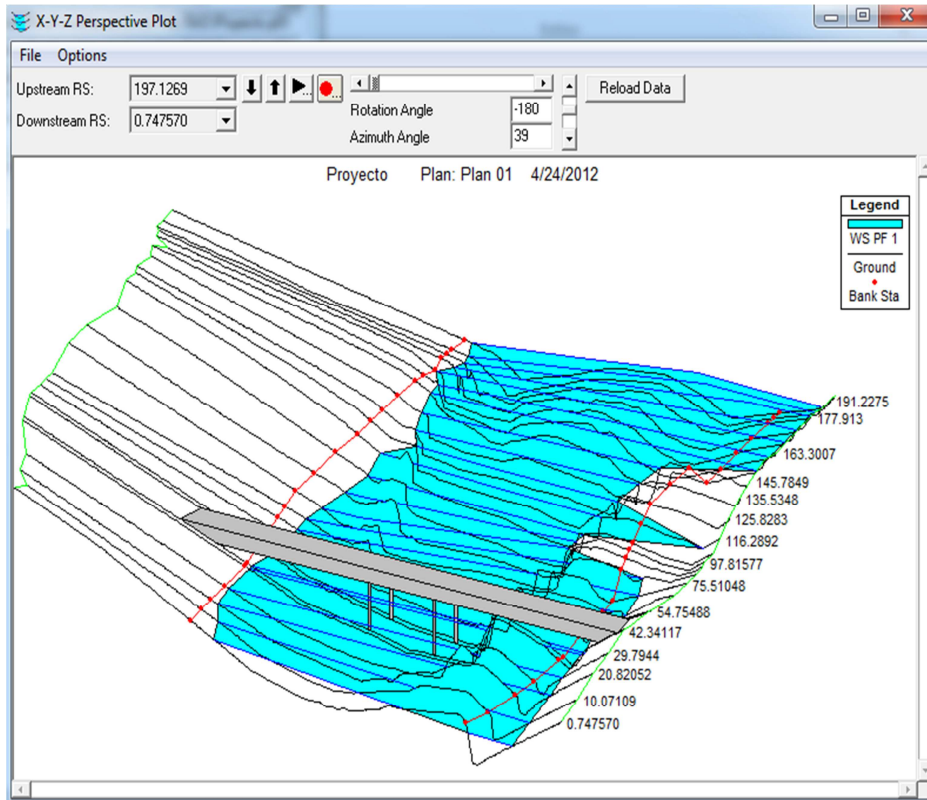
2.1.7.4. Gráfico de Curva de descarga (View computed *rating curves*) :


Muestra una curva de descarga para cualquier ubicación de las secciones transversales basándose en los perfiles de superficie de agua.



2.1.7.5. Gráfico en Perspectiva X-Y-Z (View *3D multiple cross section plot*) :

Es un gráfico en 3D en donde se puede apreciar los tramos seleccionados y la superficie de agua. La vista puede ser rotada en cualquier dirección.



2.1.7.6. Tabla de resultados detallados (*View detailed output at XS, Culverts, Bridges, Weirs, etc...*) :

En esta tabla se encuentran detallados los valores todas las variables que calcula el programa en cada una de las secciones transversales definidas o interpoladas.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: river Profile: PF 1

Reach: river RS: 197.1269 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 river river RS: 197.1269 Profile: PF 1

Element	Left OB	Channel	Right OB
E. G. Elev (m)	1277.65		
Vel Head (m)	0.30		
W.S. Elev (m)	1277.36		
Crit W.S. (m)	1277.27		
E. G. Slope (m/m)	0.009028		
Q Total (m3/s)	200.00		
Top Width (m)	103.22		
Vel Total (m/s)	2.40		
Max Chl Dpth (m)	1.76		
Conv. Total (m3/s)	2104.9		
Length Wtd. (m)	5.72		
Min Ch El (m)	1275.60		
Alpha	1.01		
Frcn Loss (m)	0.05		
C & E Loss (m)	0.00		
Wt. n-Val.	0.030	0.035	
Reach Len. (m)	2.84	5.90	9.54
Flow Area (m2)	6.39	76.81	
Area (m2)	6.39	76.81	
Flow (m3/s)	12.24	187.76	
Top Width (m)	13.54	89.69	
Avg. Vel. (m/s)	1.92	2.44	
Hydr. Depth (m)	0.47	0.86	
Conv. (m3/s)	128.8	1976.1	
Wetted Per. (m)	13.57	89.89	
Shear (N/m2)	41.68	75.65	
Stream Power (N/m s)	9196.87	0.00	0.00
Cum Volume (1000 m3)	0.79	17.96	
Cum SA (1000 m2)	1.51	14.71	

Errors, Warnings and Notes

Select Profile

2.1.7.7. Tabla Resumen de Perfiles (View summary output tables by profile)

En esta tabla se encuentran de forma resumida los valores de las variables más representativas dependiendo del análisis que se esté realizando.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: river Reach: river Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
river	197.1269	PF 1	200.00	1275.60	1277.36	1277.27	1277.65	0.009028	2.44	83.19	103.22	0.84
river	191.2275	PF 1	200.00	1275.56	1277.30	1277.22	1277.60	0.008903	2.47	82.49	100.05	0.84
river	185.1025	PF 1	200.00	1275.55	1277.28		1277.55	0.006963	2.30	88.61	99.20	0.75
river	177.913	PF 1	200.00	1275.44	1277.28		1277.49	0.004676	2.04	100.22	99.84	0.62
river	170.9584	PF 1	200.00	1275.27	1277.29		1277.44	0.002861	1.74	117.16	103.27	0.50
river	163.3007	PF 1	200.00	1275.20	1277.26		1277.42	0.003101	1.82	112.65	99.77	0.52
river	155.9724	PF 1	200.00	1275.20	1277.23		1277.40	0.003060	1.81	113.10	99.49	0.52
river	145.7849	PF 1	200.00	1275.20	1277.15		1277.36	0.003345	2.02	99.23	72.48	0.55
river	135.5348	PF 1	200.00	1275.27	1277.10		1277.32	0.003572	2.10	95.18	68.54	0.57
river	125.8283	PF 1	200.00	1275.18	1276.99		1277.28	0.004891	2.37	84.42	63.50	0.66
river	116.2892	PF 1	200.00	1275.07	1276.97		1277.22	0.004285	2.25	88.82	68.87	0.62
river	104.8187	PF 1	200.00	1275.00	1276.90		1277.17	0.004385	2.33	85.96	61.88	0.63
river	97.81577	PF 1	200.00	1274.88	1276.89		1277.13	0.003985	2.19	91.21	66.32	0.60
river	90.54227	PF 1	200.00	1274.72	1276.90		1277.09	0.002903	1.95	102.66	71.09	0.52
river	82.82126	PF 1	200.00	1274.66	1276.89		1277.07	0.002833	1.88	106.65	80.87	0.51
river	75.51048	PF 1	200.00	1274.75	1276.82		1277.04	0.004052	2.08	97.49	84.64	0.60
river	64.86433	PF 1	200.00	1274.70	1276.78		1277.00	0.003547	2.07	96.97	75.37	0.57
river	54.75488	PF 1	200.00	1274.70	1276.75	1276.24	1276.96	0.003727	2.05	98.00	79.26	0.58
river	48.65452	Bridge										
river	42.34117	PF 1	200.00	1274.61	1276.71		1276.88	0.002907	1.86	109.11	85.90	0.51
river	29.7944	PF 1	200.00	1274.84	1276.63		1276.84	0.004189	2.05	99.11	89.20	0.60
river	20.02052	PF 1	200.00	1274.70	1276.51		1276.70	0.006461	2.33	86.67	88.11	0.74
river	10.07109	PF 1	200.00	1274.81	1276.24	1276.24	1276.67	0.012211	2.92	69.05	80.78	0.99
river	0.747570	PF 1	200.00	1274.77	1276.02	1276.09	1276.53	0.015754	3.07	63.65	80.36	1.10

Total flow in cross section.