



**Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA
VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS
FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA
Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO EN
OPCIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES

CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

KEVIN ÁNGEL MENDOZA VILLACÍS

Guayaquil-Ecuador

2014 - 2015

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA
VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS
FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA**

Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil

Tesis preparada a la Universidad Laica Vicente
Rocafuerte como requisito parcial para la
obtención del título de INGENIERO CIVIL.

Director de Tesis: MSc. Ing. Josué Rodríguez Santos

Guayaquil-Ecuador

2014 - 2015

AGRADECIMENTOS

En este instante que me encuentro muy pronto a culminar mi carrera, la cual la inicié con la misma ilusión y orgullo que hoy experimento, luego de grandes sacrificios y esfuerzos invertidos cada día con dedicación y una gran ambición de superarme como persona y finalmente como profesional, yo **CARLOS LUIS VALERO FAJARDO** lo mínimo que hoy puedo hacer es dar mis más sinceros agradecimientos; a **DIOS** por estar siempre a mi lado en cada prueba que se me ha presentado en la vida, a mi Madre **ANA FAJARDO** por brindarme la oportunidad de vivir, al Ing. **JOSÉ LUCAS** por contagiarme de su gran cariño por la **INGENIERÍA CIVIL**, a mi esposa **GINA ZAMBRANO** por ser un pilar fundamental cada día, a mis **COMPAÑEROS DE CLASES** a quienes considero como mis hermanos por los muchos e inolvidables momentos vividos, a mis profesores MSc. Ing. **FAUSTO CABRERA** y MSc. Ing. **JULY HERRERA** por sus enseñanzas brindadas con profesionalismo, bondad, dedicación, rigidez, y sobre todo con la misma calidez y emoción que los padres emplean en sus hijos al enseñar a hablar sus primeras palabras, a mi grupo de trabajo **MARIBEL ASTUDILLO, MIGUEL GOMEZ, y JORGE SECAIRA** con quienes he pasado intensas horas de estudio, por extenderme su amistad y ayudarme a descubrir y despertar una simpatía por la enseñanza, a mi tutor de tesis MSc. Ing. **JOSUE RODRIGUEZ**, por su paciencia y por servirme de guía con sabios consejos, a mi compañero de tesis **KEVIN MENDOZA** con quien he compartido el privilegio de realizar este análisis experimental, por acompañarme y apoyarme en cada iniciativa, compartiendo los pocos pero habidos desánimos, agobios y los muchos ánimos, logros y la satisfacción de un trabajo forzado pero bien hecho, debo mencionar una frase con la que he podido alcanzar muchas metas **“SOLO VENCIENDOTE VENCERAS”** esperando que sirva de ayuda e incentivo a muchos estudiantes como a mi **GRACIAS**.

AGRADECIMENTOS

Yo **KEVIN MENDOZA VILLACÍS**, motivado por la innovación y el desempeño académico para mí es grato la importancia de este texto del cual saldrán aportes para las futuras generaciones de los siguientes años.

Agradeciendo en primer lugar a Dios porque como bien dice en su palabra: Daniel 1: 21 “El muda los tiempos y las edades; quita reyes y pone reyes; da la sabiduría a los sabios y la ciencia a los entendidos”. Siendo un instrumento para encaminar una buena obra que ayudara a formar excelencia académica en los jóvenes de nuestra futura generación.

La eficaz e inescrutable labor de mis padres que tuvieron desde mi niñez, juventud y ahora adultez, en fomentar la importancia de la preparación académica para lograr con mucho esfuerzo y sacrificio la culminación de una meta, pero no la última para dar paso a una nueva.

La constancia, meditación y largas hora de estudio que encamine con mis maestros y autoridades académicas; muchas veces asumiendo el rol de padres para corregir y dar buen consejo durante nuestras entrevistas, siendo la institución educativa mi segundo hogar, para deleitar y enriquecer más mis conocimientos.

La constancia de lograr este texto junto a un gran amigo y compañero de estudio, que nos deleitamos en afianzar aún más la importancia de dar un aporte a la generación joven que viene y ellos a su vez den nuevas tecnologías. Dando mucha importancia al bienestar el uno al otro durante nuestras horas de trabajo, en momentos de desánimo, confusión y discusiones; habiendo llegado siempre al dialogo y solución de cada malestar.

Amigos y hermanos en la Fe que prestaron importancia al esfuerzo y dedicación que tenía a mi desempeño académico, siempre dando palabra de ánimo direccionado por Dios.

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Guayaquil, 22 de Mayo del 2015.

Certifico, que el Proyecto de Investigación titulado : **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil”**, ha sido elaborado por los egresados: **CARLOS LUIS VALERO FAJARDO** y **KEVIN ÁNGEL MENDOZA VILLACÍS**, y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el Tribunal examinador que se designe al efecto.

Josué Rodríguez Santos
Ingeniero Civil – M. Sc.

**CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE
DERECHOS DE AUTOR**

Guayaquil, 22 de Mayo del 2015.

Nosotros **CARLOS LUIS VALERO FAJARDO** y **KEVIN ÁNGEL MENDOZA VILLACÍS**, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Proyecto de Investigación nos corresponde totalmente y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación que hemos realizado.

De la misma forma, cedemos nuestro derecho de autor a la **Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil**, según lo establecido por la Ley de propiedad Intelectual, por su Reglamento y Normativa Institucional vigente.

Carlos Valero Fajardo
C. I.: 0925766461

Kevin Mendoza Villacís
C. I.: 0922290010

SUMARIO

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil

Descripción General.

Introducción.

Planteamiento de la Investigación.

Hipótesis.

Alcance.

Justificación.

Objetivo General.

Objetivos Específicos.

Impacto Social.

Impacto Económico.

CAPITULO 1

1 ANÁLISIS TEÓRICO

1.1	Propiedades de los Fluidos.	1
1.2	Continuidad.	35
1.3	Ecuación de Energía (Bernoulli).	40
1.4	Coefficiente de Boussinesq.	49
1.5	Coefficiente de Coriolis.	51

1.6	Vertedero Trapezoidal de pared delgada.....	54
1.7	Antecedentes de referencia para la Investigación.....	63
1.8	Coeficientes de descarga para Vertederos Trapezoidales de pared delgada.	66

CAPITULO 2

2 EVALUACIÓN DIAGNOSTICA

2.1	Descripción de la Problemática.....	71
2.2	Evaluación cuantitativa y cualitativa del Laboratorio de Hidráulica.....	72
2.2.1	Recursos.....	72
2.2.2	Encuesta.....	72
	Análisis de la información Obtenida.....	78
2.3	Soluciones Propuestas.....	79

CAPITULO 3

3 FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1	Modelación Hidráulica.....	80
3.1.1	Análisis de la Modelación.....	81
3.1.2	Hipótesis de la Modelación.....	81
3.1.3	Parámetros de Modelación.....	83
3.2	Calibración de los Equipos.....	84
3.3	Medición de Caudales para vertederos Trapezoidal de pared delgada.	84
3.3.1	Curvas de Descargas.....	85
3.3.2	Coeficientes de Descargas.....	85
3.3.3	Ecuacionamiento experimental para Vertederos Trapezoidales de pared delgada.	86

3.4	Interpretación de la información obtenida en Laboratorio.....	109
3.4.1	Análisis Cualitativo.....	110
3.4.2	Análisis Cuantitativo.....	110
3.5	Aplicación de modelos Estadísticos para generar Ábacos.....	111
3.5.1	Desviación Estándar.	111
3.5.2	Coefficiente de Correlación.....	111
3.5.3	Curvas de Tendencia.....	111
3.5.4	Formulación de Ábacos.	112
3.6	Modelo Matemático Computacional.....	114
3.6.1	Descripción del Programa.	114
3.6.2	Procedimientos para uso del Programa.....	114
3.6.3	Ejercicio demostrativo.	116
3.7	Esquema para realizar una práctica de Laboratorio.....	117
3.7.1	Manual.	117
3.8	Conclusiones	
3.9	Recomendaciones	

Bibliografía.

Glosario de Términos.

Anexos.

DIRECTOR DE TESIS

MSc. Ing. JOSUÉ RODRÍGUEZ SANTOS

GRADUANDOS

CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad, dar respuestas integrales por medio de métodos y modelaciones experimentales a la relación de un Caudal real con uno teórico, en un vertedero de sección trapezoidal con paredes de inclinación variable; implementando un factor denominado coeficiente de descarga, con el cual se podrá sistematizar a un determinado grado de precisión, el comportamiento hidráulico por medio de un ábaco inédito y de fácil lectura; siendo este un aporte a la ciencia por su contenido investigativo-experimental ya que en la actualidad se carece de registros que faciliten este estudio.

ABSTRACT

This project aims to give comprehensive answers through experimental methods and the ratio of actual flow with a theoretical, in a landfill trapezoidal section with variable pitch walls modeling; implementing a factor called the coefficient of discharge which can systematize a certain degree of accuracy the hydraulic behavior through an unprecedented abacus and readable; this being a contribution to science for its investigative-experimental, as there currently are no records that facilitate this study.

INTRODUCCIÓN

En nuestra búsqueda de registros que nos guíen a obtener un coeficiente de descarga para vertederos trapezoidales, se ha obtenido muy poca información visto que, este tipo de obra hidráulica ha sido de escaso interés de estudio, motivo por el cual se justifica la necesidad del porque se realizó este proyecto, que consiste mediante un análisis experimental y modelación hidráulica - geométrica, se den las respuestas a nuestras inquietudes, como es el poder predecir un comportamiento real tomando como punto de partida uno teórico.

Sabiendo que la modelación es un campo que en ocasiones se torna complejo en su estudio, por cuanto que consiste en obtener una representación de forma y comportamiento, en la cual se debe llevar la estructura prototipo a un modelo físico reducido, caso que es no imposible de lograr pero si muy complejo; por lo que nos respaldaremos en el método de análisis por medios continuo, el cual consiste en asimilar a el elemento en estudio como un cuerpo sin componentes moleculares; hipótesis que es de gran ayuda en nuestro análisis.

Además se ha determinado la aplicación de métodos Experimentales-Estadísticos para la integración de los valores obtenidos en el ensayo con los modelos hidráulicos reducidos.

Ven Te Chow destaca que:

“El gasto de un vertedero trapezoidal se puede calcular suponiendo la suma de un gasto correspondiente a uno rectangular con longitud de cresta b y uno triangular formado por las dos orillas” (1994, pág. 254).

La mayoría de autores consultados coinciden en que, cada una de las paredes laterales con su pendiente respectiva deban calcularse de tal manera que, el gasto que produzcan ellas sea igual a la dimensión del gasto causado por las contracciones de un vertedero rectangular, más el gasto de un vertedero triangular.

La investigación experimental que hemos realizado nos ayudara a que por medio del empleo de métodos estadísticos se pueda predecir un comportamiento real. En la recopilación de información encontramos que, Cipolletti determino un coeficiente de descarga de 0.63 y lo utiliza, predice dicho comportamiento en un vertedero diseñado por el, con el cual compensa el decrecimiento del caudal causado por las contracciones de las paredes dándole una inclinación H:V, bajo la experiencia obtenida es determinante decir que cada obra tiene sus propios factores que restringen su diseño, por lo que es poco probable que se pueda siempre utilizar las mismas condiciones de diseño en este caso geométricas, pero en realidad también podemos recurrir a que la Ingeniería Hidráulica es netamente experimental, por lo que no menospreciaremos los logros obtenidos por el mentado autor, pero si expresaremos nuestro punto vista posterior a un estricto análisis, el cual consiste en poder establecer un coeficiente de descarga que responda a la variable pero simétrica inclinación de las paredes laterales de un vertedero, pero considerando que la sección de este no es compuesta.

Al realizar el análisis del modelo matemático y comprobar metódicamente su validez para formulación y cuantificación, se vio la necesidad de llegar a realizar su comprobación física ya que, es necesaria emplearlo en un modelo físico reducido, en base a los principios de similitud y semejanzas.

En los procedimientos de la investigación experimental y análisis de parámetros estadísticos, los beneficios obtenidos serán de gran aportación para determinar:

- Cd (coeficiente de descarga) en función de la pendiente de los taludes o inclinación de paredes laterales.
- Cd (coeficiente de descarga) en función de la carga de agua H en el vertedero.
- Cd (coeficiente de descarga) en función de b/H .

Obtenidas las diferentes curvas por cada vertedero respectivamente, se realizara la integración de los mismos en un ábaco, para corroborar el comportamiento del modelo físico reducido con la mejor eficiencia. Este ábaco nos ayudara en el diseño y análisis para el tipo de vertedero trapezoidal que se quiera implementar en una obra hidráulica y podrá ser tomado como modelo a seguir para similares casos de estudio.

Sabiendo la complejidad del análisis metódico del principio de similitud el cual consiste en: aceptar que las conclusiones obtenidas del análisis de un fenómeno son aplicables a otro fenómeno; por tanto, el estudio del comportamiento de vertederos que ocurre en un modelo se pueden obtener conclusiones aplicables a vertederos de escala real.

La importancia de poder apreciar el flujo de forma bidimensional es que, se pueden hacer los análisis matemáticos, esquemas, diagramas de flujos, ábacos, etc., para llegar a realizar el análisis experimental en base a diseños de modelos reducidos y consecutivamente ampliar su aplicación a prototipos.

Cuando tengamos los criterios establecidos en nuestra investigación, podremos aplicar el desarrollo de este trabajo en el cálculo de caudales de descargas en vertederos trapezoidales en la sección de un canal, el cual tenga múltiples aplicaciones en el manejo

del agua; también se lograra establecer parámetros que puedan discernir las magnitudes de obra con la finalidad de no caer en exageraciones dando como resultado una respuesta económica y estructuralmente segura.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Mediante procesos científicos-experimentales se buscó establecer un banco de información relevante con un contenido de origen fidedigno, para comprender, corroborar, y aportar con criterio en posibles correcciones de los puntos en los cuales sea necesario, con la finalidad de obtener como resultado una fuente que sirva de apoyo en el diseño de un vertedero trapezoidal tomando como factor de penalidad, un coeficiente de descarga que actúe en función entre otras variable la inclinación de las paredes laterales.

Esta investigación a nuestra consideración se caracteriza por su contenido reflexivo, sistemático, y metódico, lo que nos impulsó a poder obtener vastos conocimientos con los que se pudo responder mediante soluciones alternativas a diferentes situaciones impuestas, en base al proceso del que se estructuró este estudio, visto que la sabia elección y aplicación de criterios, es lo que definirá el éxito de todo proyecto de carácter académico.

Nuestra investigación inicia en la recolección, análisis, e interpretación de datos relevantes, estudios existentes, y conceptos teóricos, actividad mediante la cual nos condujo a establecer la necesidad de profundizar en el estudio de los coeficientes de descargas para vertederos trapezoidales en función de la inclinación de sus paredes laterales, siendo este un parámetro de gran importancia en el diseño de este tipo de obras Hidráulicas; dentro de las actividades que destacan fue la de determinar la veracidad por análisis, de la ecuación de Continuidad recurriendo a la demostración de la misma mediante antecedentes matemáticos con los que se pudo proponer nuevas hipótesis de análisis basándose en el cálculo de Bernoulli con el criterio de Torricelli y posterior a esto se toma la metodología

de Cipolletti, información con la que se logró establecer nuestra ecuación para el cálculo de un caudal teórico en función de variables como la carga hidrostática aguas arriba, la velocidad de descarga en un infinitesimal de distancia antes del paso del flujo por el vertedero, la inclinación de las paredes laterales.

Una vez que se pudo obtener el caudal teórico establecimos como hipótesis de análisis, que habiendo determinado que por continuidad el caudal es igual al producto de la velocidad por el área y que esto se daba en condiciones teóricas y reales; por lo que podemos deducir que el análisis del caudal teórico como el real se lo realiza en un mismo punto de control, el cual es en la sección del vertedero y se podría considerar que el área de esta sección debe ser igual a la teórica así como a la real, por lo que al momento de hacer la relación del caudal real con uno teórico las áreas por tener las mismas condiciones se simplificaran; quedando como consecuencia que nuestro coeficiente de descarga se definirá en función de la relación entre la Velocidad real con una teórica, siendo esto posible mediante el empleo de modelos hidráulicos reducidos.

ALCANCE

Siendo las obras Hidráulicas un gran eje de desarrollo a nivel mundial, surge la necesidad en virtud de cuasi Ingenieros Civiles prepararnos en este ámbito, motivo el cual se estructuró este análisis experimental que tiene como visión retrospectiva el estudio de la información existente, recurriendo a conceptos y parámetros fundamentales en el campo de la Ingeniería Hidráulica; con los que buscaremos su aplicación mediante modelos físicos hidráulicos reducidos, para generar por medio de modelos estadísticos una herramienta con la cual se pueda predecir un comportamiento real y optimo en una estructura hidráulica de gran importancia como lo es un Vertedero Trapezoidal.

Esta herramienta consiste en plasmar en un ábaco, previa interpretación y análisis de forma cualitativa y cuantitativa toda una modelación y practica-experimental obtenida mediante reiteraciones en laboratorio; claro está que siendo palpable el lazo que existe en la actualidad entre la Ingeniería Civil y la Tecnología, se buscó sistematizar la investigación realizada mediante un Modelo Matemático Computacional, con el cual se disponga de eficacia y rapidez al momento de utilizarlo.

Un vertedero o también llamado aliviadero posee variables aplicaciones de las cuales hemos considerado como primordial, que es una estructura de gran ayuda para el campo de la agricultura, siendo una de las fuentes de ingreso y sostenibilidad económica del Ecuador, por lo que su optimización no solo promoverá interés científico, sino su alcance será extendido al bienestar económico del país.

JUSTIFICACIÓN

Nuestro interés como estudiantes Laicos, es fomentar la investigación y el análisis experimental enfocándonos en generar una herramienta que aporte a la Ciencia, y al eficaz desenvolvimiento de futuras promociones, que en el afán de enriquecer sus conocimientos buscaran resolver sus inquietudes, lo cual se torna muy difícil en ocasiones por la falta de textos guías tal como lo hemos palpado en el transcurso de nuestra formación profesional, y actividades laborales; siendo este uno de los justificativos relevantes que nos condujo a realizar este Proyecto Académico.

La Ingeniería Hidráulica es una de las disciplinas que posee la Ingeniería Civil y su alcance está dado en el estudio, diseño, y construcción de obras relacionadas con el agua; que es un elemento vital y de gran importancia en la existencia de los seres vivos, por lo que es necesario optimizar con eficacia el funcionamiento y operación de todas aquellas obras que se vinculen con este tan indispensable elemento.

La industria laboral es cada vez más exigente, por lo que nuestra preparación debe estar acorde a los requerimientos impuestos, es notorio que un factor ponderable es la incesable búsqueda de la economía en nuestras obras, claro que se debe guardar un estricto equilibrio con la seguridad; esto se puede lograr mediante el empleo de información que tenga la facultad de predecir un comportamiento que guarde un óptimo equilibrio entre la reducción de utilización de recursos y el adecuado funcionamiento de nuestras obras, justificación válida para concientizar a un adecuado estudio siendo esta la visión de nuestro análisis.

OBJETIVO GENERAL

Despertar el interés de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, por medio de un análisis experimental y científico que sobre todo sea práctico y de fácil comprensión; para que se afiancen nuevos criterios de diseño en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica, fundamentados en la investigación y visionados en la creación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Con la finalidad de dar cumplimiento a la meta propuesta en el objetivo general se determinó los siguientes objetivos específicos, los cuales están siempre destinados a dar respuestas a las incógnitas QUE, COMO, y PARA QUE.

- 1.- Construir modelos físicos hidráulicos reducidos, con el empleo de un acrílico transparente; para generar la información en Laboratorio de Hidráulica.
- 2.- Estructurar un modelo matemático, con el análisis de la investigación y la adición de criterios obtenidos; para afianzar bases del proyecto propuesto.
- 3.- Forjar representaciones gráficas de caudales y coeficientes de descargas, con la información que se obtendrá en el laboratorio de Hidráulica; para visualizar el comportamiento hidráulico del flujo al momento de pasar por la barrera de un vertedero de sección trapezoidal.

4.- Plasmar en un texto guía toda la información generada, con la experiencia que se adquirirá durante las prácticas de laboratorio, para que facilite el aprendizaje al estudiante Laico.

5.- Producir un modelo matemático computacional, con el resultado del procesamiento de la información obtenida en el laboratorio de Hidráulica; para que el estudiante pueda hacer uso de este estudio de forma fácil, eficaz, y eficiente.

IMPACTO SOCIAL

Tenemos conocimiento de las influencias en los cambios climáticos que ha afectado a la sociedad alrededor del mundo, tomando como prioridad el uso correcto del recurso hídrico (agua) del cual, el 3% que se encuentra en el planeta es para el consumo humano y el 97% se encuentra en los mares (agua salada), no apta para el consumo humano. Se han considerado el uso de estructuras que ayuden a la captación, regulación, control, transporte, distribución y recolección del líquido vital, que en la mayoría de los casos se trasladan por cauces naturales y artificiales.

Estas construcciones de gran magnitud no solo abarcan la recolección y distribución del agua también aporta en el control para evitar inundaciones y sequias en las regiones que infieran con esta clase de fenómenos.

Las técnicas para el proceso de construcción de estructuras hidráulicas trasciende a miles de años atrás donde no solo era necesario tener el esquema diseñado en base a parámetros

matemáticos y físicos como en la actualidad, más se necesitaban ideas para cubrir la deficiencia de no poder controlar y almacenar el agua en puntos estratégicos logrando desviarlos, almacenarlos y encaminarlos a diferentes puntos. Con el paso de los años fue necesario el estudio minucioso de estos procesos de construcción para abaratar costos, fortalecer la eficacia de implementar estas obras de gran tamaño y el rápido funcionamiento, dando como resultado diseños a escala, que lograron verificar la información teórica que fue estudiada con el pasar del tiempo.

Ecuador por encontrarse en la zona tropical se ha visto afectada durante algunos años por fenómenos y uno de los que ha tenido más relevancia ha sido El fenómeno del Niño, a continuación haremos mención de la última catástrofe de gran magnitud que se suscitó en el país:

“CHONE, Manabí.- El panorama desolador que vivió este cantón el 14 de agosto del 2011 fue desolado, como si estuvieran en el mar. Cuando parecía que todo iba a seguir con normalidad, se fijaron que empezó a descender las aguas de los ríos Garrapata, Mosquito y Grande, efluentes del Chone, hasta que el 13 de agosto del 2011 a las 00:01 cayó un torrencial aguacero que origino que crecieran los ríos antes mencionados, causando inundaciones y deslaves viendo afectada la agricultura, las vidas de los recintos aledaños, ganados y vidas humanas”.

La cita antes mencionada nos visiona la necesidad de optimizar parámetros de diseño e implementarlos en los lugares donde se suscitan este tipo de eventos, para lo cual se deben construir aliviaderos que regulen el efluente aguas arriba de las poblaciones y así evitar: pérdidas de vidas humanas, pérdida de inmuebles, destrucción de sembríos y la pérdida del ganado lo cual ocasionaría un gran impacto social en vista de que esto generaría perdidas económicas.

IMPACTO ECONÓMICO

El agua es un factor primordial para el desarrollo económico de un país por lo que se denota que en las últimas décadas los proyectos de mayor acopio e importancia en Ecuador, son aquellos que están vinculados con la Ingeniería Hidráulica, los mismos que tienen un impacto en los múltiples campos de la economía, por lo que es indispensable establecer un mecanismo de gestión y preservación del líquido, mediante obras que conserven un estricto equilibrio entre la economía y la seguridad.

Este equilibrio es alcanzable si se establecen parámetros que predigan un comportamiento hidráulico, ajustado a la realidad en un margen de exactitud afinado; que es lo que hemos planteado con una propuesta que formará parte de las variables herramientas de diseño, sabiendo que la economía se ajusta con la adecuada utilización de los recursos que a su vez es logrado mediante un adecuado diseño.

La hipótesis mal fundada “Que si se refuerza la estructura tendrá un mejor comportamiento”; no es aconsejable ya que esto encarece la obra y en ocasiones atenta a la estabilidad estructural de la misma, motivo por el cual se direcciona este proyecto a que el impacto económico sea positivo; es decir que la obra hidráulica en este caso un vertedero trapezoidal cuente con parámetros de diseño que brinden un mayor grado de confiabilidad y seguridad, de tal manera que mediante estos se impida la exageraciones en cantidades, que encarecen la obra.

Siendo Ecuador un país donde lidera la agricultura, la implementación de obras hidráulicas es de gran importancia, siendo esto un indicador de desarrollo económico; visto que el adecuado manejo del agua generará un aumento en la producción agrícola y por ende el aumento de ingresos, lo cual conduce a un bienestar económico sustentable y sostenible.

CAPÍTULO 1

1 ANÁLISIS TEÓRICO

1.1 Propiedades de los Fluidos.

Siendo el objeto de nuestro análisis el fluido, es necesario estudiar su comportamiento por medio de conceptos, parámetros, teoremas, teorías, hipótesis; y demás conclusiones que actúen dentro de un marco teórico, para poder fortalecer las bases mediante las cuales se sostendrá nuestro análisis experimental, sabiendo que la teoría es el resultado de un compendio de estudios que se han afianzado en el paso del tiempo, la hemos visionado como el comienzo ideal para cualquier proyecto de investigación.

Como punto de partida en nuestro tema de estudio nos centramos a situar dos términos, “coeficiente de descarga” y “vertederos” que en conjunto a condiciones matemáticas y métodos experimentales, demostraran el comportamiento de un flujo frente a variables situaciones.

“De acuerdo con el aspecto físico que tiene la naturaleza, la materia se puede clasificar en tres estados: sólido, líquido y gaseoso, de los cuales los dos últimos se conocen como fluidos”. (Sotelo, 1999, pág. 15)

Se hace referencia a esta cita en vista de que nuestro análisis radica en observar, interpretar y representar el comportamiento de un flujo frente a variables condiciones.

“A diferencia de los sólidos, por su constitución molecular los fluidos pueden cambiar continuamente las posiciones relativas de sus moléculas, sin ofrecer gran resistencia al desplazamiento entre ellas, aun cuando este sea muy grande”. (Sotelo, 1999, pág. 15)

En vista de que los fluidos tienen un comportamiento distinto al de los sólidos es muy necesario para nuestro análisis conocer las propiedades que los caracterizan. Con las citas anteriores del estudio de un fluido, podemos encaminar el centro de estudio de nuestra investigación que son los coeficientes de descarga, dando como punto de partida con el elemento que vamos a experimentar. Cabe mencionar la relación de las diferencias y semejanzas entre los demás elementos, nos ayudara a tener más claro su comportamiento.

Sotelo comenta: “Si el fluido se encuentra en reposo, en su interior no pueden existir fuerzas tangenciales a superficie alguna, cualquiera que sea su orientación, y que dichas fuerzas se presentan sólo cuando el fluido esta en movimiento. Por el contrario, un sólido en reposo si admite fuerzas tangenciales a las superficies –en igualdad de condiciones-, las cuales producen desplazamientos relativos entre sus partículas con una magnitud perfectamente definida”. (Sotelo, 1999, pág. 15)

Categorizamos la amplitud de la investigación diferenciando la igualdad y semejanza del sólido y fluido con respecto a la estructura molecular que poseen y los cambios que presentan cuando se aplica una fuerza. Por la complejidad de la investigación fue necesaria la intervención de diversos autores de textos, junto con los estudios de cada teoría señalada para simplificar los comportamientos y cambios que se ejecuten en los ensayos de la investigación.

“Los fluidos poseen una propiedad característica de resistencia a la deformación, cuando se someten a esfuerzos tangenciales, que explica su fluidez”. (Sotelo, 1999, pág. 15)

Esta cita especifica la importancia de explicar una de las propiedades que posee el fluido y lo relaciona con la viscosidad, visto que si un fluido es sometido a esfuerzos la resistencia será inversamente proporcional a la rapidez de la deformación que experimenta un flujo.

“Los fluidos son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma”. (Ranald V. Giles, 2007, pág. 1)

Ranald V. Giles, menciona “Todos los fluidos son compresibles en cierto grado”; esta afirmación tiende a causar controversia en vista de que por conocimiento general comprendemos que el agua es incompresible, y si evaluamos a el agua la podemos situar como un fluido de acuerdo a lo descrito en la cita anterior, esto nos da la inquietud y la necesidad de aclarar esta situación, por lo que se hace muy necesario consultar más autores que hagan referencia a este tema.

“Debido a su fluidez, los líquidos y gases tienen muchas propiedades en común, y resulta conveniente estudiarlos juntos. También hay diferencias importantes. Por ejemplo, los líquidos no son muy compresibles, mientras que los gases se comprimen fácilmente”.

(FÍSICA Wilson–Buffa, 2006, pág. 269)

En busca de resolver la inquietud surgida, nos encontramos con Wilson-Buffa, los cuales comparan y recomiendan estudiar los líquidos y gases juntos por tener propiedades en

común, pero reafirman lo mencionado por Ranauld V. Giles; “Los líquidos no son muy compresibles”, si interpretamos lo mencionado por estos autores tendremos como conclusión que el fluido es ligeramente compresible, por lo que este efecto puede ser despreciable a fin de facilitar su estudio.

“Los fluidos son agregaciones de moléculas, muy separadas en los gases y próximas en los líquidos, siendo la distancia entre las moléculas mucho mayor que el diámetro molecular, no estando fijas en una red, sino que se mueven libremente”.

(Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 1)

Al considerar que los fluidos-líquidos poseen moléculas con una separación muy pequeña como se puede interpretar en la cita anterior, reafirma la conclusión antes expuesta (Los fluidos son ligeramente compresibles), visto que al encontrarse su composición molecular muy unida se dificulta en unirla aún más; caso que no se da en los gases porque ellos presentan su composición molecular dispersa o más separada, lo que facilita su compresibilidad. Ahora podemos comprender con la cita de Pedro Fernández Díez, que la composición de sus moléculas al estar muy separadas en los gases y muy unidas en los líquidos, nos resulta fácil interpretar que los líquidos no se pueden comprimir en gran magnitud hasta un cierto límite y los gases pueden ser comprimidos hasta que todas sus moléculas separadas se junten.

Una de las propiedades que caracterizan a un fluido aparte de la compresibilidad es la capacidad de adaptarse al recipiente u objeto que lo contenga, esto despierta el interés por analizar el porqué de este comportamiento.

Gilberto Sotelo Ávila menciona también que:

“Considerando que un líquido cualquiera tiene un volumen definido que varía ligeramente con la presión y la temperatura, al colocar cierta cantidad de aquel en un recipiente de mayor volumen, adopta la forma del mismo y deja una superficie libre o de contacto entre el líquido y su propio vapor, la atmósfera u otro gas presente. No sucede lo mismo si una cantidad igual de gas se coloca en el recipiente, pues este fluido se expande hasta ocupar el máximo volumen que se le permita sin presentar una superficie libre”.

(Sotelo, 1999, pág. 16)

De lo publicado se puede resaltar “Un líquido no se dispersa para llenar cada espacio de un contenedor” ([es.wikipedia.org/wiki/Líquido](https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADquido)), y se puede comprender lo expuesto porque un fluido-líquido por lo general presenta una superficie libre, es decir no importa la altura que tenga el contenedor el solo llenara o se adaptará hasta equipara su volumen; dejando un espacio sin ocupar.

Por el contrario un gas puede ocupar cada espacio en que sea contenido, sabiendo que si su confinamiento en el cual este almacenado se va reduciendo sufre una compresión y sus moléculas se reagrupan hasta quedar juntas pero sin forma definidas; es decir ocupando todos los espacios del objeto que lo contenga.

Las consideraciones que presenten los análisis del estudio serán en un ambiente cálido, en el que líquido tendrá el mismo volumen durante los ensayos respectivos y sin crear vapor producto de la transpiración de la masa y el único gas que tendrá presente será el aire.

Ahora analizaremos una de las condiciones propias del fluido que lo caracterizan, la deformación.

Gilberto Sotelo Ávila menciona también que:

“La rapidez con la que ocurren las deformaciones es distinta según el tipo de fluido que se trate; por ejemplo en los llamados Newtonianos, el esfuerzo tangencial es directamente proporcional a la rapidez de la deformación angular, a partir de los valores cero iniciales, siendo el caso del agua” (1959, pág. 16).

Gilberto Sotelo Ávila relaciona la deformación de un fluido con una clasificación, es decir se puede interpretar que no todos los fluidos experimentan una misma deformación; además él menciona un fluido llamado newtoniano, por lo que investigaremos que condiciones debe cumplir un fluido para que se considere Newtoniano.

“Son fluidos no-newtonianos aquellos que no cumplen la Ley de Newton de la viscosidad. Así la viscosidad de un fluido no-newtoniano no existe como tal, ya que esta depende del valor que tenga el esfuerzo cortante y por tanto no es una constante”. (I. Martín, R. Salcedo, R. Font, 2011, pág. 14)

El objetivo planteado anteriormente fue investigar qué condiciones debe cumplir un fluido para que se considere newtoniano, pero en la búsqueda nos encontramos con una definición de los no-newtonianos expuesta por I. Martín, R. Salcedo, R. Font; de donde se puede resaltar que para que un fluido sea considerado como newtoniano debe cumplir con la ley de Newton de la viscosidad.

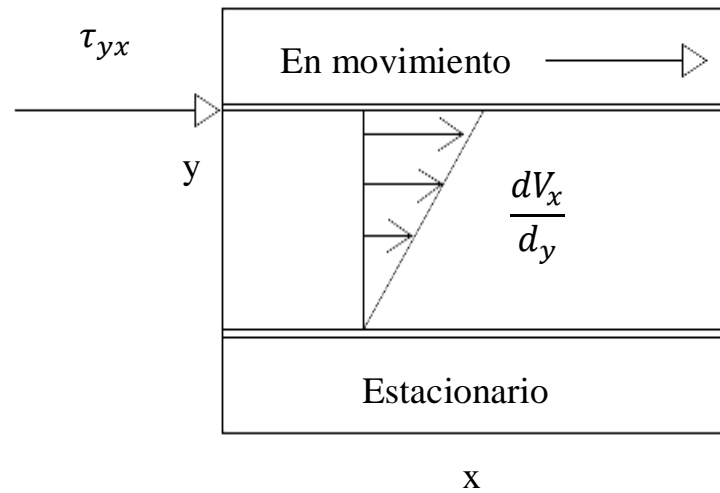


Fig. 1.1 Perfil de Velocidades creado en un fluido Newtoniano.

$$\tau_{yx} = \mu \frac{dv_x}{dy}$$

(L. Méndez, 2014, pag. 2)

De donde dice que el esfuerzo por unidad de área es igual al producto de la viscosidad de un fluido por la gradiente que forma la rapidez de la deformación, dicho esto es necesario reconocer que la viscosidad de un fluido está dada en función de la temperatura y la densidad del mismo.

En esta etapa del estudio del fluido líquido podemos concluir con que son; incompresibles, adaptables y deformables, es un gran avance pero aún existe más teoría por estudiar para poder predecir y modelar su comportamiento frente a condiciones variables.

El Fluido como Medio Continuo.

“Un fluido se denomina medio continuo, cuando las variaciones de sus propiedades son tan suaves que se puede utilizar el cálculo diferencial para analizarlo. Es una de las más importantes hipótesis dentro del análisis Hidráulico, en vista que gracias a esta se puede agilizar, facilitar su estudio ya que, si no la aplicáramos sería muy complejo su análisis, de ahí de donde surge la necesidad de establecer que un elemento pueda ser analizado, sin considerar su estructura molecular y discontinuidades que van de la mano, lo cual ocasiona favorablemente que las características o propiedades del fluido se determinen como funciones continuas” (Sotelo, 1999, pág. 16).

Lo expresado por Gilberto Sotelo es una consideración muy importante para nuestro análisis experimental, visto que nuestro estudio busca que un comportamiento que es generado por variables fenómenos, sea representado por un factor llamada coeficiente de descarga; esto se lo puede realizar acogiéndose a la omisión de discontinuidades del flujo, es decir analizando y considerando al fluido como un medio continuo.

Hipótesis que afirmamos como favorable, no solo para nuestro proyecto sino para innumerables métodos de análisis que han surgido y seguirán emergiendo en busca de cuestionar los comportamientos de los fluidos. Las implicaciones consideradas satisfacen a realizar la integración de las propiedades de los fluidos, principio que está muy establecido para tener noción de su comportamiento y discontinuidad pero no será enfoque de estudio motivo por el cual solo se requiere la interpretación de las variaciones mecánicas del flujo.

“El flujo es un medio continuo, es decir, una distribución continua de materia sin espacios vacíos” (Sotelo, 1999, pág. 16-17).

Una vez reconocida las interpretaciones de diferentes autores con relación a las propiedades del Fluido-Líquido, y llegando en consenso de que el fluido como tal deberá responder a un comportamiento que pueda ser demostrable con condiciones mecánicas con sus propiedades principales que van directamente involucradas con el entorno da pie a que se indague sobre esta situación.

Fue necesario reconocer que el comportamiento del estudio en un medio continuo el cual no admite el análisis de las discontinuidades de sus partículas, y sus propiedades se pueden realizar mediante funciones continuas; pero de igual manera debemos conocer sus propiedades cuyas magnitudes físicas nos ayudarán a definir el comportamiento y estado en el que se encuentren al ser representados por expresiones numéricas.

Temperatura.

“La magnitud de la temperatura se puede relacionar con la actividad molecular que resulta de la transferencia de calor. Las escalas de medida se definen en términos de la expansión volumétrica de ciertos líquidos”. (Sotelo, 1959, p.21).

Los cambios de temperatura de un fluido se puede producir por transferencia de las moléculas entre un fluido y otro; este es el caso del ambiente, cuando el líquido-agua se encuentra en un ambiente cálido este tiende a cambiar su temperatura a causa de que el gas-aire se encuentra caliente.

“Comúnmente el mercurio; como ejemplo se puede tomar la escala de temperatura Celsius o grados centígrados, la cual se estableció de que el punto de congelación del agua

corresponda al cero de la escala, y el de ebullición, en condiciones estándar a 100°C ” (1999, pág. 21).

La temperatura de los líquidos puede variar por las condiciones en las que se encuentren en el entorno y esto da como resultado a diversos cambios que lleven a aumentos o disminución de su volumen, tal es el caso del agua, alcohol etílico, gasolina, glicerina, mercurio, entre otros; siendo estos de forma no definida. La apreciación más notable es el termómetro como instrumento para medir la temperatura; siendo este compuesto de mercurio en algunos y en otros de alcohol que por lo general se tiñen de rojo para hacerlo más visible su aumento o disminución del volumen, encerrados en un tubo de vidrio el cual marca las diferentes escalas de temperatura en él.

Ranald V. Giles en su libro *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*, menciona lo siguiente:

“Cuando tiene lugar el fenómeno de la evaporación dentro de un espacio cerrado, la presión parcial a que dan lugar las moléculas de vapor se llama presión de vapor. La presión de vapor dependen de la temperatura, aumentando con ella” (2007, pág. 3).

El caso más particular para apreciar la cita de Ranald V. Giles es en la cocina, cuando una olla se encuentra en una hornilla con alto fuego y en su interior tiene agua, este tiende a transpirar producto de la evaporación que se produce, se forma el vapor hasta ocupar los espacios que aun queden libres, aumentando su presión en el interior.

“Los puntos de hielo y vapor tienen valores de 32 y 212°F , respectivamente, en la escala de Fahrenheit y 0 y 100°C , respectivamente, en la escala de Celsius. En la escala de

Fahrenheit hay 180 intervalos iguales, o grados (F°), entre los dos puntos de referencia; en la escala de Celsius, hay 100 grados (C°)” (FÍSICA Wilson–Buffa, 2006, pág. 311).

Esto quiere decir que entre los puntos que señalan en el termómetro que se encuentran fijos de vapor y hielo hay 100 grados en la escala de Celsius y 180 grados en la escala de Fahrenheit, por lo cual un grado Celsius equivale a 1.8 Fahrenheit.

“Al congelarse el agua, sus moléculas forman un patrón reticular hexagonal (de seis lados). (Es por esto que los copos de nieve tienen formas hexagonales). La estructura abierta de esta retícula es lo que confiere el agua su singular propiedad de expansión al congelarse y ser menos densa como sólido que como líquido” (FÍSICA Wilson–Buffa, 2006, pág. 323)

En primera instancia entendemos a temperaturas elevadas y bajas que son términos relativos como alto y bajo, como tal daremos un ejemplo claro de lo que sucede en un lago al congelarse: la superficie comienza a perder energía con respecto a la atmósfera volviéndose más densa hasta hundirse; el agua menos fría y con densidad baja, cercana al fondo sube. Permitiendo así que la capa de hielo formada en la superficie permanezca ahí.

Por medio de lo expuesto anteriormente con respecto a la temperatura se puede rescatar que en un fluido-líquido tiene por característica determinar las condiciones de densidad; esto quiere decir que la temperatura está vinculada con el cambio de densidad.

Densidad.

“La densidad ρ representa la masa de fluido contenida en una unidad de volumen, la densidad del agua es 1g/cm^3 ”. (Sotelo, 1959, pág.21).

A nuestra interpretación la denominación densidad hace referencia según lo mencionado por Sotelo a la magnitud en peso que le corresponde a una unidad de volumen, considerándose esto como una relación entre el peso y volumen de un elemento, en este caso un fluido-líquido.

“Estrechamente asociado con la densidad está el peso específico y que representa el peso del fluido por unidad de volumen. Ambas propiedades p y w se relacionan mediante la ley $w = gp$, en que g designa la aceleración local de la gravedad, que resulta de aplicar la segunda ley de Newton a la unidad de volumen de fluido. Otra forma de cuantificar la densidad o el peso específico de un líquido y corresponde a lo siguiente:

$$\delta = \frac{p}{p_{\text{agua}}} = \frac{w}{w_{\text{agua}}};$$

(Sotelo, 1999, pág.21)

Gilberto Sotelo sostiene que la acción de la gravedad por la cual el líquido tiene un movimiento viene relacionada directamente con su peso propio, motivo por el cual un fluido puede desplazarse sobre una superficie plana o con inclinación variada. Esto ayuda a que la masa de agua sin necesidad de empujes pueda desplazarse a través cualquier obstáculo.

“La densidad de los líquidos depende de la temperatura y es prácticamente independiente de la presión, por lo que se pueden considerar incompresibles”. (Sotelo, 1999, pág.21).

Sotelo comenta que la densidad es prácticamente independiente de la presión, es aceptable su comentario visto que la densidad no considera a la gravedad; pero por medio de esto el reafirma que los fluidos-líquidos tienden a ser incompresibles.

Viscosidad.

“La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes o a la resistencia al fluir. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido”.

(Sotelo, 1959, pág. 23).

“La viscosidad de un líquido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido”. (Ranald V. Giles, 2007, pág. 2).

Dos autores que coinciden con la descripción de la viscosidad, pero la cantidad de resistencia al fluir a nuestra consideración deben guardar alguna relación con la densidad del fluido-liquido propiamente dicho; visto que si un fluido es más denso es decir, contiene más cantidad de materia en una unidad de volumen este ofrecerá una mayor resistencia frente a una deformación a nuestro criterio.

Esta propiedad está presente en la mayoría de los fluidos que tienen una resistencia interna a fluir, siendo esto como una fricción entre las moléculas que lo componen.

“Si se considera el movimiento de un flujo sobre una frontera sólida fija, donde las partículas se mueven en líneas rectas paralelas, se puede suponer que el flujo se produce en forma de capas o láminas de espesor diferencial cuyas velocidades varían con la distancia y , normal a dicha frontera (Fig. 1.2)”. (Sotelo, 1959, pág. 23)

Las diferentes capas de un fluido se mueven a diferente rapidez debido a un esfuerzo cortante, producto de la fricción interna que tienen en un mismo fluido, en diferentes o que el fluido este en contacto con una frontera sólida como lo explica Sotelo en la cita anterior.

“El rozamiento de los líquidos se corresponde con el esfuerzo cortante de los sólidos. Se sabe que, el esfuerzo cortante en los sólidos, origina a veces otros esfuerzos como los de tracción y compresión; lo equivalente en los líquidos es que se originan variaciones de presión, de tal modo, que la presión media sobre un elemento considerado, puede verse afectada en más o menos”. (Ranal V Giles, 2001, 1959, p.3)

Al tener la resistencia interna del flujo al fluir se genera energía interna que tiende a desprender calor aumentando la presión del fluido en sus paredes, en caso de estar contenido en una sección.

Gilberto Sotelo Ávila nos dice:

“Según Newton, el esfuerzo tangencial que se produce entre dos líneas separadas una distancia dy , y que se desplazan con velocidades (v) y $[v + (\partial v/\partial y) dy]$ ”

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial y}$$

De acuerdo con esta ley, el esfuerzo tangencial es proporcional al gradiente transversal de velocidades $\partial v/\partial y$. La constante de proporcionalidad μ es una magnitud característica de la viscosidad del fluido y se conoce como viscosidad dinámica o simplemente, viscosidad.

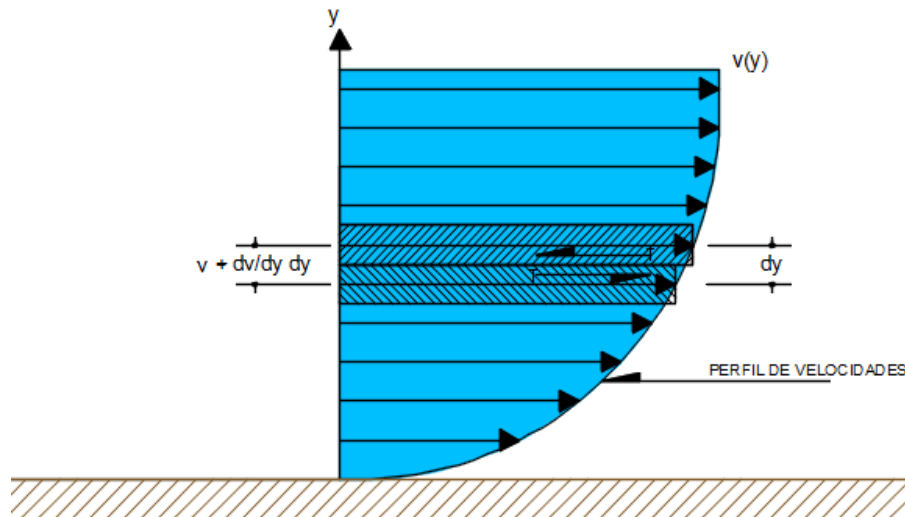


Fig. 1.2 Perfil de Velocidades – Viscosidad de un fluido

Las definiciones de Sotelo basadas en las de Newton generan características principales para diferenciar los perfiles de velocidad que se generen en cada líquido que se estudie, siendo el caso de tener un fluido más viscoso y menos viscoso.

“En los líquidos la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, pero no se ve afectada apreciablemente por las variaciones de presión”.

(Ranald V. Giles, 2007, pág. 3)

Ranal V. Giles implica que las moléculas que actúan en los líquidos tienden alterarse a causa del aumento de temperatura (calor) y esto es razonable, ya que las moléculas del líquido no están fijas en una red sino que están muy separadas entre sí (inestabilidad) generando que sus actividad molecular aumente.

“El número de Reynolds representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. Se dice que el flujo es laminar cuando las fuerzas viscosas son más fuertes que las de inercia. Caso contrario el flujo se denomina turbulento”

(Arturo Rocha Felices, 2010, pág. 12).

Lo que quiere decir Arturo Rocha es que, cuando el líquido se somete a las fuerzas de aceleración producto de la masa en relación a las de su resistencia a fluir, el líquido puede ser laminar. Principal característica para determinar la capacidad de tendencia a fluir en condiciones variadas y dependiente de cualquier líquido.

De lo estudiado se puede rescatar que la temperatura de un fluido-líquido es determinante en el cálculo de su densidad y que a su vez, la densidad determina la cantidad de materia que existe en un determinado volumen, ahora se hace necesario investigar y conocer cuál es o en que varía el comportamiento de un fluido cuando es menos o más denso que otro; pero a nuestro criterio y en función de lo ya revisado sería racional expresar que si un flujo es más denso su velocidad será menor a la de otro menos denso; condición que estaría ligada a la rapidez de deformación, pero si analizamos dos fluidos diferentes en este caso el agua y el aceite podemos discernir en que la densidad del aceite es menor que la del agua pero también su rapidez de deformación por lo que viéndolo desde este punto de vista se puede interpretar que la viscosidad con la densidad no guardan relación en este caso porque hemos hecho el análisis utilizando como ejemplo dos fluidos-líquidos pero con diferente composición molecular, a nuestra consideración en el caso que la composición molecular en comparación sean iguales si habría una relación entre la densidad y la viscosidad porque la rapidez de deformación estaría también dada en función de la densidad.

Tensión superficial y Capilaridad.

“Una molécula en el interior de un líquido está sometida a la acción de fuerzas en todas las direcciones, siendo la resultante nula. Pero si la molécula está en la superficie del líquido,

sufre la acción de un conjunto de fuerzas de cohesión, cuya resultante es perpendicular a la superficie”. (Ranald V. Giles, 2001, 1959, p.3)

Esta acción de fuerzas en todas las direcciones se debe por lo general a una pequeña simetría de cargas que dan como origen a fuerzas de atracción entre ellas aunque, tales moléculas son eléctricamente neutras.

“La diferencia entre las moléculas que están dentro de un líquido y las que están en la superficie es que, en las primeras, las fuerzas atractivas que actúan en el pequeño espacio en que se manifiestan, se contrarrestan, mientras que en las segundas no sucede lo mismo, por tanto existirá una resultante R que se dirige hacia el seno del líquido”.

(Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 10)

En la capa superficial, las moléculas poseen una fuerza neta actuante, debido a que justo debajo de la superficie se encuentran moléculas vecinas que poseen atracción lo cual permite que se produzca tracción hacia adentro sobre las moléculas superficiales lo que hace que la superficie del líquido se contraiga o se resista a estirarse o romperse.

“La tensión superficial de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie (kgm/m^2). Este trabajo es numéricamente igual a la fuerza tangencial de contracción que actuara sobre una línea hipotética de longitud unidad situada en la superficie (kg/m). (Ranald V. Giles, 2001, 1959, pág. 3-4)

Esto formaría una depresión en la superficie, como resultado de ello es que esta actúe como una membrana elástica estirada y las componentes de la superficie hacia arriba de la tensión superficial podrían sostener cualquier objeto.

“Las resultantes de las fuerzas de cohesión cuya dirección es perpendicular a la dirección de la superficie libre del líquido o a la de contacto entre dos líquidos que no se mezclan, se equilibra por la acción de las componentes verticales de la fuerza que se genera sobre dichas superficies; medida por unidad de longitud perpendicular a una dirección especificada. Esta fuerza se conoce como Tensión superficial”. (Sotelo, 1959, p.31).

Un ejemplo es tener un trozo de alambre doblado del cual lo sostenemos con la mano de forma que al sumergirlo en el recipiente de agua la capa de la superficie se estira hasta alcanzarlo momentos antes de ingresar por completo y de la misma manera después de retirarlo la capa de superficie se estira lo máximo, debido a la atracción que las moléculas de agua tienen hacia el alambre doblado.

“En la mayoría de los problemas presentados en las mecánicas de fluidos elementales la tensión superficial no es de particular importancia” (Ranald V. Giles, 2001, 1959, pág. 4). Esto se debe a que las acciones que se ejercen son muy pequeñas a tal punto de los esfuerzos de estiramientos no influyen sobre el estudio de un proceso de investigación en la mecánica de un fluido que hemos tomado para consideración al líquido.

“Por lo tanto si se quiere aumentar la superficie libre del líquido, será a expensas de llevar moléculas del mismo, a dicha superficie, tomándolas del interior del líquido, lo cual requiere un consumo de energía. Para poder evaluar el consumo de energía por unidad de superficie aumentada, que se conoce como tensión superficial, se forma una lámina jabonosa que al aplicarla un esfuerzo F avanzara una cierta longitud, obteniéndose así un trabajo equivalente al necesario para llevar moléculas a la superficie; cualquiera que sea el grado de estiramiento la fuerza aplicada F será siempre constante en contra de lo que ocurre con una membrana, que sigue la ley de Hooke”.

(Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 10)

Por efecto de atracción de las moléculas entre sí, que se encuentran en el interior del líquido tienden a subir y aumentan su área de superficie produciendo esto un consumo de energía entre ellas. Considerando la cita de Pedro Fernández mencionando a Hooke implica que cualquier condición en la que se encuentre la superficie al aplicarle una fuerza se obtendrá un trabajo generado por las moléculas del líquido implicando un estiramiento.

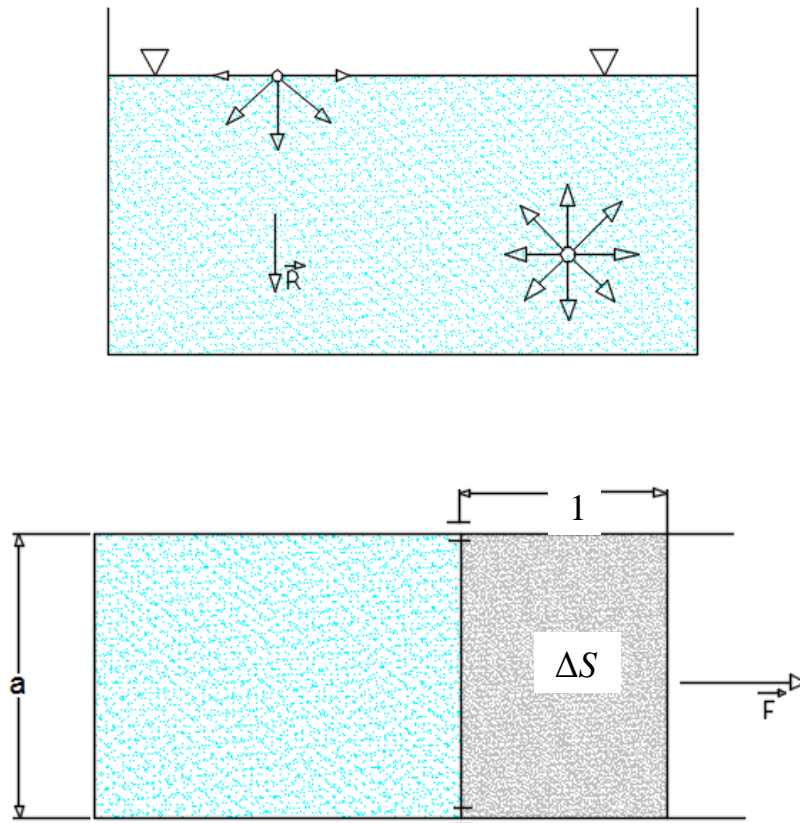


Fig. 1.3 Fuerzas de tensión superficial.

Gilberto Sotelo recalca lo siguiente:

“La tensión superficial tiene la misma magnitud en todos los puntos de la superficie de frontera o intercala y es independiente de la dirección (o solo dependiente de los medios a ambos lados de la línea de frontera) y de la temperatura” (Sotelo, 1959, pág. 31).

Entonces Sotelo afirma que: las moléculas que se encuentran en la superficie son jaladas a los lados y hacia abajo, pero no tiene atracción hacia arriba por encontrarse en contacto con el aire. Tiene mayor fuerza de atracción las moléculas que se encuentran de manera sólida como las paredes de un recipiente en el cual es contenido un volumen de líquido determinado.

“La tensión superficial hace inestable la superficie plana de frontera en que se ejerce, lo cual queda demostrado por la forma esférica que adquiere una gota de líquido cuando se libera hacia el aire y trata de adaptar la mínima superficie exterior de configuración estable para su volumen” (Sotelo, 1959, pág. 31).

Algo similar sucede con las gotas de aceite y las gotas de metal fundido, ya que sus superficies tienden a contraerse y hacer que cada gota adopte la forma que tenga la mínima superficie

“Esto quiere decir que si un líquido está limitado por una pared sus moléculas son atraídas no solo por las fuerzas del medio superior, sino además por las de la propia pared. Si las fuerzas moleculares de la pared son mayores que las moléculas vecinas del líquido, éste se extenderá sobre la pared; eso quiere decir que, la moja. Pero si acontece lo contrario (como ejemplo el mercurio) el líquido repele a la pared y entonces no la moja; Figura 1.3”.

(Sotelo, 1959, pág. 31)

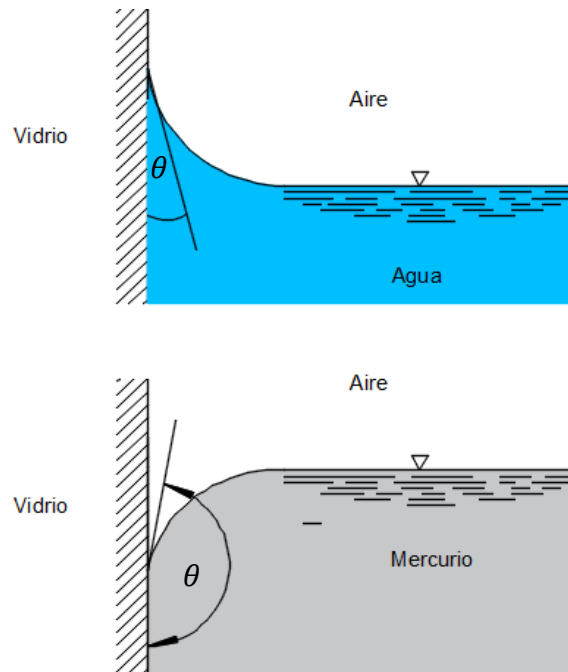


Fig. 1.4 Formas de la superficie de contacto entre liquido-pared-aire

Sotelo define a los líquidos como emisores de energía que tienden atraerse hacia las paredes en las cuales son contenidas pero las circunstancias varían con respecto al líquido que contengan. Esta consideración es válida para estudios de flujos en canales experimentales ya que las paredes de vidrio tienen esta clase de característica y se fija que generan cierta resistencia a la fluidez del mismo en la sección.

“La elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar (o en situaciones físicas análogas, tales como en medios porosos) vienen producidos por la tensión superficial, dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión del líquido y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo” (Ranal V. Giles, 2007, 1959, p.4).

Como explicamos en el segundo texto atrás que las condiciones de tensión superficial varían con respecto de los líquidos que se estudien, también varían con las paredes del recipiente en los cuales es contenido el líquido.

En la **figura 1.5** puede notarse que en el punto de contacto entre la pared y el líquido de las tangentes forman un ángulo θ de contacto que, se puede obtener a partir de las condiciones de equilibrio de la tensión superficial sobre la frontera de tres medios.

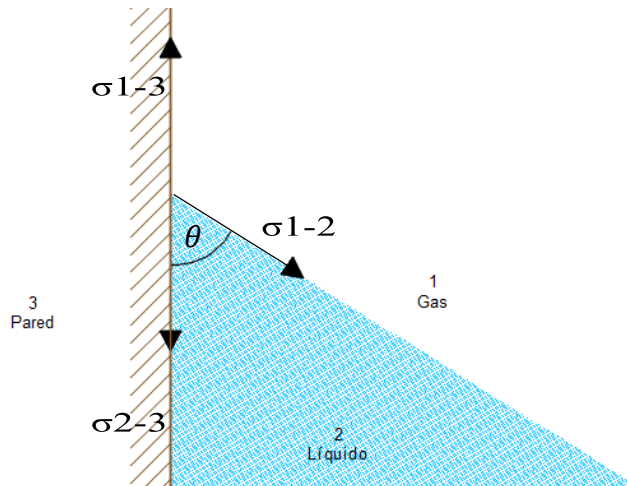


Fig. 1.5 Capilaridad

También se muestran las tensiones superficiales: gas contra líquido, gas contra pared y líquido contra pared, actuando sobre las superficies de frontera.

Mecánica de Fluidos.

“En Mecánica de Fluidos solo hay cuatro dimensiones primarias, de las que se derivan las otras demás, a saber, masa, longitud, tiempo y temperatura.

Las propiedades de los fluidos más interesantes son:

- 1) La **isotropía**, por cuanto contiene igualdad de propiedades en todas sus direcciones.
- 2) La **movilidad**, por cuanto carecen de forma propia, por lo que se amoldan a la del recipiente que los contienen; a un esfuerzo infinitamente pequeño le corresponde una deformación infinitamente grande.

- 3) La **viscosidad**, que constituye una resistencia a la deformación, la cual no sigue las leyes de rozamiento entre sólidos, siendo las tensiones proporcionales, en forma aproximada, a las velocidades de las deformaciones; esta ley fue formulada por Newton, que decía que, cuando las capas de un líquido deslizan entre sí, la resistencia al movimiento depende del gradiente de la velocidad dv/dx , y de la superficie,

$$F = \eta s \frac{dv}{dx}$$

Siendo η la constante de proporcionalidad; ahora bien, la velocidad va variando progresivamente de capa en capa, y no bruscamente.

Si la velocidad relativa de desplazamiento es nula, la tensión también lo será.

- 4) La **compresibilidad**, según la cual, para cualquier esfuerzo a que se someta al fluido, su volumen prácticamente no varía. Así, para el caso del agua, por cada kg/cm^2 que aumente su presión, se comprime $1/20.000$ de su volumen. Para los fluidos compresibles, el volumen específico será función de la presión y de la temperatura, siendo complicadas las expresiones que ligan estas variables.” (Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 1).

De esta manera se categoriza las implicaciones que tengan las propiedades del fluido cuando este se encuentra en movimiento o como se le denomina al estudio mecánica de fluidos.

“Es la ciencia en la cual los principios fundamentales de la mecánica general se aplican en el estudio del comportamiento de los fluidos, tanto en reposo como en movimiento. Dichos

principios son los de la conservación de la materia y de la energía, y las leyes del movimiento de Newton” (Sotelo, 1999, pág. 17).

Las adaptaciones de Sotelo al estudio de la mecánica de los fluidos se basan en los principios básicos de sus propiedades que vimos anteriormente en la cita, en dinámica o estática, sin considerar las discontinuidades de sus partículas.

“La rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos ya sea en reposo o en movimiento constituye la mecánica de los fluidos y la hidráulica. En el desarrollo de los principios de la mecánica de los fluidos algunas de las propiedades de los fluidos juegan un papel preponderante, mientras que otras influyen muy poco o nada”.

(Ranald V. Giles, 2007, pág. 1)

Podemos ver cómo fue importante el inicio profundizar en el estudio molecular del fluido, diferenciar entre fluido y sólidos, y el comportamiento que tiene cuando se aplica una fuerza externa; para dar lugar al estudio de la hidráulica que, se basa en el comportamiento ya sea en movimiento o en reposo. Como profundizamos desde el inicio del capítulo algunas de las propiedades tendrán consideración y serán palpables pero no se tomarán en cuenta para el desarrollo de nuestro estudio, ya que la mayoría de ellas son despreciables al complejo y sistematizado análisis de nuestro tema.

Gilberto Sotelo Ávila dice lo siguiente:

“Con las leyes que resultan del estudio de la mecánica de fluidos mediante el análisis matemático y experimental dio la posibilidad de explicar los fenómenos observados y predecir el comportamiento de los fluidos bajo una serie de condiciones especificadas”.

(1999, pág. 17)

Por esa razón nosotros trataremos los diferentes parámetros matemáticos y fundamentos teóricos que hemos resaltado anteriormente para profundizar y tener las nociones bien fundadas del porque se comporta de una manera u otra; escudriñando mediante modelos matemáticos y comprobando en métodos experimentales.

“Cuando las leyes y principios de la hidromecánica se aplican al estudio del flujo de agua en estructuras que interesan directamente al ingeniero civil, surge entonces la disciplina conocida como la hidromecánica técnica o hidráulica” (Sotelo, 1999, pág. 17).

Pues bien, en la cita anterior Sotelo define un punto muy importante en nuestro estudio al cual dimos como partida para evaluar los comportamientos en estructuras y establecer características, condiciones y parámetros que determinaran los comportamientos a los que deseamos llegar; y más aún que fue necesario el estudio de las propiedades del fluido sobre todo especificar qué tipo de flujo hemos de interpretar.

“La Cinemática de los líquidos trata del movimiento de sus partículas, sin considerar la masa ni las fuerzas que actúan, en base al conocimiento de las magnitudes cinemáticas: velocidad, aceleración y rotación”. (Sotelo, 1999, pág. 87)

Como dice Sotelo la cinemática de los líquidos infiere muy particularmente en condiciones tan elementales a simple vista como la velocidad, aceleración y rotación; que despoja por completo al comportamiento molecular del líquido y sus respectivas propiedades.

“El flujo de fluidos es complejo y no siempre puede ser estudiado de forma exacta mediante el análisis matemático. Contrariamente a lo que sucede con los sólidos, las partículas de un fluido en movimiento pueden tener diferentes velocidades y estar sujetas a

distintas aceleraciones. Tres principios fundamentales que se aplican al flujo de fluidos son:

- ❖ El principio de conservación de la materia o de la masa, a partir del cual se establece la ecuación de continuidad.
- ❖ El principio de la energía cinética, a partir del cual se deducen ciertas ecuaciones aplicables al flujo.
- ❖ El principio de cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento.

(Ranal V. Giles, 2007, p.70)

Definidos los conceptos primordiales de los principios de los fluidos, bases particulares para la descripción de un flujo en movimiento en condiciones variables se puede interpretar que tipo de análisis es el más aceptable y seguro, verificando su grado de exactitud en un complejo análisis físico y matemático.

“Un campo de flujo es cualquier región en el espacio donde hay un fluido en movimiento, a condición de que la región o subregión del flujo quede ocupada por el fluido.

“En cada punto del campo de flujo es posible determinar o especificar una serie de magnitudes físicas, ya sean escalares, vectoriales o tensoriales, que forman a su vez campos independientes o dependientes dentro del flujo.

Un campo escalar se define exclusivamente por la magnitud que adquiere la cantidad física a la cual corresponde; ejemplos: presión, densidad y temperatura.

En un campo vectorial además de la magnitud, se necesita definir una dirección y un sentido para la cantidad física a la que corresponde; esto es, tres valores escalares. La velocidad, la aceleración y la rotación son ejemplos de campos vectoriales. Finalmente, para definir un campo tensorial se requieren nueve o más componentes escalares; ejemplos: esfuerzo, deformación unitaria, y momento de inercia”.

(Sotelo, 1999, pág. 87)

Sotelo explica las diferentes magnitudes físicas que suceden en un flujo en movimiento que son: escalares, vectoriales o tensoriales. Estas a su vez están representadas dentro de un diagrama de flujos que representa el comportamiento de ella en una sección establecida o por la cual transite. Aquí determina sus características, propiedades y movimientos en diferentes condiciones y da como eje a estudiar diversos flujos o en este caso líquidos.

“FLUIDOS REALES:

- La posición relativa de las moléculas puede cambiar continuamente.
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad.
- Dependiendo de su viscosidad fluyen a mayor o menor velocidad. Mientras más viscoso es un fluido, fluye con menor velocidad; mientras menos viscoso, fluye con mayor velocidad.
- Su viscosidad esta en relación de la densidad del fluido.

FLUIDOS IDEALES:

- Fluido no viscoso. Se desprecia la fricción interna entre las distintas partes del fluido.

- Flujo estacionario. La velocidad del fluido en un punto es constante con el tiempo.
- Fluido incompresible. La densidad del fluido permanece constante con el tiempo.
- Flujo irrotacional. No presenta torbellinos, es decir, no hay omento angular del fluido respecto de cualquier punto.”

(es.scribd.com/doc/65710176/CARACTERISTICAS-DE-LOS-FLUIDOS-REALES-E-IDEALES#scribd)

Esta condición de los fluidos determinamos que es un flujo real porque las condiciones de apreciación en sus comportamientos son asimilables y visibles, siendo muy buenas para un buen estudio. Por el contrario el flujo ideal es un poco imaginario, por decirlo así; ya que sus condiciones son un tanto irracionales, las mismas de igual manera fueron establecidas para interpretar y describir el fluido.

“Los movimientos de circulación de los fluidos se pueden dividir en dos tipos,

Movimientos laminares o de Poiseuille, que son flujos regulares en los que la masa fluida está formada por filetes yuxtapuestos, perfectamente individualizados, en los que las superficies libres son lisas y unidas; en realidad solo se dan en algunos casos muy particulares o en fluidos muy viscosos; el número de Reynolds es flujos por el interior de tubos es inferior a 2000.

Movimientos turbulentos, o hidráulicos, en los que los filetes líquidos se entrecruzan no conservan su individualidad; las superficies libres son turbulentas y estriadas, y son los movimientos que con más frecuencia se presentan en la práctica”.

(Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 94)

Pedro Fernández Díez en la cita anterior clasifica los fluidos por la composición molecular con la que se mueven especificando dos categorías: laminar y turbulento; estas condiciones

establecen las apreciaciones de su distribución y la principal propiedad que la categoriza es la viscosidad; y una de las magnitudes relacionadas es la velocidad. Su perfil describe la trayectoria que produce al trasladarse de una sección a otra en una determinada velocidad y dependiente del líquido que se tome en estudio.

“Los flujos de fluidos puede ser permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; laminar o turbulento; unidimensional, bidimensional o tridimensional, y rotacional o irrotacional”. (Ranald V. Giles, 2007, pág. 70).

La clasificación de Ranald V. Giles ayuda ampliar un esquema de tipos de flujos para escoger la mejor distribución que va actuar para el estudio deseado.

“Existen diferente criterio para la clasificación de un flujo. Este puede ser permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; tridimensional, bidimensional o unidimensional; laminar o turbulento; incompresible o compresible; rotacional o irrotacional” (Gilberto Sotelo Ávila, 1999, pág. 96).

De la misma forma que Ranald V. Giles, Sotelo clasifica el flujo. Estas consideraciones se establecen en este texto ya que en la mayoría de los autores estudiados especifica las mismas condiciones.

“En general, las propiedades de un fluido y las características mecánicas del mismo serán diferentes de un punto a otro dentro de su campo; además, si las características en un punto determinado varían de un instante a otro, el flujo es no permanente. Por el contrario, será un flujo permanente si las características en un punto permanecen constante para cualquier

instante; o bien, si las variaciones en ellas son muy pequeñas con respecto a sus valores medios y estos no varían con el tiempo” (Gilberto Sotelo Ávila, 1999, pág. 97).

Gilberto Sotelo, en la cita anterior especifica que las características establecidas en las secciones que se presenten para un estudio pueden cambiar de manera inesperada por condiciones que nosotros establezcamos o que se encuentren por el medio que estén rodeados. Para los flujos permanentes y no permanentes al ser estudiados deben permanecer las mismas condiciones en la sección.

Un ejemplo muy claro es de los líquidos que se encuentran bajo condiciones constantes de carga, de altura o de vaciado de depósitos por vertederos u orificios siendo cargas constantes que determinan flujos permanentes. Esto hace que la complejidad de estudios de los fluidos esté directamente relacionada a nuestro proyecto de investigación para la descarga de vertederos.

“La complejidad de los flujos no permanentes hace que su estudio caiga fuera del propósito de un texto de introducción a la mecánica de fluidos. Un flujo es no permanente cuando las condiciones en un punto cualquiera del fluido varían con el tiempo”. (Ranald V. Giles, 2007, pág. 71)

Ranald. V. Giles resalta la dificultad de estudiar flujos no permanentes porque la mecánica de fluidos al ser la rama principal para describirlos en reposo y en movimiento.

“Se dice que un tramo de canal o tubería tiene movimiento uniforme cuando las características hidráulicas son las mismas –es decir, son constantes- para cualquier sección de dicho tramo”. (Arturo Rocha Felices, 2010, pág. 5-6)

Arturo Rocha Asume un Flujo-liquido es constante cuando la sección en la que fluye no cambia y por tanto el flujo lleva las mismas cantidades físicas. Esto implica que su velocidad se mantiene, el volumen que pasa por un tramo siempre va a ser el mismo; y esto despoja las condiciones particulares, tal es el caso de sus propiedades.

“El flujo de líquidos bajo presión a través de tuberías de diámetros constante y gran longitud es uniforme tanto si el régimen es permanente como si no permanente. El flujo es no uniforme cuando la velocidad, la profundidad, la presión, etc., varían de un punto a otro en la región del flujo”. (Ranald V. Giles, 2007, pág. 71)

Ranal V. Giles asume un flujo con régimen permanente o no permanente siendo uniforme en tuberías a presión que recorren grandes distancias y cuyos diámetros no varían; sabemos que el flujo es permanente o no permanente cuando las características pueden o no cambiar. Cuando una sección determinada de la tubería cambia se convierte en no uniforme ya que, al cambiar su diámetro, varia la presión y la velocidad.

“Si en un instante particular el vector velocidad es idéntico en cualquier punto del flujo, se dice que el flujo es uniforme. En caso contrario, el flujo es no uniforme y los cambios en el vector velocidad pueden ser en la dirección del mismo o en direcciones transversales. Este tipo de –no uniformidad- siempre se encuentra cerca de fronteras solidas por efecto de la viscosidad; sin embargo en hidráulica suele aceptarse la uniformidad o no uniformidad del flujo cuando se refiere a la variación de la velocidad media en dirección de movimiento”. (Gilberto Sotelo Ávila, 1999, pág. 97).

Gilberto Sotelo menciona, que por efecto de la viscosidad el aumento y disminución de la velocidad se puede producir y más aún cuando el flujo está en contacto con una frontera

solida o sean estas las paredes en cuales estén contenidos; a este cambio de velocidad producido por la viscosidad entre un líquido y la frontera solida se le conoce como uniforme o no uniforme.

“El flujo puede clasificarse en tridimensional, bidimensional y unidimensional. Es tridimensional cuando sus características varían en el espacio, o sea que los gradientes del flujo existen en las tres direcciones; este es el caso más general de flujo. Es bidimensional cuando sus características son idénticas sobre una familia de planos paralelos, no habiendo componentes en dirección perpendicular a dichos planos, o bien ellas permanecen constantes; es decir que el flujo tiene gradiente de velocidad o de presión (o tiene ambos) en dos direcciones exclusivamente. Es unidimensional cuando sus características varían como funciones del tiempo y de una coordenada curvilínea en el espacio, usualmente la distancia media a lo largo del eje de conducción” (Gilberto Sotelo Ávila, 1999, pág. 97).

Gilberto Sotelo también describe otra clasificación de los fluidos en dimensiones de red estableciendo fronteras en los que se ve afectado en que la variable espacial que posean se de en una, dos o tres dimensiones siendo estas paralelas al escurrimiento y/o en direcciones diferentes.

“Las redes de corriente se dibujan para representar la configuración del flujo en caso de fluidos bidimensionales y en algunos también en tridimensionales. La red de corriente está formada por una familia de líneas de corriente espaciadas de tal forma que el caudal q es el mismo entre cada dos pared de líneas y otra familia de curvas ortogonales a las líneas de corriente, y espaciadas de tal forma que la separación entre ellas es igual a la separación entre las líneas de corriente adyacentes. Para describir completamente un flujo, con condiciones de contorno dadas, se requiere un número infinito de líneas de corriente. No

obstante, el número de líneas de corriente empleadas es el mínimo necesario para obtener la precisión deseada”. (Ranald V. Giles, 2007, pág. 72).

Implica que el flujo que este fluyendo en un reservorio deba tener extremos o contornos para poder describir perfectamente la red ya que se visualiza los comportamientos al choque contra las mismas.

“Los fluidos reales se distinguen de los ideales en que poseen una cierta viscosidad, es decir, un rozamiento interior que origina tensiones tangenciales entre los filetes fluidos. Los movimientos de circulación de los fluidos se pueden dividir en dos tipos.

- a) **Movimientos turbulentos, o de Poiseuille**, que son fluidos regulares en los que la masa fluida está formada por filetes yuxtapuestos, perfectamente individualizados, en los que las superficies libres son lisas y unidas; en la realidad solo se dan en algunos casos muy particulares o en fluidos muy viscosos; el número de Reynolds en fluidos por el interior de tubos es inferior a 2000.
- b) **Movimientos turbulentos e hidráulicos**, en los filetes de fluidos se entre cruzan no conservan su individualidad; las superficies libres son turbulentas y estriadas, y son los movimientos que con más frecuencia se presentan en la práctica.

Si cada punto de una masa fluida en movimiento turbulento se miden las velocidades instantáneas, se observa que estas varían en magnitud y dirección sin ninguna regularidad, con una frecuencia a veces muy grande, pero no se apartan jamás del valor medio, alrededor del cual oscilaran más o menos rápidamente; otro tanto sucede con las presiones” (Pedro Fernández Diez, 2007, pág. 94)

La clasificación de Pedro Fernández Diez es determinar las distintas distribuciones que tendrán al poseer diversos factores de los cuales el principal lo encierra en la propiedad de los fluidos respectivamente a la viscosidad; para determinar si un fluido es turbulento o no turbulento es necesario grafica una red o malla que describa la dirección del flujo en el sentido que este fluya pudiendo que tan rápido o lento va, vórtices, turbulencias, descripción del paso de un punto a otro.

“La clasificación de los fluidos en laminar y turbulento es un resultado propiamente de la viscosidad del fluido; y no habría distinción entre ambos en ausencia de la misma. El flujo laminar se caracteriza porque el movimiento de las partículas se produce siguiendo trayectorias separadas prácticamente definidas –no necesariamente paralelas- sin existir mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas. Si se inyecta colorante (de la misma densidad que el líquido) dentro del flujo laminar, este se mueve como filamento delgado que sigue las trayectorias del flujo. Es un fluido turbulento, cuando las partículas se mueven en trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido”

(Gilberto Sotelo Ávila, 1999, pág. 98).

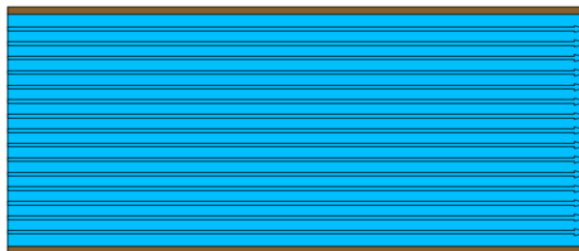


Fig. 1.6 Flujo Laminar

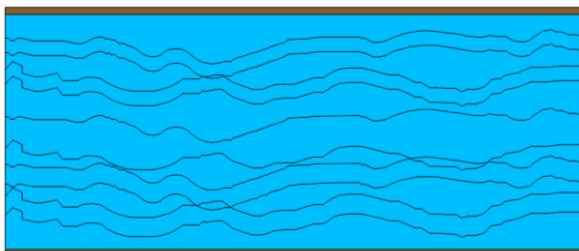


Fig. 1.7 Flujo Turbulento

1.2 Continuidad.

La aplicación del principio de conservación de masa a un flujo permanente, en un tubo de corriente, tiene como consecuencia la ecuación de continuidad, la que expresa la conservación del flujo al pasar de una sección en un volumen de control.

Considérese un sistema físico, como el de un conjunto particular de materia que se identifique y observe como separado de todo lo que sea exterior al mismo, por un límite cerrado, imaginario o real. La masa del sistema se conserva, pero infortunadamente, un sistema de fluido es, un flujo tan móvil como deformable.

El sistema fluido retiene su masa, pero no su posición ni su forma. Esto sugiere la necesidad de definir un objeto más conveniente para el análisis. Este objeto consiste de un volumen fijo en el espacio al que se denomina volumen de control, y a través de cuyo límite pueden definir la materia, masa, momento y energía.

El límite del volumen de control se denomina la superficie de control. El volumen de control fijo puede ser de cualquier tamaño y forma útiles (finito o infinitesimal), provisto sólo que la superficie límite de control sea un límite cerrado (completamente envolvente). Ni el volumen de control ni la superficie de control cambia de forma o de posición con el transcurso del tiempo.

Para esto es necesario recurrir a la Mecánica Newtoniana, que consiste en ver el paso de una partícula que conforma un fluido a través de una línea de corriente, considerando las siguientes hipótesis:

*El fluido-liquido es incompresible.

*El fluido-liquido tiene densidad constante.

*El fluido es irrotacional es decir que las líneas de corrientes no rotan o el fluido no posee una cantidad de movimiento angular.

*El fluido es no viscoso o sea se desprecia la fuerza de fricción entre el fluido mismo y su interacción con el recipiente.

Imaginemos un tubo de corrientes.

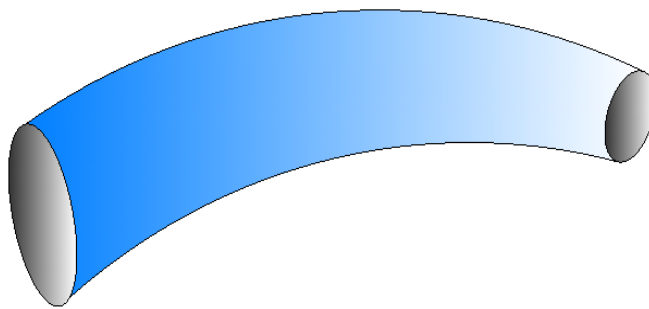


Fig. 1.8 Sistema Flujo Continuo.

En el que una porción de fluido va en este sentido.

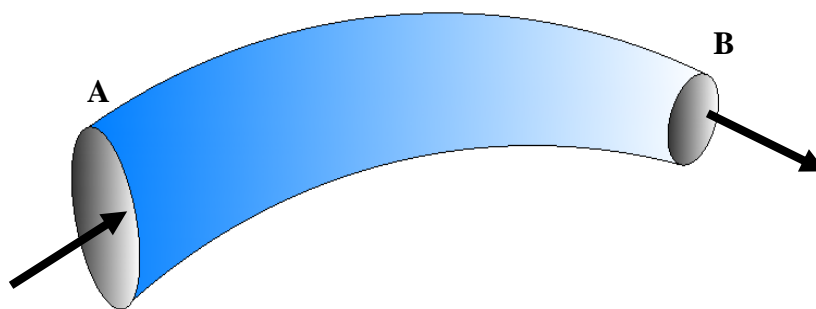


Fig. 1.9 Sistema Flujo Continuo – Representación del flujo.

Y que todo el volumen que se movió en el punto A se moverá en el punto B.

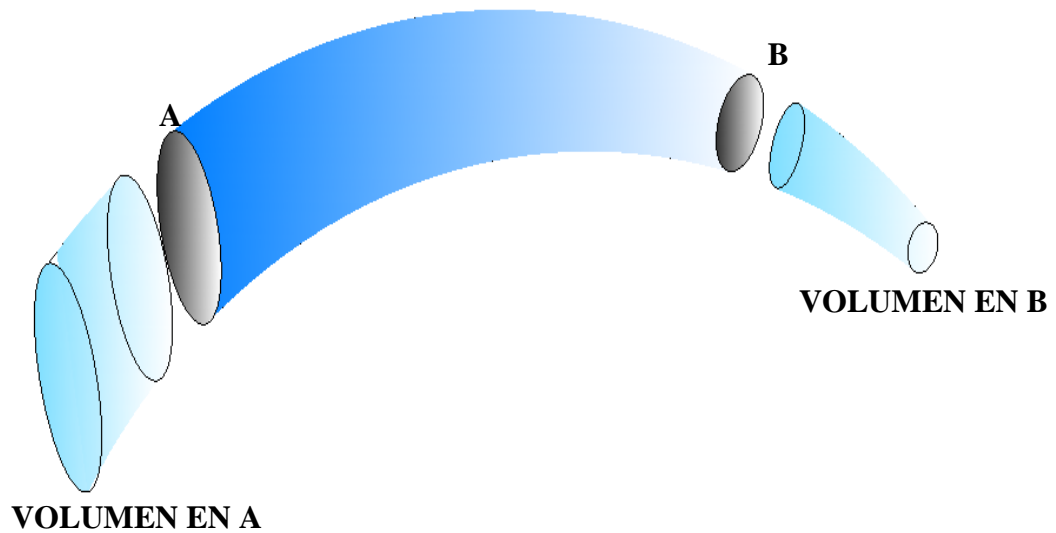


Fig. 1.10 Sistema Flujo Continuo - Secciones.

Ahora utilizemos un diferencial de masa en A y por lo consiguiente en B.



Fig. 1.11 Sistema Flujo Continuo - Diferencial.

Diferencial de masa es igual a densidad por diferencial de volumen, cuando hablamos de diferenciales nos hacemos a la idea que estamos analizando algo extremadamente pequeño es decir ese algo puede ser, áreas, volúmenes, que tienden a cero pero no lo son, visto que lo que se busca calcular es la continuidad del flujo, por decirlo así entre dos límites.

$$dm = \rho * dv$$

Sabiendo que diferencial de volumen es igual a Área por infinitesimal de distancia; cuando nos referimos a un cálculo infinitesimal, en realidad obtenemos el mismo resultado que en uno diferencial, con el único cambio que en el proceso de obtención de este resultado, en el cálculo diferencial se puede añadir una variable llamada incertidumbre, para que el cálculo no sea tan extenso, caso que el infinitesimal no se cumple ya que, el solo puede obtener este resultado mediante la suma de las áreas hasta llegar al infinito sin utilizar ningún artificio.

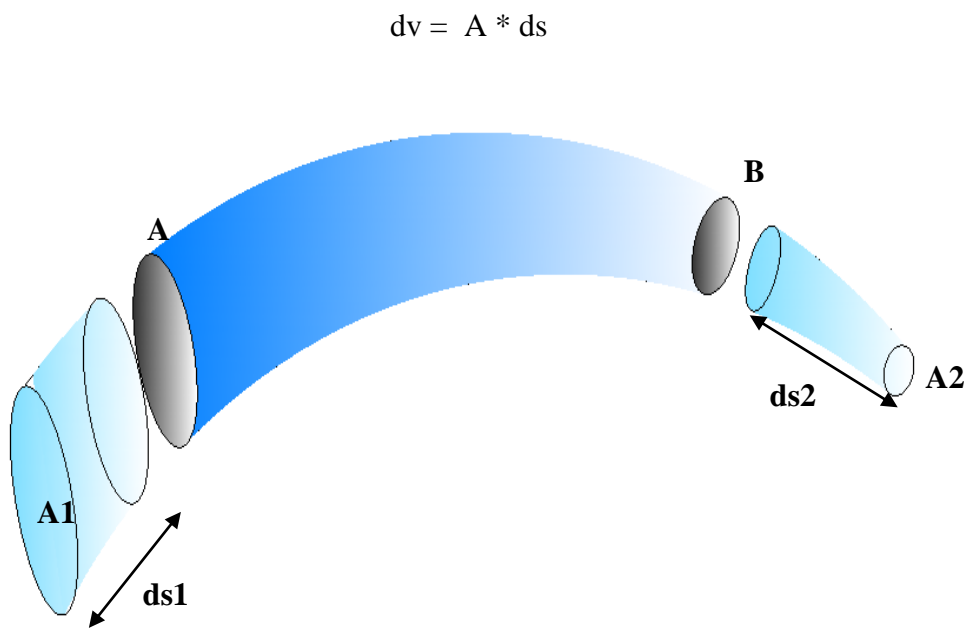


Fig. 1.12 Sistema Flujo Continuo – Variable de Incertidumbre.

Por lo que el diferencial de masa será igual al producto de densidad, área, e infinitesimal de distancia.

$$dm = \rho * A * ds$$

Dicho que infinitesimal de distancia es igual a velocidad por diferencial de tiempo.

$$ds = V * dt$$

Por lo que el diferencial de masa será igual al producto de densidad, área, velocidad y diferencial de tiempo.

$$dm = \rho * A * V * dt$$

Entonces tenemos:

$$\frac{dm1}{dt} = \rho1 * A1 * V1$$

; y

$$\frac{dm2}{dt} = \rho2 * A2 * V2$$

Como el tubo de corriente es cerrado hay conservación de masa, es decir:

$$\frac{dm1}{dt} = \frac{dm2}{dt}$$

$$\rho1 * A1 * V1 = \rho2 * A2 * V2$$

Visto que una de las hipótesis es que el fluido-liquido es incompresible lo cual determina que la densidad es constante, dicho esto tenemos:

$$A1 * V1 = A2 * V2$$

Y sabiendo que Caudal es igual a Área por Velocidad podemos deducir que:

$$Q1 = Q2$$

De donde se plantea la Ecuación de continuidad.

Caudal que ingresa = Cauda que sale

Concluyendo con el principio de continuidad o conservación de masa se destaca que el caudal no varía en el paso de una sección a otra y puede deducirse a que:

$$Q = A * V$$

Siendo:

Q = Caudal.

A= El área de la sección en análisis.

V= Velocidad.

Es decir Caudal es igual al producto de Área por Velocidad.

1.3 Ecuación de Energía (Bernoulli).

“Si no se incluyen los efectos termodinámicos en el flujo ni la adición o extracción de energía mecánica desde el exterior (bomba o turbina), es posible derivar las ecuaciones del movimiento – aplicables al flujo de líquidos – a partir de la segunda ley de Newton”

(Sotelo, 1959, pág. 121)

La adición, incremento o sustitución de energía en un flujo-liquido se puede describir a través de ecuacionamiento que determinan el movimiento de un fluido que pase por una sección determinada.

“Cuando se aplica la segunda ley de Newton a un elemento diferencial de masa de líquido, en la forma $d\mathbf{F} = dm \mathbf{a}$, se obtienen las ecuaciones del movimiento – a lo largo de la línea

de corriente – para el flujo de un líquido real, no permanente; puede generalizarse para una vena líquida en flujo unidimensional” (Sotelo, 1959, p.121).

Para las ecuaciones de movimiento es necesario aplicar la segunda ley de Newton para describirlo a través de una vena líquida o línea de corriente tomando en cuenta como flujo ideal para despojar toda descripción de cambios que tenga la partícula del fluido-líquido; y así se puede optimizar el estudio llevando al flujo a ser ideal-no permanente, para una vena líquida en flujo unidimensional.

“La energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio. En la dirección del flujo, el principio de la energía se traduce a la siguiente ecuación, al hacer el balance de la misma:

$$\begin{array}{ccccccccc} \textit{Energía en la} & & \textit{Energía} & & \textit{Energía} & & \textit{Energía} & & \textit{Energía en} \\ & & & + & & - & & - & & = & \\ \textit{sección 1} & & \textit{añadida} & & \textit{perdida} & & \textit{extraída} & & \textit{la sección 2} \end{array}$$

(Mc. Graw Hill, 2001, p.3)

Una ecuación muy importante en el campo de la hidromecánica es la llamada ecuación de Bernoulli. Imaginemos un tubo de corriente a nivel de referencia con sus respectivas líneas de corriente que mostramos a continuación.

La tercera ley de Newton me dice: todo lo que este delante de mí, a lo cual se le está aplicando una fuerza, me hace una fuerza igual pero en sentido opuesto.

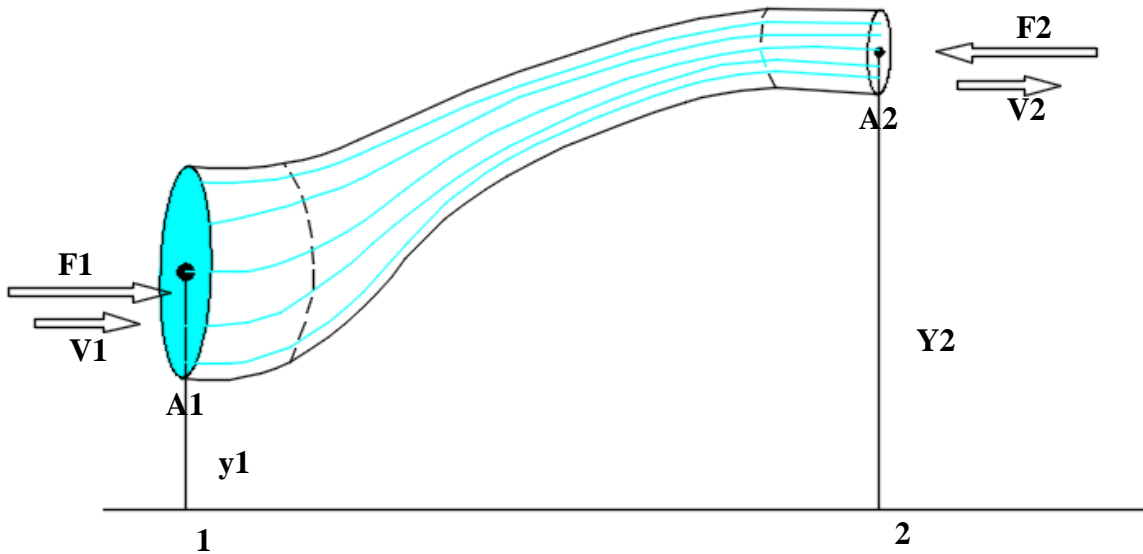


Fig. 1.13 Tubo de Corriente – Ecuación de Bernoulli.

Fluido que viaja a través de una tubería, los puntos serán de ayuda para medir las características de los fluidos y nivel de referencia para medir las alturas. Considerando cambios de volumen en toda la sección.

Pues bien ahora con el Teorema de Conservación de Energía Mecánica me dice, que la variación de energía es igual a la sumatoria de trabajos de fuerzas no conservativas.

$$\Delta E = \frac{\Sigma W_{trabajos}}{Fuerzas\ no\ conservativas}$$

En una sección dada de desplazamiento tendremos la siguiente consideración: siendo ΔS todo desplazamiento a través de la siguiente sección.

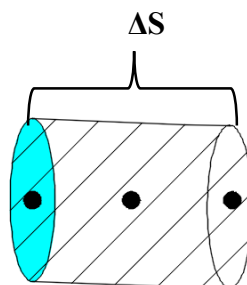


Fig. 1.14 Sección de Tubo de Corriente – Desplazamiento del Fluido.

Por tanto el desplazamiento representado en la imagen sería ΔS_1 y ΔS_2 . Así despejando la siguiente ecuación de la sumatoria de trabajos en el tubo de corriente.

$$\Sigma_{FNC} W = F_1 \Delta S_1 \cos 0 + F_2 \Delta S_2 \cos 180$$

La velocidad es perpendicular al área en el sentido de F_2 porque es tangente a la línea de corriente y entre ellas forman 180°

$$\Sigma_{FNC} W = F_1 \Delta S_1 - F_2 \Delta S_2$$

Ahora despejando $P = \frac{F_1}{A} = \frac{F}{A} \longrightarrow F = P A$

$$\Sigma_{FNC} W = P_1 A_1 \Delta S_1 + P_2 A_2 \Delta S_2$$

En toda la sección del tubo de corriente no hay entrada ni salida del líquido, esto quiere decir que la cantidad de masa que se mueve en ΔS_1 debe ser igual a ΔS_2 .

$$m_1 = m_2 \rightarrow \rho \Delta V_1 = \rho \Delta V_2 \rightarrow \rho_1 = \rho_2 \rightarrow \rho$$

La densidad del fluido es incompresible y tiende a ser constante; las pequeñas variaciones de volumen del punto 1 y 2 son iguales por conservación de masa.

$$A_1 \Delta S_1 = \Delta V_1$$

$$\Sigma_{FNC} W = (P_1 - P_2) \Delta V$$

Pues bien, ahora representamos la ecuación de energía de la siguiente manera:

Cambio de Energia Mecanica = Energia Cinetica + Energia Potencial

La energía potencial es una fuerza no conservativa por la gravedad y la vamos a representar como mgy ; considerando la altura del tubo de corriente con respecto a un nivel y el fluido este en movimiento.

Ahora la energía como es un cambio seria, final menos inicial.

$K = \text{energia cinetica}$

$U = \text{energia potencial}$

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

$$\Delta E = (K_2 + U_2) - (K_1 + U_1)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + mgy_2 - \frac{1}{2}m_1v_1^2 - mgy_1$$

$$m_1 = m_2 \rightarrow \rho\Delta V$$

$$\Delta E = \left(\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 - \rho g y_1\right)\Delta V$$

Y así despejamos la igualdad con las ecuaciones antes encontradas; el cambio de energía mecánica es igual a la suma de todos los trabajos, hechos por las fuerzas no conservativas.

$$\Delta E = \frac{\Sigma W_{trabajos}}{\text{Fuerzas no conservativas}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 - \rho g y_1\right)\Delta V = (P_1 - P_2)\Delta V$$

Hacemos el cambio de signos pasando al otro lado el valor:

$$P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1$$

Las cantidades del lado izquierdo de la igualdad deben ser igual a las del lado derecho.

$P_2 = \text{Presion Absoluta}$

$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 = \textit{Presion Dinamica}$$

$$\rho g y_2 = \textit{Presion Estatica}$$

$$\left(P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2\right) - \left(P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1\right) = 0$$

Por lo que:

$$\Delta \left(P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y\right) = 0$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \textit{constante en toda la tuberia (o tubo de corriente)}$$

De la misma manera si calculo y la suma de las tres cantidades (presiones) dando un valor determinado y hacemos lo mismo en otra sección del tubo, debe tener la misma cantidad exacta y así mismo en toda su sección.

El teorema de Bernoulli fue deducida a través del teorema conservación de la Energía Mecánica.

La determinación de las líneas de corrientes se harán en gráficos por la determinación del “Teorema de Bernoulli”, así desplegando los siguientes literales mencionados en (Mc. Graw Hill, 2001, p.73) el cual dice:

- a) Dibujar el esquema del sistema, seleccionando y marcando cada uno de las secciones rectas bajo consideración.
- b) Aplicar la ecuación de Bernoulli en la dirección del flujo. Seleccionar el plano de referencia para cada una de las ecuaciones escritas. Se escoge esto en el punto de menor elevación para que no existan signos negativos, reduciendo así el número de errores.

- c) Calcular la energía aguas arriba de la sección 1. La energía se mide en kgm/kg que se reducen en definitiva en metros de fluido. En los líquidos, la altura de presión puede expresarse en unidades manométricas o absolutas, manteniendo las mismas unidades para la altura de presión en la sección 2.
- d) Añadir, en metros de fluido, toda energía adicionada al fluido mediante cualquier dispositivo mecánico.

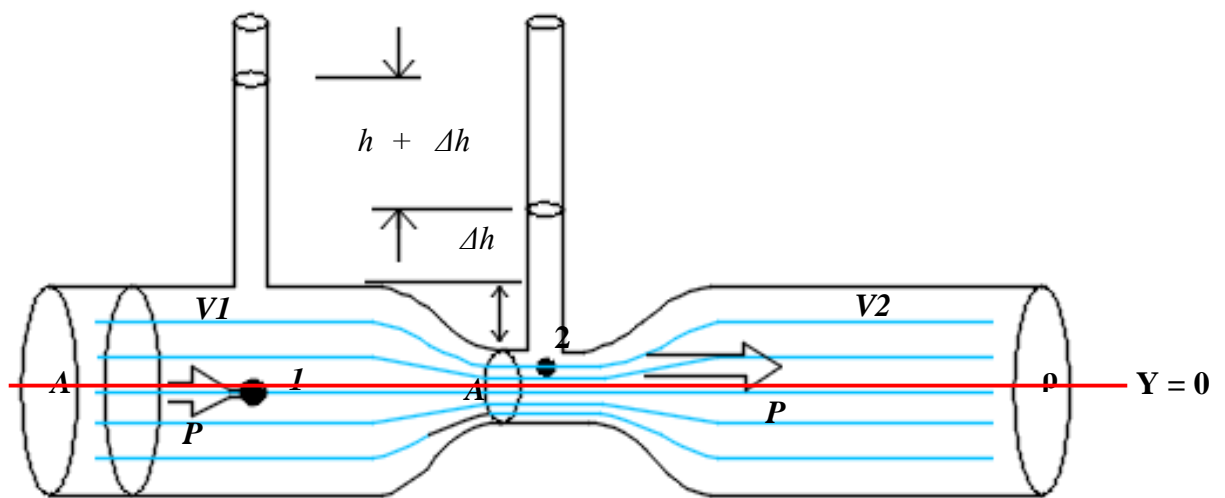


Fig. 1.15 Sistema Teorema de Bernoulli.

Los anteriores literales hacen mención a métodos mecánicos que no entraran en la aplicación de este estudio, por lo cual se resume la cita anterior a cuatro literales del texto original.

La distribución de las energías a lo largo del punto de control será de extrema integración para verificar las ecuaciones aplicadas al teorema de Bernoulli, de igual manera la vena líquida que se presente en las resoluciones dadas se corroboraran en la parte experimental una vez planteado el estudio de los Coeficiente de descarga.

“La ecuación de Bernoulli esta enunciada para dos secciones cualesquiera de una vena liquida y expresa la igualdad de las alturas totales H en estas secciones; puestos que estas secciones se han tomado libremente, para cualquier otra sección de una vena liquida, la altura total tendrá el mismo valor. De este modo para el líquido ideal en movimiento, la suma de las tres alturas citadas, la de nivel, la de presión y la dinámica es una magnitud constante a lo largo de la citada vena liquida”. (Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 88)

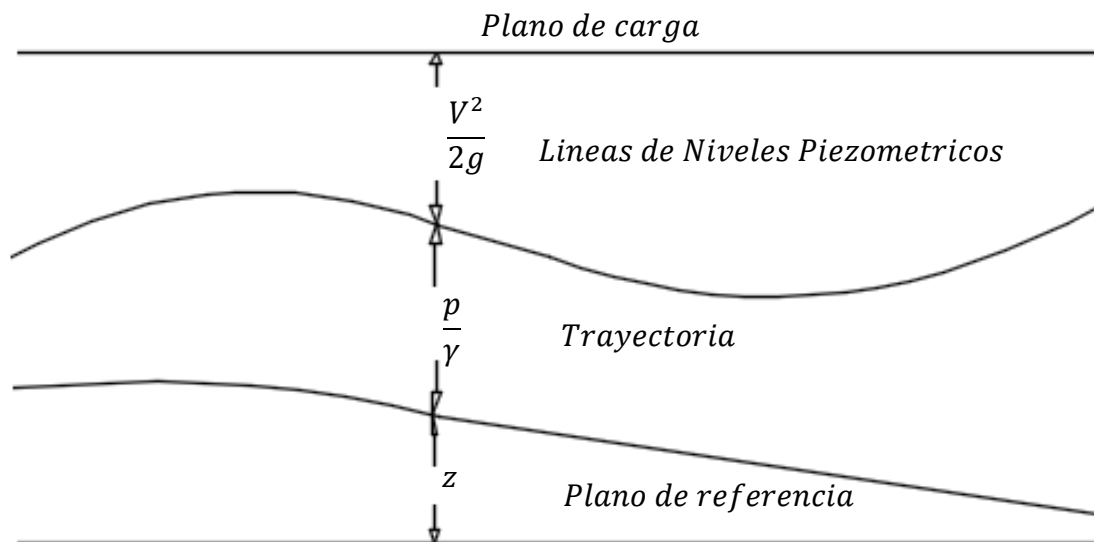


Fig. 1.16 Representación Gráfica de la ecuación de Bernoulli.

Francisco Javier Domínguez, describe la ecuación de Bernoulli de la siguiente manera:

“Este es el teorema de Daniel Bernoulli (lo dio a la publicidad en 1738), que expresa que un líquido perfecto sometido a un peso y animado de un movimiento permanente es constante en el camino de cada partícula la suma de la altura geométrica o cota z , de la altura de presión p/γ de la altura de velocidad $V^2/2g$ ”. (1999, pág. 88).

Los dos primeros en conjunto forman la “cota piezométrica”, cuya constancia define el equilibrio de los fluidos pesados. La altura de velocidad o “la altura representativa de

velocidad”, es la altura desde donde, cayendo un punto material pesado, sin velocidad inicial, adquiere la velocidad V ; pues evidentemente $h = V^2/2g$ da $V = \sqrt{2gh}$.

Los diseños del flujo y líneas de corriente que se obtengan por las ecuaciones de energía y teorema de Bernoulli antes mencionada, están estrechamente relacionada con el tipo de vertedero y su composición, para esto en el siguiente capítulo se conocerá como está diseñado el vertedero, los tipos de vertedero que existen, cuales son las funciones principales en el campo de la ingeniería, a nivel social, económico, etc. , pero el centro del tema será el Vertedero Trapezoidal, para el análisis de coeficientes de descarga.

“La forma más conocida del teorema de Bernoulli es $\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{constante}$. La suma de los tres términos es constante a lo largo de una línea de corriente en un movimiento permanente e irrotacional (para fluido ideal). Cada uno de los tres términos tiene las dimensiones de una energía por unidad de peso”.

(Arturo Rocha Felices, 2010, pág. 7)

Si lo consideramos movimiento total de corriente, aunque sería imposible describir el flujo por las descripciones matemáticas del movimiento de cualquier partícula; por esto fue necesario describir y considerar fluido ideal.

“La línea de alturas totales es la representación gráfica de la energía de cada sección. Para cada sección representativa puede representarse, respecto de un plano de referencia, la energía total (como valor lineal en metros de fluido) y la línea obtenida de esta forma es de

gran ayuda en muchos problemas de flujos. La línea de energías totales tiene una pendiente decreciente (cae) en el sentido del flujo, excepto en las secciones donde se añade energía mediante dispositivos mecánicos”.

(Ranald V. Giles, 2001, p.74)

Ranald V. Giles recalca la gran importancia de la representación gráfica de alturas de energía totales en un sistema (tuberías o canales) que ayuda a la interpretación del estado del agua frente a diferentes cambios con respecto a su sección establecida.

1.4 Coeficiente de Boussinesq.

El cálculo de la cantidad de movimiento (momentum) de una corriente también se ve afectado por la distribución de velocidades. El valor de la cantidad de movimiento obtenida para toda la sección transversal a partir de la velocidad media, debe corregirse por medio de un coeficiente que generalmente se designa con la letra β y que recibe el nombre de Boussinesq o coeficiente de cantidad de movimiento”.

(Arturo Rocha Felices, 2010, pág. 23)

Según el autor hace referencia a que la distribución de velocidades en un flujo contiene una desviación estándar, por lo que es necesario aplicar un coeficiente de corrección en el cálculo de la velocidad media a fin de asimilar un comportamiento teórico con uno real; este coeficiente denominado Boussinesq hace referencia a su autor y es generado indudablemente por un método de análisis experimental – estadístico.

Sotelo describe el coeficiente en el momento de despejar la ecuación de movimiento, de la siguiente manera:

“ β representa el coeficiente de Boussinesq para corregir el efecto de considerar una velocidad media en lugar de la verdadera distribución de velocidades sobre la porción de área”. (1959, pág. 133).

Para calcular el valor de β pensemos en un tubo de corriente cuya velocidad es V_h que tiene una sección transversal dA y por el que pasa un fluido cuyo peso específico es ω . Sabemos que en general la cantidad de movimiento se expresa por ρQV y para el tubo de corriente es:

$$\rho V h^2 dA$$

La cantidad de movimiento de toda la sección transversal se obtendrá por integración de la ecuación anterior

$$\rho \int V h^2 dA$$

Si hiciéramos el cálculo aproximado de la cantidad de movimiento total a partir de la velocidad media se tendría

$$\rho V^2 A$$

Para que este valor aproximado sea igual al verdadero debe multiplicarse por un factor o coeficiente de corrección al que se denomina β

$$\beta \rho V^2 A = \rho \int V h dA$$

Luego,

$$\beta = \frac{\int Vh^2 dA}{V^2 A}$$

Que es la expresión del coeficiente de cantidad de movimiento o de Boussinesq.

El producto $\beta\rho QV$ representa el caudal o flujo de la cantidad de movimiento en una sección dada.

Para canales prismáticos se tiene usualmente

$$1.01 < \beta < 1.12$$

1.5 Coeficiente de Coriolis.

Por lo que, el valor de la energía para toda la sección transversal, obtenido con la velocidad media, es amplificado por un coeficiente en el cual lo menciona el autor Arturo Rocha como Coeficiente de Coriolis o Coeficiente de Energía y lo establece en la siguiente nomenclatura α .

“Para calcular el valor de α pensemos en un tubo de corriente cuya velocidad es Vh , que tiene una sección transversal dA y por el que pasa un fluido cuyo peso específico es γ . La energía en general se expresa por γQH ”. (pág. 21)

$$A_1V_1 = A_2V_2 = Q = \text{constante}$$

Para lo cual, podemos decir que dicho tubo de corriente se puede aplicar la ecuación de continuidad.

$$dQ = Vh dA$$

Siendo el valor de la energía cinética:

$$H = \frac{Vh^2}{2g}$$

Para el tubo de la corriente resulta:

$$\gamma Vh dA \left. \vphantom{\gamma Vh dA} \right\} dQ$$

$$\frac{Vh^2}{2} \left. \vphantom{\frac{Vh^2}{2}} \right\} H$$

Que equivale a:

$$\frac{\rho}{2} Vh^3 dA$$

Y la energía de toda la sección transversal se obtiene integrando la expresión anterior:

$$\frac{\rho}{2} \int Vh^3 dA$$

Si hacemos un cálculo aproximado de la energía de toda la sección, considerando la velocidad media se tendría.

$$\frac{\rho}{2} V^3 A$$

Para que este valor aproximado sea igual al correcto debe multiplicarse por un factor o coeficiente de corrección al que se denomina α .

$$\alpha \frac{\rho}{2} V^3 A = \frac{\rho}{2} \int V h^3 dA$$

De donde:

$$\alpha = \frac{\int V h^3 dA}{V^3 A}$$

Que es la expresión del coeficiente de energía o de Coriolis.

Obsérvese que α representa la relación que existe, para una sección dada, entre la energía real y la que se obtendría considerando una distribución uniforme de velocidades.

Para canales prismáticos se tiene usualmente:

$$1.03 < \alpha < 1.36$$

Esto quiere decir que los coeficientes α y β serán usados en cálculos en los que intervenga la energía y la cantidad de movimiento respectivamente y evidenciando el grado de exactitud que se estén realizando los cálculos, siendo mayores que la unidad y en otros casos se puede justificar.

“En el caso de los escurrimientos donde la distribución de velocidades se aproxima a la media (escurrimientos turbulentos), los valores de α y β se aproximan a 1; y en caso contrario (escurrimientos laminares), α y β alcanzan valores máximos de 2 y 1.33, respectivamente. Sin embargo en el caso de escurrimientos laminares, la carga de velocidad es pequeña en comparación con las restantes”. (Gilberto Sotelo, 1999, pág. 135)

Ocurre que en la mayoría de los problemas hidráulicos es un grave error considerar que los escurrimientos sean turbulentos y que $\alpha \approx \beta \approx 1$ ya que, pueden existir problemas locales que modifiquen completamente el perfil de velocidades respecto al uniforme.

“A medida que el grado de turbulencia es mayor, o sea para números de Reynolds altos, la distribución de velocidades se hace más uniforme y es más cierta la suposición $\alpha = \beta = 1$ ”

“En el flujo laminar, dado para un fuerte gradiente de velocidades, los valores de α y β son grandes”. (Arturo Rocha Felices, 2010, pág. 24)

Arturo Rocha nos da a conocer que los valores de corrección de las ecuaciones de continuidad y de energía con Bernoulli deben ser siempre mayor a la unidad, dependiendo de la exactitud con la que se estén haciendo los cálculos. La diferencia se puede notar en la interpretación de este valor para canales o tuberías, en los que el gradiente de velocidades pueden cambiar continuamente.

1.6 Vertedero Trapezoidal de pared delgada.

“El vertedero ha sido definido por Balloffet como “una abertura (o mejor, escotadura) de contorno abierto, practicada en la pared de un depósito, o bien en una barrera colocada en un canal o río, y por la cual escurre o rebasa el líquido contenido en el depósito, o que circula por el río o canal”. (Hidráulica de canales y tuberías – Arturo Rocha, 2011, pág. 455)

Arturo Rocha cita a Balloffet y indica que el vertedero muchas veces asemeja a una sección en la que hiciera falta algo para completarla por su correcta uniformidad, pero esta se da para que el depósito que está detrás sea descargado correctamente por rebose y así puede seguir su aguas abajo.

“Un vertedero es una obstrucción en la solera de un canal que debe ser sobrepasado por una corriente; puede interpretarse también, como un orificio descubierto en su parte superior, obliga al líquido a derramarse al borde del mismo; son pues, orificios incompletos”. (Pedro Fernández Díez, 2007, pág. 302)

Estas secciones que parecen incompletas muchas veces son utilizadas para que regule la cantidad de agua que se encuentre detrás de ella.

“Los vertederos son estructuras utilizadas frecuentemente para la medición de caudales; sin embargo, cuando se instalan en corrientes naturales tienen la desventaja que se colmatan de sedimentos”. (Manual Universidad Cauca – Colombia, 2009, pág. 1)

Así como sirven de control de agua en un reservorio, también pueden servir como retenedor de sedimentos, impidiendo que estos pasen a su otra sección para que sigan su curso. Por un lado se le puede denominar punto de control o retención de sedimentos. Esto es más usado en represas ya que van almacenando millones de metros cúbicos que vienen de cerros arrastrando consigo árboles.

“En general, un vertedero suele tener una de las dos finalidades siguientes: a) medir caudales y b) permitir el rebose del líquido contenido en un reservorio o del que circula en un río o canal”. (Hidráulica de canales y tuberías – Arturo Rocha, 2011, pág. 455)

Arturo Rocha Clasifica la finalidad de los vertederos de manera que se pueda regular o controlar el rebose de un líquido al llegar a un cierto nivel del reservorio para evitar que este se derrame, a esta estructura se le denomina aliviadero y para medir los caudales relativamente muy pequeños que descarguen en diferentes temporadas, teniendo control y conocimiento del agua que vaya a pasar.

Vertederos de pared delgada.

“El vertedero de cresta delgada no sólo es un aparato de medición para el flujo en canales abiertos, sino también la forma más simple de vertederos de rebose. Las características del flujo por encima de un vertedero se reconocieron hace tiempo en hidráulica como la base en diseño del vertedero de rebose de cresta redondeada”.

(Hidráulica de canales abiertos – Ven Te Chow, 2008, pág. 352)

Ven Te Chow da a conocer que las principales características de un vertedero de pared delgada puede servir como aforador y como una estructura de rebose; cumpliendo las dos funciones y planteando en una gran estructura puede servir de gran aporte para obtener información y lograr evitar inundaciones.

“Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedero; esto puede presentar diferentes formas según las finalidades a las que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedero se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedero es de pared gruesa”.

(Gilberto Sotelo, 1999, pág. 241)

La implementación de un vertedero en un reservorio ayuda almacenar una cantidad de agua fija para desaguarla de forma continua o controlada a partir de la sección que esta tenga, teniendo como consideración que su forma permitirá especificar la cantidad de agua que pase a traves de la sección y dependiendo de las condiciones con las que el reservorio sea llenado, siendo lo más común por cauces naturales.

La adaptación de canales a escala ayuda a trabajar en diferentes condiciones que se plantee en un proyecto, obteniendo infinitesimal de información para interpretar y evaluar con ecuaciones ya conocidas.

El proyecto determinado en laboratorio puede ser llevado a la realidad a través de similitud dinámica.

“En los vertederos de pared delgada el contacto entre el agua y la cresta es solo una línea, es decir, una arista. Para que un vertedero se considere en pared delgada no es indispensable que la cresta sea delgadísima. La pared debe tener un cierto espesor. Si este es menor que $2H / 3$ se considera que el vertedero es en pared delgada.

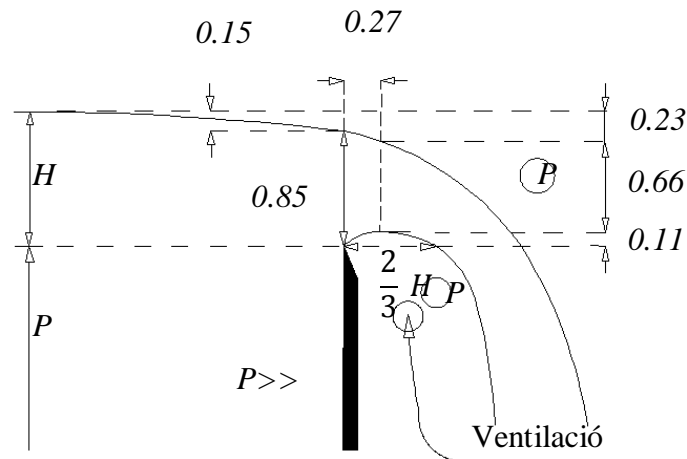


Fig. 1.17 Detalle de las características geométricas de la napa vertiente en un vertedero de pared delgada, convenientemente aireada.

En cambio, en los vertederos en pared gruesa el contacto es un plano. El flujo se adhiere a la cresta. En la siguiente figura se observa tres vertederos de pared gruesa. El vertedero tipo c se considera en pared gruesa propiamente dicha, en tanto que los tipos a y b se llaman de pared intermedia”.

(Hidráulica de canales y tuberías – Arturo Rocha, 2011, pág. 460)

En la figura se observa las características generales de la descarga sobre un vertedero de pared delgada. Se aprecia cómo se forma la napa vertiente, cuyas dimensiones relativas aproximadas se dan en la figura 1.17. La cresta del vertedero es aguda (de umbral achaflanado) y el contacto es solo una línea. En los vertederos de pared delgada la napa se caracteriza porque en todo su contorno la presión es igual a la atmosférica, lo que es indispensable para la correcta medición de caudales.

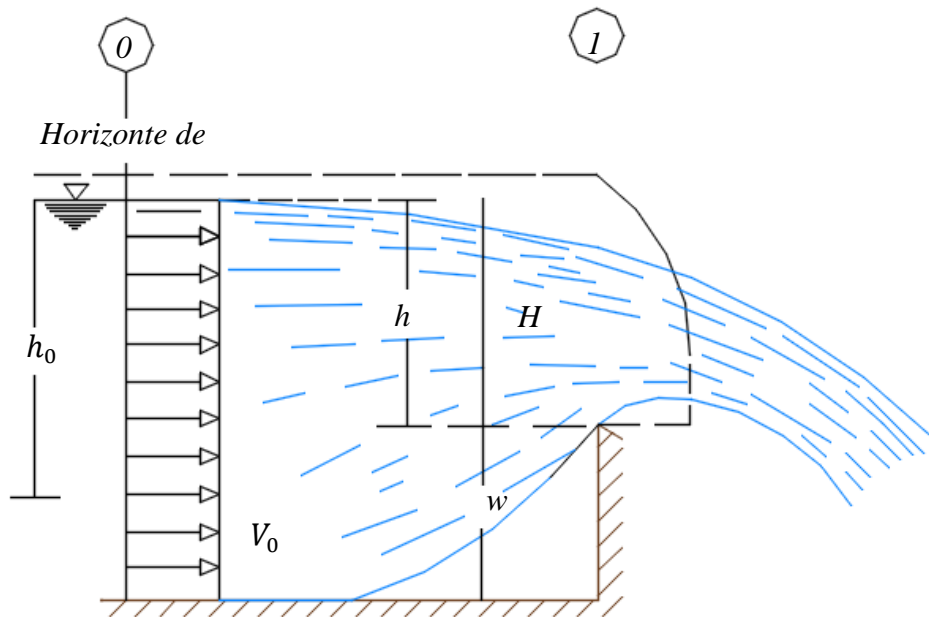


Fig. 1.18 Vertedero de pared delgada de forma general - Elevación

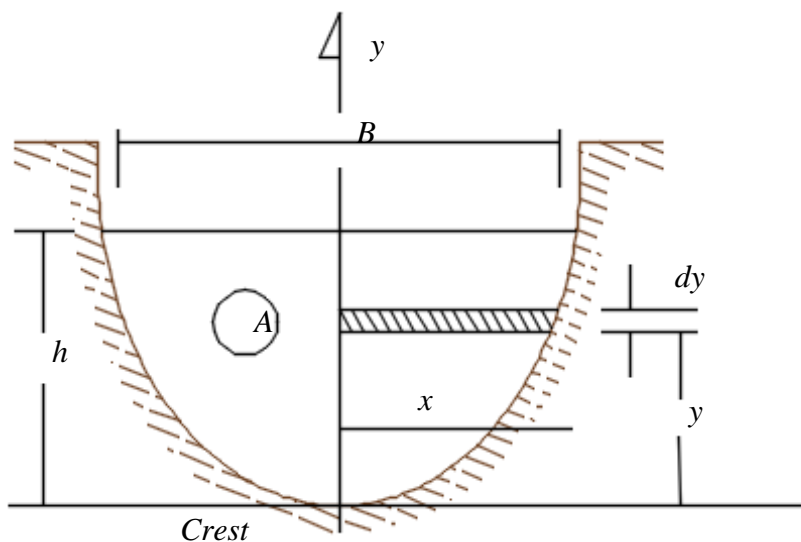


Fig. 1.19 Vertedero de pared delgada de forma general – Geometría de la sección

“El gasto total vale: $Q = 2\sqrt{2g\mu} \int_0^h \mu(h - y) dy$, que sería la ecuación general para el gasto de un vertedero de pared delgada, la cual es posible integrar si se conoce la forma del vertedero. En la deducción de la ecuación se han considerado hipótesis únicamente aproximadas, como la omisión de la pérdida de energía que se considera incluida en el coeficiente μ , pero quizás la más importante que se ha supuesto, es la que todos los puntos de la sección 1 las velocidades tienen dirección horizontal y con una distribución

parabólica $v = \sqrt{2g(h-y)}$, efectuando la limitación entre los límites 0 y h. Esto equivale a la sección mencionada el tirante debe alcanzar la magnitud h. Por otra parte al aplicar la ecuación de Bernoulli entre los puntos 0 y 1 se ha supuesto una distribución hidrostática de presiones. Esto implica una distribución uniforme de las velocidades V_0 y v para todos los puntos de la sección 0 y 1, respectivamente, lo cual está en contraposición con la distribución parabólica que se ha supuesto para derivar la ecuación anterior”. (Gilberto Sotelo, 1999, pág. 241)

“Por último, el coeficiente μ de gasto que aparece en la ecuación $Q = 2\sqrt{2g}\mu \int_0^h \mu(h-y) dy$ representa la relación entre el área sombreada a, b, c, e de la figura anterior correspondiente a la verdadera distribución de velocidades; y la f, g, d , corresponde a la parábola de distribución hipotética de velocidades:

$$\mu = \frac{\text{area achurada } a, b, c, e}{\text{area de la parabola } f, g, d}$$

Debe ser de tipo experimental y próximo a 0.60, que corresponde al de un orificio de pared delgada”. (Gilberto Sotelo, 1999, pág. 241)

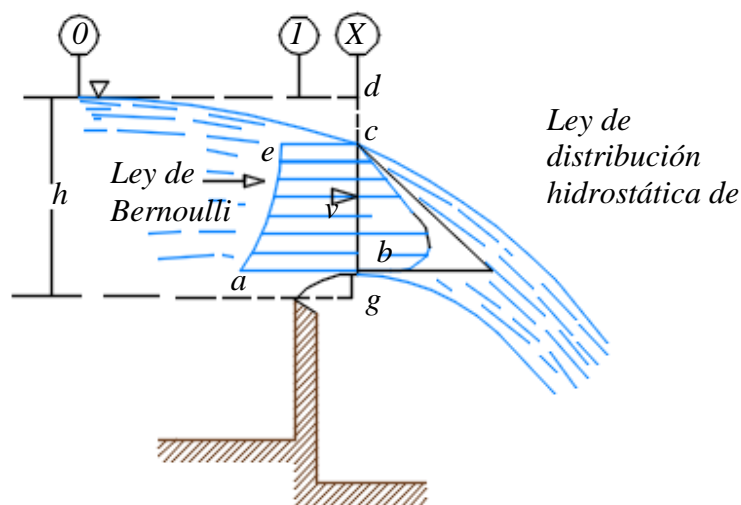


Fig. 1.20 Aspecto real del flujo.

Vertederos trapezoidales de pared delgada.

Para el cálculo de la descarga teórica suele considerarse que la sección está conformada por tres partes: una central, que es rectangular, y dos laterales, que son triangulares. Se obtiene así que la descarga en un vertedero trapecial isósceles es

$$Q = C_1 \frac{2}{3} \sqrt{2g} L H_2^3 + C_2 \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \alpha H_2^5$$

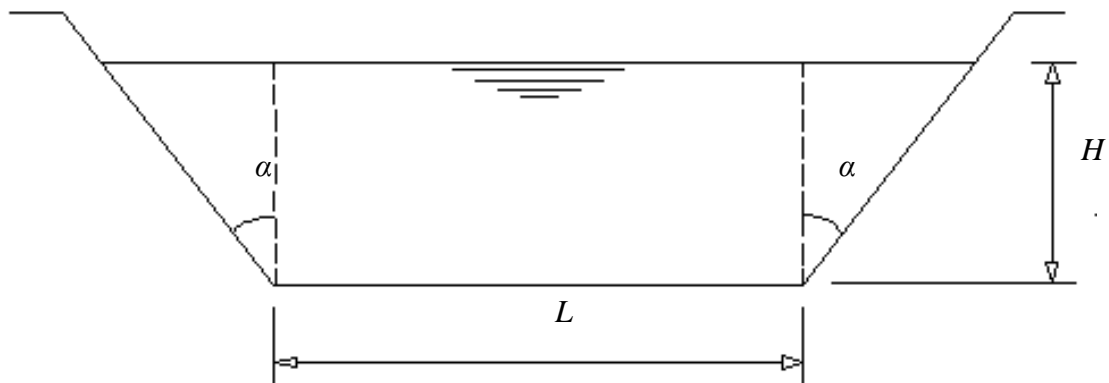


Fig. 1.21 Vertedero trapecial.

Se tiene muy poca información experimental sobre los valores de los coeficientes de descarga para este caso. **Balloffet** señala que es frecuente considerar $C_1 = C_2 = 0.6$, a pesar de la falta de justificación teórica o experimental.

“Los vertederos trapeciales son muy poco usados para medir caudales. En consecuencia, casi no hay información sobre sus coeficientes de descarga”.

(Hidráulica de canales y tuberías – Arturo Rocha, 2011, pág. 483)

Para la condición de la pared delgada en nuestro estudio de coeficiente de descarga establece la condición del gasto producido por la inclinación de los taludes. Cabe mencionar que los escritos antes mencionados en las citas pueden ser añadidos al estudio pero, los valores que resulten provocaran poca variación en los resultados que vayamos a obtener, aunque vayan a ser despreciables por ser un valor muy pequeño.

Aunque en la formulación de la propuesta, respectivamente en la formula teórica no se vaya a incluir este parámetro por el hecho de tener nuestro tema definido, pero no obstante al momento de la práctica si va a estar presente por las condiciones del vertedero.

Este tipo de vertedero es el más usado, especialmente como aforador, por ser una estructura de fácil construcción e instalación. Debidamente calibrados o patronados se obtienen ecuaciones o curvas en las cuales el caudal es función de la Carga hidráulica H.

Ecuación de patronamiento típica: Azevedo y Acosta (1967)

Formula de Francis. $Q = 1.84LH^{\frac{3}{2}}$

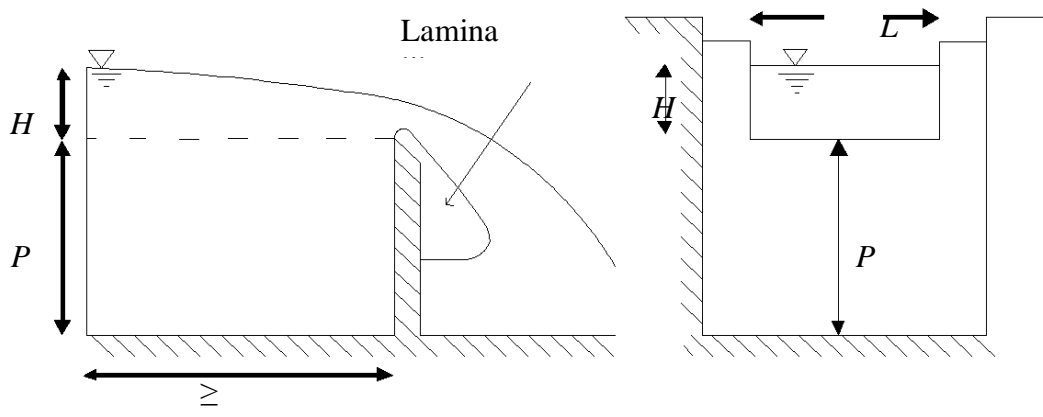


Fig. 1.22 Vertedero rectangular de pared delgada con contracciones.

(Manual Universidad Cauca – Colombia, 2009, pág. 7)

1.7 Antecedentes de referencia para la Investigación.

Como antecedente principal de nuestra investigación es la propuesta del Ingeniero Hidráulico César Cipolletti, el cual determino que mediante cierta inclinación de las paredes de un vertedero trapezoidal se puede disipar la contracción que genera las paredes de un vertedero rectangular, al flujo.

Este vertedero ha sido diseñado con el fin de disminuir el efecto de las contracciones que se presentan en un vertedero rectangular contraído.

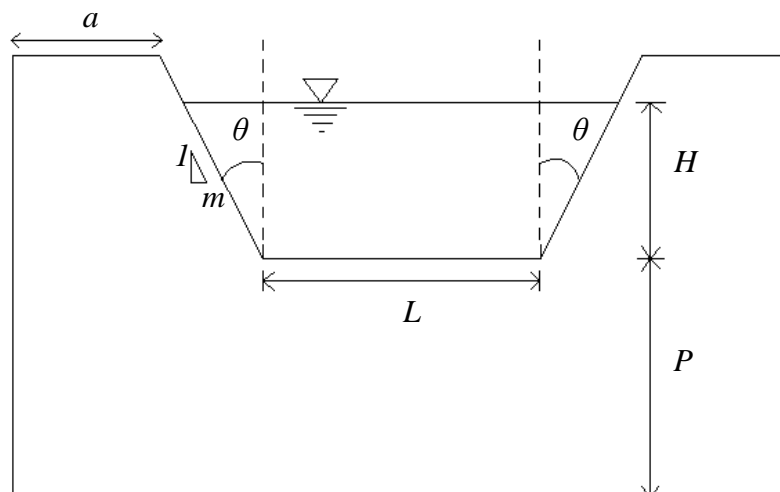


Fig. 1.23 Vertedero trapecial Cipolletti - Dimensiones.

$$Q = \frac{2}{3} C_{d1} \sqrt{2gLH^{\frac{3}{2}}} + \frac{8}{15} C_{d2} \sqrt{2gH^{\frac{5}{2}}} \tan \theta$$

C_{d1} : Coeficiente de descarga para el vertedero rectangular con contracciones.

C_{d2} : Coeficiente de descarga para el vertedero triangular.

L : Longitud de cresta.

θ : Ángulo de inclinación de los lados respecto a la vertical.

m : Inclinación lateral.

Sotelo (1982) afirma que el término de la ecuación anterior es de 0.63 lo que conduce a la siguiente ecuación de paramento, en sistema M K S:

$$Q = 1.861 LH^{\frac{3}{2}}$$

Esta ecuación es válida si $0.08\text{m} \leq H \leq 0.60\text{m}$; $a \geq 2H$; $L \geq 3H$ y $P \geq 3H$.

(Manual Universidad Cauca – Colombia, 2009, pág. 5)

Estudio y Patronamiento de Vertederos; comenta: Cuando la inclinación de los taludes laterales es de 4V:1H, el vertedero recibe el nombre de Cipolletti en honor a su inventor. La geometría de este vertedero ha sido obtenida de manera que las ampliaciones laterales compensen el caudal disminuido por las contracciones de un vertedero rectangular con iguales longitud de cresta y carga de agua. (pág. 115).

La ecuación que propone Cipolletti es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left[Cd + \frac{4}{5} x \frac{H}{L} x Cd2 x \tan \theta \right] LH^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal

Cd= Coeficiente de Descarga para un Vertedero Rectangular.

Cd2= Coeficiente de Descarga para un Vertedero Triangular.

H= Calado de descarga.

L= Longitud de Cresta.

Ø= Angulo correspondiente al talud 4V : 1H.

Según lo consultado y expresado anteriormente se puede interpretar que Cipolletti considera que los coeficientes de descarga de un Vertedero Trapezoidal se obtienen de la suma de los coeficientes de descarga de los vertederos de sección rectangular y triangular.

De la ecuación propuesta por Cipolletti otro investigador llamado Sotelo determinó que:

$$\left[Cd + \frac{4}{5} \times \frac{H}{L} \times Cd2 \times \tan \emptyset \right] = 0.63$$

Para las siguientes condiciones:

$$0.08\text{m} \leq H \leq 0.60 \text{ m}; a \geq 2H; L \geq 3H \text{ y } P \geq 3H$$

Por lo que la ecuación de descarga según Sotelo es:

$$Q = 1.861 L H^{\frac{3}{2}}$$

Siendo Cipolletti y Sotelo investigadores de renombre, y en vista que hemos utilizado sus ecuaciones en la resolución de ejercicios en las aulas de clases, por su gran acogida en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica, sus estudios son fuente suficiente para establecer los antecedentes de nuestra investigación.

Estos investigadores han forjado sus ecuaciones por medio del empleo del método experimental, esto es fácil de reconocer ya que sus ecuaciones tienen condiciones de uso como ya se lo comento; es decir no son de uso general y en vista de esto se puede rescatar que todas aquellas condiciones que podríamos establecer serán válidas siempre y cuando mantengamos la lógica y sean comprobables.

Si analizamos Sotelo acepta la propuesta de Cipolletti, sino que trata de presentar la ecuación de una forma más práctica y fácil de usar.

La visión que adopto Sotelo es la misma visión que adoptaremos nosotros para la ejecución de este proyecto, es decir tratar de simplificar las situaciones a fin de que se obtenga un resultado de fácil uso, pero que emita valores comprobables.

1.8 Coeficientes de descarga para Vertederos Trapezoidales de pared delgada.

“Los vertederos trapezoidales son muy poco usados para medir caudales. En consecuencia, casi no hay información sobre sus coeficientes de descarga”. (Arturo Rocha, p.483)

Vertedero de Cipolletti.

Es un vertedero trapecial de determinadas características geométricas.

El gasto se considera formado de dos partes

- Una parte a través de la abertura rectangular.
- Otra parte a través de los triángulos.

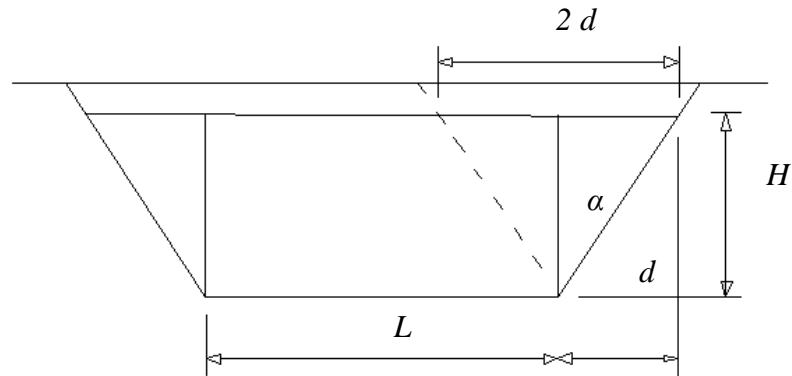


Fig. 1.24 Vertedero trapecial.

Por consideraciones geométricas se cumple que

$$\tan \alpha = \frac{d}{H}$$

Los taludes deben calcularse de modo que el aumento del gasto producido por ellos sea precisamente igual a la disminución del gasto causado por las contracciones en un vertedero rectangular de longitud L . consideraciones que el gasto teórico a través de los triángulos es

$$Q = \frac{8}{15} d \sqrt{2g} H_2^3$$

La disminución del gasto es un vertedero rectangular con dos contracciones se obtiene a partir de una formula tipo Francis.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} (0.2H) H_2^3$$

Igualando

$$\frac{8}{15} d \sqrt{2g} H_2^3 = \frac{2}{3} \sqrt{2g} (0.2H) H_2^3$$

Se obtiene

$$\frac{H}{d} = \frac{4}{1}$$

Es decir, $\tan \alpha = 1/4$ que es la condición de un vertedero tipo Cipolletti $\alpha = 14^\circ 2'$.

Experimentalmente se ha determinado que el coeficiente de descarga de un vertedero Cipolletti es 0.63.

El gasto en el vertedero Cipolletti es el correspondiente a un vertedero rectangular de longitud L, sin contracciones

$$Q = 0.63 \frac{2}{3} \sqrt{2g} L H_2^3$$

La es la base del trapecio. O bien, en el sistema métrico

$$Q = 1.86 L H_2^3$$

Para una correcta operación del vertedero Cipolletti se debe cumplir las siguientes condiciones.

La carga debe ser mayor que 6cm, pero debe ser inferior a L/3. La altura P del umbral debe ser mayor que el doble de la máxima carga sobre el vertedero. La distancia b, señala en la figura siguiente, debe ser mayor que el doble de la máxima carga. El ancho del canal de aproximación debe estar comprendido entre 30H y 60H. La carga debe medirse a una distancia de 4H del vertedero.

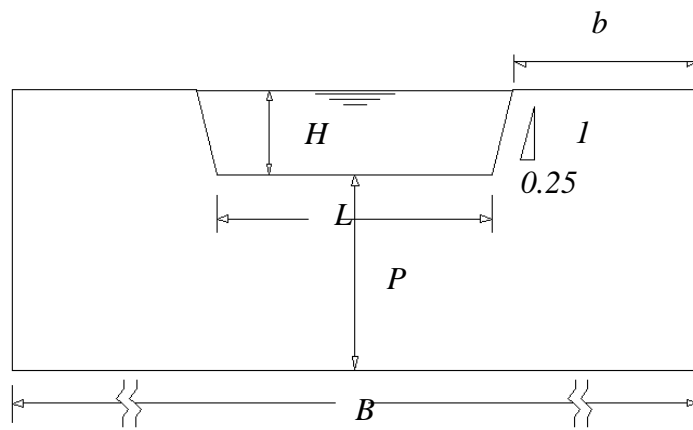


Fig. 1.25 Vertedero trapecial Cipolletti.

(Hidráulica de Canales y Tuberías - Arturo Rocha, p.485)

CAPÍTULO 2

2 EVALUACIÓN DIAGNOSTICA

2.1 Descripción de la Problemática.

Por medio de la experiencia obtenida en el transcurso de seis años, tiempo mediante el cual hemos sido capacitados para ejercer en el campo profesional como Ingenieros Civiles; hemos observado que la materia como tal “Hidráulica”, no ha sido punto de atracción o interés para el estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, en conjunto con lo mencionado la poca acogida, que ha tenido el planeamiento y ejecución de proyectos de investigación nos ha impulsado a partir en busca de promover y motivar el interés del estudiante, demostrando de una manera práctica lo sencillo que en instancias se puede volver un análisis mediante un proyecto de investigación en el ámbito de la Hidráulica.

Para poder respaldar lo comentado se realizó una revisión en la biblioteca de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, acerca de la cantidad de proyectos realizados desde la fundación de la facultad hasta el año 2014, revisión en la cual se pudo registrar los siguientes textos que fueron escritos por estudiantes como requisito de graduación y que cuentan con el estudio de los siguientes tópicos:

Riego-Drenaje-Embale (1989)

Trasvase (1989)

Instalaciones Hidráulicas (1960)

Aliviadero – Represas (1996)

Embalses (1998)

En resumen 5 proyectos realizados en 47 años de fundación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, está es la base del porque se busca incentivar por medio de este proyecto la investigación en este ámbito de la ingeniería Civil.

2.2 Evaluación cuantitativa y cualitativa del Laboratorio de Hidráulica.

2.2.1 Recursos.

Los recursos existentes con los que se contó en el laboratorio de Hidráulica para poder realizar el análisis experimental de los coeficientes de descarga para vertederos trapezoidales son los siguientes:

1.- Un Canal Hidráulico de longitud 6.00 mts y ancho 0.25 mts.

2.- Una Bomba Eléctrica de $H_{max} = 14.5$ mts.

3.- Un Flexómetro

4.- Probetas medidoras.

5.- Un rollo de Manguera longitud 30 m.

2.2.2 Encuesta.

A fin de tener bases para poder evaluar y diagnosticar acerca del Laboratorio de Hidráulica, y en función de dar cumplimiento al objetivo general del proyecto; se realizó una encuesta que fue direccionada a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil tercer año, a criterio ellos fueron tomados como representación de la Facultad en vista que

se intuyó que al estar en la mitad de la carrera tendrán las suficientes vivencias para poder sugerir y emitir opiniones acerca de lo que desean que mejore en el transcurso del resto de su carrera.

Para el año lectivo 2013 – 2014 el tercer año de la facultad de Ingeniería Civil, fue compuesto de dos paralelos, paralelo “A” y paralelo “B”, a estos dos paralelos se les aplicó la misma encuesta que está compuesta de las siguientes preguntas:

Califique en porcentaje el estado físico y de operación de los equipos del laboratorio de hidráulica.

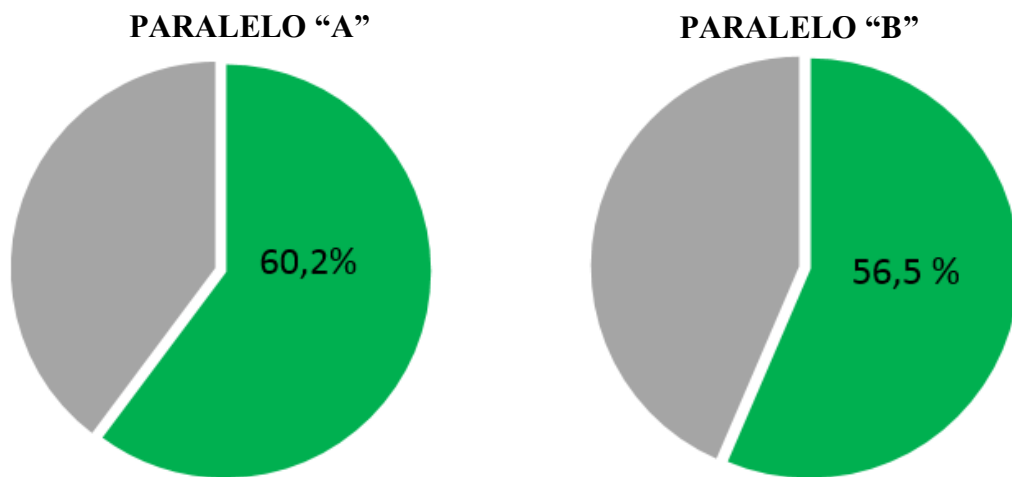


Gráfico 2.1

Los estudiantes del paralelo “A”, calificaron con un 60.2%; mientras que los del paralelo “B” calificaron con un 56.5 %; esto puede ser interpretado de tal manera que el estado físico y de operación de los equipos de hidráulica necesitan una atención inmediata a fin de que sea optimizado su estado físico y operación, lo cual tendrá la aceptación de los estudiante que utilizan el laboratorio de Hidráulica.

Califique en porcentaje el grado de confortabilidad al momento de realizar una práctica en el Laboratorio de Hidráulica.

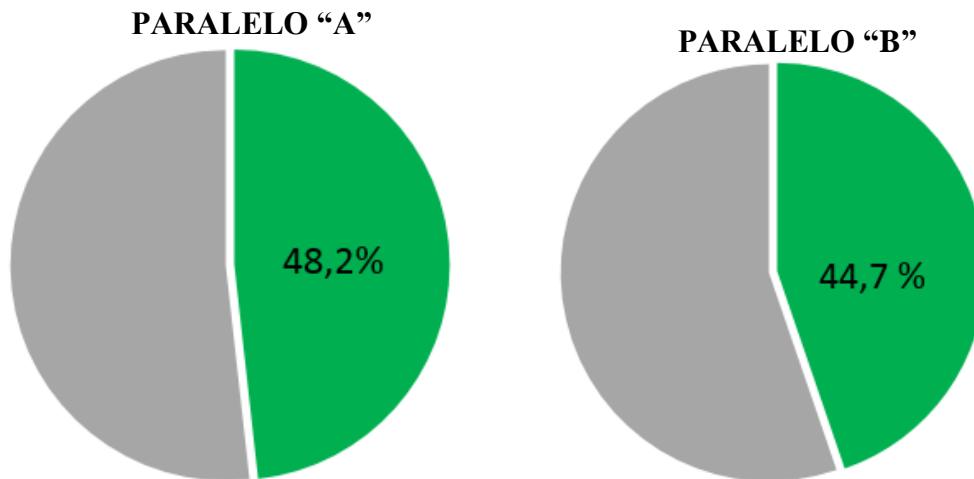


Gráfico 2.2

Los estudiantes del paralelo "A", calificaron con un 48.2 %; mientras que los del paralelo "B" calificaron con un 44.7 %; de acuerdo a la calificación obtenida se puede deducir que los estudiantes no sienten confortables al momento de realizar una práctica de laboratorio, siendo la confortabilidad algo indispensable en el aprendizaje se deberá introducir un sistema de readecuación a fin de incrementar el grado de confortabilidad al momento de realizar una práctica de laboratorio.

Considera usted que la ampliación y remodelación del Laboratorio de Hidráulica facilite la ejecución de las prácticas y el aprendizaje?

PARALELO "A"

PARALELO "B"

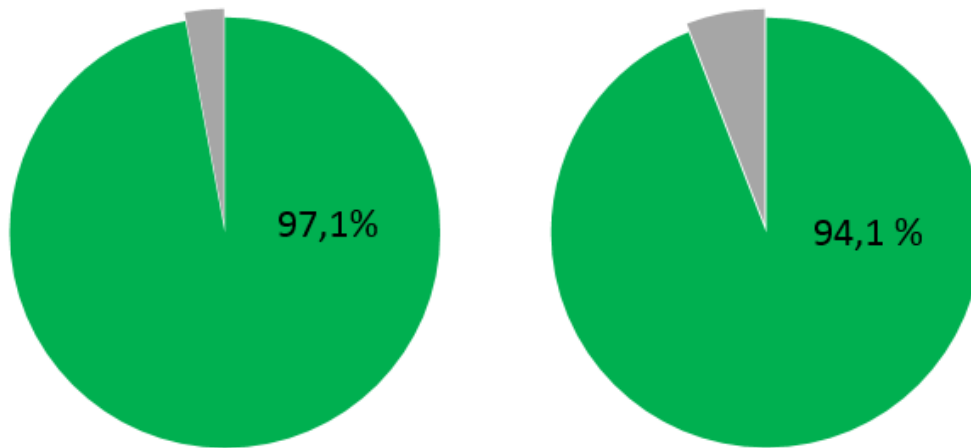


Gráfico 2.3

Los estudiantes del paralelo "A", en un 97.1 % respondió que están de acuerdo con la consideración propuesta; mientras que los del paralelo "B" también dio su aceptación con un 94.1 %; la ampliación y remodelación del Laboratorio de Hidráulica es una propuesta que tiene una gran aceptación por los estudiantes, opinión vertida basándose en el calificativo obtenido.

Cabe mencionar que nosotros como estudiantes laicos resguardamos el calificativo obtenido, la ampliación y remodelación del laboratorio de hidráulica facilitara la ejecución de las prácticas y el aprendizaje; esto lo expresamos por la experiencia obtenida durante el tiempo que hemos invertido en nuestra preparación profesional.

Considera usted que se debe adicionar equipos en el Laboratorio de Hidráulica?

PARALELO "A"

PARALELO "B"

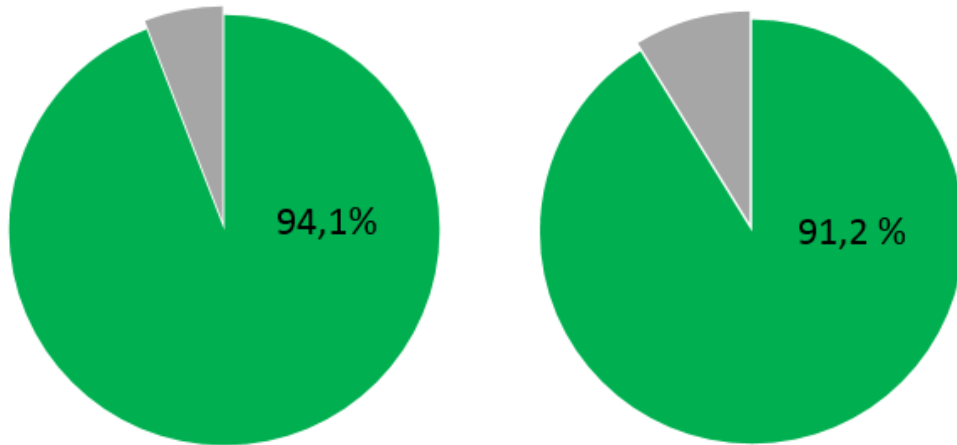


Gráfico 2.4

Los estudiantes del paralelo "A", en un 94.1 % respondió que están de acuerdo con la consideración propuesta; mientras que los del paralelo "B" también dio su aceptación pero con un 91.2 %, la adición de nuevos equipos.

Le serviría de ayuda la implementación de una guía (Manual-Texto) en la ejecución de una práctica?

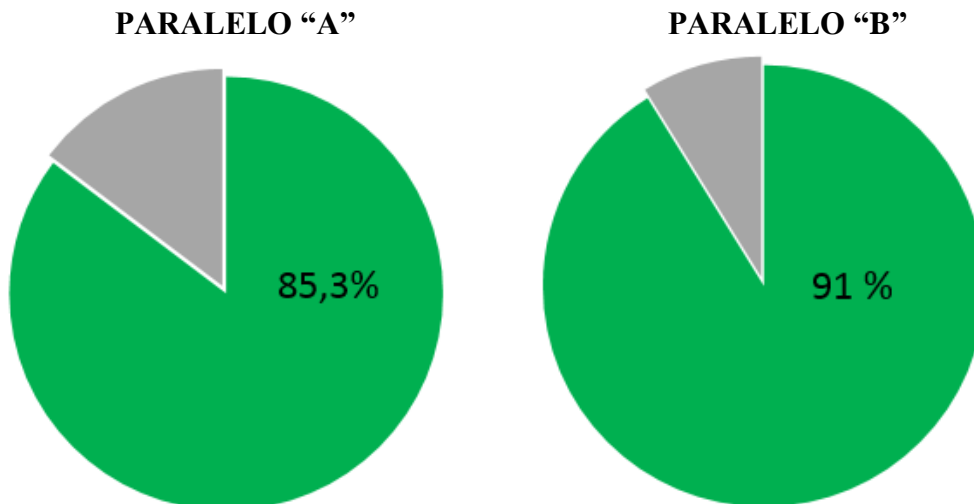


Gráfico 2.5

Los estudiantes del paralelo “A”, en un 85.3 % respondió que están de acuerdo con la implementación propuesta; mientras que los del paralelo “B” también dio su aceptación con pero con un 91 %.

Le serviría de ayuda la presencia de una persona fuera del horario de clases que le indique las fases y como ejecutar una práctica?

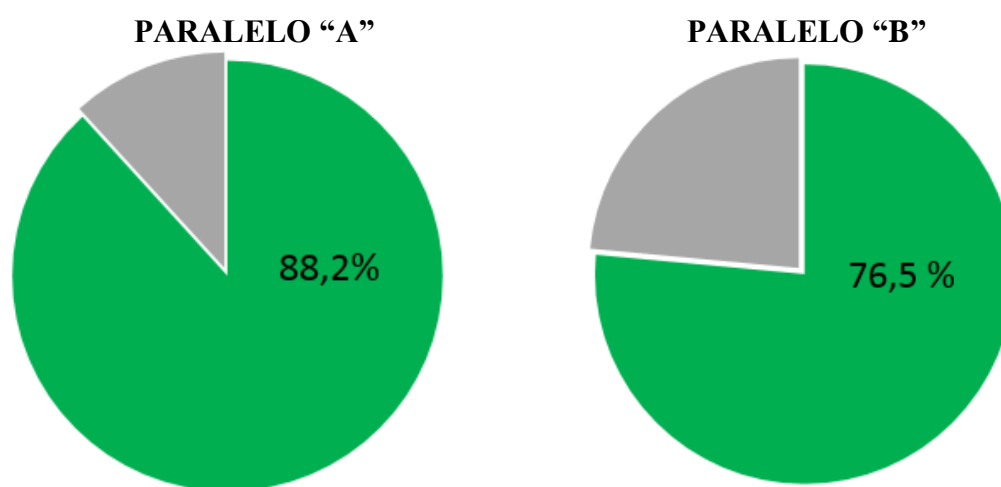


Gráfico 2.6

Los estudiantes del paralelo “A”, en un 88.2 % respondió que están de acuerdo con la implementación propuesta; mientras que los del paralelo “B” también dio su aceptación con pero con un 76.5 %.

Cabe mencionar que esta encuesta fue realiza con la finalidad de obtener la opinión de los estudiantes, para poder contribuir en la mejora del aprendizaje en el transcurso de su preparación.

La información de esta encuestas fue obtenida de la selección de las preguntas presentadas, las misma que fueron emitidas en el ESTUDIO Y PROPUESTAS PARA LA INFRAESTRUCTURA, REHABILITACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE HIDRÁULICA Y MAECANICA DE SUELO-HORMIGON, proyecto planteado en 2014 por los autores de este proyecto de investigación, y se la realizo a 68 estudiantes.

Análisis de la información Obtenida.

Respaldados en las respuesta emitidas por los estudiantes del tercer año de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil año lectivo 2013-2014, se puede expresar el siguiente análisis.

- El estado físico y de operación de los equipos del Laboratorio de Hidráulica, no es óptimo.
- Los estudiantes necesitan que se mejore el ambiente del laboratorio a fin de que las prácticas sean más confortables.
- Los estudiantes expresan que su aprendizaje seria óptimo si se mejorara las condiciones de área del Laboratorio.
- Los estudiantes necesitan el implemento de nuevos equipos para realizar estudios e investigaciones.
- Los estudiantes creen que será de mucha ayuda la existencia te textos guías, manuales en el Laboratorio de Hidráulica al momento de realizar una práctica.
- Los estudiantes creen que será de mucha ayuda la presencia de una persona en el Laboratorio de Hidráulica que los oriente al momento de realizar una práctica, dentro y fuera del horario de clases.

2.3 Soluciones Propuestas.

En base al análisis de la información obtenida se propone las siguientes soluciones:

- Se recomienda establecer un plan de mantenimiento a fin de preservar el buen estado físico y de operación de los equipos.
- Se recomienda remodelar el área del laboratorio, a fin de que se aproveche al máximo los espacios..
- Se recomienda implementar un sistema de ventilación, a fin de que las prácticas de laboratorio sean confortarles.
- Se recomienda se adquiera nuevos equipos para el Laboratorio de Hidráulica.
- Se recomienda se adquiera textos guías y manuales para la ejecución de prácticas de Laboratorio.
- Se recomienda se incorpore una persona que se mantenga permanentemente en el Laboratorio.

A fin de ayudar al cumplimiento de las soluciones propuestas este proyecto de investigación será presentado en el Departamento de Investigación Científica Tecnológica & Innovación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, para que participe en la Aprobación de Proyectos Convocatoria 2014; con la finalidad de que por medio de la investigación se adquiera nuevos equipos para el Laboratorio de Hidráulica, situación que será de gran beneficio en el aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de ingeniería Civil.

CAPÍTULO 3

3 FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1 Modelación Hidráulica.

El agua es un elemento esencial para el desarrollo humano en todos sus aspectos, y la predicción de su comportamiento es complejo, por lo que es razonable expresar que el empleo de métodos y modelos matemáticos no es suficiente para cumplir con esta labor; motivo por el cual es necesario recurrir al empleo de procesos experimentales que permitan establecer una Modelación del comportamiento Hidráulico sobre todo de manera práctica y fácil, que evite caer en enigmas que guíen a entrar en un círculo de inquietudes que impidan el desarrollo de una investigación, y la obtención de los objetivos propuestos.

Es por lo mencionado que este proyecto de investigación tiene la visión de resolver la hipótesis propuesta de una manera didáctica teniendo como objetivo primordial obtener un factor en este caso denominado Coeficiente de Descarga que sirva como un parámetro de corrección de una ecuación teoría inédita propuesta por los autores de este proyecto; proceso mediante el cual se modele el comportamiento hidráulico de un Vertedero de sección Trapezoidal en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

La Modelación Hidráulica a nuestra consideración es una incógnita que daremos como encontrada, en el momento que logremos representar gráficamente la alteración que sufre un caudal teórico por efecto de las contracciones que ejerce las laterales de inclinación variable de un vertedero de sección trapezoidal y pared delgada.

Vertedero que será configurado y ajustado al canal hidráulico existente, mediante modelos físicos reducidos.

3.1.1 Análisis de la Modelación.

Para modelar el comportamiento hidráulico de este tipo de vertedero, se plantea analizar una línea de tendencia que acoja el comportamiento hidráulico de manera teórica por medio de una proposición que afirmara una verdad demostrable, es decir un teorema propuesto por los autores de este proyecto.

Esta línea de tendencia responderá de manera aproximada al comportamiento real, que en su debida instancia será representada de forma cuantitativa por la recolección de datos mediante iteradas prácticas de laboratorio; representación que en contraste con la tendencia teórica arrojará un factor que responda a la transformación de un comportamiento hidráulico teórico a un comportamiento hidráulico real.

Comportamiento hidráulico real que responderá a las condiciones habidas en el canal del laboratorio de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, tales como potencia de la bomba eléctrica., ancho y longitud del mismo entre otros.

El análisis de la modelación estará sujeto a métodos experimentales y estadísticos utilizados a conveniencia; que en conjunto con el número de prácticas realizadas dictaminaran la aproximación a un comportamiento hidráulico real.

3.1.2 Hipótesis de la Modelación.

La hipótesis de la modelación es fundamentada de acuerdo al nivel en el cual nos encontramos con respecto a la totalidad del proyecto de investigación, es decir en este punto se conserva como ideal que un flujo tendrá perturbaciones al momento de pasar de

una sección a otra y más aún cuando este cambio es instantáneo, es decir no experimenta una transición.

Esta hipótesis es la base de la modelación, ya que se presume que esta perturbación del flujo genera una pérdida; pérdida que además se asume es directamente proporcional a la inclinación de las paredes del vertedero, motivo por el cual la tendencia que conllevará a la obtención de la modelación hidráulica será de origen reductora; es decir que el caudal teórico será reducido al momento de emplear el factor denominado Coeficiente de Descarga.

Esto indica que los coeficientes que se pretende obtener deben cumplir con la condición que deben ser iguales para el caso de que estas pérdidas sean consideradas depreciables o menores que uno; es decir $CD \leq 1$.

3.1.2.1 Similitud.

Este proyecto tiene como objetivo determinar Coeficientes de Descarga para un vertedero de sección trapezoidal y pared delgada por medio de un análisis experimental para el laboratorio de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, tal como se lo contempla en el título del mismo, es necesario considerar lo mencionado en vista que en caso de que el lector, estudiante o profesional, tenga a bien dar uso de este estudio en diferentes condiciones a las habidas, este deberá acogerse a la relación entre el ancho del canal de aproximación y la base del vertedero que debe ser igual o aproximarse a un “ π ” como primera instancia; además se debe considerar la equivalencia de rugosidades en vista que las rugosidades que se emplearon en este estudio fueron la del vertedero que es PVC,

la de las paredes del canal de aproximación que es Vidrio, y la del fondo del canal de aproximación que es acero pintado; todo esto a fin de guardar una similitud entre los modelos físicos reducidos que se utilizaron en este estudio y cuyas dimensiones se las puede contemplar en los planos adjuntos y el prototipo propuesto por el diseñador.

3.1.3 Parámetros de Modelación.

Los parámetros establecidos de modelación dentro de los principales son:

- Área.
- Velocidad.
- Caudal.

Estos parámetros serán ratificados mediante un proceso de iteradas prácticas de laboratorio a fin que la modelación tenga un resultado aceptable, confiable, y comprobable.

Área.- Este parámetro fue medido en el laboratorio y restringido por los calados de descarga que se obtengan de la regulación del vertido y además en función de la inclinación de las paredes laterales del vertedero trapezoidal.

Velocidad.- Este parámetro está vinculado con el anterior y será quien responda al comportamiento generado por las contracciones en el vertedero; cabe mencionar que se pretende analizar este parámetro en dos instancias; la primera la variación del comportamiento como velocidad superficial del flujo al momento de la descarga, y la segunda la variación del comportamiento como velocidad media del flujo al momento de la descarga.

Caudal.- Este parámetro corresponde a la medición del paso de un volumen indeterminado de agua en un intervalo de tiempo, cabe mencionar que este registro encierra los parámetros anteriores de tal manera que se puede realizar un proceso de comprobación aleatorio entre ellos si lo fuese necesario.

3.2 Calibración de los Equipos.

La calibración de los equipos se la realizo de forma manual y se efectuó de acuerdo a la necesidad, es decir se regulo las válvulas de tal manera que se obtuvo los calados de vertido que se deseaba analizar; además se verifico que los modelos físicos reducidos sean instalados de tal manera que guarden relación con la verticalidad, esto se logró con la ayuda de un nivel de mano.

Este proceso se lo considera como primordial en el estudio ya que del mismo depende la variación de los parámetros de modelación antes propuestos.

3.3 Medición de Caudales para vertederos Trapezoidal de pared delgada.

La medición de caudales se la realizo mediante el empleo de dos cronómetros digitales que controlaron la cantidad de agua que ingreso en una probeta ubicada en el punto de descarga del flujo; cantidad de agua que fue cubicada posteriormente y mediante la ecuación de caudal que se presenta continuación se efectúa el cálculo:

$$Q = \frac{V_o}{t}$$

Donde:

Q = Caudal.

Vo = Volumen.

t = Tiempo.

La cantidad de agua receptada por la probeta será cubicada en unidad de litros, y el tiempo registrado será expresado en unidad de segundo; además se efectuara un promedio de los tiempos registrados al momento de la medición y en los casos en que estos dos valores se encontraban disparados por reacción tardía o apresurada, se continuo a realizar nuevamente el proceso. Cabe mencionar que los caudales fueron medidos y registrados en formatos de acuerdo a los calados que se determinaron como puntos de análisis, y que estos formatos se adjuntaran al proyecto con la información de laboratorio.

3.3.1 Curvas de Descargas.

Las curvas de descargas son aquellas representaciones graficas de la información registrada en los formatos ya mencionados, estas representaciones ayudan a visualizar la posible tendencia del comportamiento hidráulico, visualización mediante la cual se afianza criterios y se verifica el cumplimiento de la hipótesis de modelación planteada, de igual manera se adjuntara las gráficas y se emitirá las debidas conclusiones.

3.3.2 Coeficientes de Descargas.

Los coeficientes de descarga se obtuvieron de la relación entre el Caudal real y Caudal teórico tal como se muestra a continuación:

$$CD = \frac{Q_{real}}{Q_{teorico}}$$

Dónde:

CD = Coeficiente de descarga.

Q real = Es aquel Caudal que se obtiene de las mediciones en el laboratorio.

Q teórico = Es aquel Caudal que se obtiene de la ecuación inédita que se plantea a continuación.

3.3.3 Ecuacionamiento experimental para Vertederos Trapezoidales de pared delgada.

Nuestro teorema da inicio en la ecuación de continuidad, que con anterioridad fue demostrada en el Análisis Teórico, reducida a que el Caudal es igual al producto de Área de la sección en análisis, por la Velocidad del flujo al pasar por dicha sección; es decir cómo se expresa en la siguiente ecuación:

$$1) Q = A * V$$

Siendo:

Q = Caudal.

A= El área de la sección en análisis.

V= Velocidad.

Además por medio de esta ecuación se determinó, que según el principio de continuidad o conservación de masa destaca que el caudal no varía en el paso de entre una sección a otra; esta información a nuestra consideración es la base de la hidráulica, visto que por medio de esta teoría se dan inicios a diferentes teoremas que buscan resolver o dar respuestas experimentales, tal es el caso de nuestra investigación.

Para esto es fácil deducir que, como nuestro análisis se ejecuta en la sección trapezoidal de un vertedero, en el cual el cálculo del área de dicha sección se puede obtener tomando el producto de la semisuma de sus bases por su altura, pero al considerar que las alturas o calados son variables y que a su vez, de acuerdo a la inclinación de las paredes laterales su base mayor o superior también sufrirá un cambio de magnitud, decidimos ensamblar una ecuación en la cual absorba todas las variables mencionadas.

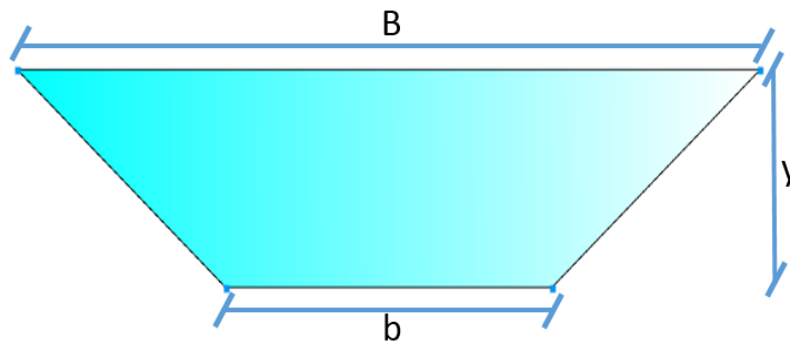


Fig. 3.1 Vertedero de sección trapezoidal

$$a) A = \frac{B+b}{2} * y$$

Siendo:

A= Área de las sección en análisis.

B= Base superior o de mayor magnitud.

b= Base inferior o de menor magnitud.

y= Altura o calado de agua.

Partiendo de esta ecuación expresaremos el valor de **B** en función del ángulo Θ que se observa a continuación.

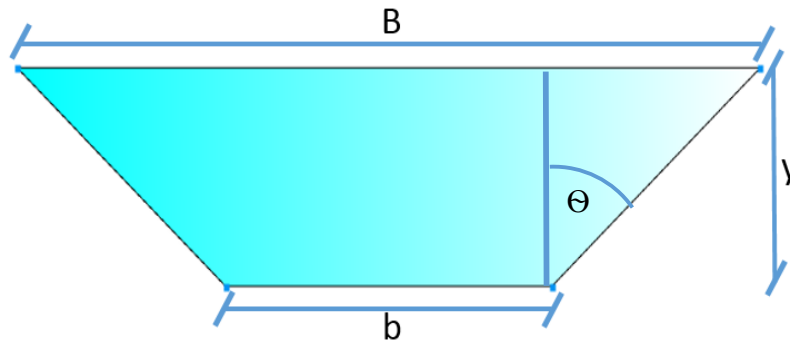


Fig. 3.2 Ángulo θ

$$b) B f(\theta) = 2(\text{tang}\theta * y) + b$$

B en función de θ es igual a la suma de dos veces, tangente de θ por el calado; más la magnitud de la base menor b . Si reemplazamos esto en:

$$A = \frac{B + b}{2} * y$$

Tenemos:

$$A = \frac{B f(\theta) + b}{2} * y$$

a en b

$$A = \frac{(2(\text{tang}\theta * y) + b) + b}{2} * y$$

$$A = \frac{(2(\text{tang}\theta * y) + 2b)}{2} * y$$

$$c) A = (y\text{tang}\theta + b) * y$$

De donde deducimos que el área de un trapecio en función de Θ es igual al producto del calado por tangente de Θ , más la magnitud de la base menor o inferior b , y a su vez por el calado o altura de agua y .

Para facilitar la explicación llamaremos:

$$c) \eta = (y \tan \theta + b)$$

Por lo que:

$$d) A = \eta * y$$

Entonces pasamos a encontrar el área con un diferencial del calado como lo vemos a continuación:

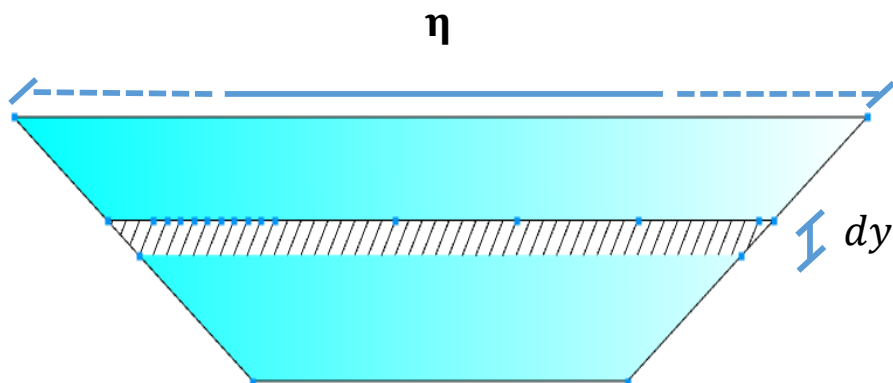


Fig. 3.3 Diferencial dy

Como se podrá comprender η esta dada en función de la variación del calado, por lo que el área de nuestra sección en análisis será igual al producto de " η " (Eta) por el diferencial de y " dy "; visto esto tenemos:

$$d) A = \eta * dy$$

Ahora si remplazos en la ecuación de partida:

d en a

$$Q = A * V$$

$$Q = (\eta * dy) * V$$

Nos queda por ecuacionar la velocidad del flujo que pasa por la sección en análisis, para esto recurrimos a utilizar la ecuación o trinomio de Bernoulli, que al igual que la ecuación de continuidad ya fue demostrado su modelo matemático en el análisis teórico, en el cual se concluye que la sumatoria de energías; del flujo, potencial gravitacional, y cinética.

$$E = P + \frac{\gamma V^2}{2} + \gamma gy$$

En donde:

E = Energía total en un punto de control. Teórico

P = Energía que contiene un fluido por efecto de la presión.

$\frac{\gamma V^2}{2}$ = Energía cinética, la cual es efecto de la velocidad que alcanza un fluido.

γgy = Energía potencial gravitacional, que es efecto a la altura que posee un fluido.

Esta teoría para nuestro análisis la complementamos con el teorema de Torricelli, el cual se identifica como una aplicación del principio de Bernoulli, y consiste en estudiar el comportamiento de un flujo en un elemento que lo contenga y que le permita el paso a través de una sección circular denominado orificio, como se muestra a continuación.

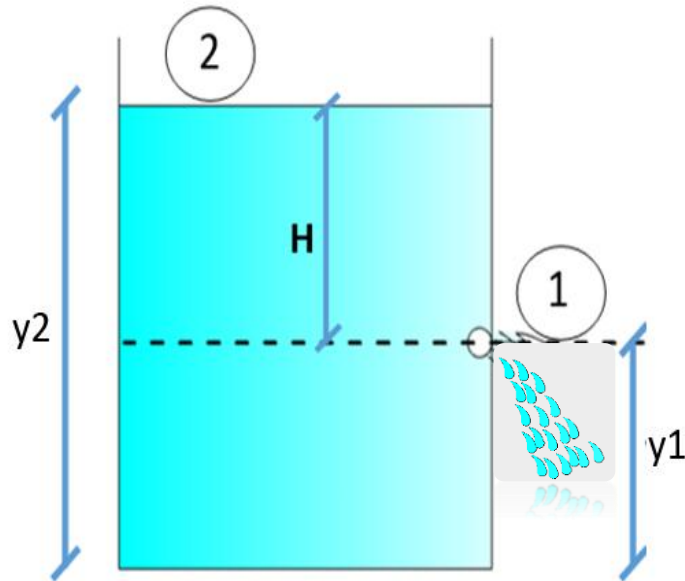


Fig. 3.4 Orificio

Si expresamos la energía en el punto 1 y 2 basando en el principio de conservación de la energía tenemos:

$$E_1 = E_2$$

$$P_1 + \frac{\gamma V_1^2}{2} + \gamma g y_1 = P_2 + \frac{\gamma V_2^2}{2} + \gamma g y_2$$

Recordamos que este procedimiento lo realizamos en busca del ecuacionamiento de la velocidad, desde un punto de vista hidráulico; que es el factor ausente hasta este momento para ensamblar la ecuación caudal teórico, por lo que continuamos con el despeje de la energía cinemática o también denominada carga de velocidad, pero en el punto de control 1 que es el punto en el cual se guarda similitud a la descarga de un vertedero.

$$\frac{\gamma V_1^2}{2} = -P_1 + P_2 + \frac{\gamma V_2^2}{2} + \gamma g y_2 - \gamma g y_1$$

Observamos que al despejar dicha carga de velocidad, existe un factor común en la resta de las energías potenciales gravitacionales por lo que procedemos factorar dichos términos:

$$\frac{\gamma V_1^2}{2} = -P_1 + P_2 + \frac{\gamma V_2^2}{2} + \gamma g(y_2 - y_1)$$

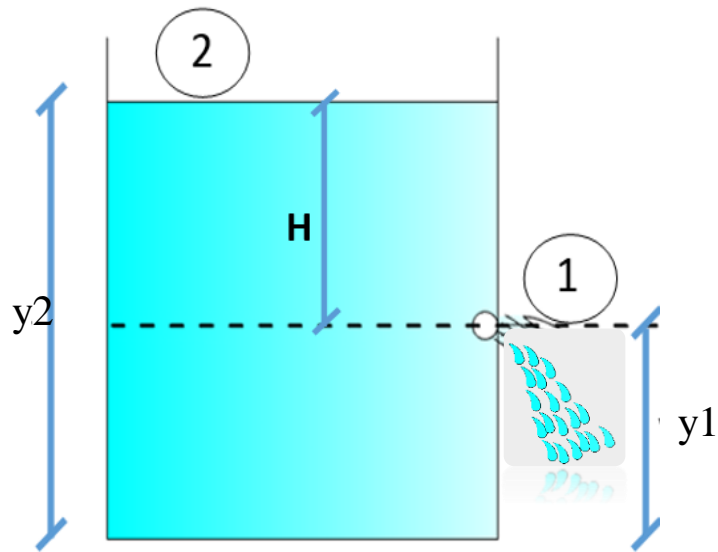


Fig. 3.5 Energías Potenciales

Como se puede observar la resta de y_1 y y_2 da como resultado H , por lo que si reemplazamos tenemos:

$$\frac{\gamma V_1^2}{2} = -P_1 + P_2 + \frac{\gamma V_2^2}{2} + \gamma gH$$

Continuamos en la busca del despeje de la velocidad en el punto de control uno, para esto es necesario tener en claro que como el calado H debe mantenerse la velocidad en el punto dos es tan pequeña que según esta teoría se la desprecia o iguala a cero por lo que:

$$\frac{\gamma V_1^2}{2} = P_1 - P_2 + \gamma gH$$

Como la presión en el punto uno es la misma a la del punto 2, estas se suprimen por lo que:

$$\frac{\gamma V_1^2}{2} = \gamma g H$$

Continuamos en búsqueda de la velocidad en el punto uno, despejamos:

$$V_1^2 = \gamma g H * \frac{2}{\gamma}$$

$$V_1^2 = 2gH$$

$$2) V_1 = \sqrt{2gH}$$

Concluimos que la velocidad en el punto uno es igual a la raíz cuadrada de dos veces la gravedad por la carga hidrostática “H”.

Una vez que se obtuvo el factor complemento de la ecuación del caudal teórico reemplazamos de tal manera que:

$$Q_t = A * V$$

d y 2 en 1

$$Q_t = \sqrt{2gH} * \eta dy$$

Al ser esta una función con un diferencial de calado es decir “dy”, aplicamos el método de integración definida desde H_0 hasta H_1 , para calcular el área bajo la curva que pertenece a dicha función, y obtener la ecuación final para nuestro caudal teórico propuesto.

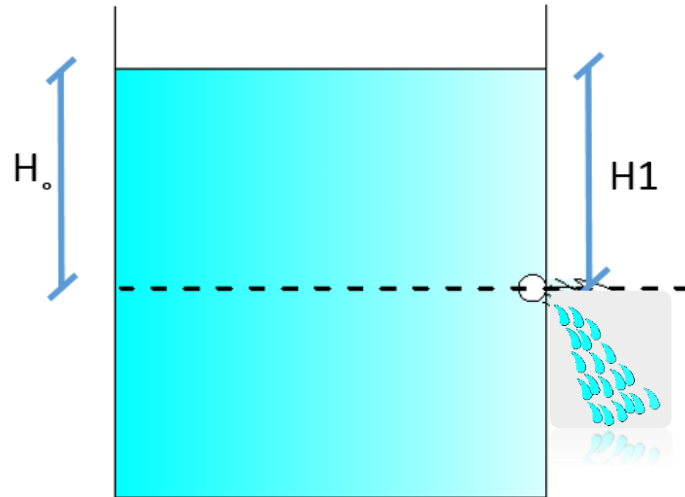


Fig. 3.6

$$Q_t = \sqrt{2g} \int_{H_1 + \frac{\gamma V_2^2}{2}}^{H_o + \frac{\gamma V_1^2}{2}} \left(H + \frac{\gamma V^2}{2} \right)^{1/2} * \eta dy$$

$$Q_t = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left[\left(H_o + \frac{\gamma V_1^2}{2} \right)^{3/2} - \left(H_1 + \frac{\gamma V_1^2}{2} \right)^{3/2} \right] \eta$$

Para llevar este criterio a nuestro modelo de estudio, el cual es un vertedero diferimos en que el H1 que se observa en la anterior figura no existe es decir es igual a cero por lo que:

$$Q_t = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left[\left(H_o + \frac{\gamma V_1^2}{2} \right)^{3/2} - \left(\frac{\gamma V_1^2}{2} \right)^{3/2} \right] \eta$$

$$3) Q_t = \frac{2}{3} \sqrt{2g} * H_o^{3/2} \eta$$

Y si reemplazamos el valor de η tenemos:

c' en 3

$$Q_t = \frac{2}{3} \sqrt{2g} * H_o^{3/2} (y \tan \theta + b)$$

Entonces nuestra ecuación para el cálculo del caudal teórico la presentaremos de la siguiente manera:

$$4) Q_t = 2.953 H_o^{3/2} (y \tan \theta + b)$$

Siendo:

Q_t = Caudal teórico.

y = Calado un instante antes de pasar la sección del vertedero.

θ = Angulo que determina la inclinación de las paredes laterales del vertedero.

b = Ancho inferior del vertedero.

Cabe mencionar que esta ecuación no se acoge al criterio de que el caudal teórico de un vertedero de sección trapezoidal es igual a la suma de uno triangular con uno rectangular es decir por descomposición geométrica, visto que a nuestra consideración las contracciones que son ocasionadas por las paredes verticales del vertedero rectangular serán reducidas al querer asimilar que una pared de agua tenga la misma consistencia que una sólida. Esta ecuación a nuestra consideración es inédita, basándonos a los registros leídos.

Una vez que se pudo ensamblar la ecuación para un gasto o caudal teórico, se podría ya obtener el coeficiente de descarga con la simple medición en el laboratorio de un gasto o caudal real, visto que muchos autores de ediciones, indican que el coeficiente de descarga es el resultado de la relación del gasto o caudal real con el teórico; como se muestra en la siguiente ecuación.

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t}$$

Donde:

C_d = Coeficiente de Descarga.

Q_r = Caudal o gasto real; medido en situ.

Q_t = Caudal o gasto teórico; modelado experimentalmente.

Pero este coeficiente de descarga no será confiable, visto que al no tener los equipos adecuados para realizar la medición del caudal real en el laboratorio se debe recurrir a métodos manuales, didácticos; por lo que en búsqueda de absorber estos posibles errores de medición, generamos como hipótesis que si es verdad que, el caudal se obtiene del producto entre área y velocidad, tanto para un caudal teórico como uno real, por lo que podemos decir que el factor área es igual tanto como en el cálculo teórico como y el real, por lo que proponemos que la formulación del coeficiente de descarga, esté en función de las velocidades en este caso real y teórica, como se muestra a continuación.

$$C_d = \frac{V_r}{V_t}$$

Donde:

C_d = Coeficiente de Descarga.

V_r = Velocidad real.

V_t = Velocidad teórica.

Por lo que de la ecuación para el caudal teórica, calcularemos la velocidad media, pero para esto aplicamos métodos estadísticos para dejar esta velocidad media en función de H

que es la altura de agua que se mantiene estable aguas arriba al vertedero, para esto describiremos los pasos que se siguieron para obtener lo mencionado

$$4) Q = 2.953H_o^{3/2} (y \tan \theta + b)$$

Se realizó una tabla dinámica con variables como H, θ , y, b; y con los caudales obtenidos en esa tabla con alturas H desde 0.1 a 5 cm, se calcularon las velocidades medias que se muestran a continuación.

Número	H (cm)	V (cm/sg)
	y	x
1	0.1	1.0
2	0.5	2.2
3	1.0	3.0
4	1.5	3.7
5	2.0	4.3
6	2.5	4.8
7	3.0	5.3
8	3.5	5.7
9	4.0	6.1
10	4.5	6.5
11	5.5	6.8
Σ	27.6	49.3

Tabla 3.1

Como se comentó anteriormente aplicamos métodos de análisis estadísticos y en esta ocasión necesitamos determinar si los puntos obtenidos cumplen, con una secuencia o relación para lo cual recurrimos a verificar el coeficiente de correlación habido dentro de las coordenadas por decirlo así, obtenidas mediante la ecuación de caudal teórico, esta herramienta es de gran utilidad visto que de acuerdo al grado de aproximación a la unidad que tenga este mencionado coeficiente, será confiable determinar una función por medio de una línea de tendencia, y a su vez generar una ecuación de la misma.

El coeficiente de Correlación es igual a la relación entre la Varianza y el producto de las desviaciones típicas de las variables en este caso x, y, siendo “x” el valor de la velocidad media que es a su vez determinada por el caudal teórico según ecuación expuesta dividido para el área definida por el valor de H, consideremos que el valor del calado un instante antes de que el flujo pase la sección del vertedero, es igual a 0.97% del valor de H.

$$\mathbf{Varianza} = \sigma_{xy}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} - (\bar{x}\bar{y})$$

$$\mathbf{Desviación\ Típica} = \sigma_x$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}$$

$$\mathbf{Desviación\ Típica} = \sigma_y$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2}$$

$$\mathbf{Coeficiente\ de\ Correlación} = R$$

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}$$

$$R = \frac{\frac{\sum x_i y_i}{n} - (\bar{x}\bar{y})}{\left(\sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}\right) * \left(\sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2}\right)}$$

Visto que para obtener la varianza debemos calcular el valor de la sumatoria del producto de la variable x, y, por tanto es necesario adicionar una columna en la tabla anterior.

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} - (\bar{x}\bar{y})$$

Numero	H (cm)	V (cm/sg)	xy
	y	x	
1	0.1	1.0	0.1
2	0.5	2.2	1.1
3	1.0	3.0	3.0
4	1.5	3.7	5.6
5	2.0	4.3	8.6
6	2.5	4.8	12.0
7	3.0	5.3	15.8
8	3.5	5.7	19.9
9	4.0	6.1	24.4
10	4.5	6.5	29.1
11	5.0	6.8	34.0
Σ	27.6	49.3	153.7

Tabla 3.2

Además es necesario determinar el producto de las medias de las variables x, y, por lo que tenemos que:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Media de la variable x.

n = Número de datos que contiene la variable x.

Remplazamos con los valores de la tabla.

$$\bar{x} = \frac{49.3}{11}$$

$$\bar{x} = 4.49$$

De igual manera tenemos con la variable y, en busca de obtener su media.

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

Donde:

\bar{y} = Media de la variable y.

n = Número de datos que contiene la variable y.

Remplazamos con los valores de la tabla.

$$\bar{y} = \frac{27.6}{11}$$

$$\bar{y} = 2.51$$

Por lo que para obtener el producto de las medias tenemos:

$$(\bar{x}\bar{y}) = 4.49 * 2.51$$

$$(\bar{x}\bar{y}) = 11.25$$

Una vez que hemos obtenido la sumatoria del producto de las variables x, y; el producto de las medias de las variables x, y; podemos remplazar los valores encontrados para calcular la varianza.

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} - (\bar{x}\bar{y})$$

$$\sigma_{xy} = \frac{153.7}{11} - (11.25)$$

$$\sigma_{xy} = 2.72$$

Una vez determinada la varianza σ_{xy} , debemos calcular las desviaciones típicas de las variables x, y.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2} \quad ; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2}$$

Para esto es necesario calcular el valor de la sumatoria de la variable x, y; elevados al cuadro, por lo añadiremos dos columnas en la tabla anterior.

Numero	H	V	xy	y ²	x ²
	y	x			
1	0.1	1.0	0.1	0.1	1.0
2	0.5	2.2	1.1	0.3	4.6
3	1	3.0	3.0	1.0	9.3
4	1.5	3.7	5.6	2.3	13.9
5	2	4.3	8.6	4.0	18.5
6	2.5	4.8	12.0	6.3	23.2
7	3	5.3	15.8	9.0	27.8
8	3.5	5.7	19.9	12.3	32.4
9	4	6.1	24.4	16.0	37.1
10	4.5	6.5	29.1	20.3	41.7
11	5	6.8	34.0	25.0	46.3
Σ	27.6	49.3	153.7	96.3	255.8

Tabla 3.3

Remplazamos los valores de la tabla en las ecuaciones de las desviaciones típicas x, y.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{255.8}{11} - 4.49^2}$$

$$\sigma_x = 1.77$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{96.26}{11} - 2.51^2}$$

$$\sigma_y = 1.57$$

De igual manera una vez realizado este análisis se podrá remplazar en la ecuación del Coeficiente de Relación.

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}$$

$$R = \frac{2.72}{1.77 * 1.57}$$

$$R = 0.98$$

$$R = 98\%$$

Esto significa que los datos que se reflejan en la tabla como valores de la variable x, y; que son representación literal del caldo de aguas arriba al vertedero “H” y la velocidad media del flujo, un instante antes de que el flujo pase por el vertedero “V”, tienen una relación entre si por lo que es confiable asignarles una línea de tendencia que a su vez derive una ecuación de fácil manejo, para verificar gráficamente la relación de los puntos obtenidos de la ecuación para caudal teórico dibujaremos en un plano las coordenadas x,y, de la tabla presentada anteriormente.

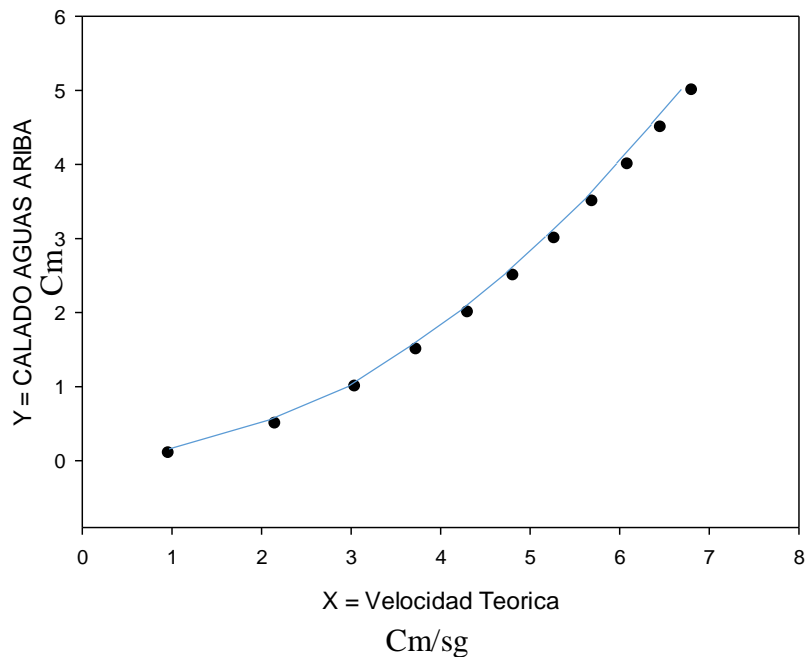


Fig. 3.7 Curva Calado vs Velocidad Teórica

En la gráfica anterior se muestra H en función de V; además se aprecia que en realidad los puntos si cumple con una relación entre sí, tal como se lo identifico en el ejercicio estadístico ejecutado, en la que fácilmente se puede observar que ellos forman una curva de origen potencial, por lo que caucionaremos su tendencia expresada a continuación:

$$Y = aX^b$$

Siendo:

Y= Calado aguas arriba del vertedero.

X= Velocidad media teórica.

a = Número real fijo.

$$a = e^{lna}$$

$$-lna = \frac{(-\sum(\ln y) * \sum(\ln x)^2) + (\sum(\ln x) * \sum(\ln x * \ln y))}{[-n\sum(\ln x)^2 + (\sum \ln x)^2]}$$

b = Número real fijo.

$$b = \frac{(\sum \ln x * \sum \ln y) - n \sum (\ln x * \ln y)}{(\sum \ln x)^2 - n \sum (\ln x)^2}$$

Para determinar los valores de a y b es necesario recurrir a la tabla anterior adicionando columnas que cubran los requerimientos de las ecuación impuestas.

Número	H	V	Ln y	Ln x	Ln y * Ln x	(Ln y) ²	(Ln x) ²
	(cm)	(cm/sg)					
	y	x					
1	0.1	1.0	-2.3	0.0	0.0	5.3	0.0
2	0.5	2.2	-0.7	0.8	-0.5	0.5	0.6
3	1.0	3.0	0.0	1.1	0.0	0.0	1.2
4	1.5	3.7	0.4	1.3	0.5	0.2	1.7
5	2.0	4.3	0.7	1.5	1.0	0.5	2.1
6	2.5	4.8	0.9	1.6	1.4	0.8	2.5
7	3.0	5.3	1.1	1.7	1.8	1.2	2.8
8	3.5	5.7	1.3	1.7	2.2	1.6	3.0
9	4.0	6.1	1.4	1.8	2.5	1.9	3.3
10	4.5	6.5	1.5	1.9	2.8	2.3	3.5
11	5	6.8	1.6	1.9	3.1	2.6	3.7
		Σ	5.9	15.2	14.9	16.8	24.4

Tabla 3.4

Obtenida nuestra tabla pasamos a remplazar en las ecuaciones fijadas por a y b.

$$-lna = \frac{(-\Sigma(lny) * \Sigma(lnx)^2) + (\Sigma(lnx) * \Sigma(lnx * lny))}{[-n\Sigma(lnx)^2 + (\Sigma(lnx))^2]}$$

$$-lna = \frac{(-5.9 * 24.4) + (15.2 * 14.9)}{[-11(24.4) + 15.2^2]}$$

$$-lna = \frac{-83.737}{-37.638}$$

$$-lna = 2.225$$

$$lna = -2.225$$

$$a = e^{lna}$$

$$a = e^{-2.225}$$

$$a = 0.108$$

Remplazamos en b:

$$b = \frac{(\Sigma ln x * \Sigma ln y) - n \Sigma (ln x * ln y)}{(\Sigma ln x)^2 - n \Sigma (ln x)^2}$$

$$b = \frac{(15.18 * 5.87) - 11(14.94)}{(15.18)^2 - 11(24.37)}$$

$$b = \frac{-75.233}{-37.638}$$

$$b = 2$$

Por lo que tenemos que nuestra ecuación se reduce a:

$$Y = aX^b$$

$$Y = 0.108X^2$$

Como lo mencionamos anteriormente, y está en función de x; es decir el calado “H” está en función de la “Vmed”, pero lo que buscamos determinar no es el calado que obtengo por una velocidad, sino lo contrario necesitamos determinar la velocidad media teórica que se origina a causa de una carga de agua o calado aguas arriba del vertedero, por lo que despejamos la ecuación obtenida.

$$Y = 0.108X^2$$

$$H = 0.108V_{med}^2$$

$$V_{med. teórica} = \sqrt{\frac{H}{0.108}}$$

Una vez obtenida la velocidad media teórica en función de “H” aplicamos la ecuación de continuidad:

$$Q. teórico = A_{teórica} * V_{med. teórica}$$

Por lo que se propone plantear que el área teórica se aquella que represente el estado más crítico de las contracciones que generen un vertedero, el cual en base a lo estudiado anteriormente es aquel que pose ángulos rectos, es decir el vertedero rectangular el mismo que responde a la siguiente ecuación teórica para el cálculo de su área.

$$A. teórico = b * H$$

En base a lo analizado en el Capítulo 1, se puede rescatar que tanto Coriolis como Boussinesq en sus estudios determinaron coeficientes de corrección en la teoría de Bernoulli, motivo por el cual nosotros plantearemos un coeficiente de corrección de tal manera que mantenga la relación entre el Caudal real con el Caudal teórico igual o menor que la unidad, este coeficiente es:

$$\text{Coeficiente de corrección} = \frac{4}{3}$$

Este coeficiente cumple con la condición de que incrementa a la velocidad teórica un 33.33%, es aquel incremento en que impide que la relación Caudal real con el Caudal teórico sea mayor que uno, porque si esto sucede significaría que las contracciones laterales que ejercen las paredes del vertedero no producen ninguna pérdida y al contrario se podría concluir también que estas contracciones incrementan el caudal cosa que en uso de la lógica común no es dable.

De tal manera que la ecuación teórica propuesta para el análisis en función de lo estudiado es:

$$Q. \text{ teórica} = \frac{4}{3} bH \sqrt{\frac{H}{0.108}}$$

3.4 Interpretación de la información obtenida en Laboratorio.

La información obtenida en laboratorio fue analizada mediante procesos de selección de datos coherentes y el empleo de métodos estadístico, pasos mediante los cuales se pudo visualizar el comportamiento hidráulico que sufre un flujo al pasar por la barrera de un vertedero trapezoidal.

Para la interpretación de la información procesada se hizo un análisis que encierre la parte tanto cualitativa como cuantitativa, tal cual como se presenta a continuación.

3.4.1 Análisis Cualitativo.

En este análisis se pudo concluir con:

- 1.- El paso de una partícula en la superficie del flujo es variado.
- 2.- La velocidad de una partícula en la superficie del flujo es inversamente proporcional a la inclinación de las paredes del vertedero trapezoidal.
- 3.- La velocidad que infiere una bomba eléctrica es constante.
- 4.- El caudal es directamente proporcional a la inclinación de las paredes del vertedero trapezoidal.
- 5.- El calado aguas arriba del vertedero varía en función del calado de descarga mas no de la inclinación de las paredes del vertedero.

3.4.2 Análisis Cuantitativo.

- 1.- Los coeficientes de descarga “CD” son iguales o menores que la unidad; $CD \leq 1$.
- 2.- Los coeficientes de descarga tienden a cero cuando la inclinación de las paredes tienden a 90° .
- 3.- El máximo incremento que experimenta el calado aguas arriba es de un 11.43% con respecto al calado de descarga.
- 4.- El calado aguas arriba se da a una distancia de 100 cm de la sección de descarga.
- 5.- El vertedero de 90° es aquel que presenta las máximas pérdidas por contracciones laterales.

3.5 Aplicación de modelos Estadísticos para generar Ábacos.

3.5.1 Desviación Estándar.

Para tomar decisiones y tener una visión real fue de gran ayuda poder cuantificar el error de las medias, utilizando un de los varios parámetros estadísticos como lo es la Desviación Estándar, este proceso se lo sistematizo mediante el empleo del software Excel, pero su formulación ya fue detallada en el ecuacionamiento experimental para Vertederos Trapezoidales de pared delgada; las tablas serán adjuntadas al final de este proyecto en los anexos.

3.5.2 Coeficiente de Correlación.

Posterior al establecimiento de las medias y sus debidas desviaciones estándar, se analizó la curva de tendencia que cumpla o tienda a llegar a una correlación positiva perfecta, es decir que se aceptó aquella curva en que el coeficiente de correlación fue igual o aproximado a la unidad; este proceso de igual manera se lo ejecuto mediante el empleo del software Excel, pero su formulación ya fue detallada en el Ecuacionamiento experimental para Vertederos Trapezoidales de pared delgada; las tablas serán adjuntadas al final de este proyecto en los anexos.

3.5.3 Curvas de Tendencia.

Las curvas de tendencia para la formulación de ábacos se obtuvieron una vez comprobado los puntos que se trataron anteriormente, estas sirvieron de gran ayuda para dar respuesta a la hipótesis de modelación hidráulica planteada, la tendencia lineal que más se acoplo a los requerimientos fue la de una curva polinómica de cuarto orden, este proceso de igual

manera se lo ejecuto mediante el empleo del software Excel, y dichas curvas serán adjuntadas al final del proyecto en los anexos.

3.5.4 Formulación de Ábacos.

En su debida instancia se planeó generar ábacos independientes, es decir un ábaco para cada inclinación de las paredes del vertedero, pero se visualizó establecer un solo ábaco que acoja todos los vertederos analizados y este contenga en sus abscisas los caldos de aguas arriba del vertedero y en sus ordenadas los coeficientes de descarga.

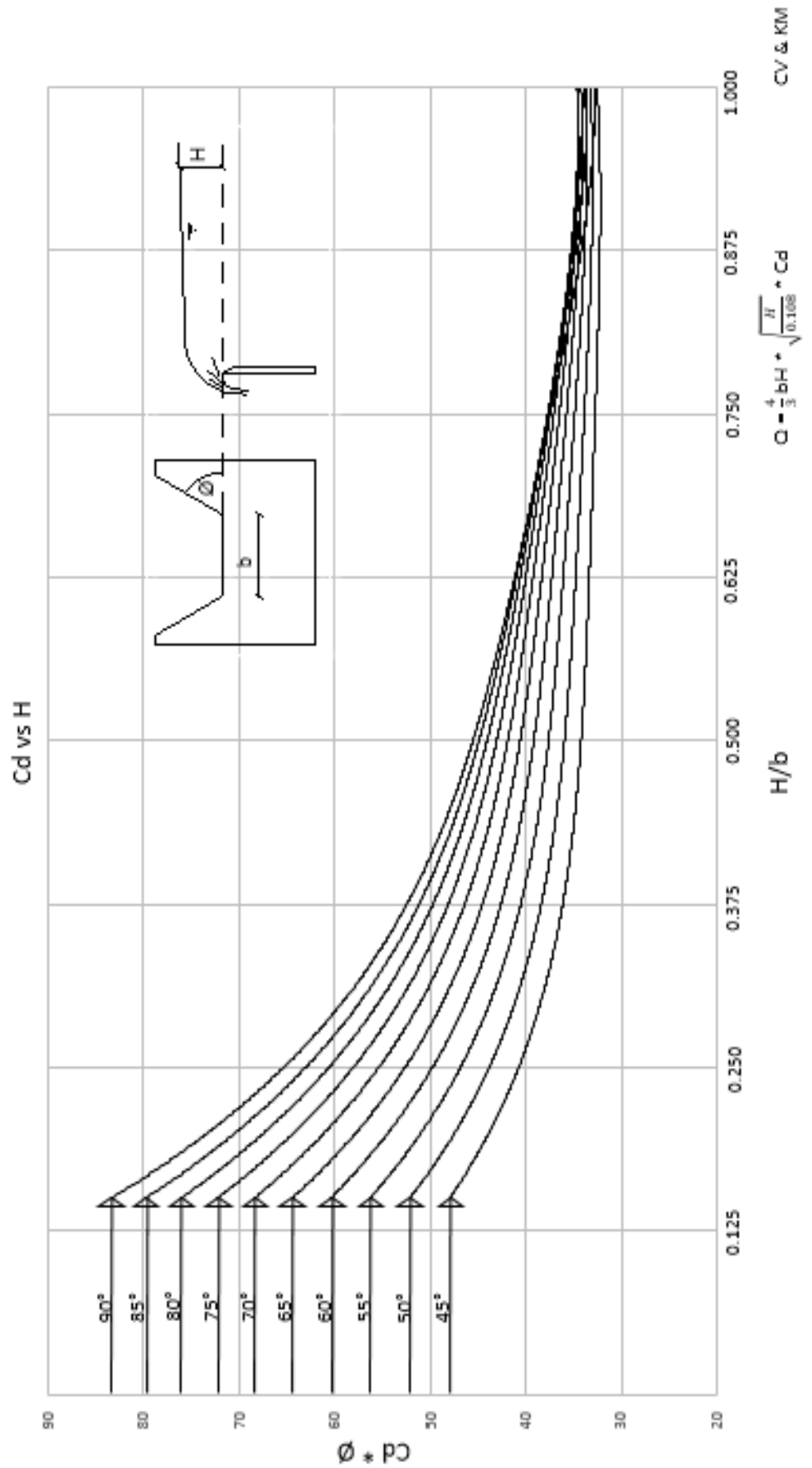
Al intentar graficar estos coeficientes se notó que no se distinguían las curvas motivo por el cual se buscó la manera de que las mismas se divisaran distantes; esto se pudo lograr aplicando como factor el valor del ángulo “ \emptyset ” el mismo que debe corresponder a la curva del vertedero con el mismo ángulo; es decir que en las ordenadas se encontrara:

$$CD * \emptyset$$

Tal como se muestra a continuación:



ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD
Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil



3.6 Modelo Matemático Computacional.

A fin de dar una herramienta más para el uso de este estudio se planteó ejecutar un software, el mismo que obtenga iguales resultados que el ábaco antes presentado pero de una manera rápida, eficaz y eficiente.

3.6.1 Descripción del Programa.

Este programa podrá ser ejecutado en aquellos computadores que utilicen Windows 7 como sistema operativo; cabe mencionar que fue creado en Visual Estudio 2012, utilizando el lenguaje de Visual Basic.

3.6.2 Procedimientos para uso del Programa.

Para dar uso al Programa se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Extraer el archivo SOFTWARE del Cd al escritorio.
- 2 Descomprima el archivo, clic derecho en el archivo de WinRAR.
- 3 Clic en extraer aquí.
- 4 Abra la carpeta SOFTWARE descomprimida.
- 5 Haga clic en el ícono setup, para iniciar la instalación.
- 6 En la ventana "Instalación de la aplicación - Advertencia de seguridad" haga clic en el botón Instalar.

En cuestión de 1sg se instalará y habilitará automáticamente una ventana como se muestra a continuación.

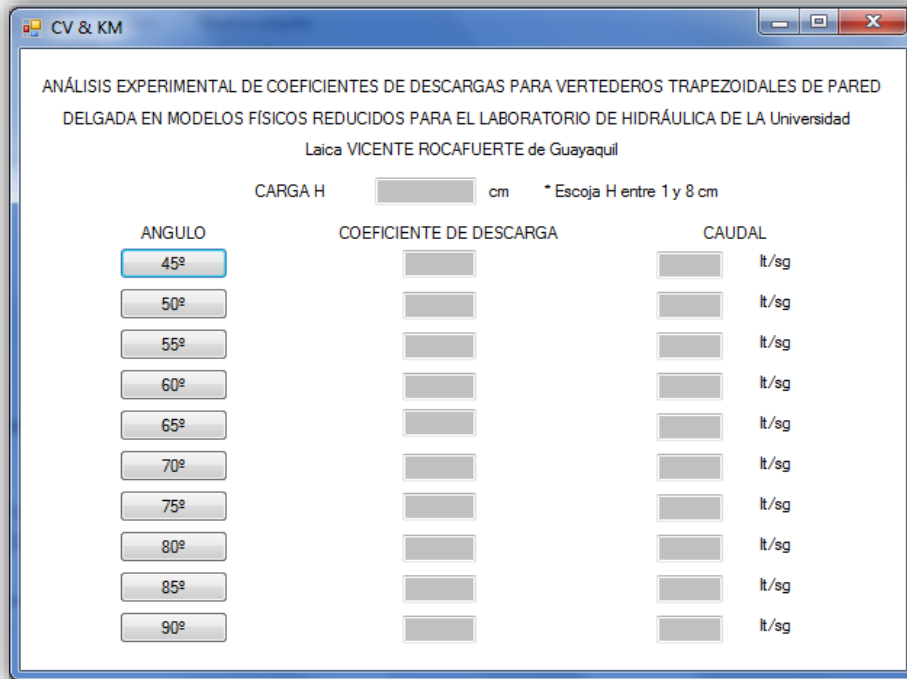


Fig. 3.8

En esta ventana se podrá ingresar el valor del calado aguas arriba que se desee analizar.

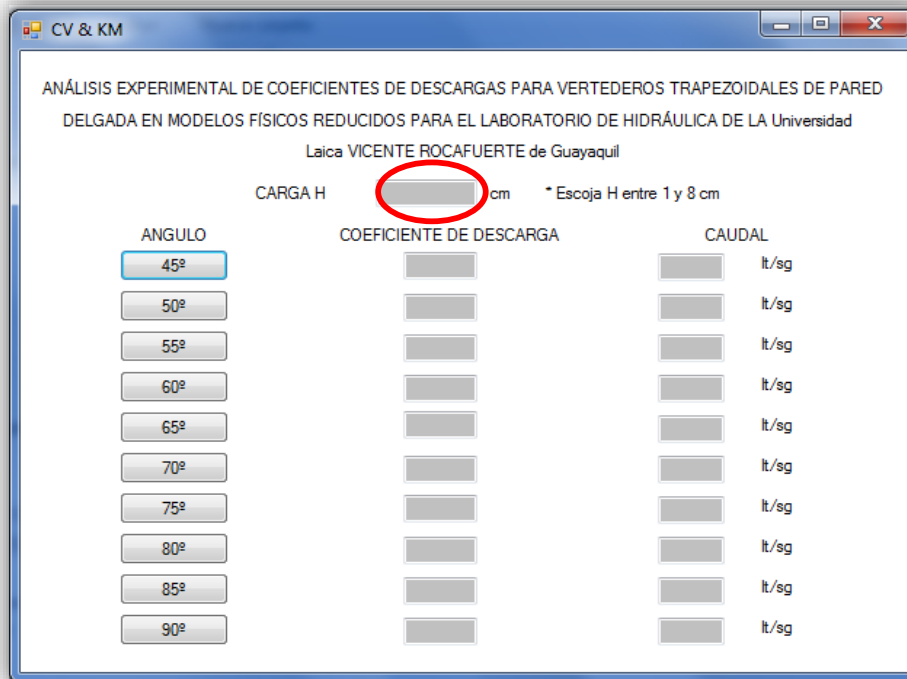


Fig. 3.9

Una vez ingresado el valor del calado aguas arriba del vertedero, se dará clic al botón que contenga el valor del ángulo correspondiente a la inclinación de las paredes del vertedero trapezoidal en análisis.

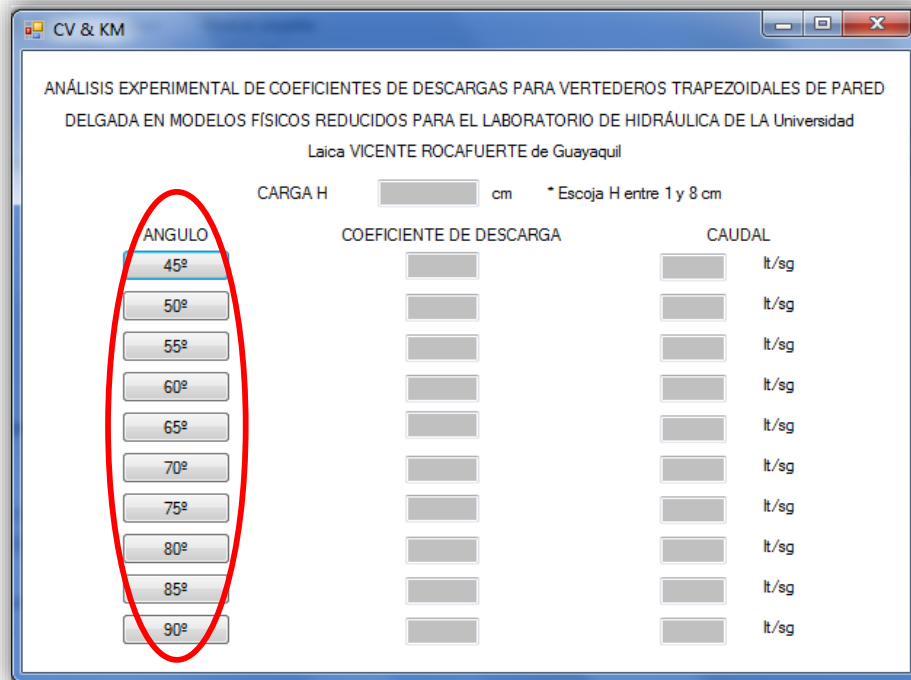


Fig. 3.10

Una vez realizado lo menciona aparecerá en la columna de Coeficiente de Descarga los valores indicados, y en la columna Caudal el valor correspondiente al coeficiente de descarga encontrado y el calado aguas arriba ingresado.

3.6.3 Ejercicio demostrativo.

A fin de afianzar los pasos mencionados se ejecutara un ejercicio demostrativo que tiene como parte literal lo siguiente:

Se necesita determinar la variación de los coeficientes de descarga que genere un calado aguas arriba de un vertedero de sección trapezoidal y pared delgada de 2 cm, esta variación

deberá ser analizada tomando como punto de partida una inclinación de pared igual a 45° y se su variación cada vez que esta inclinación incrementa 5° hasta llegar con la vertical.

Una vez que se ejecute los pasos explicado anteriormente el programa arrojará los siguientes valores.

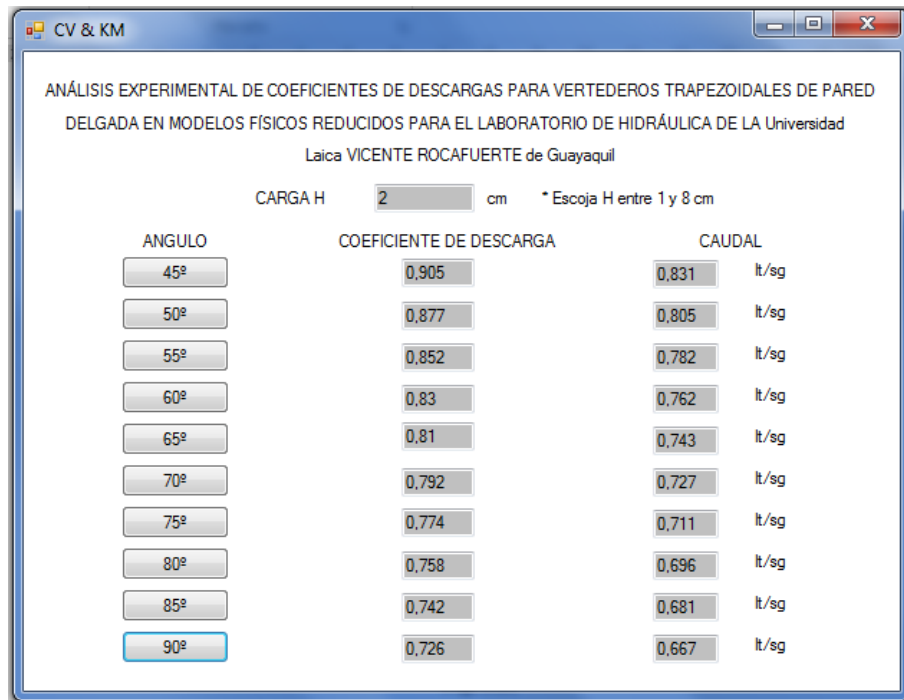


Fig. 3.11

Como se podrá contemplar la información estará al alcance de un clic.

3.7 Esquema para realizar una práctica de Laboratorio.

3.7.1 Manual.

3.7.1.1 Tema.

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS FÍSICOS

REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

3.7.1.2 Introducción.

Este esquema para realizar una práctica de laboratorio relacionada con el tema propuesto, es una guía que direccionara a que el estudiante pueda encontrar una ayuda para hacer un seguimiento de este análisis, y de tal manera pueda asimilar el contenido del mismo.

Por medio de una descripción práctica de las actividades que debe seguir el estudiante podrá afianzar sus propios criterios e ideas; lo cual lo motivará a establecer una visión propia del comportamiento de un flujo, frente a la variación geométrica de una sección; un instante antes de su descarga.

Variación geométrica que es causada por diez inclinaciones simétricas de las paredes laterales de un vertedero de sección trapezoidal, dentro de un intervalo entre cuarenta y cinco, y noventa grados; intervalo dentro del cual se analiza la alteración de un caudal frente a cambios angulares de cinco grados.

Para este análisis fue necesaria la construcción de diez modelos físicos reducidos y ajustados, al canal del laboratorio de Hidráulica de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Cada modelo fue analizado con diferentes condiciones de descarga, es decir se observó el comportamiento del flujo frente a calados dentro de un intervalo de uno a siete centímetros, intervalo en el cual se contempló la alteración que sufre el caudal de descarga a medida que incrementamos el nivel del agua un centímetro a la vez. Variación de calados que denotara un comportamiento diferente en cada instancia, causado por un efecto denominado contracción lateral. Las contracciones laterales que experimenta el flujo, son

las responsables de que según lo observado, el área en la sección de descarga sufra un efecto de reducción y que aunque esto incremente la velocidad media de descarga no retribuye o equilibra al cien por ciento, generando una pérdida en el gasto de descarga.

Perdida que mediante la propuesta de un modelo matemático, es expresada como un coeficiente de descarga de tendencia reductora; el mismo que actuara como un factor frente a una ecuación teórica del caudal de descarga para encontrar el valor del caudal de descarga real.

Este esquema para realizar una práctica de Laboratorio, confluye a que el estudiante pueda realizar un ensayo y este sea verificado en el ábaco propuesto; el mismo que representa gráficamente los coeficientes de descarga de los diez modelos físicos reducidos en función de una relación de la carga “H” con la base del vertedero de sección trapezoidal “b”.

3.7.1.3 Objetivos.

Objetivo General.- Facilitar el aprendizaje del estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, por medio de un texto guía que describa las actividades o procedimientos a seguir para la obtención de los coeficientes de descarga en vertederos trapezoidales de pared delgada mediante una práctica o ensayo de laboratorio; a fin de despertar el interés por la investigación en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica.

Objetivos Específicos.- Dentro del objetivo general del esquema para realizar una práctica de laboratorio, es necesario rescatar los siguientes objetivos específicos:

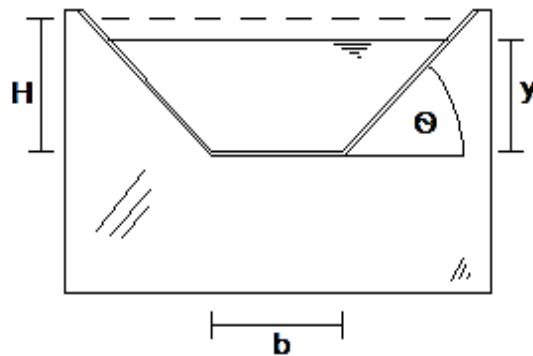
-Motivar al desarrollo de proyectos de investigación, por medio de un análisis experimental; para fortalecer el conocimiento y emitir nuevas teorías en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica.

-Explicar el comportamiento hidráulico de un caudal de descarga, con una descripción práctica de los procedimientos aplicados; para que el estudiante o lector tenga una visión clara del análisis propuesto.

-Fomentar el uso del ábaco “Cd vs H/b” producto del análisis experimental realizado, por medio de un ejercicio aplicado en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica, para demostrar su funcionamiento.

-Publicar los resultados obtenidos.

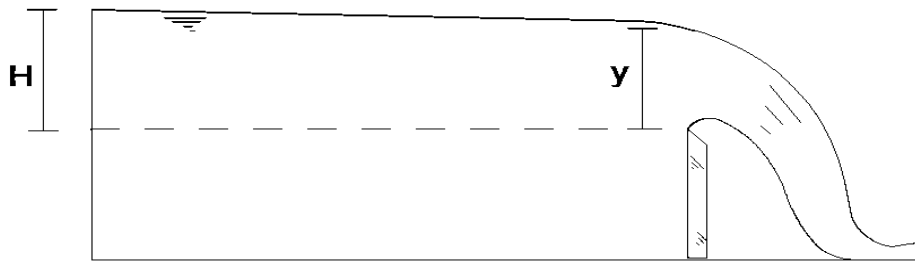
3.7.1.4 Esquemas Ilustrativos.



Vista Frontal de un Vertedero Trapezoidal

En este esquema se muestra la parte frontal de un vertedero trapezoidal debidamente acotado con los parámetros que utilizaremos para realizar nuestro ensayo, el ángulo “ Θ ” es aquel que incrementara en múltiplos de cinco partiendo desde cuarenta y cinco grados hasta llegar a noventa grados.

La carga “H” será medida una vez que el caldo de descarga “y” sea graduado; cada vez que se incremente el calado de descarga, la carga “H” también lo hará.



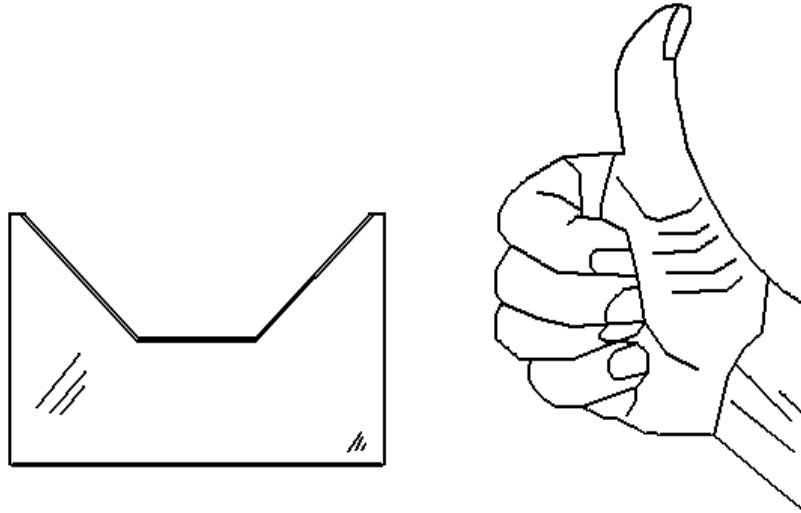
Vista Lateral de un Vertedero Trapezoidal

En este esquema se puede observar cómo se comprime el flujo por efecto de las contracciones laterales al momento de la descarga, además se logra apreciar una depresión de calados des “H” hasta “y”

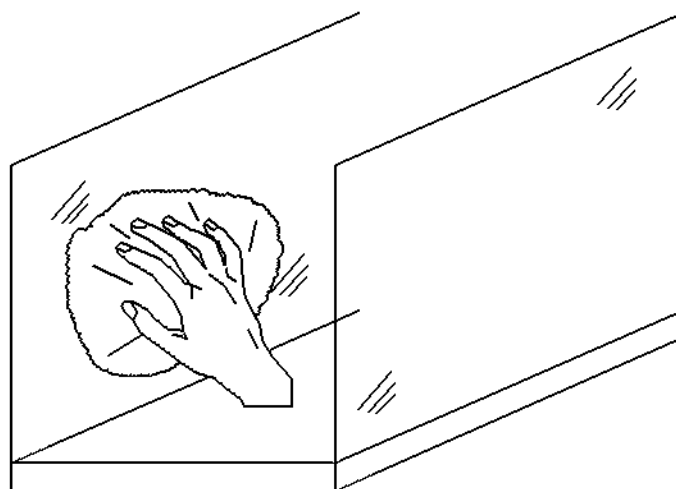
3.7.1.5 Procedimientos.

A continuación se describirá los pasos a seguir desde la recolección de datos en el laboratorio hasta el cálculo y verificación mediante el ábaco de la información recolectada:

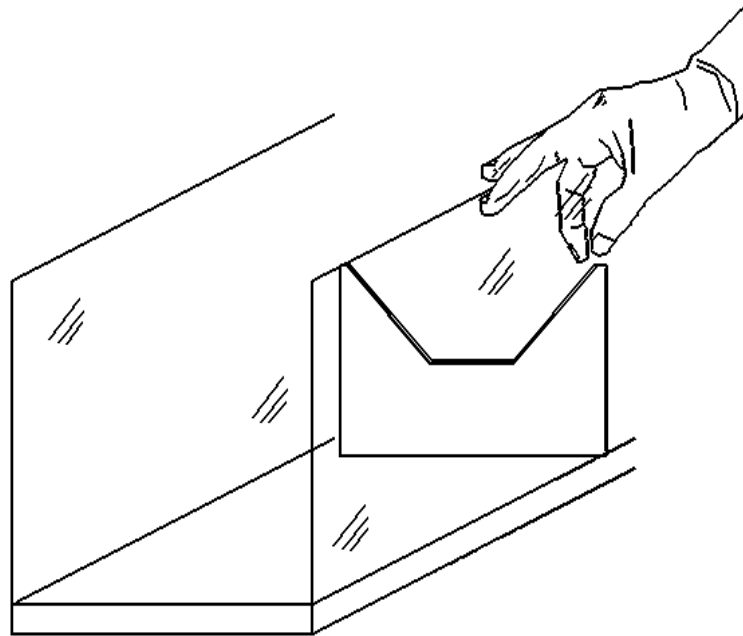
- Escoja el modelo físico reducido a ensayar.



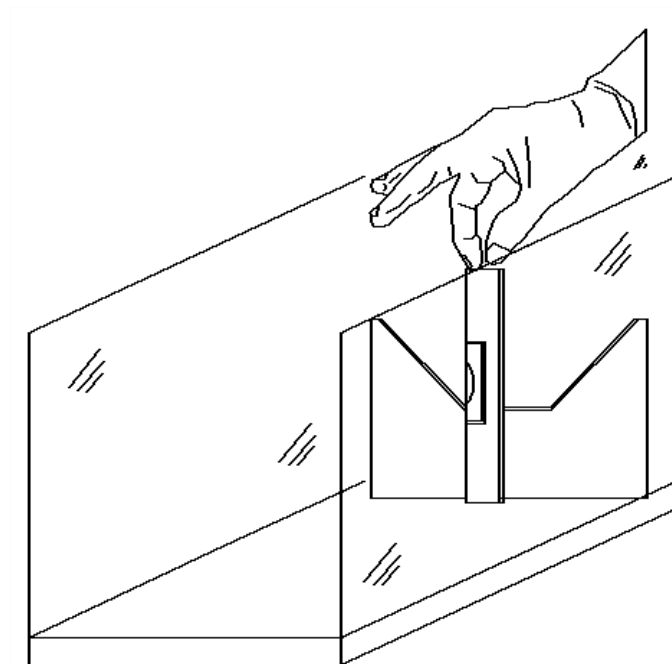
- Limpie el tramo del canal en donde se instalara el modelo físico reducido.



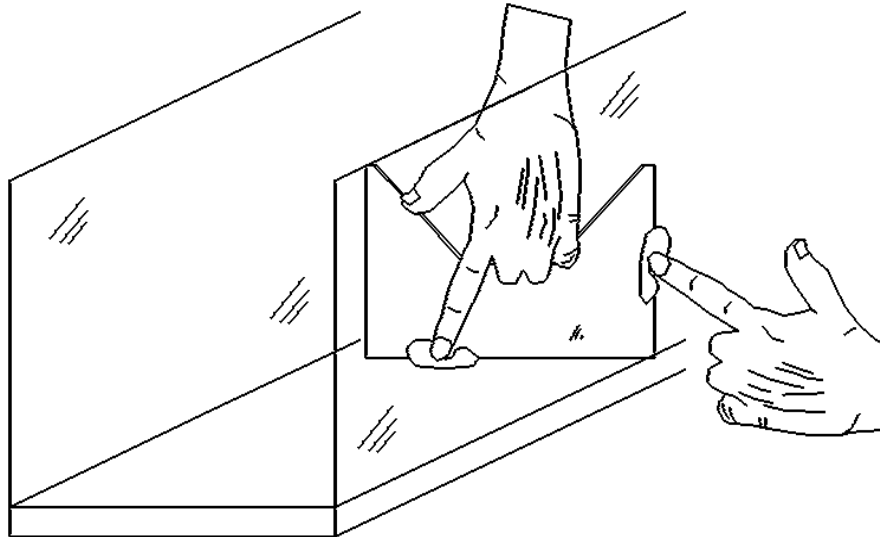
- Instale el modelo físico reducido.



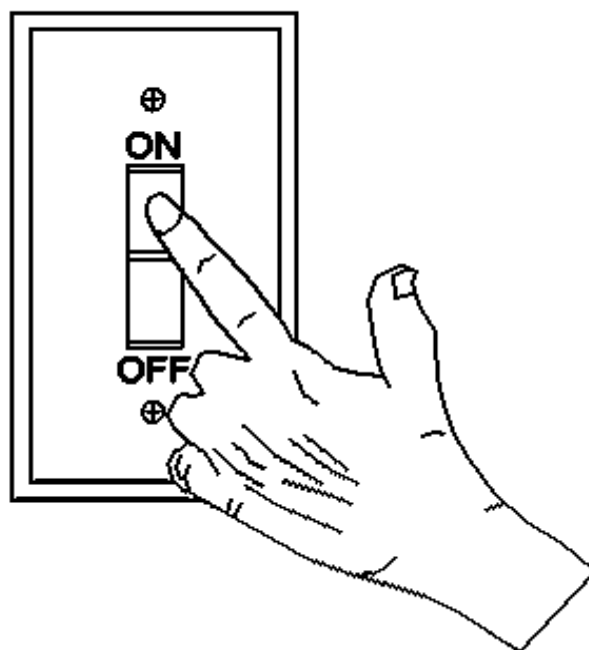
- Verifique la verticalidad con ayuda de un nivel de mano.



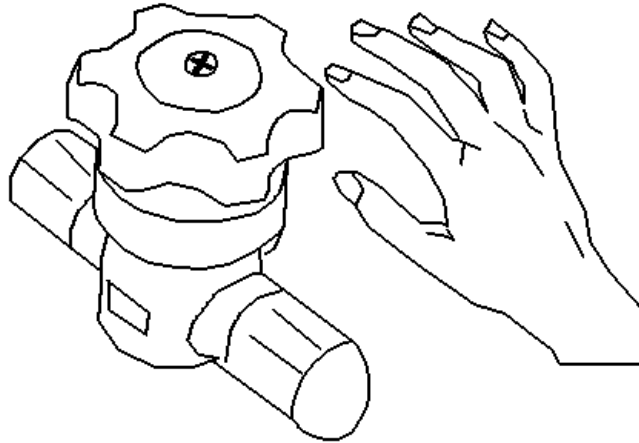
- Cubra con plastilina el contorno del modelo físico reducido para evitar infiltraciones.



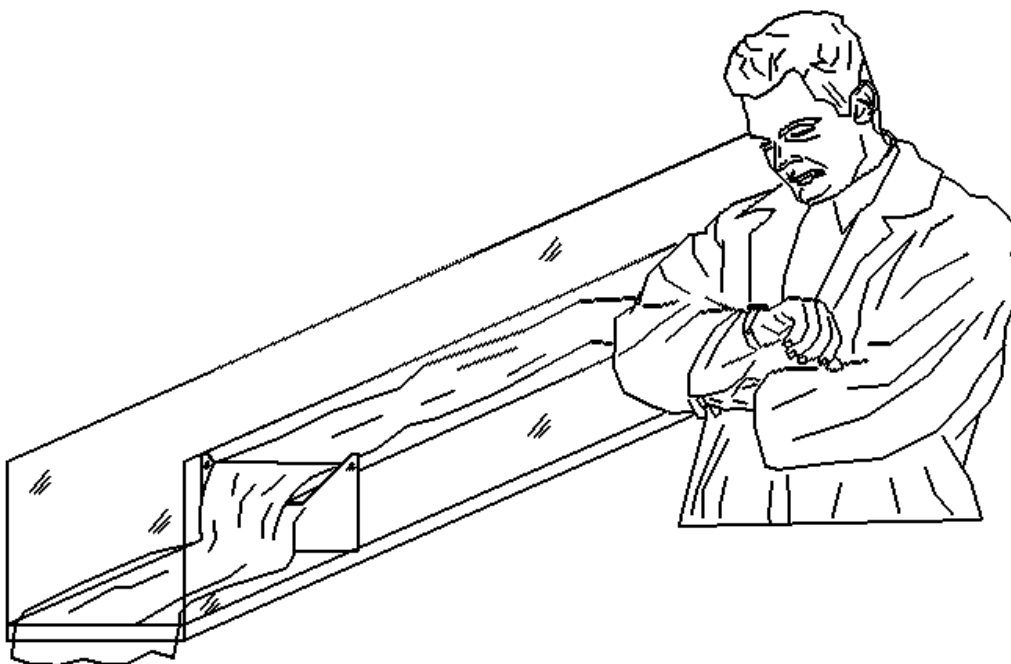
- Poner en funcionamiento la bomba eléctrica.



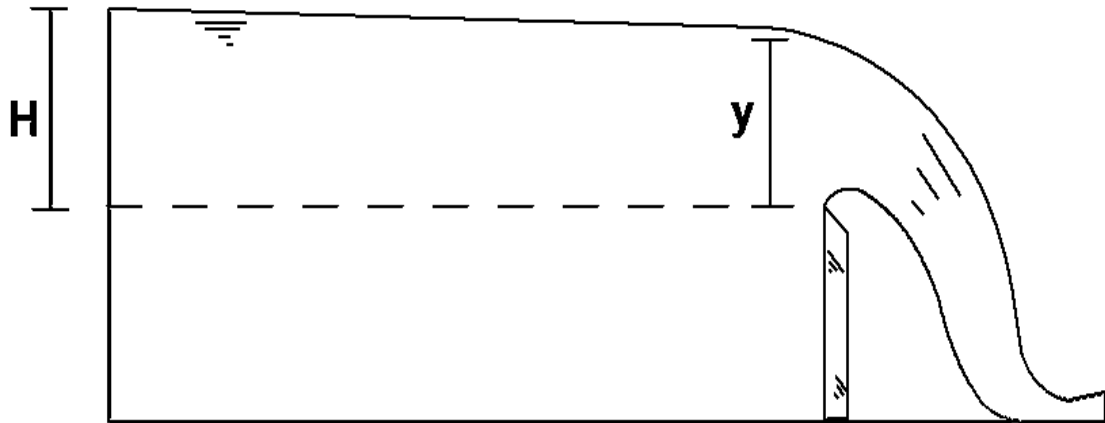
-Regular mediante válvula el calado de descarga “y”, hasta obtener la altura que se desea analizar.



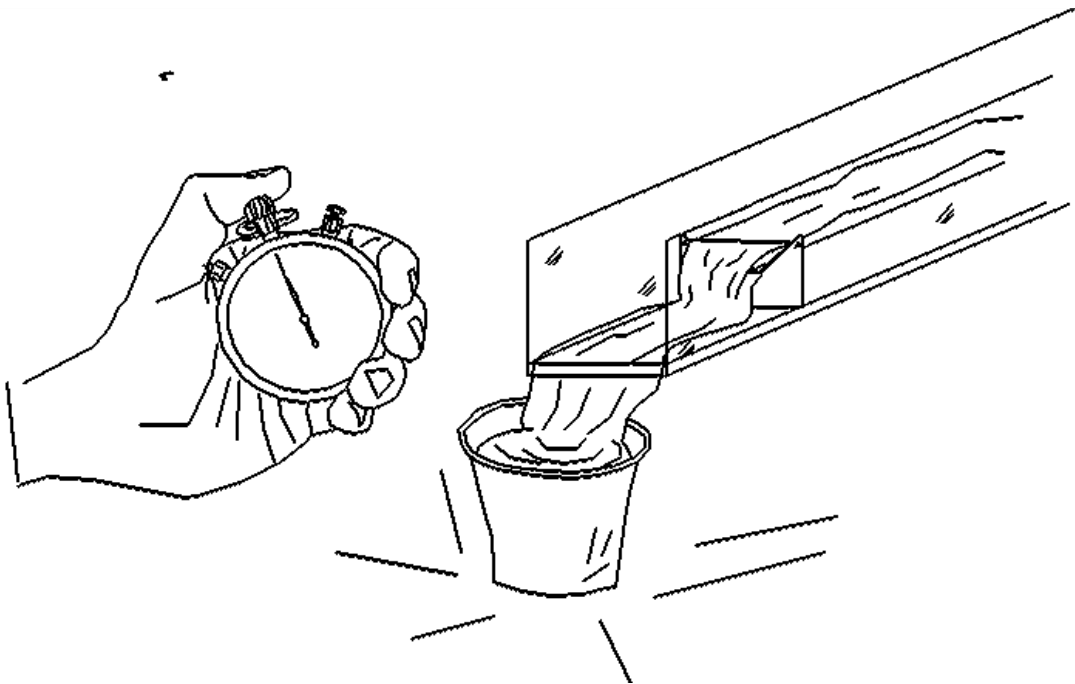
-Espere unos minutos hasta que el flujo tenga un paso estable.



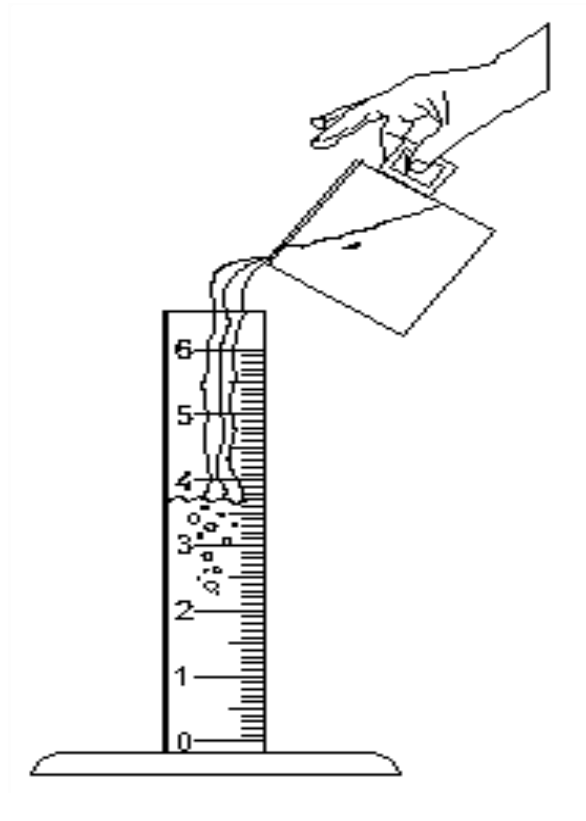
-Mida la carga "H".



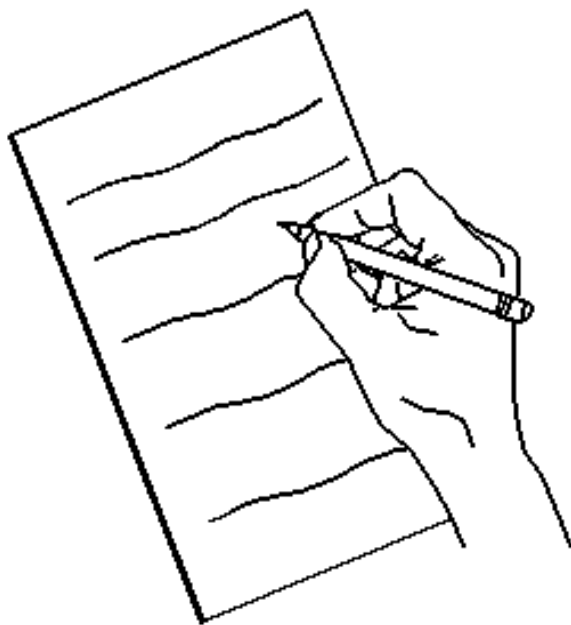
-Capte mediante una probeta cierta cantidad de agua controlando el tiempo por medio de uno o varios temporizadores en lo posible digital.



-Mida en unidad de litro la cantidad de agua recolectada.

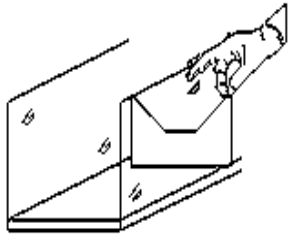


-Registre la información obtenida.

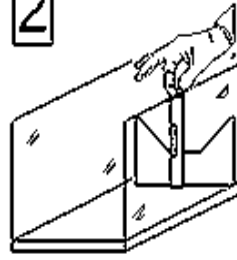


-Verifique si el modelo físico reducido mantiene su correcta ubicación y continúe con los siguientes caldos a analizar.

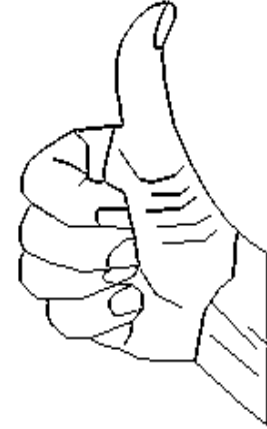
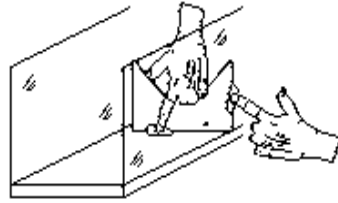
1



2



3



-Haga las iteraciones que crea conveniente.

¡Si recolectas más datos
mejores resultados
tendrás!

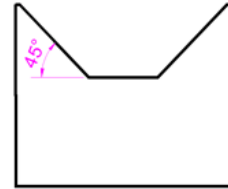


3.7.1.6 Formato.

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil

Fecha:
Estudiante:
Hoja:

DATOS
Vertedero=
y =
H=



INFORMACIÓN TOMADA EN LABORATORIO

MEDICIÓN	TIEMPO sg		TIEMPO PROMEDIO sg	VOLUMEN lt	CAUDAL REAL lt/sg
	t1	t2			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

3.7.1.7 Cálculos.

Una vez que hemos realizado los procedimientos indicados anteriormente se debe continuar con el cálculo del o los coeficientes de descarga “Cd” de acuerdo a las cargas “H” analizadas y a las respectivas inclinaciones fijadas de las paredes laterales del modelo físico reducido, mediante el empleo de las siguientes ecuaciones:

$$Q. \text{ real} = \frac{Vol (real)}{T(real)}$$

$$Q. \text{ teórico} = \frac{4}{3} bH \sqrt{\frac{H}{0.108}}$$

$$Cd = \frac{Q. \text{ real}}{Q. \text{ teórico}}$$

Donde:

Q.real = Caudal obtenido mediante la recolección de datos durante el ensayo o práctica.

Q. teórico = Caudal obtenido mediante el uso de una ecuación teórica propuesta.

Vol (real) = Cantidad de agua medida en unidad de litro.

T (real) = Tiempo en unidad de segundo durante el cual se recolecta el Vol (real).

b = Base inferior del vertedero trapezoidal en unidad de centímetro.

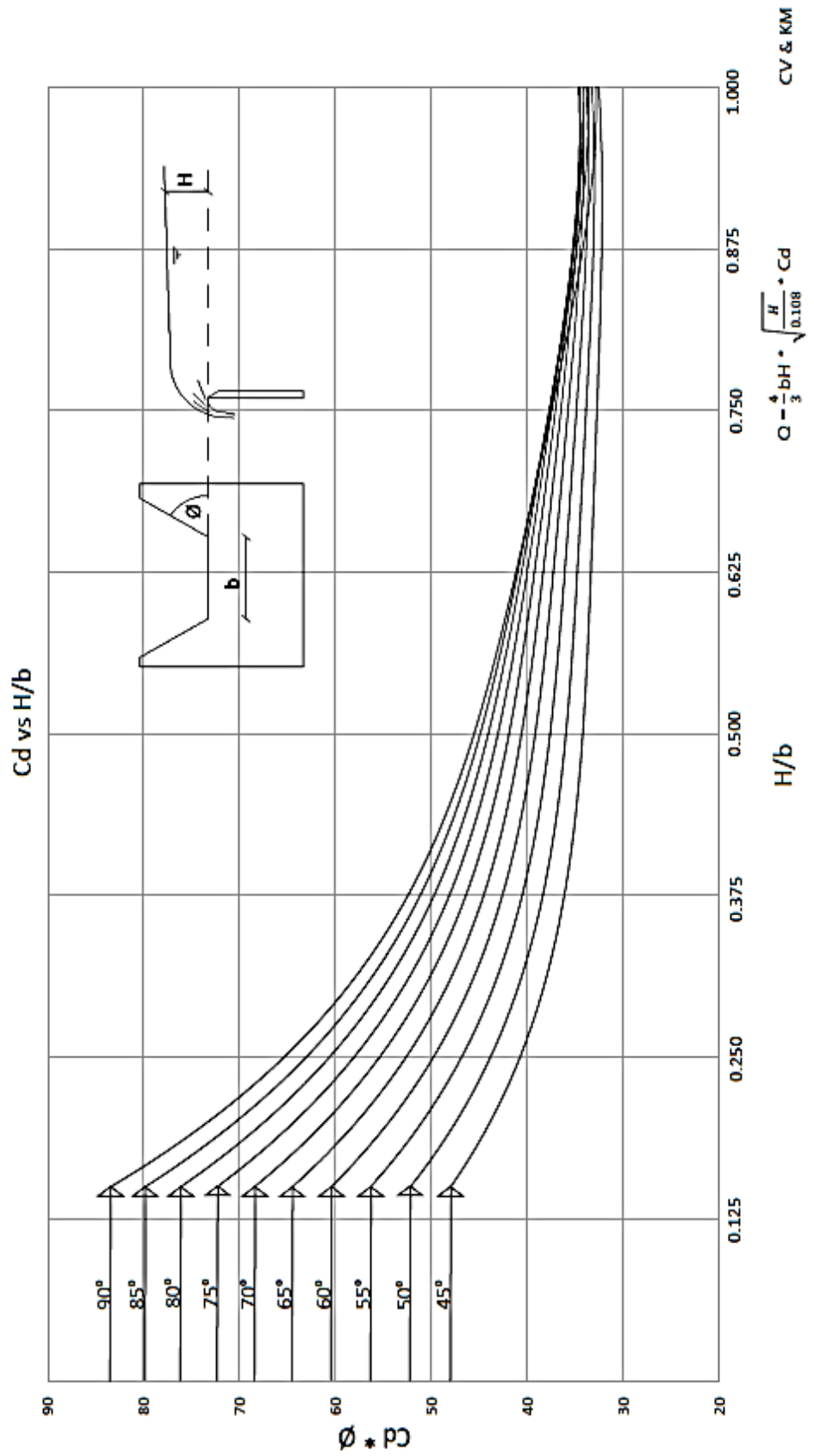
H = Carga aguas arriba en unidad de centímetro.

Cd = Factor que determina la alteración que sufre el caudal teórico, por efecto de contracciones laterales.

3.7.1.8 Gráfico.



ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE DESCARGAS PARA VERTEDEROS TRAPEZOIDALES DE PARED DELGADA EN MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD
 Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil



3.7.1.9 Conclusiones.

El estudiante al finalizar un ensayo o práctica en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, mediante la ejecución de los procedimientos indicados; afianzara los conocimientos adquiridos en las aulas de clases y podrá constatar las siguientes conclusiones:

- El paso del flujo es alterado al momento de la descarga, por contracciones que son efectos del cambio de sección rectangular del canal a trapezoidal del vertedero y son expresadas de forma cuantitativa como un coeficiente de descarga.
- Las contracciones incrementan visiblemente al aumentar el calado de descarga y la pendiente de las paredes laterales del vertedero trapezoidal.
- Los coeficientes de descarga actúan como un factor reductor frente a las magnitudes de los caudales teóricos.
- Se consideran despreciables los coeficientes de descarga en calados menores a un centímetro.
- Las magnitudes de los caudales reales decrecen a medida que se incrementa la pendiente de las paredes laterales del vertedero trapezoidal.
- La carga “H” se considera constante a una distancia de un metro promedio aguas arriba de la sección de descarga del vertedero trapezoidal.

3.7.1.10 Recomendaciones.

A fin de que el ensayo o práctica que ejecute el estudian emita buenos resultados se indican las siguientes recomendaciones:

- Se debe verificar la correcta ubicación del modelo físico reducido al momento de su instalación y antes de cada ensayo.
- Se debe constatar que no exista filtraciones en el contorno del modelo físico reducido.
- Se debe evitar la toma de información mientras el flujo se presente inestable, esto produce datos no confiables.
- Es necesario el empleo de dos o más cronómetros al momento de la toma de información.
- Si se desea cambiar de vertedero quite la humedad de las paredes del canal a fin de que el sellador cumpla con su función y no exista filtraciones.
- Se debe recolectar la mayor cantidad de información posibles esto determinara la precisión del ensayo o práctica.
- Utilice el ábaco “CV & KM” para verificar la información recolectada y procesada.

3.8 Conclusiones.

Una vez que hemos cumplido con lo especificado en el sumario de este proyecto, hemos adquirido suficiente base para poder emitir nuestras conclusiones, las mismas que enumeraremos a continuación y que harán referencia al análisis cualitativo y cuantitativo posteriormente estudiado.

- 1.- La velocidad que ejerce una bomba eléctrica al flujo es constante.
- 2.- Los calados de descarga incrementan al aumentar la inclinación de las paredes del vertedero trapezoidal.
- 3.- El caudal teórico reduce por efecto de las contracciones laterales.
- 4.- Las contracciones ejercidas por las paredes del vertedero trapezoidal se podrían considerar despreciables para calados de descarga menores a 1 cm.
- 5.- El paso de una partícula en la superficie del flujo es variado.
- 6.- La velocidad de una partícula en la superficie del flujo es inversamente proporcional a la inclinación de las paredes del vertedero trapezoidal.
- 7.- El caudal real es directamente proporcional a la inclinación de las paredes del vertedero trapezoidal.
- 8.- El calado aguas arriba del vertedero varía en función del calado de descarga mas no de la inclinación de las paredes del vertedero.
- 9.- Los coeficientes de descarga “CD” son iguales o menores que la unidad; $CD \leq 1$.
- 10.- El máximo incremento que experimenta el calado aguas arriba es de un 11.43% con respecto al calado de descarga.
- 11.- El calado aguas arriba se da a una distancia de 100 cm de la sección de descarga.

12.- El vertedero de 90° es aquel que presenta las máximas pérdidas por contracciones laterales.

3.9 Recomendaciones.

En función de lo experimentado se emitirá las siguientes recomendaciones:

- 1.- Al momento de instalar los modelos físicos reducidos, verificar que este se instalado verticalmente, utilice un nivel de mano.
- 2.- Verificar que este sellado todo el contorno del vertedero a fin de evitar infiltraciones.
- 3.- Verificar que los tiempos registrados por los cronómetros sean aproximadamente iguales, si no es así vuelva a realizar la medición.
- 4.-Tratar de evitar derrames de agua al momento de su captación.
- 5.- Tratar de que la cubicación del agua captada sea lo más exacta posible.
- 6.- Al momento de verificar los datos con el ábaco considerar que el mismo es producto de 8750 mediciones, en caso de tener información distante al del mismo.

Si se consigue dar cumplimiento a lo recomendado se podrá hacer uso de este estudio.

Bibliografía.

Domínguez Solar F. (1999). **HIDRÁULICA**. Chile: EDITORIAL UNIVERSTARIA S.A.

Fernández Diez Pedro (1999). **MECÁNICA DE FLUIDOS**. España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electromagnética – Universidad de Cantabria.

Giles R. Ranald V. (2009). **MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E HIDRÁULICA**. España: Universidad Politécnica de Cataluña.

I. Martin, R. Salcedo, R. Font. (2011). **MECÁNICA DE FLUIDOS – TEMA 1-Flujo Interno de Fluidos incompresibles y compresibles**. España: Universidad de Alicante.

Rocha Felices Arturo (2007). **HDRAÚLICA DE TUBERÍAS Y CANALES**. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil.

Sotelo Ávila Gilberto (1999). **HDRAÚLICA GENERAL**. México: Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México.

Torres Remón M. (2013). **FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN con Visual Basic 2012**. Perú: Macro E.I.R.L.

Universidad del Cauca (1999). **MANUAL PARA ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE VERTEDEROS**. Colombia: Departamento de Hidráulica.

Ven Te Chow. (2004). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Colombia: EDITORIAL NOMOS S. A.

Wilson Jerry D. – Buffa Anthony J. (2006). **FÍSICA – WILSON-BUFFA**. México.

Glosario de Términos

Materia= Es todo aquello que tiene un lugar en el espacio, posee una cierta cantidad de energía y está sujeto a cambios en su composición respecto al tiempo.

Moléculas= Parte más pequeña de una sustancia química que conserva sus propiedades químicas o cambiar a partir de una unión de una o más.

Fuerza Tangencial= Es aquella fuerza física que tiene la misma dirección que en el movimiento del cuerpo en el que se aplica.

Partícula= Es el fragmento más pequeño de materia que mantiene las propiedades químicas de un cuerpo.

Magnitud= Es una propiedad o cualidad medible de un sistema físico que posee características variables.

Amplitud= Es una medida de variación máxima del desplazamiento.

Estructura Molecular= Disposición tridimensional de los átomos que constituye una molécula, la cual determina mucha de las propiedades de una materia.

Fluidez= Es una característica de los líquidos o gases que les da la habilidad para poder desplazarse sobre una superficie.

Resistencia= Capacidad de toda materia para soportar esfuerzos o tensiones sin alterarse.

Rapidez= Es la relación entre una distancia recorrida y el tiempo en contemplarla durante ese intervalo de tiempo.

Deformación= Es el cambio de forma o tamaño de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas.

Equilibrio= Es el reposo de un cuerpo producido por lo general cuando la suma de fuerzas o momentos se anulan.

Expansión Volumétrica= Es el incremento en el volumen de un material cuando cambia una de sus propiedades.

Alcohol etílico= También conocido como etanol, con temperatura y presión normal, como líquido incoloro e inflamable.

Gravedad= Es una aceleración que experimenta el cuerpo físico en las cercanías de un objeto astronómico.

Rozamiento= Acción de rozarse, especialmente entre dos cuerpos, produciendo un cambio en sus características.

Mecánica General= Rama de la física que estudia y analiza el movimiento y reposo de los cuerpos.

Proporcionalidad= Es una relación o razón constante entre las magnitudes medibles.

Hidráulica= Es la rama de la mecánica de los fluidos que estudia las propiedades de los fluidos y está presente en la ingeniería.

Hidromecánica= Estudia la evolución de un fluido en el tiempo de un sistema en relación con las causas que provocan los cambios.

Cinética= Estudio de la velocidad a la que se producen ciertos procesos.

Escalar= Magnitud física.

Vectorial= (magnitud) que actúa en un sentido y dirección.

Línea de Corriente= Familia de curvas designadas en cada instante de tiempo las envolventes del campo de velocidades.

Vena Liquida= Volumen de líquido delimitado por el tubo de corriente.

Fuerzas no Conservativas= Fuerzas que no están relacionadas con la conservación de energía o en términos de energía potencial.

Conservación de Energía= Es una ley que afirma que la cantidad de energía total de un sistema debe ser siempre igual en toda su sección.

Velocidad Media= O velocidad promedio, es el cociente del espacio recorrido entre el tiempo que tarda en hacerlo.

Escotadura= Abertura grande o corte de un borde que altera su forma.

Solera= Pieza que se coloca horizontal en la parte superior de un muro en el mismo sentido de este.

Sedimentos= Material sólido acumulado sobre una superficie.

Represas= Barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente para contener agua.

Aforador= Depósito que sirve para determinar una corriente de agua o caudal.

Cresta= Cumbre de una estructura que fija la parte más alta.

Umbral= Parte inferior de un objeto que define un límite.

Gasto= Cantidad o volumen de un fluido que pasa a través de un conducto.

Relación = Valor mediante el cual dos magnitudes se establecen en común.

Velocidad= Magnitud física que expresa el traslado de un elemento en un determinado tiempo.

Sección= Es la intersección de un plano con un determinado elemento

Trapezoidal= Cuadrilátero que posee dos lados paralelos y dos lados no paralelos.

Factor= Designación que se formula a un número que altera a una expresión matemática.

Coficiente= Resultado de una división matemática.

Descarga= Nombre asignado a la acción que realiza un flujo al pasar por una sección de control.

Sistematizar= Conjunto de operaciones que ordenadamente entre si contribuyen a determinar un objeto o elemento.

Precisión= Hace referencia a un determinado rango de exactitud.

Hidráulica= Nombre de una de las ramas de la Ingeniería Civil; también hace referencia al comportamiento de un flujo de agua.

Ábaco= Nombre de grafico representativo de algún evento.

Inédito= Escrito y no publicado.

Experimental= Conjunto de actividades que tienen como objetivo determinar un evento u objeto basado en las vivencias.

Modelación= Representación de una situación u objeto.

Vertedero= También nombrado Vertedor, es un conducto para evacuar agua.

Contracción= Hace referencia a la acción de compresión que experimenta un flujo al pasar de una sección a otra diferente.

Similitud= Semejanza o parecido

Prototipo= Es una representación, demostración o simulación de un objeto.

Canal= Obra hidráulica cuya función principal es la de trasladar cantidades de agua.

Infinitesimal= Cantidad muy pequeña.

Cuasi= A punto de lograr algo.

Ámbito= Campo de acción.

Tangencial= Hace referencia a la acción que genera una fuerza externa en la superficie de un flujo.

Línea de Corriente= Lugar geométrico de los puntos tangentes al vector velocidad.

Teorema= Proposición demostrada de forma lógica.

Cota= Hace referencia a una distancia vertical referida a un determinado plano.

ANEXOS 1

ANEXOS 2